

7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
• S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE

7th CROATIAN WATER CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION

CROATIAN WATERS
IN ENVIRONMENTAL AND NATURE
PROTECTION

ZBORNİK RADOVA / PROCEEDINGS



OPATIJA, 30. svibnja /May/ - 1. lipnja /June/ 2019.



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

**HRVATSKE VODE U ZAŠTITI
OKOLIŠA I PRIRODE**

*7th CROATIAN WATER CONFERENCE
WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION*

**CROATIAN WATERS IN
ENVIRONMENTAL AND NATURE
PROTECTION**

**ZBORNİK RADOVA
*PROCEEDINGS***

OPATIJA 30. SVIBNJA (MAY) - 1. LIPNJA (JUNE) 2019.

Izdavač:

HRVATSKE VODE
Zagreb, Ulica grada Vukovara 220

Uredništvo

doc. dr. sc. Danko Biondić
doc. dr. sc. Danko Holjević
Marija Vizner, dipl.ing.

Likovno rješenje ovitka

DIO d.o.o. Rijeka

Grafička priprema

DIO d.o.o. Rijeka

Tisak

Grafički zavod Hrvatske d.o.o.
Mičevečka 7, 10000 Zagreb

ISBN 978-953-7672-19-5

CIP zapis dostupan u računalnome katalogu
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu
pod brojem 001029916

Autori su u potpunosti odgovorni za sve što je iznijeto u njihovim radovima. Izdavač, uredništvo Zbornika radova, te članovi Znanstveno - stručnog i Organizacijskog odbora 7. hrvatske konferencije o vodama u svezi s time ne snose nikakvu odgovornost.

7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
7th CROATIAN WATER CONFERENCE

**HRVATSKE VODE U ZAŠTITI
OKOLIŠA I PRIRODE**

*CROATIAN WATERS IN
ENVIRONMENTAL AND NATURE PROTECTION*

**ZBORNİK RADOVA
*PROCEEDINGS***

UREDNIK
EDITOR

DANKO BIONDIĆ
DANKO HOLJEVIĆ
MARIJA VIZNER

OPATIJA 2019.

SADRŽAJ

Uvod	17
------------	----

REFERATI PO POZIVU

P 01.	Zoran Đuroković, Danko Biondić RAZVOJNI INFRASTRUKTURNI PROJEKTI U VODNOM GOSPODARSTVU	23
P 02.	Dragan Zeljko MEĐUNARODNA SURADNJA U OKVIRU SAVSKE KOMISIJE	53

TEMA 1. STANJE VODA I O VODI OVISNIH EKOSUSTAVA, HIDROLOŠKI EKSTREMI I NJIHOVE POSLJEDICE, TRENDOVI - OBORINE, KOPNE NE POVRŠINSKE VODE, PODZEMNE VODE, PRIJELAZNE VODE I PRIOBALNO MORE

R 1.01.	Renata Sokol Jurković, Ivan Güttler UTJECAJ KOREKCIJE PRISTRANOSTI KLIMATSKIH MODELA NA STATISTIČKE MJERE TEMPERATURE I OBORINE	67
R 1.02.	Renata Sokol Jurković, Irena Nimac, Ksenija Cindrić Kalin O METODI I PROBLEMIMA IZRADE KRIVULJA INTENZITETA – TRAJANJA – POVRATNOG RAZDOBLJA	75
R 1.03.	Alan Cibilić, Darko Barbalić, Josip Rubinić, Barbara Karleuša, Nino Krvavica UPRAVLJANJE RIZICIMA OD POPLAVA USLIJED JAKIH OBORINA - PROJEKT RAINMAN	85
R 1.04.	Nino Krvavica, Josip Rubinić PROJEKT RAINMAN - REGIONALNE SPECIFIČNOSTI MJERODAVNIH JAKIH OBORINA NA PILOT PODRUČJIMA U HRVATSKOJ	93
R 1.05.	Josip Rubinić, Ksenija Cindrić Kalin, Maja Radišić, Ivan Güttler, Nino Krvavica PROJEKT RAINMAN - USPOREDBA PTP KRIVULJA OMBROGRAFSKIH POSTAJA NA PILOT PODRUČJIMA ISTRE I ZAGREBA	101
R 1.06.	Dijana Oskoruš, Tatjana Vujnović, Kornelija Macek, Marin Milin, Marko Džaja EKSTREMNI METEOROLOŠKI I HIDROLOŠKI DOGAĐAJI NA PODRUČJU KONAVOSKOG POLJA U 2018. GODINI	111
R 1.07.	Ksenija Cindrić Kalin, Ivana Marinović, Izidor Pelajić, Kornelija Špoler Čanić, Blaženka Matjačić, Lidija Srnec, Lovro Kalin REZULTATI PROJEKTA DRIDANUBE ZA HRVATSKU	121
R 1.08.	Damir Bekić, Klaudija Bašić, Tin Kulić, Danijel Bunić, Leonard Sekovanić, Tomislav Šlehta, Igor Tošić OPERATIVNI SUSTAV “MURADRAVA-FFS” KAO POMOĆ PRI UPRAVLJANJU DRAVSKIM HIDROELEKTRANAMA KOD VELIKIH VODA	133
R 1.09.	Stevan Prohaska, Aleksandra Ilić, Boris Pokorni KOINCIDENCIJA VELIKIH VODA NA ŠIREM SEKTORU UŠĆA REKE DRAVE U DUNAV PRIMENOM RAZLIČITIH PROCEDURA - MODELA PROIL I KOPULA	143

R 1.10.	Siniša Maričić VODOSTAJI KOPAČKOG RITA - UGROZA MOČVARE	153
R 1.11.	Lidija Tadić, Tamara Brleković, Dunja Blažević, Ivan Leninger MONITORING UČINKOVITOSTI LATERALNOG KANALA ZMAJEVAC - KNEŽEVI VINOGRADI	163
R 1.12.	Renata Vidaković Šutić, Dijana Oskoruš PROGNOSTIČKI SUSTAV U FUNKCIJI PLOVIDBE DUNAVOM U REPUBLICI HRVATSKOJ	173
R 1.13.	Tatjana Mijušković - Svetinović, Marija Šperac, Matej Jelenić HIDROLOŠKA ANALIZA RIJEKE VUKE	183
R 1.14.	Ivana Bartolić, Mladen Petrićec, Filip Kalinić HIDROLOŠKI MODEL ZA KONTINUIRANU SIMULACIJU OTJECANJA U KRŠU	191
R 1.15.	Maja Radišić, Josip Rubinić, Andrijana Brozinčević, Nikola Markić, Željka Klemar, Igor Ružić VODNI SUSTAV PLITVIČKIH JEZERA - RECENTNI HIDROLOŠKI MEĐUODNOSI I UTJECAJI	201
R 1.16.	Dušan Trninić, Tomislava Bošnjak MOGUĆI UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA OTJECANJE KORANE KOD LUKETIĆA	211
R 1.17.	Ranko Žugaj, Željko Štefanek, Ana Turčinov Mikulec VELIKE VODE NA MALIM SLIVOVIMA I PROBLEMI NJIHOVOG DEFINIRANJA	221
R 1.18.	Vedran Ivezić, Sanja Filipan, Vlatko Kadić HIDROLOŠKI EKSTREMI NA SLIVU RIJEKE BREGANE	231
R 1.19.	Vedran Ivezić, Damir Bekić, Tomislav Suton PROCJENA BILANCE VODA NA SLIVU RIJEKE KRAPINE KORIŠTENJEM SUVREMENIH TEHNIKA	241
R 1.20.	Vedran Ivezić, Damir Bekić, Filip Ferenčak INTEGRIRANI RAŠČLANJENI MODEL BILANCE VODA "IVOR"	251
R 1.21.	Filip Kalinić, Ivana Ivanković, Ivana Bartolić, Mladen Petrićec UTJECAJ PRAGA KOD TE - TO ZAGREB NA VODOSTAJE RIJEKE SAVE I PODZEMNE VODE ZAOTALJA	261
R 1.22.	Neven Trenc, Aljoša Duplić, Ramona Topić, Bojan Matoš, Josipa Velić, Marko Čaleta, Ian C. Fuller MORFOLOŠKE PROMJENE I PROMJENE USLUGA EKOSUSTAVA SAVE U BLIZINI ZAGREBA	269
R 1.23.	Draženka Stipanićev, Siniša Repec POJAVNOST RAZLIČITIH SKUPINA FARMACEUTIKA U RIJECI SAVI	279
R 1.24.	Palma Orlović - Leko, Irena Ciglencečki, Ivan Šimunić, Jelena Dautović RAZINE ORGANSKOG UGLJIKA U GLAVNOM MELIORACIJSKOM KANALU (LONJSKO POLJE)	287

R 1.25.	Stevan Prohaska, Vladislava Bartoš Divac, Milena Jelovac, Aleksandra Ilić STATISTIČKA ZNAČAJNOST ISTORIJSKIH POPLAVA SAVE U PROFILU ŽUPANJA	293
R 1.26.	Josip Rubinić, Maja Radišić, Gordana Bušelić, Maja Čuže Denona KRIPTODEPRESIJE JEZERSKIH SUSTAVA NA PODRUČJU HRVATSKOG PRIOBALJA - HIDROLOŠKO STANJE I RIZICI OD NEŽELJENIH PROMJENA	301
R 1.27.	Nevenka Ožanić, Ivana Sušanj Čule, Goran Volf, Nino Krvavica, Elvis Žic HIDROLOŠKA ANALIZA VARIJACIJA RAZINE VODE JEZERA VRANA NA OTOKU CRESU	311
R 1.28.	Ivan Martinić, Ivan Čanjevac, Ivan Vučković, Nenad Buzjak, Luka Valozić HIDROMORFOLOŠKO STANJE PRIRODNIH JEZERA U HRVATSKOJ	321
R 1.29.	Ivančica Ternjej, Zlatko Mihaljević DUGOTRAJNE PROMJENE U SASTAVU ZAJEDNICE PLANKTONSKIH RAKOVA AKUMULACIJE BUTONIGA	331
R 1.30.	Natalija Vučković, Ivana Pozojević, Mladen Kerovec, Marina Vilenica, Valentina Dorić, Ana Previšić, Ivančica Ternjej, Sanja Gottstein, Zlatko Mihaljević USPOREDBA METODA EVALUACIJE EKOLOŠKOG POTENCIJALA AKUMULACIJSKOG JEZERA BRLJAN POMOĆU MAKROZOOBENTOSA PROFUNDALA I LITORALA	341
R 1.31.	Dušica Ivanković, Paula Dragičević, Zrinka Dragan, Jasna Lajtner, Nesrete Krasnići, Vlatka Filipović Marijić, Tatjana Mijošek, Zuzana Redžović, Marijana Erk KONCENTRACIJE METALA U VODI I ŠKOLJKAŠIMA BRLJANSKOG I VISOVAČKOG JEZERA	351
R 1.32.	Dijana Oskoruš, Nino Krvavica, Mirjana Švonja METODA PRORAČUNA DNEVNIH PROTOKA NERETVE U METKOVIĆU	361
R 1.33.	Zlatko Mihaljević, Gorazd Urbanić, Ivančica Ternjej SUSTAV OCJENE EKOLOŠKOG STANJA VELIKIH RIJEKA TEMELJEM MAKROZOOBENTOSA	371
R 1.34.	Goran Volf UPOTREBA STROJNOG UČENJA U MODELIRANJU VODENIH EKOSUSTAVA	381
R 1.35.	Neven Bujas, Jasmina Antolić, Đorđa Medić POPIS PRAĆENJA	391
R 1.36.	Siniša Repec, Draženka Stipaničev ESTROGENI SPOJEVI U POVRŠINSKOJ VODI	399
R 1.37.	Andrej Vidmar, Simon Rusjan, Nejc Bezak, Andrej Kryžanowski, Mitja Brilly ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA SLIVA POMOĆU HIDROLOŠKO HIDRAULIČKIH MODELA I HIDROLOŠKE ANALIZE, PRIMJER SLIVA REKE SAVINJE	407
R 1.38.	Omer Kovčić, Nedim Suljić, Mufid Tokić ANALIZA DOTOKA U HIDROAKUMULACIJU “MODRAC”, PADALINA I KOEFICIJENATA OTJECANJA ZA SLIVNO PODRUČJE HIDROAKUMULACIJE “MODRAC”	417

R 1.39.	Zoran Nakić, Zoran Kovač, Jelena Parlov, Dario Perković OCJENA STANJA I PROCJENA RIZIKA ZA GRUPIRANA TIJELA PODZEMNIH VODA U PANONSKOM DIJELU REPUBLIKE HRVATSKE ..	427
R 1.40.	Hrvoje Meaški, Ranko Biondić, Jelena Loborec, Karlo Leskovar KRŠKI IZVORI U VARAŽDINSKOJ ŽUPANIJI	437
R 1.41.	Ivica Pavičić, Tatjana Vlahović, Željko Duić, Kosta Urumović, Dubravko Domitrović, Ivan Dragičević, Ilija Ravnjak ODREĐIVANJE HIDRAULIČKE VODLJIVOSTI I OCJEDITE POROZNOŠTI TEKTOFACIJESA DOLOMITNOG GRUSA ŽUMBERAČKIH GORNJOTRIJASKIH DOLOMITA	447
R 1.42.	Maja Oštrić, Helena Radeljak, Želimir Pekaš ANALIZA PROVEDENIH MIKROZONIRANJA NA PODRUČJU JADRANSKOG SLIVA	457
R 1.43.	Alma Tudić KEMIJSKO STANJE PODZEMNIH VODA NA MONITORING POSTAJAMA NA PODRUČJU JADRANA U 2017. GODINI	467
R 1.44.	Maja Oštrić, Nataša Mihelčić, Gordana Stojčić PREGLED STANJA ZAŠTITE IZVORIŠTA NA PODRUČJU SJEVERNOGA JADRANA	473
R 1.45.	Elvis Žic, Nevenka Ožanić KOLEBANJE RAZINA PODZEMNIH VODA NA KLIZIŠTU GROHOVO ZA RAZDOBLJE 2016. - 2018. GODINE	483
R 1.46.	Goran Gjetvaj, Hrvoje Patrk, Goran Lončar, Marko Kardum PROJEKT AMIIGA - INTEGRIRANI PRISTUP UPRAVLJANJU KVALITETOM PODZEMNIH VODA	493
R 1.47.	Jelena Loborec, Dragana Dogančić, Sanja Kapelj MONITORING PODZEMNIH VODA U KRŠKOM VODONOSNIKU IZRADOM ISTRAŽNIH BUŠOTINA	503
R 1.48.	Jasmina Lukač Reberski, Josip Terzić, Ana Selak, Ivana Boljat “NOVI ONEČIŠIVAČI” U PODZEMNIM VODAMA HRVATSKE – PRIMJER PROJEKATA GEOTWINN I BODEREC-CE	513
R 1.49.	Daria Čupić, Alena Vlašić, Ozren Larva PRISTUP UPRAVLJANJU GEOTERMALNIM I MINERALNIM VODAMA U REPUBLICI HRVATSKOJ	523
R 1.50.	Miha Curk, Matjaž Glavan, Marina Pintar PERSPECTIVES FOR IMPROVING GROUNDWATER PROTECTION ON ALLUVIAL PLAIN IN SLOVENIA	537
R 1.51.	Anita Erdelez, Martina Furdek, Anamaria Štambuk, Ivan Župan, Melita Peharda PRIJEDLOG PRIMJENE IMPOSEKSA KOD OCJENE EKOLOŠKOG STANJA PRIOBALNIH VODA JADRANA	545
R 1.52.	Martina Furdek Turk, Maja Ivanić, Matic Bergant, Janez Ščančar, Nevenka Mikac PRAĆENJE ZAGAĐENJA OBALNOG PODRUČJA HRVATSKOG JADRANA TRIBUTIL KOSITROVIM SPOJEVIMA	555

R 1.53.	Jelena Dautović, Vjeročka Vojvodić, Nataša Tepić, Božena Ćosović, Irena Ciglencečki PROMJENE SVOJSTAVA ORGANSKE TVARI U SJEVERNOM JADRANU: REZULTATI DUGOROČNIH ISTRAŽIVANJA	565
R 1.54.	Jere Veža, Grozdan Kušpilić PARTIKULARNI FOSFOR U PRIJELAZNIM I PRIOBALNIM VODAMA SREDNJEG JADRANA	573
R 1.55.	Darija Vukić Lušić, Anamarija Kolda, Ana Gavrilović, Jura Jug - Dujkaković, Snježana Kazazić, Kristina Pikelj, Irena Vardić Smrzlić, Lorena Perić, Jakov Žunić, Brigita Hengl, Dražen Knežević, Damir Kapetanović MIKROBNA EKOLOGIJA - POKAZATELJ ZDRAVSTVENOG STANJA MORSKOG OKOLIŠA U MALOSTONSKOM ZALJEVU	585

**TEMA 2. SUSTAVI UREĐENJA I KORIŠTENJA VODA I ZEMLJIŠTA - STANJE I
RAZVOJNI PROJEKTI**

R 2.01.	Darko Barbalić, Sanja Barbalić, Danko Biondić NOVELACIJA PRETHODNE PROCJENE RIZIKA OD POPLAVA	595
R 2.02.	Darko Barbalić, Luka Vukmanić, Danko Biondić PREGLED POPLAVNIH DOGAĐAJA PREMA REGISTRU POPLAVNIH DOGAĐAJA	605
R 2.03.	Andrej Vidmar, Katarina Zabret, Klaudija Sapač, Petra Pergar, Andrej Kryžanowski DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR ESTIMATING THE BENEFITS OF STRUCTURAL AND NON - STRUCTURAL MEASURES FOR FLOOD RISK REDUCTION	615
R 2.04.	Marija Sabolić, Ramona Topić, Aljoša Duplić, Petra Lunko, Daniela Schneider, Neven Trenc VODNO GOSPODARSTVO I ZAŠTITA PRIRODE - ZAJEDNIČKO OČUVANJE VODENIH EKOSUSTAVA	625
R 2.05.	Tomislav Novosel OBRANA OD POPLAVA U SKLOPU ZAŠTITE PRIRODE	631
R 2.06.	Ines Marasović, Barbara Karleuša, Nevena Dragičević PRIMJENA VIŠEKRITERIJSKE ANALIZE U UPRAVLJANJU PODRUČJIMA IZLOŽENIM EROZIJSKIM PROCESIMA	641
R 2.07.	Sanda Kolarić Buconjić, Zoran Marković PROJEKT „FRISCO 1“	651
R 2.08.	Goran Martinez MONITORING PROPISANIH UVJETA ZAŠTITE PRIRODE PRILIKOM REKONSTRUKCIJE MURSKOG NASIPA	667
R 2.09.	Matko Bišćan, Kruna Marković, Berislav Marković, Perica Bušić, Marijana Kotaran Munda, Renata Vidaković Šutić REVITALIZACIJA RUKAVACA NA RIJECI DRAVI U SKLOPU DRAVA LIFE PROJEKTA	673
R 2.10.	Renata Vidaković Šutić PROVJERA UČINKOVITOSTI SUSTAVA ZA OBRANU OD POPLAVA NA RIJECI DRAVI KORIŠTENJEM 2D MODELA	683

R 2.11.	Zdenko Tadić ANALIZA RIZIKA OD LEDENIH POPLAVA NA RIJECI DRAVI	691
R 2.12.	Gordon Gilja, Dora Jelić, Neven Kuspilić MORFODINAMIČKE ANALIZE VARIJANTNIH RJEŠENJA UREĐENJA UŠĆA RIJEKE DRAVE	701
R 2.13.	Diana Šustić, Zdenko Tadić, Branimir Barač, Igor Tadić, Želimir Marojević HIDROLOŠKO-HIDRAULIČKE ANALIZE PROBLEMATIKE ZAŠTITE OD POPLAVA GRADA OGULINA	713
R 2.14.	Dario Kolarić, Željko Tusić SUSTAV OBRANE OD POPLAVA GRADA KARLOVCA - OSJETLJIVOST ULAZNIH PARAMETARA	723
R 2.15.	Enes Obarčanin, Dario Kolarić, Željko Tusić, Sanda Kolarić Buconjić UNAPRJEĐENJE SUSTAVA OBRANE OD POPLAVA NA RIJECI SAVI OD JESENICA DO NOVE GRADIŠKE	735
R 2.16.	Žana Bašić, Enes Obarčanin, Željko Tusić MODERNIZACIJA LIJEVOBALNIH SAVSKIH NASIPA OD RAČINOVACA DO NOVE GRADIŠKE - OKOLIŠNI ASPEKT	745
R 2.17.	Danko Holjević, Tatjana Holjević, Ena Holjević RENATURALIZACIJA DONJEG TOKA RJEČINE, MOGUĆNOSTI I IZAZOVI	755
R 2.18.	Mate Dabro, Čedo Radić, Mirjana Švonja VIŠENAMJENSKI HIDROENERGETSKI PROJEKT REVERZIBILNA HIDROELEKTRANA BLACA	763
R 2.19.	Mirjana Švonja, Mate Dabro, Čedo Radić SMANJENJE RIZIKA OD POPLAVA U SINJSKOM POLJU IZGRADNJOM RHE BLACA	773
R 2.20.	Davor Romić, Monika Zovko, Marina Bubalo Kovačić, Gabrijel Ondrašek, Helena Bakić Begić, Marija Romić PROCESI, DINAMIKA I TREND ZASLANJENJIVANJA VODA I TLA U POLJOPRIVREDNOM PODRUČJU DOLINE RIJEKE NERETVE	783
R 2.21.	Mijo Vranješ UREĐENJE PODRUČJA DONJE NERETVE	793
R 2.22.	Josip Marušić, Danko Holjević HIDROMELIORACIJSKI SUSTAVI ZA ODVODNJU U FUNKCIJI OPTIMALNOG VODNOZRAČNOG REŽIMA POLJOPRIVREDNIH ZEMLJIŠTA	809
R 2.23.	Tamara Brleković, Lidija Tadić USPOREDBA KONCENTRACIJA NITRATA, OBORINA I RAZINA PODZEMNIH VODA OPAŽENIH NA POKUSNOJ DIONICI KANALA	825
R 2.24.	Marija Leko - Kos, Lidija Tadić PRIKAZ ISTRAŽIVANJA ZADRŽAVANJA TEŠKIH METALA U NANOSU MELIORACIJSKIH KANALA	835

R 2.25.	Gabrijel Ondrašek, Monika Zovko, Vilim Filipović, Lana Filipović, Filip Kranjčec, Marina Bubalo Kovačić, Nada Maurović, Željko Andabaka, Edi Maletić, Vedran Krevh, Davor Romić DINAMIKA POVRŠINSKOG OTJECANJA I KONCENTRACIJE NITRATA S NAGNUTOG VINOGRADARSKOG POLOŽAJA USLIJED RAZLIČITOG INTENZITETA OBORINA	843
R 2.26.	Milan Mesić, Željka Zgorelec, Aleksandra Perčin, Ivana Šestak, Marija Galić UČINKOVITOST CIJEVNE DRENAŽE NA PSEUDOGLEJU MJERENA U 20 – GODIŠNJEM RAZDOBLJU	853
R 2.27.	Danijel Ivanišević, Ivan Mišur, Ana Čaić Janković, Ajka Šorša, Josip Halamić, Đorđa Medić, Jasmina Antolić, Aleksandra Kovačević, Jelena Vićanović SIMONA - PROJEKT USPOSTAVE SUSTAVA NADZORA KAKVOĆE DRENAŽNOG SEDIMENTA DUNAVSKOG SLIJEVA	861
R 2.28.	Stjepan Husnjak, Domagoj Rastija POGODNOST POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA ZA NAVODNJAVANJE NA LOKACIJAMA IDEJNIH PROJEKATA SUSTAVA NAVODNJAVANJA U REPUBLICI HRVATSKOJ	869
R 2.29.	Danko Holjević, Rene Lustig, Marinko Galiot, Marko Blagus, Zoran Jakelić, Mario Bagarić ANALIZA ODABIRA TEHNIČKIH RJEŠENJA ZAHVATA VODE IZ VODOTOKA ZA POTREBE NAVODNJAVANJA	879
R 2.30.	Antonija Cikojević, Gordon Gilja, Eva Ocvirk, Neven Kuspilić UTJECAJ OBLIKA USMJERIVAČA TOKA NA POLJE BRZINE U DOVODNOM KANALU	891
R 2.31.	Marko Josipović, Antun Jambrović, Jasna Šoštarić, Monika Marković, Miroslav Dadić, Hrvoje Plavšić UTJECAJ NAVODNJAVANJA I GNOJIDBE DUŠIKOM NA UROD I KAKVOĆU ZRNA KUKURUZA (ZEA MAYS L.)	901
R 2.32.	Nenad Heček PLANOWI NAVODNJAVANJA I ULOGA VIŠENAMJENSKIH AKUMULACIJA NA DRAVI U NJIHOVOJ REALIZACIJI	915
R 2.33.	Dragutin Petošić, Ivan Mustać, Vilim Filipović, Nada Maurović KONTINUIRANO PRAĆENJE VODNOG REŽIMA TALA I KAKVOĆE VODA U AGROEKOSUSTAVIMA NA PODRUČJU MELIORACIJSKOG KANALA ZA NAVODNJAVANJE BIĐ - BOSUTSKOG POLJA	923
R 2.34.	Siniša Družeta, Bojan Crnković, Jerko Škifić, Danko Holjević ANALIZA POJAVE HIDRAULIČKOG UDARA NA SUSTAVU NAVODNJAVANJA VALTURA	933
R 2.35.	Berislav Glavaš, Zoran Jakelić, Ivna Sinovčić Jović OPTIMALIZACIJA PROJEKTOG RJEŠENJA SUSTAVA NAVODNJAVANJA LIŠANSKO POLJE – PODRUČJE ŽAŽVIĆ S PRIKAZOM ANALIZE NESTACIONARNIH POJAVA	943
R 2.36.	Toni Carević NAVODNJAVANJE SINJSKOG POLJA – KAKO POSTIĆI ODRŽIVOST?	955

R 2.37.	Marko Stepić, Elvis Žic SUSTAV ZA ZASNJEŽENJE STAZA ZA SKIJAŠKO TRČANJE JAVOROVA KOSA	965
R 2.38.	Dušan Jelić, Eva Ocvirk, Gordon Gilja, Antonija Cikojević FUNKCIONALNOST RIBLJIH STAZA	975
R 2.39.	Gordon Gilja, Matea Marić, Damjan Bujak, Eva Ocvirk HIDRAULIČKA ANALIZA RIBLJIH STAZA DENILOVOG TIPA	985
R 2.40.	Tin Kulić, Damir Bekić, Hrvoje Šolman, Nikola Meheš PRIMJENA BIM PRISTUPA KOD UPRAVLJANJA MOSTOVIMA NA RIJEKAMA	995
R 2.41.	Damjan Bujak, Dalibor Carević, Goran Lončar DJELOVANJE PLIMNIH OSCILACIJA NA CIRKULACIJU KROZ PROPUSTE	1005

**TEMA 3. SUSTAVI JAVNE VODOOPSKRBE, ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA
OTPADNIH VODA - STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI**

R 3.01.	Goran Milaković, Olivera Šegedin PRIPREMA I ODOBRENJE VODNO-KOMUNALNOG PROJEKTA ZA EU SUFINANCIRANJE	1017
R 3.02.	Berislav Marojević, Ivana Bašić, Petar Peroš IZAZOVI U PROVEDBI EU PROJEKATA	1031
R 3.03.	Mariela Sjekavica Klepo, Robert Kartelo ANALIZA ULOGE I ODGOVORNOSTI VODITELJA PROJEKATA SUFINANCIRANIH SREDSTVIMA EUROPSKE UNIJE	1043
R 3.04.	Dražen Vouk, Luka Konosić, Ivona Petković PRIMJENA THP - PROCESA NA UPOV-IMA - PRIMJER NA UPOV-U RIJEKA	1057
R 3.05.	Nataša Todorčić Rex, Ninoslav Rex, Damjan Nemeč, Danko Mihelčić, Toni Holjević RJEŠENJE ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA GRADA DUBROVNIKA	1071
R 3.06.	Željko Rozić URBANI VODNI SUSTAV U FUNKCIJI ZAŠTITE OKOLIŠA	1079
R 3.07.	Igor Dundović, Matej Fremec, Jasna Zima, Zdenko Tadić, Ante Kristić, Branimir Barać HIDRAULIČKI MODEL VODOOPSKRBNOG SUSTAVA OSIJEK S ANALIZOM VODNIH GUBITAKA I DINAMIČKIM PRIKAZOM REZULTATA KORISTEĆI TOPOLOŠKI GIS MODEL U 3D OKRUŽENJU	1091
R 3.08.	Jure Margeta KLIMATSKE PROMJENE, EKSTREMNA STANJA NA KRŠKIM IZVORIMA I NJIHOV UTJECAJ NA ODRŽIVOST VODOOPSKRBE	1103
R 3.09.	Lado Kranjčević, Hana Salamun, Siniša Družeta, Luka Grbčić NUMERIČKA ANALIZA KVALITETE TOPLE VODE U CILJU KONTROLE RIZIKA RAZVOJA LEGIONELE	1113

R 3.10.	Dino Obradović, Marija Šperac, Željko Koški UPOTREBA KIŠNICE U ZGRADAMA	1121
R 3.11.	Stefano Biondi, Jovan Despotović, Francesca Sambo, Michelle Arnoffi, Jasna Plavšić, Aleksandar Djukić, Andrijana Todorović, Dušan Prodanović REAL - TIME MANAGEMENT OF HIGHWAY RUNOFF: TREATMENT OF CHRONIC EFFECTS AND PROTECTION FROM ACUTE EFFECTS ON THE ENVIRONMENT CAUSED BY LIQUID SPILLS	1129
<hr/>		
TEMA 4. VODNA POLITIKA, OBRAZOVANJE, VODNOGOSPODARSKO PLANIRANJE, MEĐUNARODNA SURADNJA I SUDJELOVANJE JAVNOSTI		
R 4.01.	Desanka Sarvan ZAKONODAVNO UREĐENJE LJUDSKOG PRAVA NA VODU U REPUBLICI HRVATSKOJ	1139
R 4.02.	Josip Marušić ZNAČENJE VODNOGOSPODARSKIH DJELATNOSTI I USTROJSTVO DRŽAVNE UPRAVE ZA VODE	1147
R 4.03.	Irena Ciglencečki, Milan Čanković, Marija Marguš, Ivica Janeković VAŽNOST DUGOROČNIH ISTRAŽIVANJA U OKOLIŠU	1159
R 4.04.	Marina Barbalić, Darko Barbalić, Đorđa Medić, Danko Biondić PLAN UPRAVLJANJA VODNIM PODRUČJIMA U PRAKSI - INFORMACIJE O VODNIM TIJELIMA I RIZICIMA OD POPLAVA	1167
R 4.05.	Gorana Ćosić - Flajsig, Ivan Vučković, Barbara Karleuša USLUGE EKOSUSTAVA U INTEGRALNOM UPRAVLJANJU VODAMA ...	1177
R 4.06.	Gorana Ćosić - Flajsig, Dejan Kovačević, Doroteja Deak PRIMJENA ZELENE INFRASTRUKTURE U URBANIM PODRUČJIMA NA PRIMJERU DIJELA GRADSKE ČETVRTI SOPOT U ZAGREBU	1187
R 4.07.	Barbara Karleuša, Nevena Dragičević, Nevenka Ožanić, Ivana Sušanj Čule JACANJE KURIKULUMA DIPLOMSKIH STUDIJA U UPRAVLJANJU VODNIM RESURSIMA - PROJEKT SWARM	1197
R 4.08.	Enikkő Anna Tamás, Dejana Đorđević, Jovan Despotović, György Varga, László Mrekva INTERNATIONAL POSTGRADUATE COURSE ON FLOOD MANAGEMENT AT THE RIVER DANUBE BASIN	1205
KAZALO AUTORA		1217

UVOD

Sedma hrvatska konferencija o vodama održana je od 30. svibnja do 1. lipnja 2019. godine u Opatiji pod motom **HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE**. Na konferenciji se kroz četiri tradicionalne znanstveno - stručne teme:

- 1. Stanje voda i o vodi ovisnih ekosustava, hidrološki ekstremi i njihove posljedice, trendovi - oborine, kopnene površinske vode, podzemne vode, prijelazne vode i priobalno more,**
- 2. Sustavi uređenja i korištenja voda i zemljišta - stanje i razvojni projekti,**
- 3. Sustavi javne vodoopskrbe, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda - stanje i razvojni projekti,**
- 4. Vodna politika, obrazovanje, vodnogospodarsko planiranje, međunarodna suradnja i sudjelovanje javnosti,**

sveobuhvatno i interdisciplinarno raspravljalo o stanju voda i upravljanju vodama u Hrvatskoj, a rasprave su rezultirale korisnim smjernicama za budućnost.

Upravljanje vodama prema zahtjevima europske pravne stečevine donijelo je nove vrijednosti hrvatskom vodnom gospodarstvu. Provodi se Okvirna direktiva o vodama koja ima za cilj postizanje i očuvanje dobrog stanja svih voda - kopnenih površinskih, podzemnih, prijelaznih i priobalnih, a razvojni projekti ostvaruju se uz poštivanje najviših standarda zaštite okoliša i prirode.

Klimatske promjene su evidentne, a hidrološki ekstremi poplave i suše sve su izraženiji. Prilagodba klimatskim promjenama trajna je zadaća, za što je nužno na održiv način razvijati i održavati vodnogospodarske i vodnokomunalne sustave.

Uz korištenje sredstava iz europskih fondova, razvoj vodne infrastrukture danas je značajno intenziviran u odnosu na ranija razdoblja. Radi se mnogo, ali još uvijek ima puno prostora za bolju apsorpciju raspoloživih financijskih sredstava, što je veliki izazov za sve sudionike u upravljanju vodama - za državne institucije, za različite korisnike voda i zemljišta, za komunalna društva, za visokoškolske i znanstvene ustanove, te za projektantske i izvođačke tvrtke. U budućem razdoblju stoga je nužno jačanje stručnih kapaciteta na svim razinama.

Međunarodna vodnogospodarska suradnja nezaobilazan je čimbenik u održivom upravljanju vodama. Osim tradicionalne bilateralne suradnje sa susjednim državama, od velikog je značenja multilateralna suradnja na razini Europske komisije, na razini velikih međunarodnih slivova Dunava i Save, te na razini Sredozemnog mora.

U okviru konferencije bio je organiziran i okrugli stol na temu međunarodne suradnje u vodnom gospodarstvu.

Osim znanstvenika i stručnjaka iz Hrvatske, na sedmoj hrvatskoj konferenciji o vodama sudjelovali su i inozemni znanstvenici i stručnjaci, koji su iznosili iskustva iz svojih zemalja u upravljanju vodama. Radovi objavljeni u Zborniku radova pisani su na službenim jezicima konferencije, hrvatskom i engleskom jeziku. Nekoliko radova pisanih na bosanskom i srpskom jeziku objavljeno je u izvornicima i nisu prevedeni na hrvatski jezik.

Organizatori konferencije:

Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Hrvatsko biološko društvo, Hrvatsko društvo kemijskih inženjera, Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, Hrvatsko društvo za velike brane, Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Hrvatsko ekološko društvo, Hrvatsko geografsko društvo, Hrvatsko geološko društvo, Hrvatsko hidrološko društvo, Hrvatsko ihtiološko društvo, Hrvatsko meteorološko društvo, Hrvatsko tloznanstveno društvo, Hrvatska udruga za sanitarno inženjerstvo, Udruga za očuvanje hrvatskih voda i mora - Slap, Hrvatsko udruženje slatkovodnih ekologa.

Glavni tradicionalni suorganizator konferencije:

Hrvatske vode.

Visoki pokrovitelji konferencije:

- Predsjednica Republike Hrvatske gospođa Kolinda Grabar - Kitarović,
- Ministarstvo zaštite okoliša i energetike.

Počasni odbor konferencije:

- Tomislav Ćorić, ministar zaštite okoliša i energetike,
- Mario Šiljeg, državni tajnik u Ministarstvu zaštite okoliša i energetike,
- Elizabeta Kos, pomoćnica ministra u Ministarstvu zaštite okoliša i energetike,
- Zoran Đuroković, generalni direktor Hrvatskih voda,
- Davor Vukmirić, zamjenik generalnog direktora Hrvatskih voda,
- Valentin Dujmović, zamjenik generalnog direktora Hrvatskih voda.

Znanstveno - stručni odbor konferencije:

Danko Biondić - predsjednik, Roko Andričević, Marijan Babić, Darko Barbalić, Sanja Barbalić, Ranko Biondić, Zlatko Blažević, Gordana Bušelić, Irena Ciglencečki - Jušić, Ksenija Cindrić Kalin, Ivan Čanjevac, Marko Čaleta, Gorana Ćosić - Flajsig, Mate Dabro, Goran Granić, Danko Holjević, Bojana Horvat, Ivana Ivanković, Marko Josipović, Barbara Karleuša, Neven Kuspilić, Grozdan Kušpilić, Željko Linšak, Jure Margeta, Josip Marušić, Vladimir Mićović, Zlatko Mihaljević, Marko Miliša, Zoran Nakić, Maja Oštrić, Nevenka Ožanić, Mara Pavelić, Željko Pavlin, Mladen Petrićec, Anđelka Plenković - Moraj, Davor Romić, Marija Romić, Josip Rubinić, Siniša Širac, Marija Šperac, Lidija Tadić, Josip Terzić, Dušan Trninić, Tatjana Vlahović, Darija Vukić Lušić, Ranko Žugaj.

Organizacijski odbor konferencije:

Danko Holjević - predsjednik, Danko Biondić, Gorana Ćosić - Flajsig, Marko Filipović, Gordan Gašparović, Stjepan Kamber, Elizabeta Kos, Andrej Marochini, Ervino Mrak, Ivica Plišić, Ljiljana Vidmar Erjavac.

Zbornik radova sadrži 117 radova izloženih na 7. hrvatskoj konferenciji o vodama u oblicima usmenog izlaganja ili postera. Objavljene radove pripremila je ukupno 327 autora i koautora iz Hrvatske i inozemstva, od čega 286 autora i koautora iz Hrvatske (87 %)

i 41 autora i koautora iz inozemstva (13 %). Inozemni autori i koautori dolaze iz sljedećih 8 država (abecednim redom): Bosna i Hercegovina (7), Italija (3), Mađarska (3), Novi Zeland (1), Sjedinjene Američke Države (1), Slovenija (14), Srbija (11) i Velika Britanija (1). Sve radove osim referata po pozivu recenzirali su članovi Znanstveno - stručnog odbora konferencije. Radovi su podijeljeni u referate po pozivu, te u četiri znanstveno - stručne teme.

Referati po pozivu:

2 rada, urednik: Danko Biondić.

Tema 1.: Stanje voda i o vodi ovisnih ekosustava, hidrološki ekstremi i njihove posljedice, trendovi - padaline, kopnene površinske vode, podzemne vode, prijelazne vode i priobalno more

55 radova, recenzenti: Roko Andričević, Marijan Babić, Danko Biondić, Ranko Biondić, Gordana Bušelić, Irena Ciglencečki - Jušić, Ksenija Cindrić Kalin, Ivan Čanjevac, Mate Dabro, Bojana Horvat, Neven Kuspilić, Grozdan Kušpilić, Željko Linšak, Vladimir Mićović, Zlatko Mihaljević, Marko Miliša, Zoran Nakić, Maja Oštrić, Nevenka Ožanić, Mara Pavelić, Mladen Petrićec, Anđelka Plenković - Moraj, Josip Rubinić, Lidija Tadić, Josip Terzić, Dušan Trninić, Tatjana Vlahović, Darija Vukić Lušić, Ranko Žugaj.

Tema 2.: Sustavi uređenja i korištenja voda i zemljišta - stanje i razvojni projekti

41 rad, recenzenti: Roko Andričević, Marijan Babić, Darko Barbalić, Sanja Barbalić, Danko Biondić, Gorana Ćosić - Flajsig, Goran Granić, Danko Holjević, Ivana Ivanković, Marko Josipović, Barbara Karleuša, Neven Kuspilić, Jure Margeta, Josip Marušić, Zoran Nakić, Nevenka Ožanić, Željko Pavlin, Mladen Petrićec, Davor Romić, Marija Romić, Marija Šperac, Dušan Trninić.

Tema 3.: Sustavi javne vodoopskrbe, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda - stanje i razvojni projekti

11 radova, recenzenti: Danko Biondić, Zlatko Blažević, Barbara Karleuša, Željko Linšak, Jure Margeta, Mara Pavelić, Siniša Širac, Lidija Tadić, Ranko Žugaj.

Tema 4.: Vodna politika, obrazovanje, vodnogospodarsko planiranje, međunarodna suradnja i sudjelovanje javnosti

8 radova, recenzenti: Sanja Barbalić, Danko Biondić, Marko Čaleta, Neven Kuspilić, Jure Margeta.

Organizatori 7. hrvatske konferencije o vodama zahvaljuju Visokim pokroviteljima, članovima Počasnog odbora, glavnom tradicionalnom suorganizatoru, članovima Znanstveno - stručnog odbora, članovima Organizacijskog odbora, sponzorima, donatorima i svim ostalim sudionicima na njihovom doprinosu uspjehu konferencije.

Predsjednik Znanstveno - stručnog odbora 7. hrvatske konferencije o vodama

doc.dr.sc. Danko Biondić



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

REFERATI PO POZIVU

Urednik:

Danko Biondić



P 01.

RAZVOJNI INFRASTRUKTURNI PROJEKTI U VODNOM GOSPODARSTVU

Zoran Đuroković, Danko Biondić

SAŽETAK: Intenzivni razvoj prema zahtjevima europske pravne stečevine glavno je obilježje suvremenog vodnoga gospodarstva u Hrvatskoj. Ulažu se veliki naponi u pripremu i provedbu razvojnih projekata zaštite od poplava, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda, javne vodoopskrbe i navodnjavanja, koji su planirani dugoročnim strateškim, planskim i programskim dokumentima upravljanja vodama, a koji se sufinanciraju sredstvima iz različitih europskih fondova. U tim procesima kao investitori sudjeluju javni isporučitelji vodnih usluga za vodnokomunalne projekte i županije za projekte navodnjavanja, dok su za razvojne projekte zaštite od poplava isključivo odgovorne Hrvatske vode. Usprkos brojnim očekivanim i neočekivanim preprekama koje usporavaju željenu dinamiku pripreme i provedbe razvojnih projekata, pokrenuti proces postupno napreduje. Raspoloživa financijska sredstva iz europskih fondova usmjerena u vodnogospodarske projekte ujedno su od velikog značenja za oporavak, ne samo građevinskog sektora, nego i gospodarstva u cjelini. U radu je dan pregled trenutačnog stanja pripreme i provedbe razvojnih vodnogospodarskih projekata.

KLJUČNE RIJEČI: razvojni vodnogospodarski projekti, sustavi zaštite od poplava, sustavi odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda, sustavi javne vodoopskrbe, sustavi navodnjavanja, europski fondovi

INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT PROJECTS IN WATER MANAGEMENT

ABSTRACT: Intensive development according to the EU Acquis requirements is the main characteristic of contemporary water management in Croatia. Great efforts have been made to prepare and implement the development projects in the fields of flood protection, wastewater collection and treatment, public water supply and irrigation. These projects are planned within long-term strategical, planning and programming documents in the field of water management and cofinanced from different EU funds. In these processes, public water services providers are participating as investors into water utility projects, counties as investors into irrigation projects while flood protection development projects are the exclusive responsibility of Hrvatske vode. Regardless of numerous expected and unexpected obstacles that are slowing down the desired dynamics of the preparation and

implementation of the development projects, the initiated process is gradually progressing. The available financing from EU funds directed into water management projects is simultaneously of great importance both for the recovery of the construction sector and the economy in general. The paper presents an overview of the present status of the preparation and implementation of water management development projects.

KEYWORDS: water management development projects, flood protection systems, wastewater collection and treatment projects, public water supply systems, irrigation systems, european funds

1. UVOD

Hrvatske vode osnovane Zakonom o vodama (Narodne novine, br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14 i 46/18), pravna su osoba čija je djelatnost upravljanje vodama u Republici Hrvatskoj. Zadužene su za pripremu i provedbu razvojnih projekata zaštite od poplava, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda, javne vodoopskrbe i navodnjavanja, predviđenih dugoročnim strateškim, planskim i programskim dokumentima upravljanja vodama - Strategijom upravljanja vodama (Narodne novine, broj 91/08), Planom upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. (Narodne novine, broj 66/16), Višegodišnjim programom gradnje komunalnih vodnih građevina (Narodne novine, broj 117/15), Višegodišnjim programom gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije (Narodne novine, broj 117/15) i Nacionalnim projektom navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama. Godišnje aktivnosti Hrvatskih voda utvrđuju se Planovima upravljanja vodama koje donosi Upravno vijeće.

U tim procesima kao investitori sudjeluju javni isporučitelji vodnih usluga za vodnokomunalne projekte i županije za projekte navodnjavanja, dok su za razvojne projekte zaštite od poplava isključivo odgovorne Hrvatske vode. Hrvatske vode ujedno su zadužene za održavanje funkcionalnosti postojećih sustava zaštite od poplava i za provedbe operativnih mjera obrana od poplava.

Posljednjih desetak godina, a naročito u posljednje vrijeme, razvojni projekti su intenzivirani, kako bi se u zadanim vremenskim okvirima dosegli standardi upravljanja vodama propisani europskom pravnom stečevinom i kako bi se u što većoj mjeri iskoristila bespovratna financijska sredstva raspoloživa u europskim fondovima. Također se stalno povećavaju zahtjevi za sustavnim praćenjem stanja voda (monitoringom), terenskim istraživanjima, novelacijama planskih dokumenata i različitim izvješćivanjima.

Istovremeno se javljaju sve češće i intenzivnije velike vode i poplave, što zahtijeva znatno veće napore u redovitim održavanjima funkcionalnosti postojećih zaštitnih sustava i u operativnim obranama od poplava u odnosu na ranija razdoblja. U posljednje vrijeme nije bilo značajnijih suša, ali se zbog evidentnih klimatskih promjena i one trebaju očekivati, pa se i u tu svrhu intenzivno provode preventivne mjere, odnosno razvijaju se sustavi javne vodoopskrbe i navodnjavanja.

Navedeni izazovi okviri su u kojima danas djeluju Hrvatske vode, čije je djelovanje u posljednje vrijeme detaljnije opisano u ovom radu.

2. ZAŠTITA OD POPLAVA

2.1. Održavanje postojećih sustava i operativne obrane od poplava

Hrvatske vode upravljaju s više od 32.000 kilometara prirodnih vodotoka (10.203 km vodotoka I. reda i 21.905 km vodotoka II. reda), te s više od 30.000 kilometara melioracijskih kanala (6.595 km kanala I. i II. reda, te 24.281 km kanala III. i IV. reda). Sustav obrane od poplava čini i 4.100 kilometara obrambenih nasipa, 60 višenamjenskih akumulacija ukupnog volumena preko 1,0 milijarde m³, 44 brdske retencije, 3 velika odteretna kanala (Sava - Odra, Lonja - Strug, Kupa - Kupa), 2 spojna kanala (Zelina - Lonja - Glogovnica - Česma i Ilova - Pakra), 9 odvodnih tunela ukupne duljine 17,3 kilometara, 900 km lateralnih kanala, kao i velik broj manjih regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina.

Naravno, ovako veliki sustav zahtijeva i velike troškove održavanja. Kako ne bi došlo do zapuštanja sustava obrane od poplava i pogoršanja situacije vezano uz opasnosti od pojave poplava, Hrvatske vode u radove preventivne, redovne i izvanredne obrane od poplava ulažu na godišnjoj razini oko 700 milijuna kuna.

Veliku važnost u obrani od poplava Hrvatske vode pridaju očuvanju prostranih poplavnih područja u Republici Hrvatskoj, odnosno prirodnih retencija koje prihvaćaju velike količine poplavnih voda i na taj način smanjuju opasnost od pojave poplava. Zahvaljujući tradicionalnom načinu upravljanja u Republici Hrvatskoj imamo 5 velikih prirodnih retencija ukupnog volumena većeg od 2,0 milijardi m³ (Odransko polje, Lonjsko polje, Moko polje, Zelenik i Kopački rit).

Iznimna vrijednost sustava savskih retencija pokazala se i prilikom zadnjih provedbi mjera obrane od poplava tijekom ožujka 2018. godine. Ove retencije tada su zajedno prihvatile više od 1,6 milijardi m³ vode i na taj su način znatno doprinijele smanjenju rizika od pojave poplava i izravno utjecale na uspješnost provedbi mjera obrane od poplava. Potrebno je napomenuti kako je prošle godine izgradnjom i nadvišenjem južnog nasipa retencije Lonjsko polje dodatno povećan kapacitet retencije za 120 milijuna m³, što se pokazalo od iznimne važnosti tijekom ovih provedbi mjera obrane od poplava budući da je za dva do tri dana omogućeno dodatno akumuliranje, odnosno neispuštanje poplavnih voda iz retencijskog bazena Lonjskog polja neposredno uzvodno od Jasenovca, što je zasigurno spriječilo da vodostaji na području Jasenovca ne budu još i viši, od ionako rekordnih + 928 cm.

Još uvijek nam je svima u svježem sjećanju svibanj 2014. godine i katastrofalna poplava Županijske Posavine do koje je došlo uslijed proboja savskih nasipa na 2 mjesta, kod Rajevog Sela i kod Račinovaca.

Srećom, od tada nije bilo tako kritičnih situacija u provedbi mjera obrane od poplave, ali je zato potrebno spomenuti i provedbu mjera obrane od leda na rijekama Dravi i Dunavu tijekom siječnja 2017. godine. Naime, zbog izrazito niskih temperatura koje su se spustile i ispod - 20 °C došlo je prvo do pojave plovećeg leda, a zatim i do stvaranja ledostaja na pojedinim dionicama na rijeci Dravi i Dunavu. Izrazito nepovoljna situacija stvorila se na 10-ak kilometara dugoj dionici na rijeci Dunav uzvodno od Dalja do naselja Borovo. Na toj dionici rijeka Dunav bila je zaleđena u punom profilu, a na nekim mjestima led je bio deblji i od 1 metra, a mjestimice su formirane i ledene barijere debljine od 2 do 3 metra. Zbog stvaranja ledostaja došlo je do značajnog smanjenja proticajnog profila, te je

onemogućeno normalno protjecanje vode, što je dovelo do porasta vodostaja Dunava uzvodno od Dalja. Iz tog razloga, a na temelju međudržavnog sporazuma između Mađarske, Republike Hrvatske i Republike Srbije, odlučeno je da se na razbijanju leda i otvaranju proticajnog profila angažiraju mađarski ledolomci. Isti su tijekom 5 dana razbili led i uspostavili kontinuirani koridor na cijelom potezu kroz ledostaj u širini od najmanje 150 metara i na taj način ponovno omogućili normalni protok vode, što je ubrzo dovelo do opadanja vodostaja. Tako je uspješno spriječeno daljnje dizanje razine vodostaja i nastanak još većih ledenih barijera, te većih opasnosti i šteta ipak nije bilo. Tijekom razbijanja ledostaja i ledenih barijera došlo je i do značajnih oštećenja na mađarskim ledolomcima. Prethodna obrana od leda na našim najvećim rijekama Savi, Dravi i Dunavu provedila se 2012. godine.



Slika 1. Daljska krivina, 21. siječnja 2017. godine - Mađarski ledolamac razbija led

Također je potrebno spomenuti i iznimno opsežnu i uspješnu provedbu mjera obrane od poplava na području Karlovačke i Sisačko - moslavačke županije tijekom ožujka 2018. godine. Naime, početkom mjeseca ožujka 2018. godine došlo je do zatopljenja koje je uzrokovalo naglo topljenje velikih količina snijega palih tijekom veljače. Osobito velike količine snijega zabilježene su na području Velebita, Gorskog kotara i Like (Zavižan 238 cm, Delnice 172 cm, Plitvice 138 cm, Ogulin 110 cm, Slunj 90 cm, Gospić 70 cm, Karlovac 41 cm), a također velike količine snijega nalazile su se i na području sliva rijeke Une, kako u Republici Hrvatskoj tako i u Bosni i Hercegovini. Intenzivno topljenje snijega vrlo brzo je dovelo do zasićenja tla vodom i brzog otjecanja prema vodotocima. Iz tog razloga i uz dodatne količine kišnih oborina došlo je do ubrzanog porasta, prvo manjih bujičnih vodotoka na području Gorskog kotara i Like, a nakon toga i do porasta rijeka Like i Gacke, te Kupe, Korane, Mrežnice, Dobre, Gline, Sunje, Česme, Ilove, Une i na kraju rijeke Save. Za potrebe provedbi mjera obrane od poplava dodatno je izgrađeno više od 6 km privremenih nasipa od box barijera i 15-ak km privremenih zemljanih i zečjih nasipa od vreća, odnosno sveukupno je izgrađeno ili nadvišeno preko 21 kilome-

tar nasipa. Utrošeno je preko 10 km box barijera, 21.000 m³ pijeska, 13.500 m³ kamenog materijala te više od 650.000 vreća, od čega je gotovo 200.000 vreća ustupljeno na raspolaganje gradovima i općinama. Pri udarnom opterećenju u raznim aktivnostima pri provedbi mjera aktivne obrane od poplava zajedno je djelovalo i surađivalo više od 300 djelatnika Hrvatskih voda i licenciranih pravnih osoba za radove obrane od poplava, 500 pripadnika oružanih snaga Republike Hrvatske, te više od 600 pripadnika raznih vatrogasnih i policijskih postrojbi, HGSS-a, Crvenog križa, komunalnih službi i civilne zaštite te građana. Za potrebe obrane od poplava korištena je i brojna teška mehanizacija, od čega ukupno 38 bagera, 4 buldozera, 14 kombiniranih strojeva, 105 kamiona, 40-ak traktora i 30-ak čamaca. Izvršene su i brojne intervencije na zaštitnim i regulacijskim vodnim građevinama za potrebe osiguranja njihove stabilnosti, a ronionci su postavljali geomembrane za zaštitu od procjeđivanja nasipa. Poplavne vode većinom su se izlile samo u nebranjena područja, odnosno u prirodne retencije ili na područja na kojima ne postoji sustav obrane od poplava. Nažalost, poplavljene su i brojne poljoprivredne površine, velik broj lokalnih i županijskih prometnica, uključujući i državne ceste, kao i više desetaka stambenih i gospodarskih objekata pretežno na području Kosinja, ali i u Hrvatskoj Kostanjici te u vikend naseljima uz rijeku Kupu. Ipak, štete su bile minimalne s obzirom na prijetnju do sada nezabilježenih ogromnih količina vode u sustavu Srednjeg Posavlja koje su na kraju uspješno prihvaćene, akumulirane i sprovedene prema nizvodnom području.



Slika 2. Karlovac Logorište, ožujak 2018. godine - postavljeni privremeni sustav box barijera štiti prigradsko naselje Logorište od izlivanja poplavnih voda Korane i Mrežnice



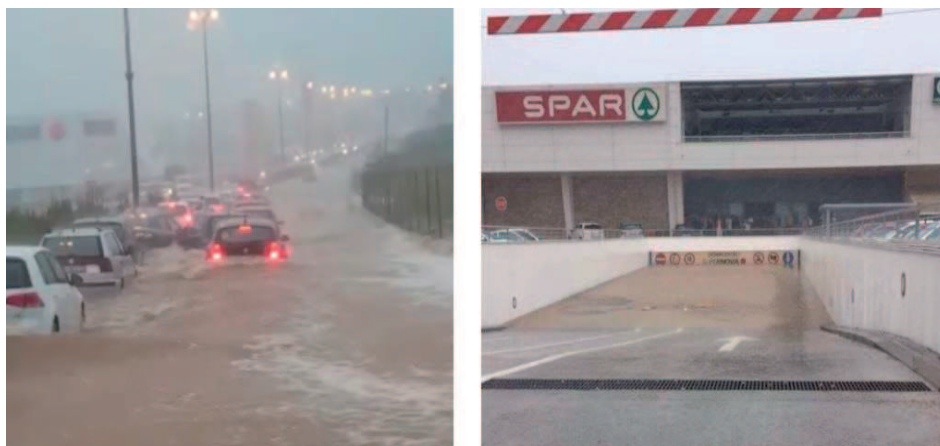
Slika 3. Postavljeni sustav box barijera u Karlovcu zadržava prodor 80-ak centimetara poplavnih voda rijeke Korane (ožujak 2018. godine)

Možemo zaključiti kako se u zadnjih 15-ak godina primjećuje sve veći efekt klimatskih promjena širom svijeta, ali isto tako i na području Republike Hrvatske. Sve učestalije se izmjenjuju ekstremno sušna i ekstremno kišna razdoblja. Naravno, sve to skupa se odražava i na hidrološke cikluse vodotoka tijekom godine te se događaju sve učestalije pojave velikih vodnih valova. Sve je manje tzv. „prosječnih“ ili „normalnih“ godina. Više gotovo da i nema nikakvih pravila za pojavu velikih vodnih valova i oni se mogu pojaviti u bilo kojem trenutku i u bilo kojem dijelu Republike Hrvatske i na taj način dodatno se povećava rizik od pojave poplava. Tako su tijekom zadnjih 15-ak godina na gotovo svim rijekama i vodomjernim postajama u Republici Hrvatskoj premašeni maksimalno zabilježeni vodostaji u povijesti (naravno otkad postoje službena mjerenja), uključujući i najnoviji na rijeci Savi u Jasenovcu u ožujku 2018. godine, koji je nadmašio stari maksimum iz davne 1970. godine za čak 21 centimetar.



Slika 4. Nadvišenje lijevog savskog nasipa za zaštitu naselja Mlaka kod Jasenovca (ožujak 2018. godine)

Također, u zadnje vrijeme sve je vidljiviji i očitiji fenomen tzv. „urbanih“ poplava. Republiku Hrvatsku, osobito njezin obalni i priobalni dio, sve češće pogađaju jaki intenzivni lokalni pljuskovi, odnosno događa se da u jako kratkom vremenu lokalno padne izuzetno velika količina kišnih oborina i u takvim situacijama većina postojećih sustava oborinske odvodnje nije u mogućnosti prihvatiti toliku količinu vode. U takvim trenucima gradske ulice se pretvaraju u bujice, a lokalne depresije se ispunjavaju vodom (primjer grada Zadra iz rujna 2017. godine).



Slike 5. i 6. Zadar, 11. rujna 2017. godine (Foto: Rade Popadić)

Poplave se definiraju kao prirodne pojave koje nije moguće u potpunosti spriječiti, ali se stalnim razvojem sustava obrane od poplava i gradnjom zaštitnih i regulacijskih vodnih građevina te provedbom mjera obrane od poplava, rizici od poplava mogu smanjiti na prihvatljivu razinu.

S obzirom na najave i dugoročne prognoze za očekivati je kako će se trend klimatskih promjena i izraženih hidroloških ekstrema nastaviti. Stoga je nužna prilagodba na navedene pojave, što zahtijeva žurnu sanaciju, rekonstrukciju i gradnju pojedinih dionica nasipa, kao i drugih regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina, uz daljnje unaprjeđenje provedbe mjera obrane od poplava i razvoja sustava obrane od poplava u cilju smanjenja rizika od pojave poplava i njihovih posljedica.

U tu svrhu Hrvatske vode pokrenule su projekte rekonstrukcije i ojačanja lijevoobalnih savskih nasipa na području Županijske Posavine, odnosno od državne granice s Republikom Srbijom do Stare Gradiške, te izgradnju cjelovitog sustava obrane od poplava na širem karlovačkom i sisačkom području, kao i zaštitu od poplava na području grada Ogulina. Hrvatske vode planiraju do 2023. godine iskoristiti svih raspoloživih 150 milijuna eura iz EU fondova za potrebe unaprjeđenja sustava obrane od poplava, odnosno zaštite ljudi i njihove imovine od pojave poplava.

Također postoji potreba daljnjeg unaprjeđenja međudržavne vodnogospodarske suradnje putem boljeg obavještanja i zajedničkog razvoja novih hidroloških modela u cilju uspješnijeg prognoziranja, praćenja i evakuacije vodnih valova, te pravovremene pripreme i provedbe mjera obrane od poplava na ugroženim područjima.

Osim daljnjeg ulaganja u gradnju novih i rekonstrukciju postojećih sustava obrane od

poplava, nužno je i nadalje unaprjeđivati neposrednu provedbu mjera obrane od poplava unutar sustava vodnoga gospodarstva, te razvijati suradnju sa svim drugim sudionicima koji se putem stožera ZiS-a i DUZS-a po potrebi uključuju u provedbu mjera obrane od poplava (Oružane snage, vatrogasne i policijske postrojbe, civilna zaštita, HGSS, Crveni križ i drugi).

Možemo zaključiti kako je za učinkovitu zaštitu od poplava neophodna suradnja svih nadležnih tijela u sustavu zaštite i spašavanja, uključujući jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave i Državnu upravu za zaštitu i spašavanje koja je prema Državnom planu obrane od poplava nositelj temeljnih ovlasti na području zaštite od katastrofa i velikih nesreća, uključujući i one uslijed poplava i putem koje se omogućava uključivanje i sudjelovanje svih ostalih službi i resursa u obranu od poplava.

2.2. Razvojni EU projekti u realizaciji i pripremi

U okviru Prioritetne osi 5: Klimatske promjene i upravljanje rizicima, Investicijskog prioriteta 5b: Promicanje ulaganja koja se odnose na posebne rizike, osiguranje otpornosti na katastrofe i razvoj sustava za upravljanje katastrofama, specifičnog cilja 5b1, alocirano je ukupno 215 milijuna eura od čega je 150 milijuna eura primarno namijenjeno projektima zaštite od štetnog djelovanja voda (projekti zaštite od poplava). Riječ je o pet projekata kojima bi se, provedbom negrađevinskih i građevinski mjera, djelovalo na razvoj i jačanje sustava upravljanja poplavnim rizicima (sprječavanje, zaštitu i pripravnost).

POZIV	NAZIV	IZNOS	STATUS	
1	2	3	4	
KK.05.2.1.01	Priprema studijske dokumentacije za projekte upravljanja rizicima od poplava	38.099.375	Završen	•
KK.05.2.1.06	Modernizacija lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške	369.744.025	Provedba	•
	Projekt zaštite od poplava grada Ogulina	183.519.600	Poziv	•
	Projekt unaprjeđenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj	353.049.774	Poziv	•
	Projekt zaštite od poplava karlovačko - sisačkog područja	900.287.000	Priprema	•

Slika 7. Pregled statusa poziva

„Priprema studijske dokumentacije za projekte upravljanja rizicima od poplava“

U okviru provedbe ovog Projekta izrađeno je 15 kompleta studijske dokumentacije za pripremu projekata zaštite od poplava za financiranje iz EU fondova na sljedećim slivovima: sliv Kupe, sliv Rječine, sliv Bednje, sliv Karašice - Vučice, sliv Krapine, sliv donje Neretve, sliv Plitvice, sliv Bednje, sliv sjevernog zagrebačkog prisavlja, sliv Orljave, sliv Županijski kanal, sliv Mirne, sliv polja Rastok i Vrgorskog polja, kao i za pripremu EU projekta modernizacije lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške, pripremu projekta unaprjeđenja sustava zaštite od poplava na rijeci Savi od granice s Republikom Slovenijom do ušća Trnave, te pripremu studijske dokumentacije za projekt unaprjeđenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj.

Svaki od projekata sadržava, odnosno obuhvaća, složena hidrološko - hidraulička modeliranja i analize sa izradom karata opasnosti od poplava, evaluaciju šteta sa izradom karata ranjivosti te izračunom rizika odnosno prosječne godišnje štete od poplava, obradu varijantnih rješenja smanjenja rizika od plavljenja te odabir optimalne varijante uz izradu studije izvedivosti kojom je dokazuje ekonomska, ekološka i tehnička izvedivost optimalnog rješenja.

„Modernizacija lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške“

Studijska dokumentacija koja je izrađena u okviru prethodno navedenog projekta „Priprema studijske dokumentacije za projekte upravljanja rizicima od poplava“ bila je podloga za prijavu i odobrenje projekta „Modernizacija lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške“ u okviru OPKK 2014. - 2020.

Paralelno, u isto vrijeme, uz poštivanje procedura prijave i odobravanja Projekta, provodili su se i postupci pripreme Projekta za provedbu: izrada projektne dokumentacije potrebne za ishođenje dozvola, ishođenje dozvola, rješavanje imovinsko pravnih odnosa, provedba postupaka javne nabave za nabavu radova i usluge nadzora i drugo.

Projekt na razmatranoj dionici ukupne duljine 236,7 km od Račinovaca do Nove Gradiške predviđa hitne „no regret“ mjere povećanja sigurnosti nasipa i zaobalja izgradnjom zaobalnih bermi sa plošnim drenovima i servisnim putovima. Od ukupno analiziranih 236,7 km nasipa, provedbom mjera na dionicama u dužini 172,5 km postići će se ujednačena razina sigurnosti od prodora nasipa uslijed hidrauličkog sloma temeljnog tla te direktan pristup nasipu u cilju provedbe mjera obrane od poplava i učinkovitijeg održavanja samog nasipa.

U svibnju 2017. godine započela je izgradnja na dvije najugroženije dionice nasipa, na dionici od državne granice s Republikom Srbijom do CS Konjuša (duljina oko 10,2 km) u Vukovarsko srijemskoj županiji i dionici od Klakara do Ruščice (duljina oko 5 km) u Brodsko posavskoj županiji. Izvođenje radova na dionici Klakar - Ruščica je dovršeno krajem 2018. godine, uspješno je proveden tehnički pregled građevine i ishođena je uporabna dozvola. Do kraja svibnja 2019. godine očekuje se završetak izgradnje na dionici od državne granice sa Republikom Srbijom do CS Konjuša.

Po provedenim postupcima javne nabave, potpisanim ugovorima, trenutno su u provedbi radovi na šest (6) dionica u Vukovarsko srijemskoj i Brodsko posavskoj županiji, ukupne dužine 108 km i ukupne vrijednosti od oko 196 milijuna kuna. Riječ je o dionicama CS Konjuša - Topola, Jaruge - Svilaj, Zadubravlje - Klakar - Ruščica, Topola - Županja, Slavonski Brod zapad - Dubočac i Dubočac - Lužani. U tijeku je nastavak aktivnosti na ishođenju građevinskih dozvola, te provedbi dva (2) postupka javne nabave na preostalim dionicama (grad Županja, Županja - Štitar, Babina Greda - Slavonski Šamac, Babina Greda, Slavonski Šamac, Slavonski Brod zapad, Pričac - Davor - Orubica, Savonski Šamac - Jaruge, Dolina - Mačkovac - Nova Gradiška, Svilaj - Bicko Selo, UPOV Slavonski Brod, Lužani - Pričac i dionica u Davoru) kako bi do kraja ove godine sva gradilišta predviđena Projektom bila aktivna.



Slike 8., 9. i 10. Modernizacija lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške

„Zaštita od poplava grada Ogulina“

Studijska dokumentacija koja je izrađena u okviru projekta „Priprema studijske dokumentacije za projekte upravljanja rizicima od poplava“ bila je podloga za prijavu projekta „Projekt zaštite od poplava grada Ogulina“.

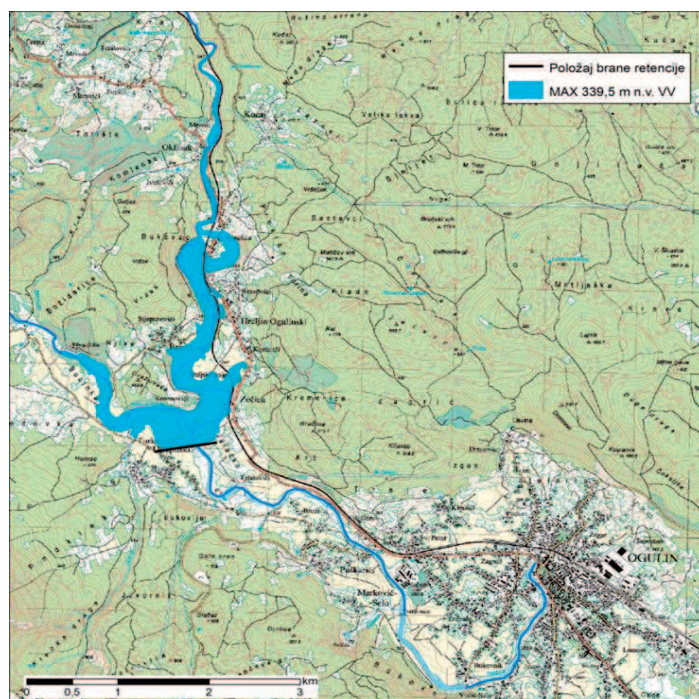
U području obuhvata zahvata nalazi se više prostorno - infrastrukturnih ograničenja, od kojih su najznačajnije: željeznička pruga Zagreb - Rijeka od km 538 + 000 do km 542 + 000, te pastrvski ribnjak na lijevoj obali desnog pritoka rijeke Dobre, Vitunjčici, u km 2 + 300. Projektno rješenje retencije Ogulin s pripadajućim građevinama sadrži stoga, uz tehničko rješenje pregradnog profila retencije (nasute brane s evakuacijskim objektima) i tehničke mjere zaštite ostalih ugroženih objekata i uređenje predmetnog prostora.

Planirano je izgradnju cjelokupnog zahvata retencije Ogulin s pripadajućim građevinama izvesti po slijedećim fazama, odnosno tehničkim cjelinama:

Faza 1 - radovi na pregradnom mjestu retencije obuhvaćaju izgradnju evakuacijskih građevina te izgradnju pristupnih prometnica,

Faza 2 - izgradnja zaštitnih građevina željezničke pruge uz retencijski prostor, podrazumijeva izgradnju zaštitnih AB zidova, izvedbu obloge nasipa željezničke

- pruge, izgradnju potpornih zidova i betonske konstrukcije te izvedbu zaštite i izmještanja postojeće opreme HŽI,
- Faza 3 - izgradnja zaštitnog objekta ribnjaka na rijeci Vitunjčici podrazumijeva izgradnju zaštitnih zidova na ribnjaku,
- Faza 4 - izgradnja brane retencije Ogulin s pripadajućim objektima podrazumijeva izgradnju nasute brane.



Slika 11. Zaštita od poplava grada Ogulina

Osim prethodno navedenih temeljnih faza izgradnje retencije Projekt obuhvaća izgradnju pristupne ceste prema Brestovcu Ogulinskom, izmještanje magistralnog vodoopskrbnog cjevovoda izvan tijela brane, izmještanje HEP infrastrukture (SN I VN dalekovoda i opskrbe mreže te trafostanice) kao i pripremu studijske i projektne dokumentacije za projekt “Zaštita grada Ogulina od poplava 2”: usluge provedbe istražnih radova, varijantnih rješenja, studije o utjecaju na okoliš, idejnih projekata te studije izvedivosti za projekt Zaštita grada Ogulina od poplava 2.

„Projekt zaštite od poplava karlovačko - sisačkog područja“

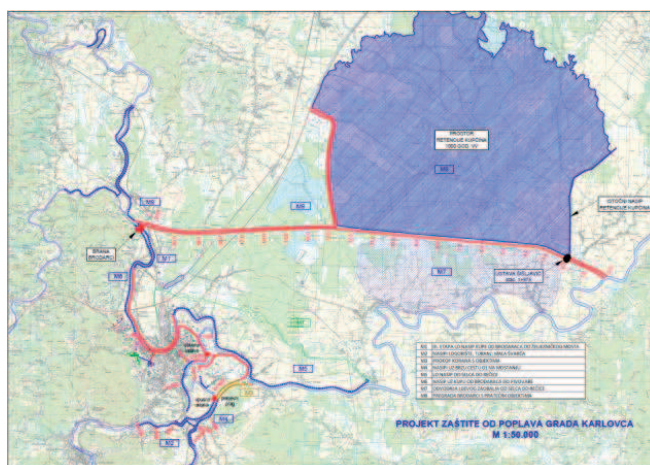
Studijska dokumentacija koja je izrađena u okviru Projekta „Priprema studijske dokumentacije za projekte upravljanja rizicima od poplava“ - “Izrada studijske dokumentacije za pripremu projekata zaštite od poplava na slivu Kupe iz EU fondova, Studija izvedivosti za područje sliva rijeke Kupe“ predstavlja podlogu za prijavu projekta prema OPKK 2014. - 2020.

Procijenjena vrijednost Projekta je oko 900 milijuna kuna, od čega se na karlovačko područje odnosi oko 670 milijuna kuna, a na sisačko područje oko 230 milijuna kuna. Projektom „Sustav obrane od poplava rijeke Kupe - karlovačko i sisačko područje“ predviđena je gradnja i/ili rekonstrukcija slijedećih zaštitnih i regulacijskih vodnih građevina: 111,24 km nasipa, rekonstrukcija 38 km nasipa, gradnja 2,1 km prokopa Korana - Kupa, gradnja najmanje 6 km AB zaštitnih zidova, gradnja najmanje 4,6 km obaloutvrda, gradnja 6 crpnih stanica, gradnja pregrade Brodarci, gradnja četiri ustave (dvi-je na prokopu Korana, na kanalu Kupa - Kupa i na sustavu unutarnje odvodnje Selce/ Rečica), gradnja oko 26 km kanala unutarnje odvodnje te povećanje aktivne zapremine retencije Kupčina.

Obuhvat projekta je podijeljen na karlovačko i sisačko područje, u okviru kojih su definirane Mjere (potprojekti) koje se planiraju provesti u svrhu zaštite područja od poplava na slivu rijeke Kupe.

KARLOVAČKO PODRUČJE

- Mjera 1 - Lijevoobalni nasip Kupe od željezničkog mosta do Brodaraca (III. etapa),
- Mjera 2 - Nasipi uz Koranu i Mrežnicu uzvodno od ušća za zaštitu naselja Mala Švarča, Logorište i Turanjski Poloj,
- Mjera 3 - Prokop Korana Kupa,
- Mjera 4 - Nasipi uz Koranu i Mrežnicu vezani uz izgradnju brze ceste kroz Karlovac
- Mjera 5 - Lijevoobalni nasip Kupe od Selca do Rečice,
- Mjera 6 - Desnoobalni nasip Kupe od Brodaraca do Pivovare,
- Mjera 7 - Odvodnja lijevog zaobalja od Selca do Rečice,
- Mjera 8 - čvor Brodarci sa pratećim objektima na kanalu Kupa - Kupa, Kupi, Dobri i retencija Kupčina.



Slika 12. Zaštita od poplava karlovačkog područja

SISAČKO PODRUČJE

- Mjera 9 - Nasipi na sisačkom području - Zaštita naselja uz lijevu i desnu obalu Kupe nizvodno od Jamničke Kiselice,
 Mjera 9/1 - Nasipi na sisačkom području - dionica Staro Pračno - Stara Drenčina,
 Mjera 9/2 - Nasipi na sisačkom području - nasipi uz Kupu,
 Mjera 10 - Nasipi u Odranskom polju - Zaštita naselja uz rijeku Odru i u Odranskom polju.



Slika 13. Zaštita od poplava sisačkog područja

PODRUČJE ZAGREBAČKE ŽUPANIJE

- Mjera 11 - Nasipi u Odranskom polju - Transverzalni nasip.

Zbog značaja i kompleksnosti te omogućavanje brže realizacije projekta donesen je poseban zakon koji se odnosi na konkretni projekt, te je sam projekt proglašen strateškim:

- **Zakon o projektu zaštite od poplava u slivu rijeke Kupe** donio je Hrvatski sabor na sjednici 14. prosinca 2018. godine, te je isti stupio na snagu 4. siječnja 2019. godine.
- Za dio Projekta koji se odnosi na karlovačko područje je Vlada Republike Hrvatske na sjednici održanoj 6. prosinca 2018. godine donijela **Odluku o proglašenju projekta „Projekt zaštite od poplave Grada Karlovca“ strateškim investicijskim projektom Republike Hrvatske.**

Veliki izazov pri realizaciji ovog Projekta su izvlaštenja i otkupi za oko 15.000 čestica iz razloga kompleksnosti i dužine trajanja postupaka rješavanja imovinsko-pravnih odnosa. Donošenjem navedenog zakona, kao i proglašenjem projekta strateškim omogućeno je ubrzanje pripremnih aktivnosti potrebnih za početak same realizacije projekta.

U tijeku je gradnja lijevoobalnog nasipa Kupe od željezničkog mosta do Brodaraca (III. etapa).



Slika 14. Novoizgrađeni lijevoobalni nasip rijeke Kupe od željezničkog mosta do Brodaraca

„Projekt unaprjeđenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u RH“ - Vodno Ekološko Praćenje Analize i Rješenja (VEPAR)

Studijska dokumentacija koja je izrađena u okviru projekta „Izrada studijske dokumentacije za projekt unaprjeđenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj“ predstavlja podlogu za prijavu projekta prema OPKK 2014. - 2020.

Optimalna mjera projekta sastoji od provedbe negrađevinskih mjera smanjenje rizika od poplava na cjelokupnom teritoriju Republike Hrvatske kroz provedbu slijedećih aktivnosti: prikupljanje i analiza podataka neophodnih za upravljanje rizicima od poplava, unaprjeđenje studijskih i modelskih osnova, unaprjeđenje sustava za prognoziranje poplava, unaprjeđenje sustava za hidrološko praćenje površinskih voda, unaprjeđenje sustava za praćenje i održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina (RIZVG), nabavu opreme za obranu od poplava, te unaprjeđenje sustava za informiranje javnosti i educiranje dionika te ustrojavanje Centralnog objekta za upravljanje rizicima od poplava.

Po provedenim prethodnim aktivnostima, analizirati će se ostvarena dostignuća te napraviti prijedlog provedbe II. faze programa radova.

„Program suradnje INTERREG V A Slovenija - Hrvatska“ (FRISCO1, FRISCO 2.1, FRISCO 2.2, FRISCO 2.3)

Osim negrađevinskih i građevinskih projekata upravljanja rizicima od poplava koji se i koji će se sufinancirati iz EU fondova, u tijeku je i provedba projekata sufinanciranih iz EU programa prekogranične suradnje. U suradnji sa nadležnim institucijama iz Republike Slovenije, u tijeku je provedba strateškog projekta „Flood Risk Slovenia-Croatia Operations 1“ (FRISCO1) ukupne vrijednosti od oko 4 milijuna eura sufinanciranog iz Programa suradnje INTERREG V A Slovenija - Hrvatska 2014. - 2020.

Kroz ovaj projekt provode se negrađevinske mjere upravljanja rizicima od poplava na šest prekograničnih riječnih slivova od zajedničkog interesa (slivovi Kupe, Sutle i Bregane, dijelovi slivova Drave, Mure i Dragonje) odnosno priprema studijsko - projektne dokumentacije za izgradnju prioriteta građevinskih mjera ukupne vrijednosti

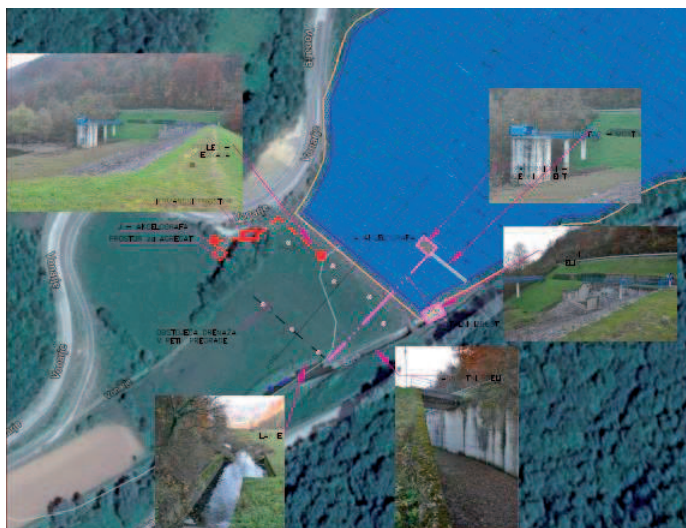
od oko 8 milijuna eura uz sufinanciranje iz istog programa kroz nastavne strukturne strateške projekte akronima FRISCO2.

Zajedničkom radom i suradnjom projektnih partnera Republike Hrvatske i Republike Slovenije projekt FRISCO1 doveden je gotovo pred sam kraj provedbe, rezultirao je izradom hrvatsko - slovenskih hidrografskih atlasa predmetnih riječnih slivova, hidrauličkim modelima, poboljšanim prognostičkim modelima, bilateralno usklađenim kartama opasnosti i rizika od poplava, Studijama izvedivosti za kratkoročne mjere te u konačnici Studijama o prekogranično usklađenom upravljanju rizicima od poplava.

Temeljem Studija izvedivosti pristupilo se izradi projektne dokumentacije koja je urodila ishodenjem građevinskih dozvola te prijavom projekta za EU financiranje.

Projektni partneri Republika Hrvatska i Republika Slovenija uspješno su prijavili 7 građevinskih projekata na rijekama Sutli, Muri, Dravi i Kupi.

Interdisciplinarnost i duh prekogranične suradnje izravno se potiče i (nužno) ostvaruje u međusobnoj suradnji i isprepletenosti u provedbi pojedinih aktivnosti kroz rad institucija obje države u vlastitom doprinosu.



Slika 15. FRISCO 2.1 Modernizacija i nadgradnja pregrade Vonarje (ukupno HV + DRSV oko 1.700.000 eura; RH dio oko 11 milijuna kuna)

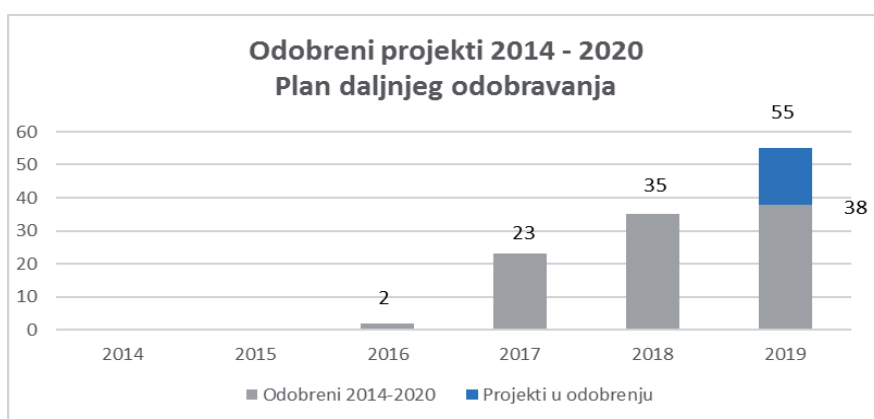


Slika 16. FRISCO 2.3 Rekonstrukcija nasipa Otok Virje - Brezje (oko 25 milijuna kuna)

3. VODNO-KOMUNALNI PROJEKTI

Republika Hrvatska korisnik je sredstava fondova Europske unije već dugi niz godina, gdje se ulaskom u EU koriste financijska sredstva putem Strukturnih i kohezijskih fondova. Operativni program Konkurentnost i kohezija 2014. - 2020. predstavlja novi okvir za nastavak sufinanciranja projekata sektora voda, iz kojeg se između ostalog, mogu sufinancirati projekti sektora voda iz prioriteta 6: Zaštita okoliša i promicanje učinkovitosti resursa, odnosno Specifičnih ciljeva 6i1 i 6i2, gdje je alocirano ukupno 1.049.340.216 eura koji se u cijelosti odnose na projekte vodno-komunalne infrastrukture.

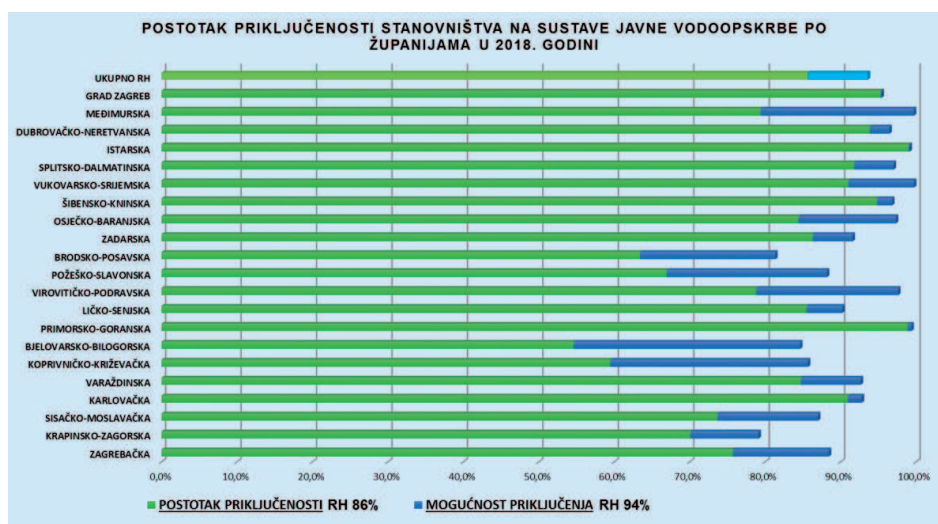
Do danas je upućeno ukupno 55 poziva na dostavu prijedloga projekata, od čega je donesena odluka o financiranju za ukupno 38 projekata ukupno prihvatljivih troškova u iznosu od 11,50 milijardi kuna (101,67 % alokacije), dok se preostalih 17 projekata s pozivom na dostavu prijedloga projekata nalaze u različitim fazama pregleda i ocjene.



Slika 17. Odobreni projekti 2014. - 2020.

3.1. Javna vodoopskrba

Osiguranje dovoljnih količina pitke vode za opskrbu stanovništva je jedan od važnijih ciljeva upravljanja vodama. Trenutno u Republici Hrvatskoj mogućnost priključenja na sustav javne vodoopskrbe ima 94 % stanovništva, dok postotak priključenosti iznosi 86 %.



Slika 18. Postotak priključenosti stanovništva na sustave javne vodoopskrbe

Ulaganja u obnovu i razvitak vodoopskrbnih sustava su temelj razvoja vodoopskrbe u Republici Hrvatskoj i ona trebaju osigurati racionalno korištenje vodnih resursa, sigurnost u vodoopskrbi i ekonomično poslovanje javnih isporučitelja vodnih usluga.

U svrhu stvaranja uvjeta kvalitetnog praćenja i gospodarenja, te racionalnog i tehnički korektnog razvoja vodoopskrbnih sustava, glavni ciljevi koji se nastoje postići projektima, odnosno primjenom Direktive o vodi za piće su poboljšati kakvoću vode za ljudsku potrošnju, povećati mogućnost priključenja na sustav javne vodoopskrbe te smanjiti gubitke vode u sustavu.

Gubici vode u javnim vodoopskrbnim sustavima Republike Hrvatske iznose prosječno 50 %, te predstavljaju velik problem. Financiranje programa, pripadajućih projekata i aktivnosti smanjenja gubitaka vode u javnim vodoopskrbnim sustavima koji se generiraju u značajnim količinama u Republici Hrvatskoj predstavlja prioritet s obzirom na smanjenje pritiska na vodna tijela te ima za cilj dugoročno uspostavljanje održivog upravljanja vodoopskrbnim sustavima. Slijedom navedenog Hrvatske vode su u 2018. godini započele sa Programom sanacije gubitaka i osigurale 100 milijuna kuna, od čega je realizirano oko 30 milijuna kuna. I u 2019. godini osigurano je 100 milijuna kuna za program sanacije gubitaka. Ciljevi ovog programa su: smanjenje neprihodovane vode sa 50 % na 25 %; dovođenje pojedinačno svih javnih isporučitelja vodnih usluga (naročito slabijih) na primjerenu tehnološku razinu uz sukcesivno okrupnjavanje u sklopu uslužnih područja; povrat investicije za 10 godina; jediničnu vrijednost gubitaka unutar sustava smanjiti sa prosječnih 0,4 na 0,2 m³/h/km. Temeljne mjere i aktivnosti su kvalitetno upravljanje sus-

tavom, izrada tehničke dokumentacije, kontrola tlaka, brza sanacija kvara, te rekonstrukcija mreže.

Realizacija programa se planira kroz 10 godina, a ukupna vrijednost investicije je 1,8 milijardi kuna.

Pri ulaganju rukovodi se načelom da se ravnomjerno ulaže u sve sredine, a naročito u slabije razvijene krajeve gdje jedinice lokalne samouprave ne mogu same financirati izgradnju vodoopskrbe, zatim da se planiranim sredstvima postignu što veći učinci, odnosno da ulaganja budu u tehnološke cjeline, te da se završe započeti objekti iz ranijeg razdoblja, a da se istovremeno sva tehnička rješenja uklupe u dugoročni plan razvoja. U razdoblju 2016. - 2018. godine Hrvatske vode izdvojile su preko 430 milijuna kuna izvornih sredstava za programe obnove i razvitka vodoopskrbe, dok se za 2019. godinu planira oko 217,5 milijuna kuna, dakle ukupno oko 645 milijuna kuna. Svakako je za istaknuti da su nositelji projekata javni isporučitelji vodnih usluga, a udjeli Hrvatskih voda u sufinanciranju su uglavnom 80 %, pa ukupni iznos investicija prelazi 770 milijuna kuna. Hrvatske vode su značajno pomogle prilikom problema vezanih uz zagađenje na vodocrpilištu Jelas u Slavonskom Brodu, gdje su financirale interventne mjere, odnosno opremanje tri nova zdenca na vodocrpilištu Sikirevci, te izgradnju magistralnog cjevovoda promjera 700 mm i duljine 2,2 km, ukupne vrijednosti od oko 20 milijuna kuna.

Na vinkovačkom području smo sufinancirali izgradnju magistralnih cjevovoda, opremanje zdenaca, spajanje na Regionalni vodoopskrbni sustav Istočne Slavonije s oko 15 milijuna kuna, te ujedno pomogle riješiti problem arsena u vodi za ljudsku potrošnju na području Komletinaca.



Slike 19. i 20. Izgradnja magistralnog cjevovoda promjera 700 mm u Sikirevcima

Radovi na izgradnji uređaja za desalinizaciju bočate vode na otoku Unijama započeti su krajem 2016. godine te su završeni u studenom 2017. godine, čime je omogućena veća distribucija pitke vode tijekom ljetnih mjeseci, te se voda za vodoopskrbu više neće mora-

ti dovoziti vodonoscima kao do tada. Ukupna vrijednost ulaganja Hrvatskih voda iznosila su oko 4,1 milijuna kuna.

Za dovod vode na otok Mljet bilo je potrebno izgraditi cjevovod na Pelješcu od VS Janjina preko Žuljane do uvale Kupjenova duljine 10,8 km te VS Straža na Mljetu volumena 1.000 m³ sa spojnim cjevovodom duljine 4,3 km, a radovi na Mljetu, ukupne vrijednosti od oko 10 milijuna kn su započeli 2016. godine. Usporedno s izgradnjom spomenutih vodoopskrbnih objekata, na području Nacionalnog parka Mljet građen je razvodni cjevovod za naselja Goveđari i Babine kuće duljine 9,3 km, a vrijednost izvedenih radova je oko 4,3 milijuna kn. Svi navedeni radovi su dovršeni polovicom 2018. godine.

Na području općine Plitvička jezera u sklopu kojih je i Nacionalni park Plitvička jezera za izgradnju mreže utrošeno je oko 3,5 milijuna kuna, dok je za mjere iz Programa sanacije gubitaka predviđeno dodatnih 5 milijuna kuna kako bi se osigurale dodatne količine vode u ljetnim mjesecima kada su zbog povećanih turističkih kapaciteta potrebe najveće.

EU projekti vodoopskrbe

Od ukupno 38 odobrenih EU projekata, dva projekta su projekti vodoopskrbe, čija vrijednost prihvatljivih troškova iznosi oko 782 milijuna kuna:

1. Regionalni vodoopskrbni sustav OSIJEK - FAZA II

Ukupna vrijednost projekta je oko 93 milijuna kuna. Ukupni prihvatljivi troškovi procjenjuju se na oko 75 milijuna kuna (oko 56 milijuna kuna bespovratna sredstva, odnosno 74,79 % iznosa prihvatljivih troškova). Planirani završetak projekta je travanj 2020. godine.

Projekt se sastoji od 6 projektnih elemenata:

- Izgradnja i rekonstrukcija magistralnih i distributivnih vodovodnih cjevovoda, te objekata sustava javne vodoopskrbe RVS Osijek,
- Dogradnja postrojenja za pripremu pitke vode Dalj,
- Uspostava GIS sustava te program upravljanja gubicima,
- Usluge stručnog nadzora,
- Upravljanje projektom,
- Promidžba i vidljivost.

2. Regionalni vodoopskrbni sustav ZAGREB ISTOK

Ukupna vrijednost projekta je oko 884 milijuna kuna. Ukupni prihvatljivi troškovi procjenjuju se na oko 707 milijuna kuna (oko 484 milijuna kuna bespovratna sredstva, odnosno 68,44 % iznosa prihvatljivih troškova), što ovaj projekt klasificira kao veliki. Planirani završetak projekta je ožujak 2023. godine.

Projekt se sastoji od 11 projektnih elemenata:

- Izgradnja vodocrpilišta Kosnica,
- Izgradnja osnovnog dobavnog sustava,
- Vodoopskrbni sustav Dugo Selo,
- Vodoopskrbni sustav Ivanić Grad,
- Vodoopskrbni sustav Vrbovec,

- Vodoopskrbni sustav Sveti Ivan Zelina,
- Nadzorno upravljački sustav,
- Nadzor,
- Promidžba i vidljivost,
- Upravljanje projektom,
- Oprema.

3.2. Odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda

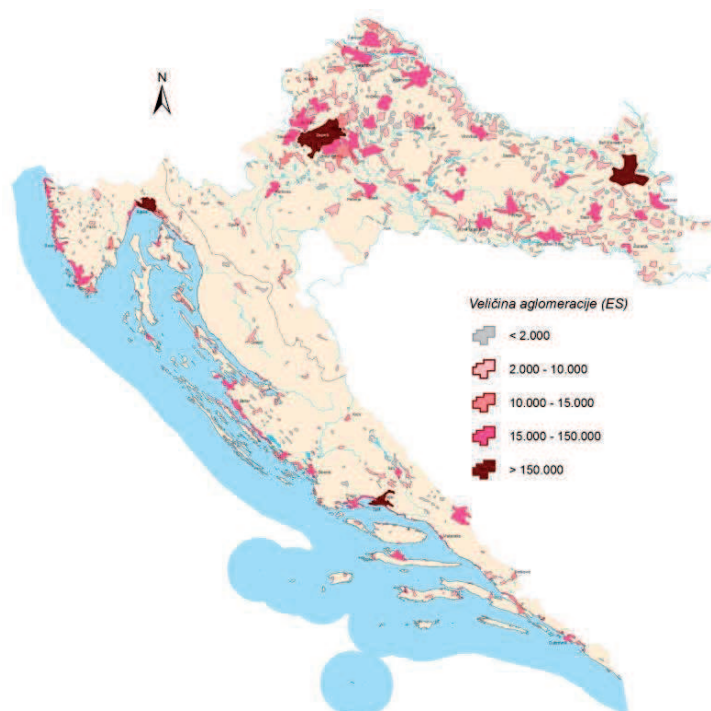
U cilju ostvarenja prioritetnih obveza na području odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda, odnosno zahtjeva Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda u smislu obveze prikupljanja i pročišćavanja komunalnih otpadnih voda zahtijevanim razinama pročišćavanja te ispunjenju ciljeva Okvirne direktive o vodama u pogledu postizanja dobrog stanja voda, odnosno postavljenih ciljeva okoliša, Republika Hrvatska je pokrenula širi investicijski ciklus pojačanog razvoja infrastrukture odvodnje i pročišćavanja komunalnih otpadnih voda. Predmetna ulaganja u infrastrukturne građevine mreže prikupljanja i uređaje za pročišćavanja otpadnih voda potrebna su za provedbu osnovnih mjera Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda u 265 aglomeracija većih od 2.000 ES, te u dodatnih 485 manjih aglomeracija uz provedbu potrebnih dopunskih mjera na dijelu većih aglomeracija u svrhu ispunjenja zahtjeva Okvirne direktive o vodama. Uspješnom provedbom ovog programa Republika Hrvatska bi uz potrebu potpune provedbe i ostalih neophodnih mjera ispunila svoje preuzete obveze, istina s određenim zakašnjenjem u odnosu na rokove utvrđene Ugovorom o pristupanju Republike Hrvatske EU do kojeg je došlo zbog kašnjenja u provedbi potrebnih strukturnih reformi te povezanih kašnjenja u pripremi i realizaciji projekata financiranih EU sredstvima. S obzirom na iznimno visoka potrebna sredstva, koja prema posljednjem Planu provedbe pripremljenom u sklopu izrade Izvješća o ispunjenju obveza Direktive iz prošle godine, iznose 2,83 milijarde eura i koja Republika Hrvatska ne može samostalno osigurati, neophodno je osigurati dostatna sredstva bespovratnog sufinanciranja iz fondova EU. Bez EU sredstava provedba ovog strateškog programa nije moguća, jer bi došlo do značajnog probijanja objektivno prihvatljive granice priuštivosti, te ugrožavanja ostalih životnih potreba stanovništva Republike Hrvatske.

Osjetljivost	Veličina aglomeracije (ES)				
	2.000-10.000	10.000-15.000	15.000-50.000	50.000-150.000	>150.000
Crnomorski sliv - osjetljivo područje	sekundarno pročišćavanje	naprednije pročišćavanje	naprednije pročišćavanje		naprednije pročišćavanje
	31.12.2023.	31.12.2020.	31.12.2018.		31.12.2018.
Jadranski sliv - osjetljivo područje (ispuštanje na kopnu i na dijelu osjetljivog mora)	sekundarno (ili odgovarajuće*) pročišćavanje	naprednije pročišćavanje	naprednije pročišćavanje		naprednije pročišćavanje
	31.12.2023.	31.12.2020.	31.12.2018.		31.12.2018.
Jadranski sliv - područje „normalnog mora“	odgovarajuće pročišćavanje	sekundarno pročišćavanje	sekundarno pročišćavanje	sekundarno pročišćavanje	sekundarno pročišćavanje
	31.12.2023.	31.12.2023.	31.12.2018. 31.12.2020.**	31.12.2018.	31.12.2018.

*- priobalna područja
** - priobalne aglomeracije sa značajnim udjelom turizma u ukupnom opterećenju (većem od 30 %)

Slika 21. Prijelazna razdoblja prema Ugovoru o pristupanju Republike Hrvatske EU

Sagledavajući samo aglomeracije veće od 2.000 ES-a, može se precizirati da je za 265 aglomeracija za koje je potrebno prema pristupnom Ugovoru ispuniti zahtjeve do kraja 2023. godine situacija sljedeća: samo 4 aglomeracije su realizirane, pokrenuta je priprema, odnosno započela je priprema/realizacija na 187 aglomeracija, većinom kroz raspoloživa sredstva iz EU fondova kroz Operativni program konkurentnost i kohezija 2014. - 2020., dok će za 74 aglomeracije priprema započeti tijekom 2019. godine, te ih se planira prijavljivati za dodjelu financijskih sredstva iz budućih raspoloživih EU fondova za naredno programsko razdoblje 2021. - 2027.



Slika 22. Prostorni raspored aglomeracija

Potrebno je naglasiti da Republika Hrvatska kasni s ispunjenjem obveza iz pristupnog Ugovora te da je u spomenutom posljednjem Izvješću krajnji planirani rok ispunjenja zahtjeva Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda pomaknut za dodatne dvije godine, odnosno do kraja 2025. godine. Kako je kašnjenje na aglomeracijama iz prvog prioritarnog razreda za koje je rok ispunjenja istekao krajem prošle godine (generalno gledajući veće aglomeracije na osjetljivim područjima) još i izraženije potrebno je voditi računa da Republici Hrvatskoj prijete pokretanja postupaka i financijske penalizacije zbog kršenja obveza, te stoga poduzeti sve potrebne aktivnosti kako do toga ne bi došlo. Još jednom je potrebno posebno istaknuti da je za ostvarenje ovog povijesnog iskoraka neophodna kvalitetna suradnja ključnih dionika u realizaciji te da u slučaju izostanka iste neće biti moguće ispuniti postavljene ciljeve. Pored tijela na nacionalnoj razini od iznimne važnosti su jedinice lokalne samouprave koje su sukladno zakonskom rješenju

dužne osigurati obavljanje djelatnosti javne odvodnje putem javnog isporučitelja vodne usluge. Javni isporučitelji vodnih usluga su odgovorni za pripremu i realizaciju projekata u zadanim rokovima, dok Hrvatske vode pružaju neposrednu podršku u provođenju svih navedenih aktivnosti u suradnji s Ministarstvom zaštite okoliša i energetike, koje je nadležno za vodno gospodarstvo.

Kao što je već navedeno, a s obzirom na iznimnu zahtjevnost projekata u provedbenom i financijskom smislu, pri čemu je neophodno kvalitetno koordinirano djelovanje koje mora osigurati ispunjenje postavljenih projektnih ciljeva odnosno izvornih zahtjeva, glavna ključnih aktivnosti se odvija kroz pripremu i realizaciju EU projekata namijenjenih za EU sufinanciranje, dok su ostala ulaganja neusporedivo manja u financijskom smislu te u pogledu porasta ključnih pokazatelja prikupljanja i pročišćavanja otpadnih voda.

Od odobrenih 38 projekata za sufinanciranje iz Kohezijskog fonda 36 projekata su projekti odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda. Ukupni prihvatljivi troškovi ovih projekata iznose 10,72 milijarde kuna:

R.br.	Rok usklađenja s Direktivom	EU projekt	Ukupni prihvatljivi trošak (HRK)	Udio EU sufinanciranja (HRK)	Mjesec stupanja na snagu ugovora o donaciji	Udio EU sufinanciranja (EUR)
1	2020	Petrinja	344.922.279,52	244.894.803,91	07.2016.	32.223.001
2	2018	Rovinj	223.862.868,00	160.585.512,68	12.2016.	21.129.673
3	2020	Krk	510.913.257,00	369.138.660,00	07.2017.	48.570.876
4	2018	Osijek - faza 2	200.679.737,00	146.679.832,00	07.2017.	19.299.978
5	2018	Poreč - faza 2	286.542.747,00	212.068.854,34	07.2017.	27.903.797
6	2018	Virovitica - faza 2	131.826.659,90	92.561.675,96	07.2017.	12.179.168
7	2018	Županja - faza 2	56.817.385,96	40.403.030,74	07.2017.	5.316.188
8	2018	Vukovar - faza 2	314.144.301,00	221.837.433,00	07.2017.	29.189.136
9	2018	Nova Gradiška - faza 2	125.507.952,04	88.204.554,76	07.2017.	11.605.862
10	2023	Vodice - faza 2	84.233.985,37	62.205.110,15	07.2017.	8.184.883
11	2018	Varaždin	684.664.161,00	488.738.903,00	10.2017.	64.307.750
12	2023	Varaždinske Toplice	49.684.723,00	35.422.661,00	10.2017.	4.660.876
13	2018	Rugvica - Dugo Selo	173.079.910,00	121.542.125,00	10.2017.	15.992.385
14	2018	Donja Dubrava	189.080.650,00	135.652.414,41	10.2017.	17.849.002
15	2020	Mursko Središće	181.777.310,00	128.773.937,90	10.2017.	16.943.939
16	2020	Jastrebarsko	135.413.711,45	97.836.673,60	10.2017.	12.873.247
17	2018	Vinkovci	384.560.952,11	272.134.035,00	12.2017.	35.807.110
18	2018	Đakovo	213.851.627,05	152.261.357,46	12.2017.	20.034.389
19	2020	Pleternica	141.426.792,10	99.099.103,00	12.2017.	13.039.356
20	2018	Požega	171.777.186,90	124.444.841,93	12.2017.	16.374.321
21	2018	Lipik - Pakrac	153.546.408,40	110.389.119,39	12.2017.	14.524.884
22	2018	Valpovo - Belišće	271.578.968,00	189.561.114,00	12.2017.	24.942.252
23	2020	Nin - Privlaka - Vrsi	317.776.078,40	224.974.341,34	01.2018.	29.601.887
24	2018	Velika Gorica	398.890.121,00	268.788.163,00	01.2018.	35.366.864
25	2018	Šibenik	397.025.090,00	272.004.105,52	03.2018.	35.790.014
26	2018	Zabok - Zlatar	478.479.348,21	321.355.962,44	05.2018.	42.283.679
27	2018	Rijeka	1.761.563.462,00	1.256.548.480,00	07.2018.	165.335.326

R.br.	Rok usklađenja s Direktivom	EU projekt	Ukupni prihvatljivi trošak (HRK)	Udio EU sufinanciranja (HRK)	Mjesec stupanja na snagu ugovora o donaciji	Udio EU sufinanciranja (EUR)
28	2023	Betina - Murter	124.691.413,00	85.645.395,61	06.2018.	11.269.131
29	2020	Novska	98.905.027,68	70.105.921,45	07.2018.	9.224.463
30	2018	Umag - Novigrad	445.355.470,66	316.810.294,39	07.2018.	41.685.565
31	2018	Vrbovec	151.383.610,12	101.532.059,45	07.2018.	13.359.482
32	2023	Novi Vinodolski	367.636.276,28	261.119.567,03	07.2018.	34.357.838
33	2023	Novalja	248.353.489,69	172.494.435,80	07.2018.	22.696.636
34	2018	Sinj	302.669.801	211.610.086	04.2019.	27.843.432
35	2018	Kutina	390.731.725	262.967.284	04.2019.	34.600.958
36	2018	Bjelovar	205.978.311	147.681.300	04.2019.	19.431.750
UKUPNO:			10.719.332.796,84	7.568.073.149,26		995.799.098

Uzimajući u obzir navedene podatke, vrijednost odobrenih projekata kroz OPKK 2014. - 2020. do danas iznosi 101,67 % dodijeljene alokacije.

Također, kao što je već spomenuto, u različitim fazama odobrenja nalazi se sljedećih 17 projekata, ukupne procijenjene vrijednosti prihvatljivih troškova 7,13 milijarde kuna:

R.br.	Rok usklađenja s Direktivom	EU projekt	Ukupni prihvatljivi trošak (HRK)	Udio EU sufinanciranja (HRK)	Udio EU sufinanciranja (EUR)
1	2018	Kaštela - Trogir	1.151.030.595	805.091.444	105.933.085
2	2018	Zaprešić	547.040.890	387.792.012	51.025.265
3	2018	Karlovac 2	358.563.762	255.631.263	33.635.693
4	2023	Đurđevac	279.304.765	195.155.349	25.678.335
5	2023	Cres Lošinj	387.020.156	263.355.489	34.652.038
6	2023	Pitomača	209.623.645	149.341.788	19.650.235
7	2023	Semeljci	175.653.809	121.734.196	16.017.657
8	2023	Otok - Trilj - Dicmo	197.987.900	132.887.000	17.485.132
9	2018	Beli Manastir	116.682.963	84.133.032	11.070.136
10	2018	Imotski	229.412.805	161.715.085	21.278.301
11	2018	Split - Solin	1.469.780.807	1.010.626.601	132.977.184
12	2018	Zadar	453.641.772	313.659.755	41.271.020
13	2020	Ivanec	171.005.120	119.397.596	15.710.210
14	2018	Našice	166.258.570	116.380.962	15.313.284
15	2020	Jelsa - Vrboska	378.933.698	259.088.936	34.090.650
16	2018	Koprivnica	480.196.682	327.758.639	43.126.137
17	2018	Metković	358.929.889	253.969.379	33.417.023
UKUPNO			7.131.067.828	4.957.718.525	652.331.384

Osim ranije navedenih projekata koji su već odobreni (36 projekata odvodnje) te projekata koji su u fazi prethodnog odobrenja (17 projekata), u visokoj fazi pripreme su i sljedeći projekti na kojima je odrađena terenska posjeta te se u najskorijem roku očekuje Poziv na dostavu aplikacijskog paketa:

R.br.	Rok usklađenja s Direktivom	EU projekt	Ukupni prihvatljivi trošak (HRK)	Udio EU sufinanciranja (HRK)	Udio EU sufinanciranja (EUR)
1	2020	Slatina	212.090.247	150.338.903	19.781.435
2	2018	Dubrovnik	658.109.826	468.939.447	61.702.559
3	2020	Ploče	200.479.000	138.663.000	18.245.132
4	2018	Ivanić Grad	216.208.446	143.609.000	18.895.921
5	2018	Križevci	257.204.575	180.711.934	23.777.886
6	2020	Pula Sjever	332.377.103	236.328.430	31.095.846
7	2018	Pula Centar	650.825.442	491.958.951	64.731.441

Što se tiče projekata koji su u provedbi, projekti Županja i Vodice - Tribunj - Srma koji su fazirani iz OPZO 2007. - 2013. su pred završetkom, dok se na većini projekata koji su odobreni tijekom 2016., 2017. i 2018. godine intenzivno radi (projekti: Rovinj, Rugvica - Dugo Selo, Jastrebarsko, Vinkovci, Đakovo, Nin - Privilaka - Vrsi, Šibenik, Krk i Varaždin).

Od aktivnosti koje se odvijaju u okviru redovnog programa Hrvatskih voda u dijelu djelatnosti zaštite voda, u razdoblju od 2016. do 2018. godine najvećim dijelom sufinanciran je nastavak i završetak izgradnje objekata zaštite voda započetih u prethodnom razdoblju u cilju povezivanja novoizgrađenih dijelova sustava na postojeći sustav odvodnje otpadnih voda. Sufinancirana je i rekonstrukcija dijelova sustava odvodnje otpadnih voda te je time osigurana funkcionalnost pojedinih dijelova sustava i smanjena infiltracija otpadnih voda u podzemlje. Također, na području pojedinih naselja sufinancirana je i izgradnja kanalizacijskih kolektora u okviru rekonstrukcije državnih cesta, izgradnja sustava odvodnje na području manjih ruralnih naselja u cilju poboljšanja uvjeta života i ostvarenje preduvjeta za razvoj gospodarske djelatnosti te izrada projektne dokumentacije aglomeracija manjih od 2.000 ES kao preduvjet za prijavu projekata za sufinanciranje putem Ministarstva za regionalni razvoj i EU fondove.

Ukupna ulaganja u navedenom razdoblju iznosila su oko 577 milijuna kn, a izgrađeno je oko 265 km kanalizacije razdjelnog i mješovitog tipa, izgrađeno je 70 većih crpnih stanica te rekonstruirano oko 25 km kanalizacije (uključujući dijelom i rekonstrukciju vodovoda koja se odvijala zajedno s izgradnjom kanalizacije).

Najveći dio financijskih sredstava uložen je na području aglomeracija iz I. i II. prioritetne skupine (rok ispunjenja zahtjeva Direktive do 31. prosinca 2018./2020. godine), kao što su Zagreb, Split - Solin, Rijeka, Osijek, Kaštela - Trogir, Zadar, Vrgorac, Vukovar, Varaždin, Virje, Slavonski Brod, Karlovac, Sisak, Gospić, Požega, Bjelovar, Biograd na Moru, Koška, Ernestinovo, Malostonski zaljev i drugi, a sufinancirani su i nužni zahvati na područjima naselja koja se nalaze u I., II. i III. zoni sanitarne zaštite, kao i sanacija šteta uslijed velikih poplava tijekom mjeseca rujna 2017. godine na području gradova Zadra i Ogulina, a što se prvenstveno odnosilo na sanaciju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Centar i oštećenja cjevovoda na sustavu javne odvodnje grada Zadra te sanaciju opreme crpnih stanica i poplavljenih kolektora na području grada Ogulina.

Izgrađeno je 17 UPOV-a i to: Medulin - Marlera, Medulin - Premantura, Mali Lošinj, Krk, Malinska - Njivice, Omišalj, Dubrovnik - Zaton - Orašac, Donji Kraljevec, Novo Selo na Dravi, Hrvatska Dubica, Koška, Ravna Gora, Mrkopalj (Sunger), Vrlika, Kaštelir,

Prud i Dol Klanječki, dovršena je dogradnja i rekonstrukcija UPOV-a u Vrgorcu i Benkovcu, a započela je izgradnja UPOV-a u Davoru, Stomorskoj, Grudama i Višnjanu.

Hrvatske vode su u okviru višegodišnjih obveza u 2016. godini završile sufinanciranje otplate kredita EBRD-a iskorištenog za financiranje ISPA projekta Program za vode i otpadne vode grada Karlovca u ukupnom iznosu od oko 57 milijuna kn, a temeljem Odluka Vlade Republike Hrvatske i ugovora o kreditu EBRD-a sufinancirale su prihvatljive troškove projekta (kredita EBRD-a) gradnje komunalnih vodnih građevina za javnu odvodnju Novog Sela na Dravi s pripadajućim uređajem za pročišćavanje otpadnih voda (ukupni troškovi kredita i povrata glavnice kredita iznose oko 76 milijuna kn u razdoblju od 2013. do 2022. godine), zatim Šibenika - podsustav Ražine Gornje i Ražine Donje, zona Ražine i poslovna zona „Podi“, (oko 95 milijuna kn u razdoblju od 2013. do 2022. godine) i grada Rijeke (oko 119 milijuna kn u razdoblju od 2013. do 2023. godine). Od 2015. godine Hrvatske vode obvezale su se sufinancirati otplatu kredita EBRD-a u sklopu projekta „Program pročišćavanja otpadnih voda Siska“ u razdoblju do 2022. godine, ukupan iznos sufinanciranja iznosi oko 11 milijuna eura (obveza Hrvatskih voda iznosi 48,42 %). Od 2016. godine temeljem „Odluke Vlade RH o davanju suglasnosti za sklapanje Sporazuma u svrhu podmirenja obveza po sklopljenim sporazumima za sufinanciranje razvoja sustava javne odvodnje Međimurske županije na području općine Donji Kraljevec, grada Čakovca (naselja Novo Selo Rok, Krištanovec, Ivanovec) i općine Nedelišće“, Hrvatske vode su se obvezale u razdoblju od 2016. do 2018. godine financirati nepodmirene obveze Ministarstva u iznosu od oko 42 milijuna kn, a Odlukom Upravnog vijeća Hrvatskih voda od 8. srpnja 2016. godine odobreno je sufinanciranje dosadašnjih troškova izgradnje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u Zaprešiću u ukupnom iznosu od oko 61 milijuna kn, dok će Hrvatske vode do 2026. godine sufinancirati i 80 % troškova izgradnje. Također, sukladno odredbama Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vijeća ministara BiH o zajedničkom financiranju održavanja i pogona Regionalnog odvodnog sustava Komarna - Neum - Mljetski kanal iz 2007. godine, sufinanciraju se osnovni troškovi funkcioniranja i minimalnog održavanja (Hrvatske vode - 30 % od ukupnih troškova održavanja) te ostali radovi nužni za nesmetano funkcioniranje sustava.

U okviru Programa zaštite od onečišćenja voda na priobalnom području - Eko projekt Jadran redovito se otplaćuje anuitet I. faze Projekta Jadran.

U 2019. godini planirana sredstva za aktivnosti koje se odvijaju u okviru redovnog programa zaštite voda iznose oko 159 milijuna kn, a sredstva su najvećim dijelom predviđena za nastavak investicija iz prethodnog razdoblja i sufinanciranje višegodišnjih obveza.

4. NAVODNJAVANJE

Nacionalnim projektom navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem (NAP-NAV) uspostavljeni su temelji sustavnog razvoja navodnjavanja u Republici Hrvatskoj. Do 2016. godine projekt je financiran kroz državni proračun i proračun jedinica regionalne samouprave, te izvornim sredstvima Hrvatskih voda, a od 2017. godine i sredstvima iz Europskog poljoprivrednog fonda ruralnog razvoja putem nacionalnog Programa ruralnog razvoja za programsko razdoblje 2014. - 2020.

Uredbom (EU) broj 1305/2013 Europskog parlamenta i Vijeća od 17. prosinca 2013. godine o potpori ruralnom razvoju iz Europskog poljoprivrednog fonda za ruralni razvoj

(EPFRR) i stavljanju izvan snage Uredbe Vijeća (EZ) broj 1698/2005 utvrđuju se opći propisi koji uređuju potporu Europske unije za ruralni razvoj. Za proračunsko razdoblje 2014. - 2020., kroz EPFRR osigurano je oko 99,6 milijardi eura potpore Europske unije za ruralni razvoj, od čega su oko 2 milijarde eura predviđene za Program ruralnog razvoja Republike Hrvatske. Fond doprinosi razvoju teritorijalno i okolišno uravnoteženog, klimatski povoljnijeg i otpornijeg, konkurentnijeg i inovativnijeg poljoprivrednog sektora u Europskoj uniji.

U sklopu općeg okvira Zajedničke poljoprivredne politike, potpora za ruralni razvoj doprinosi postizanju slijedećih ciljeva:

- Osiguranje konkurentnosti poljoprivrede,
- Osiguranje održivog upravljanja prirodnim resursima i akcije protiv klimatskih promjena,
- Postizanje uravnoteženog teritorijalnog razvoja ruralnih gospodarstava i zajednica, uključujući i zadržavanje radnih mjesta.

Za osiguranje ciljeva i prioriteta Unije u nacionalnom Programu ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. - 2020. predviđen je niz mjera, podmjera i tipova operacije. Putem mjere M04 „Ulaganja u fizičku imovinu“, podmjera 4.3. „Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva“, tip operacije 4.3.1. „Investicije u osnovnu infrastrukturu javnog navodnjavanja“ osiguran je iznos od oko 98 milijuna eura za razvoj infrastrukture javnog navodnjavanja na području Republike Hrvatske. Korisnici potpore su županije, a visina potpore iznosi do 100 % ukupnih prihvatljivih troškova projekta. Ministarstvo poljoprivrede je upravljačko tijelo programa, dok operativnu provedbu programa obavlja Agencija za plaćanje u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRRR). Za tip operacije 4.3.1 Hrvatske vode su zadužene za tehničku potporu u pripremi i provedbi projekata javnog navodnjavanja.

APPRRR je u kolovozu 2016. godine objavila prvi natječaj za dodjelu sredstava za provedbu tipa operacije 4.3.1., te je u ljeto 2017. godine sa županijama potpisala ugovore o financiranju 9 novih projekata javnog navodnjavanja ukupne vrijednosti od oko 357 milijuna kn na 3.623 ha poljoprivrednog zemljišta. Hrvatske vode su u svojstvu komisijara pripremile dokumentaciju o nabavi i tijekom 2018. godine provele postupke javne nabave. U tijeku je provedba ugovora, odnosno gradnja sustava.

Red. br.	Županija	Naziv projekta	Površina (ha)	Procijenjena vrijednost projekta s PDV-om (kn)	Odobrena sredstva - prihvatljivi trošak (kn)	Osnovni podaci o projektu	Dinamika izgradnje	
							Početak izgradnje	Rok (mjeseci)
Ukupno 9 projekata			3.623	372.000.000	356.838.836			
1	Virovitičko-podravska	Novi Gradac - Detkovac	750	45.000.000	43.113.195	zahvat iz r. Drave; CS 440 l/s; TDM 23,21 km; 175 priključaka;	13.8.2018	14
2	Virovitičko-podravska	Đolta	161	14.000.000	12.421.215	2 zdenca 2x30 l/s; TDM 7,46 km	13.8.2018	14
3	Vukovarsko-srijemska	Sopot	704	37.000.000	36.970.650	zahvat iz r. Bosut; CS 480 l/s; TDM 16,79 km	21.8.2018	14
4	Vukovarsko-srijemska	Blata - Cerna	500	35.500.000	34.291.812	zahvat iz vodotoka Bitulja (Bid); CS 322 l/s; TDM 15,12 km; 153 priključaka;	2.8.2018	14
5	Brodsko-posavska	Orubica	326	48.000.000	45.283.895	zahvat iz r. Save, CS-1 338 l/s; CS-2 288 l/s; TDM 10,35 km; 99 priključaka	23.8.2018	31
6	Istarska	Červar - Porat - Bašarinka	490	106.500.000	104.192.118	mikroakumulacija 865.000 m ³ ; CS 150 l/s; TDM 22,03 km, 227 priključaka	12.4.2019	36
7	Zadarska	Baštica 2. faza	150	23.000.000	22.889.973	CS 60 l/s; TDM 19,15 km; 89 priključaka	10.8.2018	15
8	Zadarska	Lišansko polje	232	34.500.000	32.309.630	2 zdenca 40 l/s; mikroakumulacija 80.000 m ³ ; CS 120 l/s; TDM 9,90 km; 41 priključak	13.9.2018	24
9	Dubrovačko-neretvanska	Glog	310	28.500.000	25.366.348	zahvat iz Male Neretve, CS 242 l/s; TDM 19,20 km; 187 priključaka	31.8.2018	26

Slika 23. Projekti navodnjavanja u provedbi



Slike 24. i 25. Sustav navodnjavanja Blata - Cerna u Vukovarsko - srijemskoj županiji

Za drugi natječaj za dodjelu sredstava za provedbu tipa operacije 4.3.1., koji je zatvoren koncem travnja 2019. godine, Hrvatske vode pripremile su još 9 novih projekata javnog navodnjavanja ukupne vrijednosti od oko 387 milijuna kn na 4.179 ha poljoprivrednog zemljišta.

Red. br.	Županija	Naziv projekta	Površina (ha)	Procjenjena vrijednost investicije s PDV-om (Kn)
Ukupno 9 projekata			4.179	386.979.639
1	Osječko-baranjska	Poljoprivredni institut Osijek	165	13.148.250
2	Osječko-baranjska	Mala šuma Veliki vrt	78	9.427.750
3	Osječko-baranjska	Budimci - Krndija	600	26.268.357
4	Osječko-baranjska	Dalj 1.faza	730	78.635.155
5	Virovitičko-podravska	Kapinci Vaška - 2. faza	750	36.884.000
6	Vukovarsko-srijemska	Lipovac	800	68.121.375
7	Vukovarsko-srijemska	Ervenica	680	65.576.837
8	Zadarska	Donja Baštica - Grabovac	102	8.514.000
9	Šibensko-kninska	Donje Polje - Jadrtovac	274	80.403.915

Slika 26. Pripremljeni projekti za drugi natječaj za dodjelu sredstava

ZAKLJUČAK

Golemi su izazovi pred vodnim gospodarstvom. S jedne su strane velike investicijske potrebe i velika raspoloživa financijska sredstva iz europskih fondova, dok su s druge strane potrebne brojne i složene aktivnosti u cilju omogućavanja realizacije razvojnih projekata. S obzirom da se radi o iznimno velikom broju projekata, gotovo kao nikada do sada u skoro stoljeće i pol dugoj tradiciji hrvatskog vodnog gospodarstva, očekivano je da se suočavamo i s brojnim preprekama koje otežavaju i usporavaju planiranu dinamiku njihove realizacije. Sve te prepreke uzrokuju kašnjenja u pripremi i provedbi projekata, a što na kraju rezultira nedovoljnim i sporijim povlačenjem raspoloživih financijskih sredstava iz europskih fondova.

Sustavno jačanje stručnih kapaciteta i edukacija svih sudionika u vodnogospodarskom sektoru, te njihov zajednički trud i rad rezultirat će uspješnijom realizacijom razvojnih projekata i uspješnijim povlačenjem raspoloživih financijskih sredstava iz europskih fondova, što je glavna odrednica za buduće djelovanje i temelj daljnjeg razvoja vodnog gospodarstva.

LITERATURA

- [1] *Zakon o vodama* (Narodne novine, br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14 i 46/18).
- [2] *Zakon o financiranju vodnog gospodarstva* (Narodne novine, br. 153/09, 90/11, 56/13, 120/16, 127/17).
- [3] *Strategija upravljanja vodama* (Narodne novine, broj 91/08).
- [4] *Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021.* (Narodne novine, broj 66/16).
- [5] *Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina* (Narodne novine, broj 117/15).
- [6] *Višegodišnji program gradnje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i građevina za melioracije* (Narodne novine, broj 117/15).
- [7] *Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama* (Vlada Republike Hrvatske, 2005.).
- [8] *Godišnji Planovi upravljanja vodama*, <https://www.voda.hr/hr/plan-upravljanja-vodama-0>

AUTORI

mr.sc. Zoran Đuroković ^a

dr.sc. Danko Biondić ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska,
zoran.durokovic@voda.hr, danko.biondic@voda.hr



MEĐUNARODNA SURADNJA U OKVIRU SAVSKE KOMISIJE

Dragan Zeljko

SAŽETAK: U ovom radu dat je kratak pregled glavnih aktivnosti i recentnih rezultata suradnje savskih zemalja kroz Savsku komisiju. U *upravljanju vodama*, nakon usvajanja prvog Plana upravljanja slivom rijeke Save u 2014. godini, postignut je značajan napredak u razvoju drugog plana, dovršavanjem druge analize sliva i dokumenta o značajnim pitanjima upravljanja vodama u slivu Save. Također je dovršen i nacrt prvog Plana upravljanja rizicima od poplava u slivu rijeke Save i u tijeku je procedura njegovog usvajanja. Instalirana je operativna verzija zajedničkog sustava za prognozu i upozorenje na pojavu poplava za sliv Save. U punoj funkciji su geografski i hidrološki informacijski sustavi (Sava GIS i Sava HIS). Značajni pomaci su postignuti i u području plovidbe, prvenstveno kroz pripremu različitih pravilnika i rješavanja nekih kritičnih dionica plovnog puta rijeke Save. Dosta pozornosti je dato pitanjima održivog razvitka. Savska komisija je pripremila *Zajednički akcijski plan za sliv rijeke Save*, programski dokument koji ocrtava put ka daljnjem razvitku regije. Od listopada 2017. godine, uz protokole o plovidbi i zaštiti od poplava, na snazi su još dva protokola uz Okvirni sporazum: o upravljanju nanosom i o sprječavanju onečišćenja uzrokovanog plovidbom, koji postavljaju nove važne zadatke pred Savsku komisiju u narednim godinama.

KLJUČNE RIJEČI: okvirni sporazum, savska komisija, suradnja

INTERNATIONAL COOPERATION IN THE FRAMEWORK OF THE SAVA COMMISSION

ABSTRACT: This paper provides a brief overview of the main activities and recent results of the cooperation among the Sava states in the framework of the Sava Commission. Following the adoption of the first Sava River Basin Management Plan in 2014, a significant progress has been made in the development of the second plan by completing the second river basin analysis and the document on significant water management issues in the Sava River Basin. The draft of the first Flood Risk Management Plan for the Sava River Basin has also been completed, and the procedure for its adoption is in progress. The operational version of the joint flood forecasting and warning system in the Sava River Basin has been installed as well. The geographic and hydrological information systems (Sava GIS and Sava HIS) are fully operational. Significant progress has also been made in the

field of navigation, primarily through the preparation of various ordinances and by resolving the issues regarding some critical sections of the Sava River waterway. Significant attention has been paid to the issues of sustainable development. The Sava Commission has prepared a Joint Action Plan for the Sava River Basin, a programming document that outlines the path towards the further development of the region. In addition to the protocols on the navigation regime and flood protection, two new protocols to the Framework Agreement have come into force since October 2017 – the protocol on sediment management and the protocol on the prevention of the water pollution caused by navigation, which set new important tasks before the Sava Commission in the following years.

KEYWORDS: Framework Agreement, Sava Commission, cooperation

1. UVOD

Okvirni sporazum o slivu rijeke Save (Okvirni sporazum) potpisan je 3. prosinca 2002. godine u Kranjskoj Gori, a stupio je na snagu 29. prosinca 2004. godine i predstavlja jedinstven međunarodni ugovor kojim se integriraju svi aspekti upravljanja vodnim resursima te se uspostavlja *Međunarodna komisija za sliv rijeke Save (Savska komisija)* u svrhu njegove provedbe. Države stranke Okvirnog sporazuma su Slovenija, Hrvatska, Bosna i Hercegovina i Srbija.

Ključni je cilj Okvirnog sporazuma prekogranična suradnja kako bi se ostvarili sljedeći ciljevi:

- uspostava međunarodnog režima plovidbe na rijeci Savi i njenim plovnim pritokama,
- uspostava održivog upravljanja vodama u slivu rijeke Save, te
- poduzimanje mjera za sprječavanje ili ograničenje opasnosti te smanjenje i uklanjanje štetnih posljedica, uključujući posljedice poplava, leda i suša te incidenata koji uključuju tvari opasne za vode.

Osnovna načela propisana Okvirnim sporazumom uključuju sljedeće:

- suradnju na temelju suverene jednakosti, teritorijalnog integriteta, uzajamnih koristi i dobre vjere kako bi se ostvarili ciljevi *Okvirnog sporazuma*, kao i na temelju redovite razmjene informacija u slivu, suradnje s međunarodnim organizacijama i sukladnosti s *Okvirnom direktivom Europske unije o vodama* te
- razumno i pravično korištenje vodnih resursa, kroz primjenu mjera usmjerenih na osiguranje integriteta vodnog režima u slivu i smanjenje prekograničnih utjecaja uzrokovanih gospodarskim i drugim aktivnostima država stranaka, uz poštivanje “načela nenanošenja štete”.

Savska komisija zadužena je za niz zadataka i odgovornosti kako je to definirano *Aneksom I uz Okvirni sporazum o slivu rijeke Save - Statutom Međunarodne komisije za sliv rijeke Save* i ima najširi opseg rada među sličnim međunarodnim tijelima, budući da je to jedina komisija koja se bavi upravljanjem riječnim slivom i plovidbom u sklopu jednog te istog tijela. Stalno tajništvo je izvršno tijelo Savske komisije. Vrijednu podršku Savskoj komisiji pruža šest stalnih i tri *ad hoc* stručne grupe koje su trenutno aktivne.

Iako se Okvirnim sporazumom uspostavljaju dobri temelji suradnje u regiji u vezi s vodama, sam Okvirni sporazum ide i korak dalje od toga te s gledišta međunarodnog prava predstavlja *pactum de contrahendo* - sporazum o obvezi sklapanja dodatnih protokola.

Protokoli uz Okvirni sporazum pritom imaju važnu ulogu u njegovoj provedbi, s ciljem upravljanja vodama u slivu rijeke Save na sveobuhvatan način. Države stranke dosad su sklopile četiri protokola, a o dva dodatna se raspravlja. Pregled stanja u vezi s protokolima uz Okvirni sporazum dat je u tablici koja slijedi.

Tablica 1. Status protokola uz Okvirni sporazum

Protokol o	Potpisan	Na snazi od
režimu plovidbe	Kranjska Gora, 3. prosinca 2002.	29. prosinca 2004.
sprječavanju onečišćenja voda uslijed plovidbe	Beograd, 1. lipnja 2009.	8. listopada 2017.
zaštiti od poplava	Gradiška, 1. lipnja 2010.	27. studenoga 2015.
upravljanju nanosom	Brčko, 6. srpnja 2015.	8. listopada 2017.
izvanrednim situacijama	Završno usklađivanje očekuje se tijekom 2019. godine	
prekograničnim utjecajima	Potreba sklapanja protokola u razmatranju na stručnoj razini	

U sljedećem poglavlju daje se kratak pregled recentnih aktivnosti i rezultata u provedbi Okvirnog sporazuma i protokola koji su na snazi.

2. STATUS PROVEDBE OKVIRNOG SPORAZUMA

2.1. Integralno upravljanje vodama

Tijekom proteklog razdoblja, aktivnosti Savske komisije povezane s integralnim upravljanjem vodama bile su usmjerene na nastavak aktivnosti koje se odnose na planiranje upravljanja riječnim slivom, upravljanje rizicima od poplava te suzbijanje i kontrolu akcidenata i s tim povezane integrirane sustave za sliv rijeke Save. Značajni su naponi, među ostalim, uloženi u aktivnosti povezane s utjecajima klimatskih promjena, pitanjima nanosa, daljnjim poboljšanjem hidroloških i hidrauličkih modela, kao i u pripremu raznih projekata i projektnih prijedloga čiji je cilj pružanje podrške u ostvarivanju ciljeva u prioritetnim područjima suradnje dogovorenim između država stranaka.

Izrada Plana upravljanja slivom rijeke Save, koja se zahtijeva sukladno članku 12. Okvirnog sporazuma, predstavlja najznačajniji zadatak u ostvarivanju jednog od glavnih ciljeva Okvirnog sporazuma - uspostavi održivog upravljanja vodama u slivu rijeke Save. Aktivnosti drugog ciklusa planiranja započele su netom nakon što je prvi plan odobren na Petom sastanku država stranaka (Zagreb, 2. prosinca 2014.), a u međuvremenu su nastavljene uz značajan ostvareni napredak: 2017. godine završeno je drugo izvješće o analizi sliva rijeke Save, a u 2018. i dokument o značajnim pitanjima upravljanja vodama u slivu. Osim pregleda značajnih pitanja upravljanja, taj dokument također sadrži i kratak pregled provedbe mjera koje su zemlje koje dijele sliv Save definirale u prvom planu upravljanja. Trenutno se kroz rad stručnih grupa Savske komisije sprovode daljnje aktivnosti na pripremi drugog zajedničkog plana, s ciljem da se dovršetak plana uklopi u rokove predviđene trenutnim planskim ciklusom Okvirne direktive o vodama Europske unije. U međuvremenu, Savska komisija istražuje sve mogućnosti za osiguravanje finan-

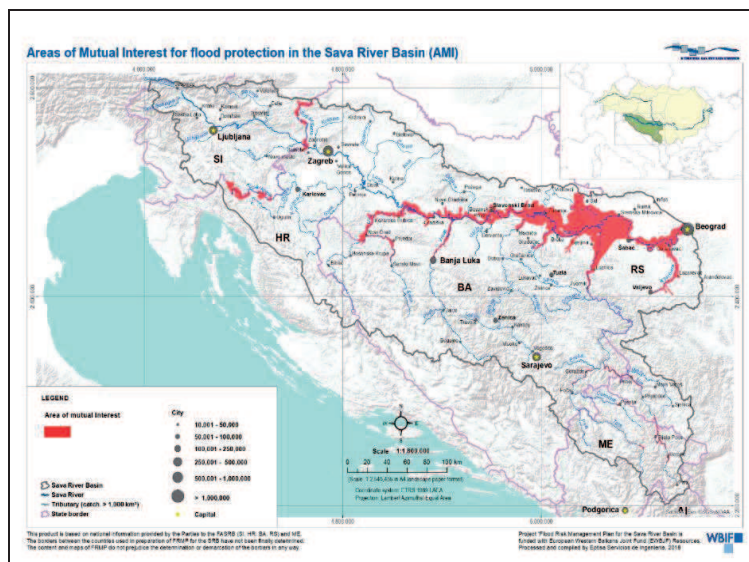
cijske podrške za izradu plana, što je nužno za pripremu tako sveobuhvatnog dokumenta. Daljnji napredak u vezi s upravljanjem nanosom ostvaren je u okviru projekta *Prema praktičnim smjernicama za održivo upravljanje nanosom koristeći sliv rijeke Save kao ogledni primjer*, koji je Savska komisija pokrenula 2012. godine, uz podršku i u suradnji s Uredom UNESCO-a u Veneciji, Međunarodnom inicijativom za nanos (ISI) programa UNESCO - IHP i Europskom mrežom interesnih skupina koje se bave upravljanjem nanosom (SedNet). Nakon finaliziranja izvješća *Procjena bilance nanosa za rijeku Savu* (BALSES) tijekom 2013. godine i izvješća *Uspostava sustava praćenja nanosa za sliv rijeke Save* 2015. godine, aktivnosti su bile usmjerene na instaliranje opreme za mjerenje suspendiranog nanosa na dvije pilot lokacije: Slavonski Brod (HR) i Sremska Mitrovica (RS). Nabavljeni su senzori za mutnoću i instalirani u Sremskoj Mitrovici, dok se instalacija opreme u Slavonskom Brodu očekuje po dovršetku građevinskih radova na lokaciji postaje. Stupanje na snagu *Protokola o upravljanju nanosom uz Okvirni sporazum 2017.* godine predstavlja prekretnicu za daljnje aktivnosti Savske komisije i država stranaka u tom području, što će uključiti prikupljanje informacija o jaružanju na godišnjoj razini, kao i pripremu sastavnih elemenata *Plana upravljanja nanosom za sliv rijeke Save*.

Iz perspektive provedbe *Okvirnog sporazuma*, aktivnosti u upravljanja poplavama uglavnom se zasnivaju na članku 2.(c) i članku 13.(1) *Okvirnog sporazuma* te na *Protokolu o zaštiti od poplava uz Okvirni sporazum (Protokol o zaštiti od poplava)*. Protokolom se formalizira jasno opredjeljenje država stranaka ka jačanju daljnje suradnje u provedbi aktivnosti usmjerenih na poboljšanje zaštite od poplava u slivu rijeke Save putem njihove zajedničke platforme - Savske komisije kroz: poduzimanje svih nužnih koraka u vezi s pripremom zajedničkog plana upravljanja rizicima od poplava; uspostavu sustava predviđanja i upozoravanja na pojavu poplava; razmjenu informacija relevantnih za održivu zaštitu od poplava kao i poduzimanjem svih drugih aktivnosti koje se dogovore u cilju poboljšanja zaštite od poplava u slivu.

Izrađen je nacrt prijedloga zajedničkog *Plana upravljanja rizicima od poplava u slivu Save*. Planom su utvrđeni sljedeći zajednički ciljevi upravljanja rizicima od poplava:

- izbjegavanje novih rizika,
- smanjenje postojećih rizika,
- jačanje otpornosti,
- podizanje svijesti,
- primjena načela solidarnosti.

Člankom 6. Protokola o zaštiti od poplava utvrđena je obveza da se na osnovu identificiranih područja za koja se zaključi da postoji potencijalni značajni rizik od poplava (APSFR područja) definiraju područja od zajedničkog interesa za zaštitu od poplava na razini sliva Save (područja od zajedničkog interesa ili AMI područja), kao osnovne jedinice analize u planu. Ukupno su identificirana 21 AMI područja koja uključuju 251 poplavno područje i to: 129 APSFR područja u Hrvatskoj, 46 APSFR područja u BiH, 64 naselja koja nisu uključena u nacionalna APSFR područja u Sloveniji, 7 područja koja obuhvaćaju 22 linijska i 5 točkastih APSFR područja u Srbiji te 5 područja u Crnoj Gori koja su identificirana u sklopu izrade plana. Analiza rizika od poplava rađena je za svih 21 AMI područja.



Slika 1. Područja od zajedničkog interesa za zaštitu od poplava na razini sliva Save

U okviru plana identificirane su 42 nestrukturane mjere podijeljene u 11 grupa, kao i 38 nacionalnih strukturalnih mjera na područjima od zajedničkog interesa ukupne vrijednosti od preko 250 milijuna €. Za potrebe plana preuzete su mjere iz usvojenih nacionalnih planova upravljanja rizicima od poplava Slovenije i Hrvatske te nacrti Plana upravljanja rizicima od poplava na teritoriju Srbije, kao i strateških i planskih dokumenata Bosne i Hercegovine i Crne Gore. U planu je razmotren i odnos predloženih mjera s Planom upravljanja slivom rijeke Save te data preliminarna procjena strukturalnih mjera po različitim parametrima. U planu su također obrađeni i mehanizmi koordinacije na razini sliva rijeke Save i načini međusobne suradnje u slučaju izvanredne obrane od poplava.

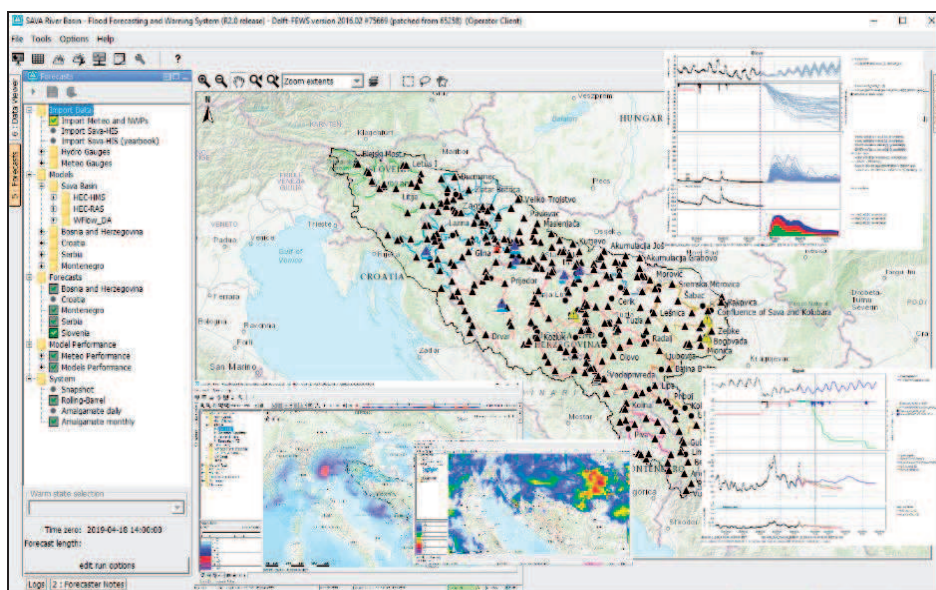
Što se tiče procedure usvajanja, predviđeno je da se, nakon utvrđivanja službenog prijedloga *Plana upravljanja poplavnim rizicima u slivu Save* od strane Savske komisije isti prosljedi državama strankama Okvirnog sporazuma na razmatranje s ciljem da se plan odobri na Osmom sastanku stranaka planiranom za listopad 2019. godine.

Drugi značajni recentni rezultat suradnje zemalja u ovom području je uspostava *Sustava za prognozu i upozorenje na pojavu poplava u slivu Save* (Sava FFWS). Sama aktivnost formalno je pokrenuta u lipnju 2016. i uspješno okončana u listopadu 2018. godine priopredajom operativne verzije sustava od strane korisnika. Sava FFWS se zasniva na Delft - FEWS platformi koja je primijenjena u nizu slivova diljem svijeta. Platforma je fleksibilna i preko odgovarajućih adaptera omogućava inkorporiranje svih meteoroloških, hidroloških i hidrauličkih modela koji se koriste u slivu. Sam sustav je složen, budući da je projektiran u obliku jednog središnjeg sistemskog poslužitelja i tri backupa, smještena u četiri zemlje, uz dio sustava (arhivski i web poslužitelj) koji se nalazi u sjedištu Savske komisije. Međutim, takva arhitektura sustava omogućuje aktivnu suradnju svih nacionalnih institucija i ujedno osigurava osjećaj vlasništva. U narednoj tablici su navedene institucije korisnice i naznačene uloge pojedinih institucija u sustavu, dogovorene za prvu

fazu njegovog operativnog korištenja a na slici 2. je prikazano korisničko sučelje aplikacije.

Tablica 2. Lista institucija korisnica Sava FFWS-a

Država	Institucija	Napomena
Slovenija	ARSO, Ljubljana	Centralni poslužitelj
Hrvatska	DHMZ, Zagreb	3. backup
Hrvatska	Hrvatske vode, Zagreb	
Bosna i Hercegovina	FHMZ, Sarajevo	
Bosna i Hercegovina	RHMZ RS, Banja Luka	
Bosna i Hercegovina	AVP Sava, Sarajevo	2. backup
Bosna i Hercegovina	JU Vode Srpske, Bijeljina	
Srbija	RHMZ, Beograd	1. backup i testni sustav
Crna Gora	ZHMS, Podgorica	
	Savska komisija	Arhivski i web poslužitelj



Slika 2. Korisničko sučelje Sava FFWS-a

Sava FFWS će zasigurno snažno doprinijeti jačanju organizacija nadležnih za hidrometeorološku djelatnost i obranu od poplava u zemljama sliva. Sustav također predstavlja dodatnu vrijednost postojećim nacionalnim sustavima, a očekuje se da će zajednička platforma za prognozu s kvalitetno educiranim osobljem osigurati bolju razinu pripremljenosti i optimizirane mjere ublažavanja, čime će se značajno pripomoći sman-

jenju posljedica poplava. Imajući u vidu da se člankom 9. Protokola o zaštiti od poplava od država stranaka zahtijeva da osiguraju redovito održavanje i praćenje učinka sustava nakon njegove uspostave, trenutno je u završnoj fazi izrada Memoranduma o razumijevanju kojim će se precizno definirati prava i obveze svih sudionika u operativnoj fazi korištenja sustava.

Ostvaren je značajan napredak i u hidrološko-hidrauličkom modeliranju, uz dugoročnu podršku Vlade SAD-a. Hidrološki model cijelog sliva Save, kao i modeli za sve glavne podslivove, dovršeni su i dostavljeni državama strankama i Crnoj Gori u siječnju 2017. godine. Obuka za napredne korisnike, pod vodstvom stručnjaka iz Inženjerskog korpusa Vojske SAD-a (USACE), održana je u ožujku 2017. godine uz sudjelovanje približno 40 sudionika iz zemalja sliva Save.

U sklopu ove suradnje razvijen je i hidraulički model rijeke Save i njenih glavnih pritoka. Za potrebe modela izvršeno je i snimanje iz zraka na potezu uz rijeku Savu od Čateža u Sloveniji do ušća Save u Dunav tzv. LIDAR tehnologijom i izrada digitalnog modela terena visoke preciznosti. Obuka za nacionalne stručnjake za rad na modelu održana je u svibnju 2018. godine. Oba modela, i hidrološki i hidraulički, integrirani su u Sava FFWS i operativno se koriste za prognozu. Ti modeli ujedno imaju i međusektorski karakter, budući da se potencijalno mogu koristiti u nizu prioritarnih aktivnosti kao što su: analiza velikih i malih voda, analiza klimatskih promjena, određivanje plovnih vodostaja, transport nanosa, modeliranje kakvoće voda i slično.

Kroz podršku SAD-a nabavljena je i instalirana informacijsko - tehnološka oprema, uključujući poslužitelje Sava FFWS-a, u sve četiri uključene organizacije u regiji: ARSO (Slovenija), RHMZ (Srbija), AVP Savu (Bosna i Hercegovina) te DHMZ (Hrvatska), što kao i arhivski i web poslužitelj u Savskoj komisiji.

2.2. Plovidba

Djelovanje Savske komisije u području plovidbe zasniva se na članku 10. *Okvirnog sporazuma, na Protokolu o režimu plovidbe uz Okvirni sporazum te Protokolu o sprječavanju onečišćenja voda uslijed plovidbe uz Okvirni sporazum*. Aktivnosti u proteklom razdoblju bile su fokusirane na rehabilitaciju najkritičnijih sektora plovnog puta rijeke Save. U tome smislu poduzet je niz aktivnosti, uključujući sljedeće:

- Radovi na kritičnom sektoru Kamičak u Srbiji završeni su tijekom 2018. godine. Prema kontrolnom pregledu provedenom godinu dana nakon završetka radova, zaključeno je da su radovi imali pozitivan učinak te da nije bilo promjena u dimenzijama plovnog puta u razdoblju od jedne godine. Na cijelom sektoru, najniža dubina preko pune širine plovnog puta od 75 m je 2,5 m pri niskoj plovidbenoj razini. Radovi na sektoru Šabac izvedeni su u drugoj polovici 2018. godine, a zbog loših vremenskih uvjeta završeno je 70 % planiranih radova, dok će ostatak radova završiti u ovoj godini, ovisno o vremenskim uvjetima. Početak izrade projektne dokumentacije za sanaciju plovnog puta na sektoru ušće Drine očekuje se u 2019.;
- Hrvatska je, u suradnji sa Bosnom i Hercegovinom, započela izradu projektne dokumentacije i studije utjecaja na okoliš za projekt poboljšanja plovidbenih uvjeta rijeke Save od rkm. 300 do rkm. 329 (sektor Jaruge - Novi Grad) u veljači 2019. U cilju uključivanja zainteresiranih dionika, sukladno Zajedničkoj izjavi o vodećim

načelima za razvoj unutarnje plovidbe i zaštite okoliša u slivu rijeke Dunav koju su potpisale Dunavska komisija, ICPDR i Savska komisija, odgovarajućom odlukom Savske komisije omogućeno je da postojeće Povjerenstvo za praćenje i koordinaciju provedbe projekta obnove i razvoja prometa i plovidbe na plovnom putu rijeke Save u proširenom sastavu djeluje kao forum dionika za navedeni projekt. U forum su, osim nadležnih državnih tijela uključeni i predstavnici nevladinog sektora, profesionalnih organizacija i lokalne zajednice;

- Poseban problem u obnovi plovnog puta ali i drugih aktivnosti predstavlja minirana desna obala rijeke Save u Bosni i Hercegovini. Razminiranje ovog područja je ključna prioritarna aktivnost i intenzivno se radi, i kroz Savsku komisiju i putem institucija Bosne i Hercegovine, na osiguranju sredstava za razminiranje od strane međunarodnih finansijskih institucija.

Savska komisija koordinira aktivnosti država stranaka u postupku obilježavanja plovnog puta rijeke Save i njenih plovnih pritoka te u tom smislu redovno usvaja odluke o donošenju godišnjih planova obilježavanja, a ujedno održava i funkcionalnost internetske aplikacije za izradu *Plana obilježavanja rijeke Save i njenih plovnih pritoka*.

Poboljšavanje i održavanje sigurnosti plovidbe kroz objedinjavanje pravila u području plovidbe i razvoj plovidbenih priručnika predstavlja također jednu od važnih aktivnosti komisije. Tijekom proteklog razdoblja Savska komisija aktivno je sudjelovala u procesu daljnjeg usklađivanja i unaprjeđenja pravila plovidbe u okviru UNECE-a te je usvojila odluku o izmjenama i dopunama *Pravila plovidbe na slivu rijeke Save* (Odluka 4/16 o usvajanju izmjena i dopuna Odluka 14/14, 19/10 i 30/07 o *Pravilima plovidbe na slivu rijeke Save*), na temelju verzije 5 *Europskog pravilnika za unutarnje vodne puteve (CEVNI)*, u kojem je ostvarena visoka razina usklađenosti propisa među zemljama i riječnim komisijama na europskoj razini.

Tijekom 2016. godine dovršena je internetska aplikacija za inspekciju sigurnosti plovidbe. Savska komisija također je usvojila *Odluku 16/17 o uvođenju Sustava za podršku nacionalnim tijelima odgovornima za inspekciju sigurnosti plovidbe*. Na temelju te odluke sustav je službeno u funkciji od 1. veljače 2018. godine.

Savska komisija je usvojila i *Preporuku 1/19* o korištenju usklađenih obrazaca za pograničnu kontrolu plovila s ciljem pojednostavljenja, usklađivanja i digitalizacije upravnih postupaka u unutarnjoj plovidbi u slivu rijeke Save a pripremljen je nacrt Odluke o *Pravilima za posadu u plovidbi rijekom Savom*, s ciljem modernizacije i definiranja zahtjeva u vezi s kvalifikacijama posade i minimalnim brojem članova posade u jednom jedinstvenom dokumentu.

Komisija također je sudjelovala i u radu Europskog odbora za izradu standarda u području unutarnje plovidbe (CESNI). Ciljevi CESNI-ja usmjereni su na pružanje doprinosa usvajanju jednoobraznih standarda na cijeloj mreži unutarnjih plovnih puteva u Europi s ciljem povećanja sigurnosti plovidbe i zaštite okoliša u kontekstu transporta unutarnjom plovidbom, promicanja zapošljavanja u unutarnjoj plovidbi i jačanja privlačnosti tog sektora, uz olakšavanje transportnih operacija i promicanje međunarodne trgovine. Rad je bio usredotočen na standarde za obrazovanje i za praktični dio ispita te simulatore plovidbe.

Kako bi se olakšala provedba, nova pravila sustavno se predstavljaju nadležnim tijelima država stranaka. Savska komisija povrh toga prati provedbu svih odluka u državama

strankama, kako bi se poboljšao sadržaj dokumenata na temelju ulaznih informacija iz ravnih korisnika.

Pravila koja je donijela Savska komisija postala su sastavni dio nacionalnog prava u Hrvatskoj i Srbiji (novi zakon o unutarnjoj plovidbi), a BiH i Slovenija (do Brežica) izravno ih primjenjuju u praksi.

2.3. Upravljanje podacima i informacijama

Razmjena podataka i informacija, u najširem smislu, utvrđena je u članku 4. Okvirnog sporazuma. Učinkovit način razmjene omogućen je razvojem informacijskih sustava Savske komisije, prvenstveno zajedničkog geoinformacijskog sustava za sliv rijeke Save (Sava GIS; www.savagis.org) 2015. godine. Struktura baze podataka Sava GIS-a je razvijena u skladu sa smjernicama za izvješćivanje prema relevantnim europskim direktivama. Sava GIS podržava višejezično korištenje (na svim službenim jezicima Savske komisije i engleskom jeziku), kao i latinično i ćirilično pismo. Sve zainteresirane strane (vladine ustanove, privatni subjekti, opća javnost i drugi) mogu pregledavati dostupne podatkovne skupove putem Sava Geoportala, u skladu s razinom autorizacije. Pripremljene su i internetske aplikacije za uređivanje, učitavanje i preuzimanje podataka i metapodataka, što registriranim korisnicima omogućava pregled i preuzimanje geografskih informacija i skupova podataka pohranjenih u bazi podataka za cijeli sliv.

Trenutno se, osim popunjavanja baze podataka za rijeku Savu vezano za upravljanje vodama u slivu rijeke Save, provode i aktivnosti usmjerene na integraciju postojećih aplikacija za upravljanje plovidbom unutar platforme Sava GIS-a, kroz uspostavu modula za plovidbu. U planu su i daljnje nadogradnje sustava s nekim dodatnim mogućnostima. Zasad se odvijaju pripreme aktivnosti na razvoju modula za upravljanje nanosom i sprječavanje akcidenata, zajedno s daljnjom nadogradnjom sustava u dijelu koji se odnosi na razmjenu hidrometeoroloških podataka.

U suradnji s relevantnim nacionalnim institucijama država stranaka (ministarstvima za zaštitu okoliša i/ili vodno gospodarstvo, agencijama za vode i nacionalnim hidrometeorološkim zavodima), a uzimajući u obzir *Smjernice za razmjenu hidroloških i meteoroloških podataka i informacija u slivu rijeke Save* (2014.), Savska komisija uspostavila je zajednički Hidrološki informacijski sustav za sliv rijeke Save (Sava HIS; www.savahis.org) za razmjenu i korištenje hidroloških i meteoroloških informacija i podataka 2015. godine. Nakon uspostave sustava i završetka probnog razdoblja u 2016. godini, bazu podataka Sava HIS-a za obrađene hidrološke i meteorološke podatke popunjavaju nacionalni hidrometeorološki zavodi i Savska komisija. Podmodul Sava HIS-a za podatke u realnom vremenu je inkorporiran u Sava FFWS kao osnovni alat za razmjenu hidrometeoroloških podataka za potrebe prognoze. Replika Sava HIS-a je instalirana u Sava FFWS na središnjoj lokaciji u Ljubljani čime je osigurana dodatna sigurnost sustava. Također je, na temelju konsenzusa svih zemalja a zbog potrebe prognoze, broj hidroloških i meteoroloških postaja uključenih u Sava HIS značajno povećan u usporedbi sa izvorno dogovorenim pri uspostavi sustava, što je vidljivo iz naredne tablice.

Tablica 3. Hidrološke i meteorološke postaje u Sava HIS-u

Hidrološke postaje	BA	HR	ME	RS	SI	Ukupno
Smjernice (2014)	34	22	2	18	17	93
Sava HIS (2019)	104	131	11	25	33	304
Meteorološke postaje	BA	HR	ME	RS	SI	Ukupno
Smjernice (2014)	28	11	3	6	5	53
Sava HIS (2019)	53	49	5	12	76	195

2.4. Međusektorska i razvojna pitanja

Tijekom proteklog razdoblja dužna pažnja posvećena je i pitanju prilagodbe klimatskim promjenama. Od studenoga 2015. godine Savska komisija je potpisnica *Pariškog sporazuma o vodi i prilagođavanju na klimatske promjene u riječnim slivovima, jezerima i akviferima*, kao neobvezujućeg dokumenta kojim se poziva na djelovanje u području prilagođavanja na klimatske promjene u slivovima. Tijekom proteklih nekoliko godina uspješno je provedeno nekoliko povezanih projekata: *Pilot projekt o klimatskim promjenama: izgradnja veze između planiranja upravljanja rizikom od poplava i procjene klimatskih promjena u slivu rijeke Save* (2013.), *Plan prilagođavanja klimatskim promjenama za sliv Save* (2015.). Pripremljen je i *Okvir za izradu Strategije prilagođavanja na klimatske promjene i prioriternih mjera za sliv rijeke Save* uz podršku *Međunarodnog ureda za vode* (www.iowater.org), u suradnji s UNECE-om. Nacrt *Okvira* izradio je tim međunarodnih i domaćih konzultanata, a nakon konzultacija s relevantnim stručnim skupinama Savske komisije predstavljen je odabranim dionicima na radionici održanoj u Beogradu u listopadu 2017. godine. Savska komisija je prihvatila *Okvir* u veljači 2018. godine kao dobru osnovu za izradu cjelovite strategije prilagođavanja na klimatske promjene, koja se očekuje u bliskoj budućnosti.

Godine 2015. UNECE je objavio dokument *Usklađivanje korištenja resursa u prekograničnim slivovima: procjena povezivanja sektora voda-hrana-energetika-ekosustavi* u kojem je kao jedan od pilot slivova obrađen sliv Save. Jedan od zaključaka izvješća bio je taj da je sliv rijeke Save presudan za osiguranje energetske sigurnosti, sigurnosti vodnih resursa, sigurnosti radnih mjesta i okolišnog integriteta regije te da su vodni resursi sliva rijeke Save ključni za gospodarski razvoj regije. Ujedno su naznačene i mogućnosti za poboljšanje kooperativnog i koordiniranog upravljanja resursima sliva te je naglašena važnost Okvirnog sporazuma i Savske komisije kao važnih okvira kojima se okupljaju razni sektori, što može pripomoći u ostvarivanju u većoj mjeri održivog razvoja.

U skladu s *Okvirnim sporazumom*, kojim se kroz prekograničnu suradnju potiče održivi razvoj u regiji, održivi riječni turizam već je na Drugom sastanku država stranaka (Beograd, 1. lipnja 2009.) identificiran kao područje u koje valja uložiti dodatne napore. Otad je Savska komisija provela niz aktivnosti koje su urodile, između ostalog, pripremom *Prekograničnih smjernica za ekoturizam u slivu rijeke Save* (2013.), kao i provedbom projekta *Razvoj prekograničnog ekoturizma uz korištenje sliva rijeke Save kao oglednog primjera* 2014. godine. Dodatne dosad provedene aktivnosti uključuju promicanje lokalne

tradicije i kulture, tradicionalnog jela i pića, kao i rukotvorina, uglavnom na događanjima u sklopu proslava Dana rijeke Save. Snažan poticaj suradnji u ovom području bila je priprema *Zajedničke izjave o regionalnoj suradnji na razvoju održivog turizma u slivu rijeke Save* koju su u Bledu u lipnju 2017. godine potpisali predstavnici ministarstava nadležnih za turizam. Tom prigodom je dogovoreno osnivanje radne grupe za razvitak održivog turizma u okviru Savske komisije koja se sastoji od predstavnika turističkog sektora i koja ima zadatak identificirati i koordinirati relevantne projekte od značaja za čitav sliv.

Zajednički akcijski plan za sliv rijeke Save pripremljen je u proljeće 2017. godine, uz potporu Svjetske banke, a dobio je podršku država stranaka Savske komisije i Crne Gore kroz *Zajedničku izjavu predstavnika država stranaka Okvirnog sporazuma i Crne Gore o Planu aktivnosti i ključnim točkama za sliv rijeke Save kao katalizatoru suradnje u regiji*, potpisanu u Bledu 15. lipnja 2017. godine. Zajednički akcijski plan pruža doprinos naporima država stranaka i Crne Gore usmjerenima na osiguranje održivog ekonomskog razvitka i rasta u slivu, a osmišljen je kao katalizator jačanja suradnje u regiji. U planu su identificirana ključna prioritetna područja (priority areas, PA) za srednjoročne aktivnosti u slivu rijeke Save:

- PA 1: Jačanje planiranja u slivu rijeke Save kako bi se ubrzala ulaganja,
- PA 2: Poboljšanje plovnosti plovnog puta rijeke Save,
- PA 3: Poboljšanje upravljanja poplavama i monitoringa,
- PA 4: Razvoj održivog riječnog turizma; i
- PA 5: Zaštita okoliša i prilagodba klimatskim promjenama.

Zajednički akcijski plan za sliv rijeke Save predstavlja dobru platformu za daljnje aktivnosti usmjerene na održivi razvoj regije.

ZAKLJUČAK

Načelno govoreći, *Okvirni sporazum o slivu rijeke Save* se, u ovom relativno kratkom razdoblju od kada je na snazi, dokazao kao dobra osnova za suradnju među državama strankama kroz zajedničko tijelo - *Međunarodnu komisiju za sliv rijeke Save*. Postignuti su značajni i mjerljivi rezultati suradnje u svim područjima kojima se bavi komisija, od kojih bi neke bilo vrlo teško postići bez koordinacije zajedničkog multilateralnog tijela. Kao takvi primjeri mogu se izdvojiti uspostava Sava HIS-a i Sava FFWS-a kao i izrada hidrološkog modela za cijeli sliv Save i hidrauličkog modela rijeke Save i glavnih pritoka. Suradnja kroz zajedničku platformu pruža priliku za razmjenu iskustava i dodatnu izobrazbu, ne samo stručnjaka uključenih u rad stručnih grupa Savske komisije, nego i drugih predstavnika država stranaka.

Glavne poteškoće u provedbi *Okvirnog sporazuma* u državama strankama povezane su s nedovoljnim ljudskim i financijskim resursima za realizaciju pojedinih aktivnosti. Potrebno je i daljnje poboljšanje međusektorske koordinacije i suradnje na nacionalnoj razini.

LITERATURA

- [1] *Okvirni sporazum o slivu rijeke Save* (Narodne novine, broj 14/03).
- [2] *Protokol o režimu plovidbe uz Okvirni sporazum o slivu rijeke Save* (Narodne novine, broj 14/03).
- [3] *Protokol o sprječavanju onečišćenja voda uslijed plovidbe uz Okvirni sporazum o slivu rijeke Save* (Narodne novine, broj 1/10).
- [4] *Protokol o zaštiti od poplava uz Okvirni sporazum o slivu rijeke Save* (Narodne novine, broj 8/12).
- [5] *Protokol o upravljanju nanosom uz Okvirni sporazum o slivu rijeke Save* (Narodne novine, broj 6/15).
- [6] Izvješće o provedbi Okvirnog sporazuma o slivu rijeke Save i radu Međunarodne komisije za sliv rijeke Save za razdoblje 1. travnja 2016. - 31. ožujka 2018., Savska komisija, Zagreb.
- [7] Plan upravljanja slivom rijeke Save (2014), <http://www.savacommission.org/srbmp/hr/>, 9. svibnja 2019.
- [8] Nacrt Plana upravljanja rizicima od poplava u slivu rijeke Save (2018), <http://www.savacommission.org/sfrmp/hr/>, 9. svibnja 2019.
- [9] *Reconciling resource uses in transboundary basins: assessment of the water-food-energy-ecosystems nexus*, UNECE (2015), https://www.unece.org/env/water/publication/ece_mp.wat_46.html, 9. svibnja 2019.
- [10] *Zajednički akcijski plan za sliv rijeke Save* (2017), <http://www.savacommission.org/publication>, 9. svibnja 2019.

AUTOR

Dragan Zeljko, dipl. ing. ^a,

^a Međunarodna komisija za sliv rijeke Save, Kneza Branimira 29, Zagreb, 10000, Hrvatska, dzeljko@savacommission.org



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE NA INVESTICIJSKOM VALU

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

TEMA 1.

**STANJE VODA I O VODI OVISNIH
EKOSUSTAVA, HIDROLOŠKI EKSTREMI
I NJIHOVE POSLJEDICE, TRENDOVI -
OBORINE, KOPNENE POVRŠINSKE VODE,
PODZEMNE VODE, PRIJELAZNE VODE
I PRIOBALNO MORE**

Recenzenti:

**Roko Andričević, Marijan Babić, Danko Biondić, Ranko Biondić, Gordana
Bušelić, Irena Ciglonečki - Jušić, Ksenija Cindrić Kalin, Ivan Čanjec, Mate
Dabro, Bojana Horvat, Neven Kuspilić, Grozdan Kušpilić, Željko Linšak, Vladimir
Mićović, Zlatko Mihaljević, Marko Miliša, Zoran Nakić, Maja Oštrić, Nevenka
Ožanić, Mara Pavelić, Mladen Petrićec, Anđelka Plenković - Moraj, Josip Rubinić,
Lidija Tadić, Josip Terzić, Dušan Trninić, Tatjana Vlahović, Darija Vukić Lušić,
Ranko Žugaj**



R 1.01.

UTJECAJ KOREKCIJE PRISTRANOSTI KLIMATSKIH MODELA NA STATISTIČKE MJERE TEMPERATURE I OBORINE

Renata Sokol Jurković, Ivan Güttler

SAŽETAK: Varijable modelirane globalnim i regionalnim klimatskim modelima sadrže sustavne pogreške (pristranost), odnosno, modelirane varijable odstupaju od mjerenja u određenoj mjeri. Zbog takvog ograničenja je rezultate klimatskih modela prije korištenja u primijenjenima istraživanjima potrebno statistički korigirati. U ovom radu su uspoređene dvije univarijatne i jedna bivarijatna metoda statističke korekcije pristranosti oborine i temperature zraka na 2 m iz regionalnog klimatskog modela RegCM4 s rubnim uvjetima iz CMIP5 globalnih modela. Univarijatnim metodama korigirane su svaka varijabla zasebno, a bivarijatnom su korigirane zajedno. U mapiranju kvantila (univarijatna metoda) i u bivarijatnoj metodi korištene su gama (oborina) i Gaussova (temperatura) razdioba vjerojatnosti dok se druga univarijatna metoda bazira na aditivnim korekcijama (temperatura) i skaliranju (oborina). Korekcija modela je provedena prema E-OBS17e podacima na rezoluciji $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ na podacima mjesečnih količina oborine te srednjih temperatura zraka za svaku sezonu posebno za šire područje Hrvatske. Za kalibriranje metode korišteno je razdoblje 1971. – 1990. dok je validacijsko razdoblje 1991. – 2004. Istražen je utjecaj metoda na osnovne statističke mjere lokacije, raspršenja i simetrije te njihove promjene u odnosu na referentna mjerenja, a za 5 odabranih lokacija u Hrvatskoj analiziran je i utjecaj metoda korekcije na trend.

KLJUČNE RIJEČI: klimatski modeli, RegCM4, korekcija pristranosti, koeficijent korelacije

INFLUENCE OF BIAS CORRECTION IN CLIMATE MODELS ON STATISTICAL MEASURES OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION

ABSTRACT: The variables modeled in global and regional climate models contain systematic errors (bias), i.e. modeled variables deviate from observations to a certain extent. Due to such limitation, before using the outputs of the climate models in the applied research their results need to be statistically corrected. In this paper, two univariate and one bivariate methods of statistical bias correction were compared. The rainfall

and 2 m air temperatures are modeled by regional climate model RegCM4 forced by CMIP5 global models at boundaries. Univariate methods are used to correct each variable separately, and the bivariate corrects the variables together. In the quantile mapping (univariate method) and in the bivariate method, gamma (precipitation) and the Gaussian (temperature) probability distribution are used while the other univariate method is based on additive corrections (temperature) and scaling (precipitation). The model correction was carried out according to the E-OBS17e data at a resolution of $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ on the monthly precipitation data and the mean air temperature for each season, particularly for the wider Croatian region. For the calibration of the method, the period 1971-1990 was used while the validation period was 1991-2004. The impact of the method on basic statistical measures of location, dispersion and symmetry and their change in relation to the reference observations was studied. In addition, the influence of the bias correction method on the trend was analyzed for the 5 selected locations in Croatia.

KEYWORDS: climate models, RegCM4, bias correction, correlation coefficient

1. UVOD

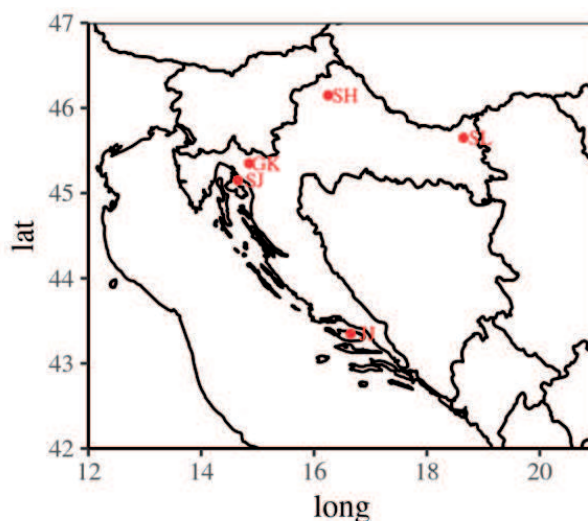
Prošla i sadašnja klima se može simulirati, a buduća klima se može projicirati globalnim klimatskim modelima (Global Climate Model – GCM). Zbog svoje grube prostorne rezolucije (100-400 km) GCM-ove je potrebno prilagoditi na mrežu s višom prostornom rezolucijom. GCM se može prilagoditi dinamički i statistički, a u ovom radu je korištena dinamička prilagodba regionalnim modelom (RegCM4). Varijable modelirane globalnim i regionalnim klimatskim modelima sadrže sustavne pogreške (pristranost), odnosno, modelirane varijable odstupaju od mjerenja u određenoj mjeri. Iz ovog razloga je rezultate klimatskih modela prije korištenja u primijenjenima istraživanjima potrebno statistički korigirati (Maraun i Widmann, 2018). Sustavne pogreške se javljaju zbog ograničene prostorne rezolucije, pojednostavljene fizike i termodinamike u modelu, numeričkih shema, itd. Poznat je veći broj metoda korekcije pristranosti: delta promjena, aditivna korekcija, skaliranje, linearna korekcija, dinamičko skaliranje, metoda dnevne translacije, dnevna i mjesečna korekcija pristranosti, mapiranje kvantila itd. Sve gore navedene metode pripadaju grupi univarijantnih metoda korekcije pristranosti, odnosno onih koje korigiraju svaku varijablu zasebno. Jedna od najjednostavnijih i zbog toga, jedna od najčešće korištenih metoda korekcije, aditivna metoda (temperatura) i metoda skaliranja (oborina) uspoređena je s metodom mapiranja kvantila i metodološki zahtjevnijom bivarijantnom metodom. U radu je razmatran utjecaj metoda korekcije pristranosti na statističke momente te na trend.

2. PODACI, METODE I REZULTATI

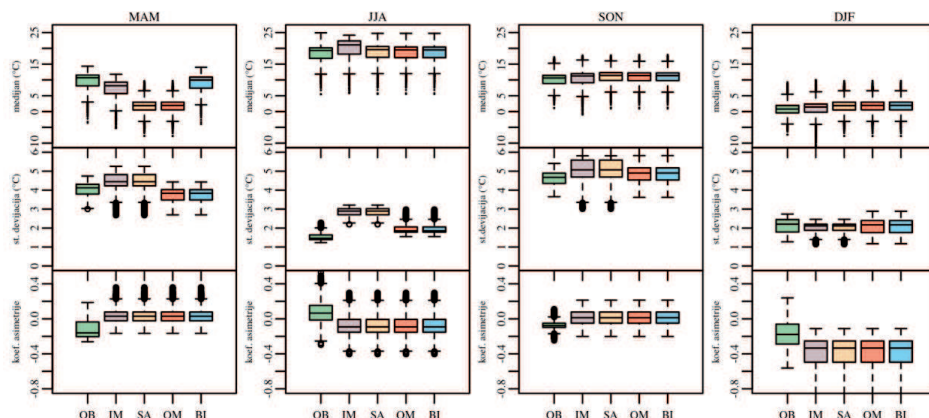
Promatrane su mjesečna količina oborine i srednja mjesečna temperatura zraka za područje Hrvatske. Podaci mjerenja na pravilnoj mreži $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ preuzeti su iz E-OBS seta podataka, verzije 17.0e (Cornes i drugi, 2018.). Analiza je provedena na rezultatima regionalnog modela RegCM4 (klimatski model iz Međunarodnog centra za teorijsku fiziku u Trstu, Italija; Giorgi i drugi, 2012) s rubnim uvjetima iz MPI-M-MPI-ESM-MR globalnog modela (klimatski model Max-Planck instituta za meteorologiju, Njemačka). Korištena RegCM4 simulacija je na rezoluciji od $12.5 \text{ km} \times 12.5 \text{ km}$ te je bilinearnom

interpolacijom prilagođena na E-OBS mrežu kako bi se za svaku točku mreže mogla provesti korekcija pristranosti prema podacima mjerenja.

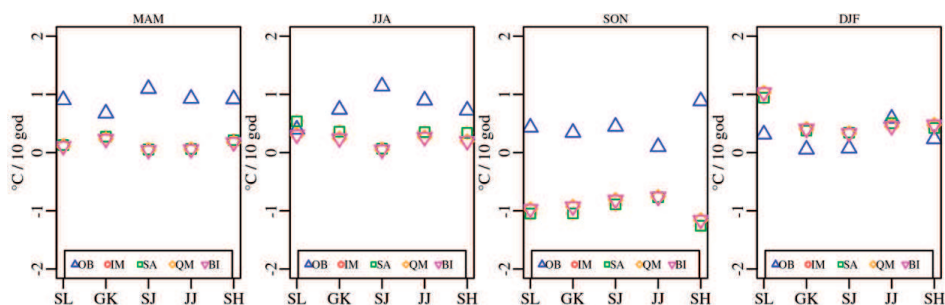
Univarijatnim metodama korigirane su svaka varijabla zasebno, a bivarijatnom su korigirane zajedno. U mapiranju kvantila (univarijatna metoda) i u bivarijatnoj metodi korištene su gama (oborina) i Gaussova (temperatura) razdioba vjerojatnosti dok se druga univarijatna metoda bazira na aditivnim korekcijama (temperatura) i skaliranju (oborina). U bivarijatnoj metodi proveden je postupak uz danu temperaturu čime se temperatura korigira univarijatno te prema njoj oborina bivarijatno. Promatran je utjecaj primijenjenih metoda korekcije na medijan, standardnu devijaciju, koeficijent varijacije i koeficijent asimetrije te njihove promjene u odnosu na referentna mjerenja. Također, analiziran je i utjecaj metoda korekcije na trend za 5 odabranih lokacija u Hrvatskoj koje predstavljaju Slavoniju, središnju Hrvatsku, Gorski kotar, sjeverni Jadran i južni Jadran (Slika 1). Univarijatnom i bivarijatnom metodom korigirane su srednja mjesečna temperatura zraka i srednja mjesečna količina oborine za svaku sezonu posebno u svakoj točki mreže. Kalibracija metoda je provedena na povijesnim simulacijama za razdoblje 1971. – 1990., a validacija na simulacijama za razdoblje 1991. – 2004. U slučaju kada je regionalni klimatski model forsiran globalnim klimatskim modelom, odabir razdoblja ne odgovara stvarnim razdobljima. Ovako konstruirana simulacija ne može reproducirati opaženu međugodišnju varijabilnost no prikladna je za simulaciju srednje klime.



Slika 1. Prikaz 5 odabranih lokacija u Hrvatskoj. SL – Slavonija, GK – Gorski kotar, SJ – sjeverni Jadran, JJ – južni Jadran, SH – središnja Hrvatska



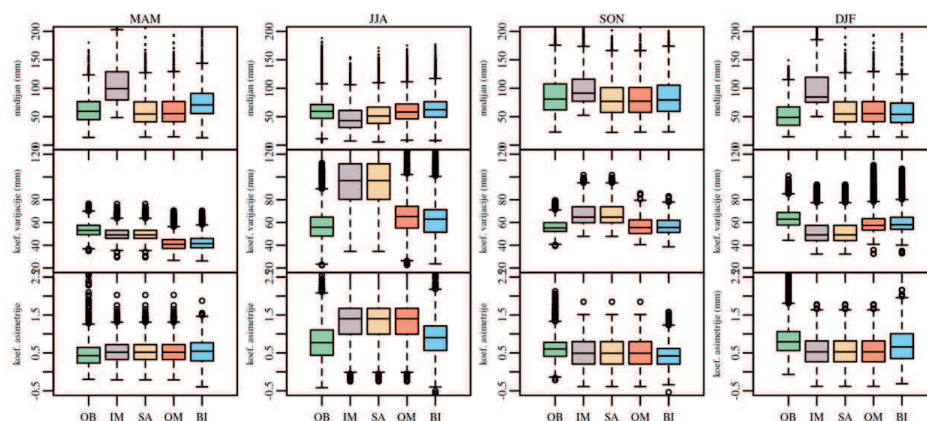
Slika 2. Dijagram pravokutnika za medijan, standardnu devijaciju i koeficijent asimetrije temperature (OB – mjerjenja, IM – izvorni model, SA – aditivna/skaliranje metoda, QM – mapiranje kvantila, BI – bivarijatna metoda, MAM – proljeće, JJA – ljeto, SON – jesen, DJF – zima)



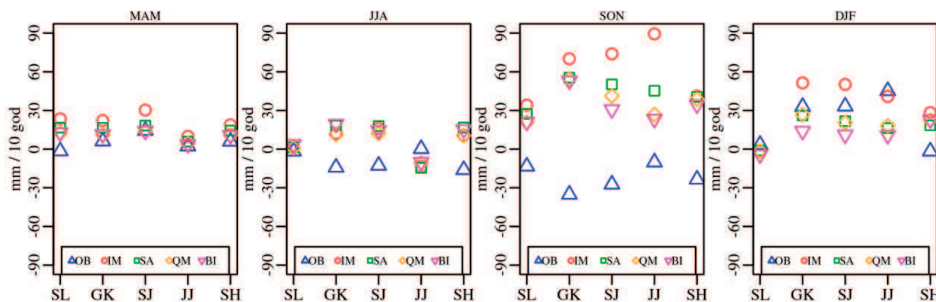
Slika 3. Trend srednje mjesečne temperature [$^{\circ}\text{C} / 10 \text{ god}$] (OB – mjerjenja, IM – izvorni model, SA – aditivna/skaliranje metoda, QM – mapiranje kvantila, BI – bivarijatna metoda, MAM – proljeće, JJA – ljeto, SON – jesen, DJF – zima, SL – Slavonija, GK – Gorski kotar, SJ – sjeverni Jadran, JJ – južni Jadran, SH – središnja Hrvatska)

Na Slici 2 prikazan je dijagram pravokutnika za medijan, standardnu devijaciju i koeficijent asimetrije temperature uzimajući u obzir sve točke promatrane domene. Medijan temperature korigiran različitim metodama, u većini sezona daje vrlo slične rezultate, osim tijekom proljeća kada jednodimenzionalne metode, aditivna i mapiranje kvantila, daju nešto niže vrijednosti dok bivarijatna metoda medijan temperature približava vrijednostima iz mjerjenja. Važno je napomenuti da je medijan temperature iz izvornog modela vrlo blizak onome iz mjerjenja, odnosno, pristranost modela je mala. Za standardnu devijaciju temperature pristranost je nešto veća i univarijatna aditivna metoda ne korigira pristranost u drugom momentu dok mapiranje kvantila i bivarijatna metoda približavaju standardnu devijaciju temperature iz modela onoj iz mjerjenja što je vidljivo u svim sezonama. U zimi je uočljivo kako mapiranje kvantila i bivarijatna

metoda korigiraju i interkvartilni raspon standardne devijacije. Koeficijent asimetrije kao treći moment nije uspješno korigiran niti jednom metodom. Ljeti se koeficijent asimetrije iz mjerenja razlikuje u predznaku od koeficijenta asimetrije iz modela što ukazuje na drukčiju razdiobu temperature. Razdioba temperature iz modela nagnuta je prema višim vrijednostima tijekom ljeta i osobito zime. Trend temperature detektiran iz klimatskog modela (Slika 3) se ne mijenja primjenom različitih metoda korekcije pristranosti ni u jednoj odabranoj točki u Hrvatskoj.



Slika 4. Dijagram pravokutnika za medijan, koeficijent varijacije i koeficijent asimetrije oborine (OB – mjerena, IM – izvorni model, SA – aditivna/skaliranje metoda, QM – mapiranje kvantila, BI – bivarijatna metoda, MAM – proljeće, JJA – ljeto, SON – jesen, DJF – zima)



Slika 5. Trend mjesečne količine oborine [mm / 10 god] (IM – izvorni model, MAM – proljeće, JJA – ljeto, SON – jesen, DJF – zima, SL – Slavonija, GK – Gorski kotar, SJ – sjeverni Jadran, JJ – južni Jadran, SH – središnja Hrvatska)

Medijan oborine (Slika 4) uspješno je korigiran primijenjenim metodama korekcije pristranosti no već je kod koeficijenta varijacije, slično kao za standardnu devijaciju temperature, vidljivo je da metoda skaliranja ne korigira uspješno drugi moment. Koeficijent asimetrije korigiran bivarijatom korekcijom pristranosti, što je posebno vidljivo tijekom ljeta, indikator je korekcije oborine prema temperaturi i međuovisnosti

distribucije oborine i temperature što proizlazi iz teorije bivarijatne metode (Li i drugi, 2014). Trend u mjesečnoj količini oborine (Slika 5) za određene sezone nije jasan kao kod temperature. Najbolje slaganje i modela i mjerenja te metoda korekcije pristranosti detektirano je u proljeće i ljeto dok su najveća odstupanja uočljiva tijekom jeseni i zime. U slučaju kada model jako odstupa od mjerenja (npr. tijekom jeseni), sve promatrane metode korekcije ublaže trend no ne mijenjaju mu smjer. Uočeno je da metode korekcije značajno mijenjaju trend količine oborine u usporedbi s modelom na točkama uz more i na većim nadmorskim visinama (Gorski kotar, južni Jadran i sjeverni Jadran).

ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazan je utjecaj metoda korekcije pristranosti na statističke mjere lokacije, raspršenja i simetrije te na trend. Uspoređene su tri metode korekcije pristranosti, aditivna metoda za temperaturu, odnosno, metoda skaliranja za oborinu, mapiranje kvantila te bivarijatna metoda s kopolom. Sve tri metode uspješno korigiraju mjere lokacije (medijan). Mjere raspršenja (standardna devijacija i koeficijent varijacije) korigirane su mapiranjem kvantila i bivarijatnom korekcijom dok metoda skaliranja, odnosno, aditivna ne korigira drugi moment. Ako je od interesa varijanca nekog parametra, korekciju pristranosti je važno provesti pomoću sofisticiranije metode npr. mapiranjem kvantila. Treći moment, odnosno, koeficijent asimetrije koji govori o nagnutosti razdiobe, se može korigirati tek bivarijatnom metodom kada asimetrija razdiobe ovisi o drugoj varijabli što je vidljivo u koeficijentu asimetrije za oborinu. Primjenom univarijatnih metoda zadržavaju se karakteristike razdiobe iz rezultata modela. Bivarijatne metode imaju dodatnu karakteristiku korigiranja koeficijenta korelacije no veze među varijablama nisu razmatrane u ovom radu.

Trend temperature nakon korekcije pristranosti ima isti smjer kao u izvornim podacima modela bez obzira na metodu. Ovom karakteristikom se omogućava da promatrane metode korekcije pristranosti koristimo i u projekcijama buduće klime i da time ne mijenjamo trend detektiran u izvornim podacima modela. Rezultate ovog istraživanja potrebno je proširiti uključivanjem alternativnih kombinacija regionalnih i globalnih klimatskih modela, te evaluacijom trendova za dulja vremenska razdoblje.

ZAHVALA

Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom IP-2018-01-5222 (VitaClim).

LITERATURA

- [1] Cornes, R. C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E. J. M., & Jones, P. D. (2018): *An ensemble version of the E-OBS temperature and precipitation data sets*, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 123, 9391–9409.
- [2] Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L. i drugi (2012): *RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains*, Clim Res 52:7-29.
- [3] Li, C., E. Sinha, D. E. Horton, N. S. Diffenbaugh, Michalak A. M. (2014): *Joint bias correction of temperature and precipitation in climate model simulations*, J. Geophys. Res. Atmos., 119, 153-162.
- [4] Maraun, D., Widmann, M. (2018): *Statistical Downscaling and Bias Correction for Climate Research*, Cambridge University Press, Cambridge, 347 pp.

AUTORI

Renata Sokol Jurković, mag.phys.-geophys. ^a
dr. sc. Ivan Güttler ^a

^a Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10000, Hrvatska, renata.sokol@cirus.dhz.hr, ivan.guettler@cirus.dhz.hr



R 1.02.

O METODI I PROBLEMIMA IZRADE KRIVULJA INTENZITETA – TRAJANJA – POVRATNOG RAZDOBLJA

Renata Sokol Jurković, Irena Nimac, Ksenija Cindrić Kalin

SAŽETAK: U inženjerskoj hidrologiji, prilikom izgradnje sustava odvodnje, važan parametar u projektiranju je količina oborine koja padne u kratkom vremenskom razdoblju. U tu svrhu, potrebno je procijeniti očekivane maksimalne količine oborine koje takav sustav mora primiti za različita povratna razdoblja. U ovom radu je dan pregled procesa izrade krivulja intenziteta – trajanja – povratnog razdoblja (ITP) u Državnom hidrometeorološkom zavodu (DHMZ). Procjene maksimalnih količina oborine za različita trajanja provode se pomoću opće razdiobe ekstrema uz tri moguća rješenja. Prema raspoloživosti podataka DHMZ-a procjenjuju se maksimalne količine oborine za trajanja od 5 do 120 minuta te za trajanja od 2 do 24 sata. Najčešći problem je kratkoća raspoloživih nizova te nedovoljna pokrivenost Hrvatske ombrografima koji bilježe količinu oborine u kratkim intervalima. Naime, niz za procjenu ekstrema mora biti što duži, odnosno, barem upola od povratnog razdoblja za koje se procjenjuju očekivane maksimalne količine oborine. ITP krivulje su prilagodba različitih funkcija (kvadratne, potencije, eksponencijalne i logaritamске) na procijenjene intenzitete za određeno povratno razdoblje. Ocjena prilagodbe pojedine krivulje provodi se pomoću koeficijenta korelacije r te se odabire ona funkcija s najvećim koeficijentom korelacije. Prikazani su primjeri za svaki dio procesa izrade ITP krivulja s potencijalnim izazovima i njihovim rješavanjem.

KLJUČNE RIJEČI: kratkotrajna oborina, intenzitet, trajanje, povratno razdoblje, ITP

INTENSITY – DURATION – RETURN PERIOD (FREQUENCY) (IDF) CURVES: METHOD OF DESIGN AND POTENTIAL PITFALLS

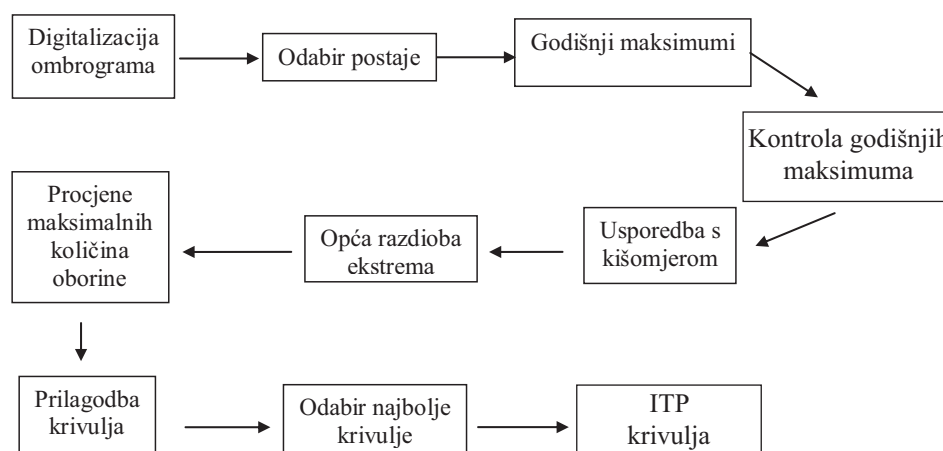
ABSTRACT: In the engineering hydrology, an important parameter in designing a drainage system is the amount of precipitation that falls over a short period of time. For this purpose, it is necessary to estimate the expected maximum precipitation amounts that such a system must receive with regard to different return periods. In this paper, the methodology of producing the intensity-duration-return period (IDF) curves at the Croatian Meteorological and Hydrological Service (DHMZ) is presented. Precipitation return values for different durations are calculated using general extreme value distribution with three possible solutions. According to the availability of DHMZ data, the maximum pre-

precipitation is estimated for 5 to 120 minutes and for 2 to 24 hours. The most common problem is the shortness of available time series and the insufficient network density of ombrographs that record rainfall at short intervals in Croatia. Specifically, the time series for extreme estimation must be as long as possible, that is, at least half of the return period for which the expected maximum precipitation is estimated. Fitting different functions (squares, potential, exponential and logarithmic) to the estimated return values, IDF curves are gained. The adjustment of the individual curve is evaluated using the coefficient of correlation r , and the function with the highest r is selected. For each part of the IDF curve design process examples are presented with potential challenges and their solutions.

KEYWORDS: short-term precipitation, intensity, duration, return period, IDF

1. UVOD

Za potrebe projektiranja i rada objekata koji ovise o oborinskom režimu te moraju biti u stanju podnijeti ekstremne količine oborine, važan parametar je količina oborine koja padne u kratkom vremenskom razdoblju. Posebno su kritična urbana područja gdje zbog korištenja nepropusnih materijala u izgradnji, sustavi odvodnje trebaju biti u mogućnosti podnijeti velike količine intenzivne oborine (Ožanić i drugi, 1998). U tu svrhu, potrebno je procijeniti očekivane maksimalne količine oborine koje takav sustav mora primiti za različita povratna razdoblja.



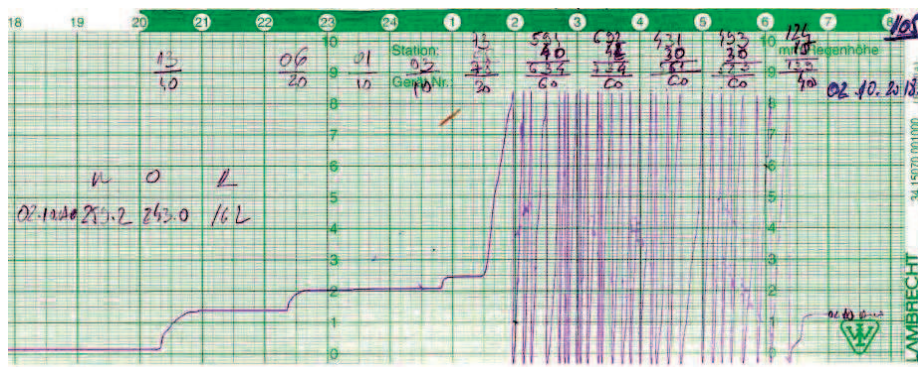
Slika 1. Dijagram procesa izrade ITP krivulja

Za analizu kratkotrajnih količina oborine koriste se zapisi ombrografa s kojih se može očitati količina oborine u kratkim vremenskim razdobljima. Krivulje intenziteta – trajanja – povratnog razdoblja (ITP) opisuju odnos između intenziteta oborine, trajanja oborine i povratnog razdoblja, odnosno, vjerojatnosti prekoračenja. ITP krivulja je prilagodba različitih funkcija (kvadratne, potencije, eksponencijalne i logaritamske) na procijenjene intenzitete za određeno povratno razdoblje, odnosno, matematička funkcija koja povezuje intenzitet oborina s njegovim trajanjem i učestalošću pojavljivanja. Obično

se koriste u projektiranju hidroloških, hidrauličkih i vodnih sustava, prognozi poplava, građevinarstvu i sustavu odvodnje. ITP krivulje se također analiziraju u meteorologiji jer daju uvid u vremensku strukturu oborina. Nastavno na rad Rubinić i drugi (1995) ovdje je dan pregled aktualnog procesa izrade ITP krivulja u Državnom hidrometeorološkom zavodu (DHMZ). Prikazani su primjeri za svaki dio procesa (Slika 1) s potencijalnim izazovima i njihovim rješavanjem.

2. PODACI, METODE I REZULTATI

Ombrograf (ili pluviograf) je automatski registrirni instrument za neprekidno praćenje količine i trajanja oborine. Na temelju ombrograma (pluviograma) moguće je odrediti vrijeme početka, završetka i ukupno trajanje te jačinu oborine (Pandžić i drugi, 2008). Neki pluviografi imaju grijač koji treba zagrijati unutrašnjost uređaja toliko da se održi tekuće stanje oborine u posudi. Na taj se način produljuje razdoblje uporabe pluviografa na dio godine kada je temperatura zraka ispod 0 °C. Papirnate zapise ombrografa (Slika 2) potrebno je digitalizirati čime se dobiva niz 5-minutnih količina oborine dok automatski ombrografi mjere količinu oborine u čak i kraćim intervalima (1 minuta). U DHMZ-u se iz digitaliziranih podataka klasičnih ombrografa sumira oborina za 5, 10, 15 i 20 do 120 minuta (svakih 10 minuta) te za 1 do 24 sata (za svaki sat). DHMZ trenutno raspolaže sa 101 aktivnim ombrografom, od toga je 45 automatskih, 25 klasičnih te na 31 lokaciji postoje paralelno i automatski i klasični ombrograf (<http://meteo.hr>). Kroz protekla desetljeća neke postaje s klasičnim ombrografima su prestale s radom no podaci su digitalizirani te su mogući proračuni i za te lokacije (ukoliko je raspoloživi niz dovoljno dug).



Slika 2. Dio skeniranog klasičnog papirnato ombrograma za postaju Dubrovnik

Nakon zaprimanja zahtjeva korisnika za izradom ITP krivulja, kreće se u odabir postaje s ombrografom koja najbolje reprezentira oborinske prilike za područje planiranog zahvata. Odabrana postaja, ovisno o traženom povratnom razdoblju, mora imati dovoljno dugačak niz podataka. Najčešći problem na koji se nailazi u ovoj fazi je kratkoća raspoloživih nizova te nedovoljna pokrivenost Hrvatske ombrografima. Naime, niz za procjenu ekstrema mora biti što dulji, odnosno, barem upola od povratnog razdoblja za koje se procjenjuju očekivane maksimalne količine oborine. Iz podataka odabrane

postaje izdvajaju se godišnji maksimumi količine oborine za različita trajanja. Valja naglasiti da pojedini ombrografi u ranije razdoblju nisu imali grijače te su radili samo u toplom dijelu godine (od travnja do listopada) kada nema krute oborine. Zbog toga je potrebno godišnje maksimume usporediti s maksimalnim dnevnim količinama oborine izmjerenim kišomjerom. Naime, u pojedinim godinama kad nije bilo mjerenja u svim mjesecima, postoji mogućnost da stvarni (primarni) maksimum nije zabilježen i tada će analize uključivati samo one koji su raspoloživi u toplom dijelu godine. Ukoliko se prema podacima kišomjera, u takvoj godini, maksimum dnevne količine oborine javlja u hladnom dijelu godine, potrebno je dodatno razmotriti pouzdanost korištenja dostupnog maksimuma te donijeti odluku o eventualnom odbacivanju razmatrane godine iz analize. Za kontinentalne postaje, maksimalne količine oborine kraćeg trajanja uglavnom su vezane uz konvektivnu oborinu koja se javlja tijekom toplog dijela godine, a posebice ljeti.

U radu Gajić-Čapka (2002) provedena je usporedba teorijskih razdioba prikladnih za procjenu maksimalne količine oborine za različita trajanja (Gumbelova, Gulonova, Frechetova, Pearson III i log Pearson III) te je zaključeno da opća razdioba ekstrema prema Jenkinsonu ima najbolje prilagođavanje. Stoga se u DHMZ-u procjene očekivanih ekstremnih vrijednosti za različita trajanja određuju prilagođavanjem opće razdiobe ekstremnih vrijednosti (*engl. Generalized Extreme Value distribution, GEV*) nizovima maksimalnih godišnjih količina oborine čija teorijska krivulja za maksimalne vrijednosti ima oblik (Coles, 2001):

$$x_{max} = x_0 + \alpha(1 - e^{-ky})/k \quad (1)$$

gdje su x_0 , α i k parametri lokacije, skale i oblika razdiobe ekstrema dobiveni iz mjerenih podataka, a imaju sljedeće značenje:

x_0 - vrijednost od x u točki $y=0$ koja se može očekivati jednom godišnje

k - ukazuje na zakrivljenost razdiobe (duljina repa)

α - nagib x,y krivulje u točki $x=0, y=0$.

Reducirana varijata y je funkcija povratnog razdoblja T :

$$y = -\ln \ln(T/(T-1)) \quad (2)$$

U slučaju $k > 0$ krivulja teži konačnoj vrijednosti, a za $k < 0$ krivulja teži u beskonačnost. Treba napomenuti da se u literaturi često koristi i suprotna notacija u (1), odnosno parametar oblika je obrnutog predznaka što upućuje na suprotnu definiciju (ne) ograničenosti razdiobe. U slučaju kada je $k=0$, rješenje se pojednostavljuje i ima oblik jednadžbe pravca,

$$x = x_0 + \alpha y \quad (3)$$

a razdioba ekstrema se tada naziva Gumbelova razdioba. Budući da taj model za procjenu ekstrema daje linearnu ovisnost između varijable x i reducirane varijate y , slučajna varijabla teži u beskonačnost. Stoga će pogreške koje se javljaju primjenom te metode biti veće što je povratno razdoblje dulje. Povratno razdoblje je srednji vremenski razmak u godinama koji proteče između dva premašaja određenog ekstrema. Gumbelova razdioba se u praksi koristi samo u situaciji kada GEV ne daje realne rezultate (npr. Slika 3b).

Prema proračunatim parametrima razdiobe ekstrema, uvažavajući odnos reducirane

varijate y i povratnog razdoblja T (god), mogu se izračunati procjene ekstremnih vrijednosti i za druga povratna razdoblja, odnosno vrijednosti za koje je vjerojatno da će biti premašene prosječno jednom u tih T godina.

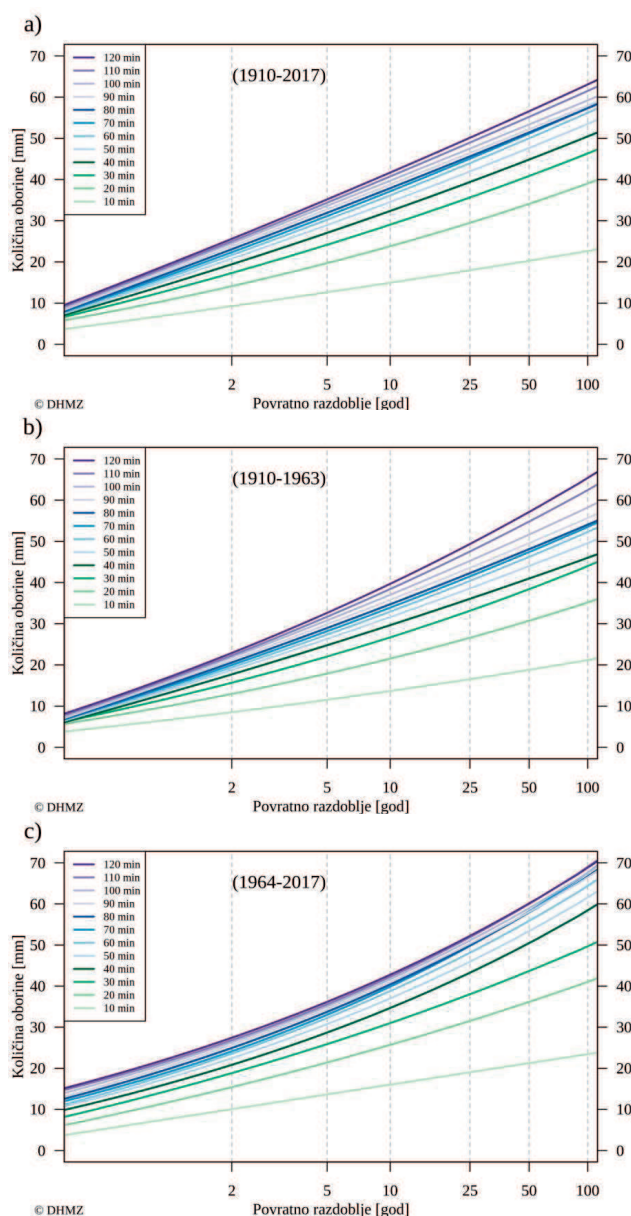
Kako bismo usporedili teorijsku (GEV) i empiričku razdiobu, odabrana je postaja Zagreb - Grič koja ima 108 godina ombrografskih mjerenja (razdoblje 1910. - 2017.). Budući da povratna razdoblja T odgovaraju vjerojatnosti P da određena količina oborine bude premašena jednom u tih T godina, za 108-godišnji niz godišnjih maksimuma određeni su 80., 90., 96., 98. i 99. percentil za pojedino trajanje oborine koji u teoriji odgovaraju povratnom razdoblju od 5, 10, 25, 50 i 100 godina. Za isti niz podataka primjenom opće razdiobe ekstrema određene su povratne vrijednosti za različita trajanja te su relativne razlike (%) između empirijskih percentila te GEV procjena dane u Tablici 1.

Tablica 1. Relativne razlike (%) između vrijednosti maksimalnih količina oborine za različita trajanja određenih empiričkom razdiobom i općom razdiobom ekstrema na postaji Zagreb-Grič (1910.–2017.). T (god) je pripadno povratno razdoblje

T (god)	2	5	10	25	50	100
P (%)	50	80	90	96	98	99
10 min	-2.7	-0.5	-0.9	2.8	4.6	1.4
20 min	0.7	6.0	-1.3	-8.4	-1.0	-2.3
30 min	2.6	10.2	1.0	-7.8	-4.0	-7.1
40 min	0.8	4.7	2.4	0.1	-0.2	-5.4
50 min	-2.2	9.7	1.1	-2.6	-3.0	-7.1
60 min	-2.8	8.5	3.4	0.9	-1.7	-9.8
70 min	-3.1	6.5	4.7	0.9	-1.0	-9.0
80 min	-4.1	7.8	5.9	0.2	-0.7	-6.3
90 min	-4.2	7.6	4.0	-1.8	-1.7	-5.1
100 min	-4.3	7.3	5.8	-0.3	-1.8	-5.9
110 min	-4.4	6.7	4.1	-0.8	1.0	-3.2
120 min	-4.7	5.5	3.2	0.1	-1.1	-0.9

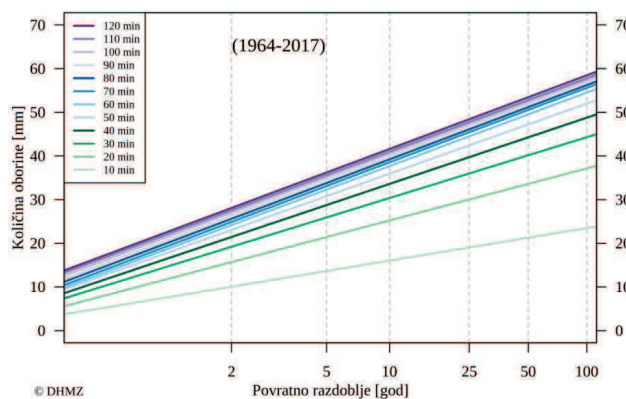
Ovdje se dolazi do jednog od problema kod procjene ekstrema: koje je najveće povratno razdoblje za koje se može odrediti odgovarajuća ekstremna vrijednost? Ranija ispitivanja tog problema (Gajić-Čapka, 1999) pokazala su da se pouzdana procjena može dati za povratno razdoblje koje je do dva puta veće od duljine niza. U klimatološkoj praksi DHMZ-a, procjene na meteorološkim postajama provode se prema najduljem raspoloživom nizu podataka, a koji su znatno kraći od analiziranog niza u ovom radu. Naime, Zagreb-Grič je jedina postaja s duljinom ombrografskih mjerenja preko 100 godina. Stoga, prilikom pripreme rezultata očekivanih maksimuma za povratna razdoblja dulja od niza mjerenja, nužno je navesti i nepouzdanost takvih procjena. Dodatno treba napomenuti kako se uslijed klimatskih promjena mijenjaju i karakteristike kratkotrajnih oborina. Na primjer, na Slici 3 vidljivo je da se procjene ekstrema na temelju 108-godišnjeg niza podataka (Slika 3a) razlikuju od procjena za prvih (Slika 3b) i posljednjih (Slika 3c) 54 godine, za sva povratna razdoblja. Vizualne razlike između procjena u dva razdoblja su posebno uočljive za oborinu trajanja većeg od 30 min, a razlike između prvih 54 godine i cjelovitog niza manje se razlikuju nego posljednjih 54 godine i cjeloviti niz. Razlike u

procjenama između dva razdoblja premašuju i 10 mm za pojedina povratna razdoblja i trajanja odnosno čak do 27 %. Dakle, ovi rezultati ukazuju na mogućnost intenzifikacije kratkotrajnih količina oborine na lokaciji Zagreb-Grič u novijem razdoblju.



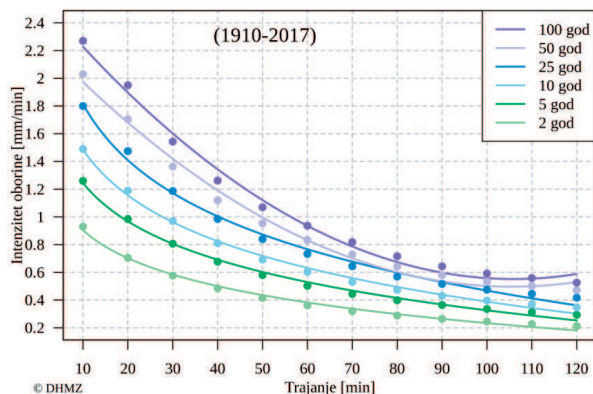
Slika 3. Procjena maksimalnih količina oborine prema općoj razdiobi ekstrema za razdoblje 1910.–2017. (a), za razdoblje 1910.–1963. (b) i za razdoblje 1964.–2017. (c) na postaji Zagreb-Grič

Još jedan od problema kod procjene ekstrema primjećuje se na Slici 3c. Presijecanje pojedinih krivulja nije fizikalno, odnosno ne može se očekivati da maksimalna količina oborine koja padne u npr. 70 min bude veća od količine koja padne u 80 min. U praksi se ovom problemu pristupa primjenom Gumbelove razdiobe (3) i Slika 4).



Slika 4. Procjena maksimalnih količina oborine prema Gumbelu za razdoblje 1964. - 2017. na postaji Zagreb-Grič

ITP krivulje prikazuju funkcionalnu vezu između intenziteta oborine, njenog trajanja i povratnog razdoblja. Nakon uspješne procjene maksimalnih količina oborine na podatke za određeno povratno razdoblje prilagođavaju se kvadratna, eksponencijalna, logaritamska ili funkcija potencije. Uspješnost prilagodbe ITP krivulje intenzitetima oborine dobivenim iz procijenjenih maksimalnih količina oborine testirana je koeficijentom korelacije. Veći koeficijent korelacije upućuje na bolju prilagodbu ITP krivulje pa je kao finalna teorijska krivulja odabrana ona s najvećim koeficijentom korelacije. Iako ti koeficijenti pokazuju visoku korelaciju, treba napomenuti da su relativne razlike između intenziteta dobivenih iz procijenjenih vrijednosti maksimalnih količina oborine i intenziteta procijenjenih iz ITP krivulja u razmatranom primjeru čak i do 15 %. Preporuka je koristiti procjene maksimalnih količina oborine i iz njih izračunate intenzitete, budući da ITP krivulje uvode dodatnu pogrešku pridružujući krivulju podacima koji su također rezultat proračuna (Gajić-Čapka, 2002). Isto se uočava i na Slici 5 gdje je problematično dodirivanje krivulja za 25- i 50- godišnje povratno razdoblje za oborinu trajanja 80 i 90 minuta, dok se odgovarajući intenziteti izračunati iz procjena ekstrema ipak razlikuju.



Slika 5. ITP krivulje za oborinu trajanja od 10 do 120 minuta i povratna razdoblja od 2, 5, 10, 25, 50 i 100 godina na postaji Zagreb-Grič

ZAKLJUČAK

Za izradu ITP krivulja potrebno je raspolagati dovoljno dugim i kvalitetnim nizom podataka kratkotrajne količine oborine. Ukoliko taj uvjet nije u potpunosti ispunjen, dodatnom analizom se iz dostupnih podataka izdvajaju nepouzdanе godine te se procjene ekstrema provode na pouzdanim podacima. Za procjenu maksimalne količine oborine za dulja povratna razdoblja potrebno je imati što dulji niz, odnosno, barem upola od traženog povratnog razdoblja. Ipak, treba imati na umu kako se uslijed klimatskih promjena mogu očekivati češći intenzivniji oborinski događaji (Cindrić i drugi, 2014). Za procjenu ekstrema koristi se opća razdioba ekstrema dok se Gumbelova razdioba koristi rijetko i samo u posebnim slučajevima. Naime, primjena Gumbelove razdiobe uglavnom rezultira podcijenjenim procjenama očekivanih maksimuma, pa te rezultate treba koristiti s oprezom.

Istraživanje prostornih karakteritika kratkotrajnih jakih oborina u Hrvatskoj još uvijek nije sustavno provedeno. Dosadašnje analize zasnivaju se na pojedinačnim lokacijama prema zahtjevima korisnika uključujući različite duljine nizova podataka. Stoga je u DHMZ-u u planu izrada *Atlasa klimatoloških ekstrema* koji bi sadržavao procijenjene količine oborine za sva dostupna trajanja i nekoliko najčešćih povratnih razdoblja iz kojih se mogu konstruirati ITP krivulje. Osim toga, za isti skup podataka provest će se i detaljna analiza klimatskih promjena.

ZAHVALA

Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2017-05-6396.

LITERATURA

- [1] Coles, S., (2001): *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, Springer, 208 str.
- [2] Cindrić, K., Nimac, I., Gajić-Čapka, M., Rubinić, J. (2014): *Vremenske promjene*

kratkotrajnih jakih oborina u razdoblju 1955.-2010. za Split i Varaždin. Hrvatske vode, 22, 89, 239-250.

- [3] Gajić-Čapka, M., (1999): *Duljina normalnog niza za kratkotrajne oborine u Hrvatskoj*. Hrvatske vode, 7, 29, 217-235.
- [4] Gajić-Čapka, M., (2002): *Regionalna analiza učestalosti ekstremnih oborina*, Okrugli stol: Urbana hidrologija, Split, 25. i 26. travnja 2002., 91-100.
- [5] Ožanić, N., Rubinić, J., Milković, J., (1998): *Problemi urbane odvodnje pri pojavama ekstremnih oborina*, Znanstveni skup: Andrija Mohorovičić 140. obljetnica rođenja, Zagreb, 10.-12. ožujka 1998., 417-425.
- [6] Pandžić, K. i drugi (2008): *Naputak za opažanja i mjerenja na glavnim meteorološkim postajama*, DHMZ, Zagreb, 342 str.
- [7] Rubinić, J., Gajić-Čapka, M., Milković, J., Ožanić, N., (1995): *Intenziteti oborine - problemi obrade i interpretacije u praksi*, Okrugli stol: Uloga hidrologije u strukturi gospodarstva Hrvatske, Zagreb, 20. travnja 1995., 53-69

AUTORI

Renata Sokol Jurković, mag. phys.-geophys. ^a

Irena Nimac, mag. phys.-geophys. ^a,

mr. sc. Ksenija Cindrić Kalin ^a

^a Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10000, Hrvatska, renata.sokol@cirus.dhz.hr, irena.nimac@cirus.dhz.hr, ksenija.cindric@cirus.dhz.hr



UPRAVLJANJE RIZICIMA OD POPLAVA USLIJED JAKIH OBORINA - PROJEKT RAINMAN

**Alan Cibilić, Darko Barbalić, Josip Rubinić,
Barbara Karleuša, Nino Krvavica**

SAŽETAK: U sklopu Interreg Central Europe programa u tijeku je projekt Integrirano upravljanje rizikom od jakih kiša, Rainman kojim se nastoji unaprijediti integralno upravljanje u javnom sektoru u svrhu ublažavanja rizika od kišnih događaja jakih intenziteta, a u njemu sudjeluje šest zemalja središnje Europe, uključujući i Hrvatsku. Projekt će rezultirati novim alatima i metodama za procjenu, kartiranje i smanjenje rizika od jake oborine, alatima za brzo predviđanje i upozoravanje u slučaju takvih događaja te prijedlogom mjera za smanjenje šteta koje nastaju kao posljedica jake oborine.

Rizik od oborine jakog intenziteta se iz godine u godinu povećava, a broj stanovnika pogođenih tim događajima u konstantnom je porastu. Posljedice se očituju u materijalnim i nematerijalnim štetama, a nerijetko i ljudskim žrtvama. Sve veći negativni učinci obilnih oborina su zajednički europski izazov. Upravo je radi toga i pokrenut EU projekt Rainman (2017. - 2020). Glavni cilj projekta je poboljšati kapacitete za cjelovito upravljanje kako bi se smanjili rizici i gubici od obilnih oborina u prirodnom i izgrađenom okolišu. U projekt je uključeno deset partnera među kojima su i Hrvatske vode, a projektne aktivnosti odvijaju se u Hrvatskoj na pilot područjima Grada Zagreba i Istre (šire područje Umaga). Za razliku od riječnih, fluvijalnih poplava, obilne oborine, pogotovo na malim slivovima i u urbanim sredinama, izazivaju poplave koje se javljaju vrlo brzo i njihovo prognoziranje je suočeno s velikim nepouzdanostima. Dok su za riječne, fluvijalne poplave dostupne karte rizika, ne postoji „procjena rizika od obilnih oborina“ ili tome odgovarajuće karte za pluvijalne poplave. Hrvatske vode kao partner na projektu daju svoj doprinos zajedničkim rezultatima i ostvarenju zadanih ciljeva na projektu Rainman.

KLJUČNE RIJEČI: oborina jakog intenziteta, karte rizika od poplava, pluvijalne poplave, alati, mjere

HEAVY RAIN FLOOD RISK MANAGEMENT – RAINMAN PROJECT

ABSTRACT: Within the Interreg Central Europe Programme, a project under the title of *Integrated Heavy Rain Risk Management (RAINMAN)* is implemented with the aim of improving integrated management in the public sector in order to mitigate the risks of heavy rain events. Six Central European countries are taking part, including Croatia. The

project will result in new tools and methods for the assessment, mapping and reduction of heavy rain risks, tools for prompt forecasting and alarming in case of such events, and a proposal of measures to reduce the damage caused by heavy rain.

Heavy rain risks are increasing every year, with the number of people affected by such events constantly on the rise. Their consequences are reflected in material and non-material damage, and often in casualties. Increasing negative effects of heavy rain events are a common European challenge. That was precisely the reason why the EU RAINMAN Project was launched (2017-2020). Its main purpose is to improve the capacities for integrated management in order to reduce heavy rain risks and losses in the natural and built environment. There are ten project partners, including Hrvatske vode, with the project activities in Croatia taking place in the pilot regions of the City of Zagreb and Istria (wider Umag area). Unlike river (fluvial) floods, heavy rain events especially in small basins and in urban areas cause pluvial floods that occur very quickly and their forecasts face high uncertainties. While for river (fluvial) flooding risk maps are available, a “heavy rain risk assessment” or adequate pluvial flood maps do not exist. Hrvatske vode as a project partner contributes to the common results and to the achievement of the defined RAINMAN Project objectives.

KEYWORDS: Heavy rain, flood risk maps, pluvial floods, tools, measures

1. UVOD

Pojave obilnih oborina prepoznate su, kako u Europi tako i u Hrvatskoj, kao jedan od ključnih recentnih problema upravljanja vodama, a rizici od poplava i poplavnih šteta izazvanih obilnim oborinama postaju sve izraženiji kako zbog izgradnje urbanih prostora i infrastrukture koja ne udovoljava cjelovitom upravljanju vodama i njima izazvanim rizicima, tako i uslijed sve izraženijeg utjecaja klimatskih promjena/varijacija. Riječne su poplave i puno više proučavane te se za njih izrađuju i karte rizika, a rasprostranjeni su i prikladni modeli za prognoziranje njihove pojave. Nasuprot tome, na području EU ne postoje čak ni elementarne procjene rizika od obilnih oborina. Stoga je i pokrenut EU projekt RAINMAN, Integrirano upravljanje rizikom od jakih kiša, u sklopu EU Interreg Central Europe programa (logo projekta prikazan je na slici 1.). Projekt je započeo polovinom 2017. godine, traje 3 godine (do 30.6.2020.), a ukupna vrijednost projekta iznosi 3.045.287 €.



Slika 1. Logo projekta RAINMAN

Glavni cilj projekta Rainman je poboljšati kapacitete za cjelovito upravljanje kako bi se smanjili rizici od pojava obilnih količina oborine te smanjili gubici u prirodnom i izgrađenom okolišu (uključujući gospodarstvo, ljudske živote, okoliš i kulturnu baštinu). Svrha projekta je uspostaviti zajedničke cjelovite alate za upravljanje rizicima od obilne oborine i ojačati upravljačke kapacitete regionalnih i lokalnih javnih tijela. Projekt će rezultirati novim alatima i metodama za procjenu, kartiranje i smanjenje rizika od jake oborine, alatima za prognoziranje i upozoravanje u slučaju mogućnosti pojave takvih događaja te prijedlogom mjera za smanjenje šteta koje nastaju kao posljedica jake oborine. Zbog specifičnosti i velike prostorne i vremenske varijabilnosti pojava obilnih oborina i njima izazvanih otjecanja, a nerijetko i poplava, procjena, izrada modela i karata rizika od obilnih oborina su još daleko od svakodnevne prakse. Realizacija projekta Rainman uvjetuje brojne sinergije s tekućom provedbom aktivnosti Europske komisije (EK) u kontekstu Direktive o poplavama, pri čemu je ključno pitanje kako rizike od obilnih oborina integrirati u upravljanje rizicima od poplava.

Projekt Rainman orijentiran je na ublažavanje problema uvjetovanih pojavom jakih kratkotrajnih oborina na manjim slivovima i urbanim područjima, a koje stvaraju sve veće probleme i štetne posljedice. Dijelom je to posljedica mogućih utjecaja klimatskih promjena/varijacija za koje se očekuje da će se pojačano manifestirati i u budućnosti, a dijelom neodgovarajućih koncepata oborinske odvodnje urbanih područja, sa značajnom koncentracijom i ubrzavanjem oborinskih otjecanja.

U projekt je uključeno deset partnera koji su odabrali pilot područja u Njemačkoj, Austriji, Poljskoj, Češkoj, Mađarskoj i Hrvatskoj. Svako je pilot područje specifično, i na njemu će se provoditi ciljana istraživanja. Na području Hrvatske odabrana su dva pilot područja, Grad Zagreb i Umag. Pri izboru pilot područja vodilo se računa da se testiranja provedu na prostorno i klimatski različitim područjima, s vrlo različitim zakonitostima pojava kratkotrajne jake oborine, te različitim stupnjem izgrađenosti područja.

Za razliku od riječnih, fluvijalnih poplava, obilne oborine izazivaju poplave koje se javljaju vrlo brzo i njihovo prognoziranje je suočeno s velikim nepouzdanostima. Dok su za riječne poplave dostupne karte rizika, ne postoji „procjena rizika od obilnih oborina“ ili tome odgovarajuće karte za pluvijalne poplave.

Prisutne su i sličnosti koje se očituju u sve učestalijim pojavama intenzivne oborine i njima izazvanih poplava, s vrlo izraženim bujičnim karakterom vodotoka, te pojavama sve intenzivnijih i učestalijih ugroženosti urbanih područja bujičnim i vlastitim oborinskim vodama. Karakteristični su i trendovi smanjenja srednjih, a povećanja maksimalnih godišnjih protoka.

Početni dio sagledavanja oborinskih značajki na pilot područjima u Hrvatskoj proveden je tijekom 2018. - 2019. godine, a njegovi rezultati sadržani su u studiji Građevinskog fakulteta u Rijeci i DHMZ-a (2019). Dana podloga, u kojoj su sadržane osnovne značajke režima kratkotrajnih oborina (HTP i ITP krivulje, oblik „pljuska za projektiranje“ te regionalna sagledavanja pojavnosti obilnih oborina) predstavljaju podlogu kako za planirani nastavak realizacije projekta Rainman na odabranim pilot područjima, tako i za buduće cjelovitije analize oborinskog režima pojava kratkotrajnih jakih oborina na području Hrvatske. Rezultati provedenih istraživanja u spomenutoj studiji sadržani su u još dva rada pripremljena za predmetnu Konferenciju o vodama – u radovima „Projekt Rainman - regionalne specifičnosti mjerodavnih kratkotrajnih jakih oborina na pilot

područjima u Hrvatskoj” (Krvavica i Rubinić, 2019), te „Projekt RAINMAN - Usporedba HTP krivulja ombrografskih postaja na pilot područjima Istre i Zagreba” (Rubinić i drugi, 2019). Zbog toga je u ovom radu dan samo projektni okvir po kome se odvija realizacija aktivnosti koje, osim u domeni analize oborinskog režima, još nisu zaključene. Za očekivati je da će daljnja realizacija projekta, kao i implementacija njegovih rezultata u praksi, pridonijeti smanjenju rizika od štetnih posljedica obilnih oborina kako na odabranim pilot područjima u Istri i Zagrebu, tako i na širem regionalnom prostoru.

2. OPIS PROJEKTA

Rezultati projekta pridonijet će poboljšanju cjelovitog upravljanja okolišem u sektorima upravljanja vodama i rizicima od poplava, urbanog i krajobraznog planiranja, poljoprivrede, civilne zaštite te niza drugih sektora.

U sklopu projekta Rainman predviđeni su slijedeći Radni paketi (RP):

- RP1 - Alati i metode za procjenu i izradu karata rizika od obilnih oborina.
- RP2 - Mjere smanjivanja rizika radi smanjivanja šteta od obilnih oborina.
- RP3- Pilot aktivnosti za provjeru i unaprijeđenje metoda razvijenih za procjenu i prevenciju rizika
- RP4 - Komplet alata “Rainman-Toolbox” za smanjenje rizika.

U nastavku su navedeni Radni paketi opširnije opisani.

2.1. Alati i metode za procjenu i izradu karata rizika od obilnih oborina (RP1)

Potrebno je razviti alat i metode za procjenu rizika od obilnih oborina u različitim kategoriziranim uvjetima i načinima korištenja zemljišta na pilot područjima (Rainman, Tool 1). Alat je temelj za ostvarivanje specifičnog cilja projekta: unaprijediti sposobnosti upravljanja rizicima i smanjiti rizike od obilnih oborina u budućnosti. Bez takvih alata ne mogu se donijeti pouzdane odluke i provesti efikasne mjere smanjivanja rizika (poput prilagođavanja korištenja zemljišta ili pojedinih građevina, uzbunjivanja, evakuacije). Potrebno je analizirati preduvjete, polazišta i zahtjeve za razvoj metodologije u procesu određivanja opsega, pristupa i metoda za izradu modela opasnosti, procjenu i izradu karata rizika.

U drugom, koraku, razvija se analitički okvir za procjenu rizika od obilnih oborina, uključujući metode primjenjive u regionalno specifičnim uvjetima. Metode se prilagođavaju različitim razinama složenosti i različitim geografskim i fizičkim preduvjetima pilot područja. Tako će se npr. specificirati metode prilagođene za urbana i ruralna područja. Neposredni očekivani rezultat je alat za izradu karata rizika od obilnih oborina. Zajednički, cjeloviti i praksi orijentirani alat će omogućiti identificiranje, procjenu i izradu karata različitih razina rizika za određena područja. Njime se postavlja temelj za jačanje sposobnosti upravljanja rizicima, uključujući zaštitu, pripravnost, jačanje svijesti, uzbunjivanje i hitne intervencije.

2.2. Mjere smanjivanja rizika radi smanjivanja šteta od obilnih oborina (RP2)

Planiran je razvoj alata (Rainman, Tool 2) i strategije za smanjivanje rizika od obilnih oborina za pilot područja. Alat će uključivati katalog mjera smanjivanja rizika za različite situacije i uvjete, vodič za odabir najboljih opcija za mjere te vodič za primjenu i provedbu mjera. Osim toga, projektni partneri razvijaju strategiju zajedničkog upravljanja rizicima od obilnih oborina na urbanim i ruralnim područjima.

Strategija ima dva cilja: prvi je, izrada vodiča za lokalne i regionalne aktivnosti na suočavanju sa sve većim rizicima od obilnih oborina koje će se provoditi lokalno i regionalno, a drugi je, stručni doprinos na unapređivanju politike na području upravljanja poplavama, naročito Direktive o poplavama.

Prema tome, cilj je unapređenje strategija cjelovitog upravljanja okolišem u javnom sektoru. Uz to, cilj je i smanjivanje rizika od obilnih oborina jačanjem prevencije te povećanjem kapaciteta za upravljanje rizicima.

Prvi korak je prikupljanje i evaluacija raspoloživih pristupa i iskustava. Drugi korak je izrada kataloga mjera i primjera, uključujući vodič za odabir i provedbu te regionalne specifikacije za različite uvjete. Planiran je i razvoj mjera poput sustava uzbunjivanja. Alatu za smanjivanje rizika biti će pridodan vodič za primjenu u specifičnim uvjetima. Plan je da strategija upravljanja rizicima od obilnih oborina ugrađuje spomenuti alat u lokalne i regionalne akcijske planove.

Neposredni očekivani rezultati su:

- Alat za smanjivanje rizika u svrhu odabira i provedbe mjera ublažavanja rizika od obilnih oborina (Rainman, Tool 2),
- Strategija upravljanja rizicima od obilnih oborina i vodič za provedbu, kao mjera unapređivanja provedbe Direktive o poplavama.

2.3. Pilot aktivnosti za provjeru i unaprjeđenje metoda razvijenih za procjenu i prevenciju rizika (RP3)

Pilot aktivnosti svih uključenih partnera se provode kako bi se testirale razvijene zajedničke metode i alati te kako bi se provjerila njihova izvedivost i primjenjivost. U projekt je uključeno sedam pilot aktivnosti s različitim karakteristikama kako bi se dobio širok raspon uvjeta primjene. Aktivnosti imaju različite fokuse kako bi se testirala raznolikost metoda, sve su usmjerene na procjenu i izradu karata rizika od obilnih oborina (s različitim specifičnostima) te na različite mjere u urbanim i ruralnim područjima. Pri tome intenzivne konzultacije na terenu s lokalnim dionicima trebaju osigurati prilagođenost zajedničkih rezultata potrebama lokalnih i regionalnih ciljnih skupina.

Na svakom se pilot području testira odabir mjera upravljanja rizicima razvijenim u RP2. Neposredni očekivani rezultati su testiranje razvijenih metoda i alata u cilju utvrđivanja njihove primjenjivosti.

2.4. Komplet alata "RAINMAN-Toolbox" o smanjivanju rizika (RP4)

Glavni neposredni rezultat RP4 je izrada i provedba kompleta alata „RAINMAN-Toolbox“ koji sadrži pet alata za smanjivanje rizika od obilnih oborina i unapređivanje kapaciteta

regionalnih i lokalnih administracija u središnjoj Europi za cjelovito upravljanje rizicima za okoliš.

Komplet alata sadrži:

1. Alat za procjenu i izradu karata rizika od obilnih oborina,
2. Provedbeni vodič za mjere smanjivanja rizika, upozoravanje i hitne intervencije,
3. Preporuke za Planove upravljanja rizicima od poplava,
4. Jačanje svijesti i uključivanje dionika,
5. Katalog primjera dobre prakse za smanjivanje rizika od obilnih oborina.

Razvoj kompleta alata u ovom radnom paketu služi i kao platforma za cjelokupnu koordinaciju projekta, jer u njemu treba povezati sve pojedinačne elemente projekta.

Neposredni rezultat je: Stvaranje i provedba kompleta od pet alata Rainman-Toolbox za smanjivanje rizika od obilnih oborina koji bi kao web aplikacija bili od pomoći lokalnim i regionalnim vlastima na procjeni i izradi karata rizika od poplava uzrokovanih obilnim oborinama i akcijskom planiranju, kao i komuniciranju o rizicima i jačanju javne svijesti. U okviru ovog glavnog cilja cjelokupnog projekta Rainman, planirana je i provedba aktivnosti na pilot područjima čime Hrvatske vode kao partner na projektu daju, između ostaloga, svoj doprinos zajedničkim rezultatima i ciljevima na projektu Rainman. To u kontekstu planiranih aktivnosti u Hrvatskoj podrazumijeva izradu karata rizika od kratkotrajne oborine visokih intenziteta na pilot područjima u Gradu Zagrebu i širem području Umaga u Istri, uz provedbu hidrološko-hidrauličkog modeliranja.

Treba napomenuti da je područje Zagreba ugroženo također i bujičnim vodama s Medvednice i vlastitim oborinskim vodama, a ugroženost velikim vodama od rijeke Save u ovom projektu neće se razmatrati. Područje Istre pod utjecajem je sredozemnih atmosferskih strujanja i ima naglašenije pojave intenzivne oborine. Tu su u značajnoj mjeri prisutne i krške površine na kojima velike količine oborine imaju drugačiji karakter površinskih i podzemnih otjecanja.

ZAKLJUČAK

Za razliku od riječnih, fluvijalnih poplava, obilne oborine izazivaju poplave koje se javljaju vrlo brzo i njihovo prognoziranje je suočeno s velikim nepouzdanostima. Dok su za riječne, fluvijalne poplave dostupne karte rizika, ne postoji pouzdana „procjena rizika od obilnih oborina“ ili tome odgovarajuće karte za pluvijalne poplave. Stoga je planirano da će provedba projekta Rainman rezultirati novim alatima i metodama za procjenu, kartiranje i smanjenje rizika od obilnih oborina, alatima za prognoziranje i upozoravanje u slučaju mogućnosti pojave takvih događaja, te prijedlogom mjera za smanjenje šteta koje nastaju kao posljedica jake oborine. Pri tome će se predstaviti moguće građevinske i upravljačke mjere kojima je za cilj smanjivanje poplavnih rizika i šteta, što uključuje mjere vezane uz preventivno i operativno djelovanje, za vrijeme i neposredno prije događaja.

Hrvatske vode u okviru glavnog cilja, cjelokupnog projekta Rainman, između ostaloga provode i aktivnosti koje će rezultirati izradom karata rizika od kratkotrajne oborine visokih intenziteta na pilot područjima Grada Zagreba i širem području Umaga, i tako daju partnerski doprinos testiranju zajedničkih rezultata projekta Rainman.

LITERATURA

- [1] Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ (2019): *Analiza oborina na pilot područjima u Istri i Zagrebu - Projekt Rainman* (nositelj zad. Rubinić J.). Rijeka-Zagreb.
- [2] Krvavica N; Rubinić J, (2019): *Projekt Rainman - regionalne specifičnosti mjero-davnih kratkotrajnih jakih oborina na pilot područjima u Hrvatskoj*, u pripremi za 7. Hrvatsku konferenciju o vodama
- [3] Rubinić J; Cindrić Kalin K; Radišić M; Güttler I; Krvavica N; (2019): *Projekt RAINMAN - Usporedba HTP krivulja ombrografskih postaja na pilot područjima Istre i Zagreba*, u pripremi za 7. Hrvatsku konferenciju o vodama
- [4] RAINMAN (2017): Application Form (Interreg Central Europe Program, Projekt Rainman, CE 968)
- [5] Radni materijali na projektu Rainman

AUTORI

Alan Cibilić, dipl. ing. građ.^a

dr. sc. Darko Barbačić, dipl. ing. građ.^a

doc. dr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ.^b

prof. dr. sc. Barbara Karleuša, dipl. ing. građ.^b

doc. dr. sc. Nino Krvavica, dipl. ing. građ.^b

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska acibilic@voda.hr, dbarbalic@voda.hr

^b Građevinski fakultet u Rijeci, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka, Hrvatska [jrubic@uniri.hr](mailto:jrubinic@uniri.hr), barbara.karleusa@uniri.hr, nino.krvavica@uniri.hr



R 1.04.

PROJEKT RAINMAN – REGIONALNE SPECIFIČNOSTI MJERODAVNIH JAKIH OBORINA NA PILOT PODRUČJIMA U HRVATSKOJ

Nino Krvavica, Josip Rubinić

SAŽETAK: U ovom radu, temeljenom na rezultatima istraživanja provedenim u okviru EU projekta RAINMAN, uspoređene su i opisane regionalne specifičnosti pljuska za projektiranje definiranog na temelju ombrografskih podataka s po dvije postaje na području Zagreba i Istre. Ukratko je opisana primijenjena metoda definiranja oblika krivulje pljuska za projektiranje te je provedena usporedba razlika u obliku krivulja s obzirom na razrede trajanja oborina. Također, na jednom praktičnom primjeru, analizirana je važnost definiranja mjerodavnih oborina pljuskom za projektiranje, ne samo kod analiza pluvijalnih poplava, već i kod dimenzioniranja određenih elemenata sustava za odvodnju oborinskih voda.

KLJUČNE RIJEČI: rizik od intenzivnih oborina, mjerodavna oborina, projektni pljusak, pluvijalne poplave, odvodnja oborinskih voda

PROJECT RAINMAN – REGIONAL CHARACTERISTICS OF DESIGN STORMS IN PILOT AREAS IN CROATIA

ABSTRACT: This paper presents selected results from the research conducted within the EU project RAINMAN. In particular, the regional characteristics of the design storms derived from ombrograph data at two stations in the Zagreb and Istria pilot areas are described and compared. The methodology applied to deriving appropriate design storms is briefly described, and the differences in the shape of the design curves are compared with regards to the rainfall duration classes. Furthermore, one practical example is given to emphasize the importance of defining input rainfall data by using a design storm, not only in analyses of pluvial floods but also in sizing certain elements of storm water drainage systems.

KEYWORDS: heavy rain risk, rainfall, design storm, pluvial floods, storm water drainage

1. UVOD

Početak 21. stoljeća obilježile su, kod nas i u svijetu, sve izraženije poplave uvjetovane ekstremnim jakim oborinama na lokalnim slivnim područjima. Pritom su posebno ugrožene

urbane sredine, prije svega zbog neplanske i sve intenzivnije izgradnje nepropusnih površina, ali i neodgovarajućih projektnih rješenja. Kako bi se procijenile opasnosti te ublažile posljedice od poplava, neophodno je stručne analize temeljiti na pouzdanim hidrološko-hidrauličkim modelima, ali i raspolagati podlogama koje realno odražavaju značajke predmetnog područja. Naime, rezultati hidroloških analiza neposredno ovise o kvaliteti oborinskih značajki. Međutim, razina definiranosti oborina vrlo često nije zadovoljavajuća, jer nerijetko zanemaruje prostornu i vremensku nehomogenost njihove pojave. Posebno se to odnosi na područje Republike Hrvatske, gdje su na geografski malom području prisutne vrlo izražene orografske i klimatske raznolikosti koje utječu na količine oborina, njihovu vremensku raspodjelu te vjerojatnost pojavljivanja. Stoga, u procjenama opasnosti od pluvijalnih poplava, kao i kod dimenzioniranja određenih elemenata sustava za odvodnju oborinskih voda, neophodno je mjerodavnu oborinu definirati tzv. *pljuskom za projektiranje* (Dietz, 2007). Naime, za razliku od HTP ili ITP krivulja koje predstavljaju anvelopu kišnih događaja iz različitih kišnih epizoda te unutar svoga trajanja uprosječuju intenzitete, pljusak za projektiranje uključuje i vremensku varijabilnost intenziteta unutar jedne kišne epizode.

U ovome radu prikazat će se odabrani rezultati istraživanja odgovarajućeg pljuska za projektiranje na dva pilot područja u Hrvatskoj, provedenih u okviru EU projekta RAINMAN (2019). Pri tome, posebno će se naglasiti regionalne specifičnosti pljuska za projektiranje, odnosno razlike u vremenskoj raspodjeli oborina između Istre i Zagreba. Također, na jednom praktičnim primjeru ilustrirat će se važnost korištenja pljuska za projektiranje umjesto tradicionalnog pristupa s oborinom ravnomjernog intenziteta.

2. METODOLOGIJA DEFINIRANJA MJERODAVNE OBORINE

Pljusak za projektiranje (eng. *design storm*), za razliku od ravnomjernog intenziteta oborine dobivenog iz ITP krivulja, sadrži vremenski varijabilne intenzitete oborina kako bi se što realnije prikazala stvarna oborina (Dietz, 2007). Može biti definiran sintetičkim hijetogramom izvedenim iz niz zabilježenih kišnih događaja ili, rjeđe, odabirom pojedinih zabilježenih ekstremnih povijesnih oborina. U prvom slučaju, vremenska raspodjela oborina računa se ili direktno iz HTP/ITP krivulja ili statističkom obradom niza zabilježenih oborina (Dietz, 2007).

U sklopu EU projekta RAINMAN razvijena je metodologija definiranja pljuska za projektiranje na temelju metode prosječne varijabilnosti oborinskog intenziteta (Pilgrim, 1987). Naime, pomoću navedene metode definiraju se determinističke vrijednosti pljuska za projektiranje određenog trajanja i povratnog perioda, koje su jednostavnije za primijeniti u praksi u usporedbi s (češće korištenim) probabilističkim pristupom metode kvartilnih krivulja, a daju prihvatljivu aproksimaciju karakterističnog oblika kumulativne oborine (Krvavica i sur., 2018). Predložena se metodologija sastoji od dva koraka: (i) pripreme ulaznih podataka o oborinama te (ii) generiranja krivulje projektnog pljuska.

2.1. Obrada ombrografskih podataka

Odabir reprezentativnih događaja proveden je s obzirom na unaprijed definirane pragove (donje granice) za intenzitet i visinu oborina različitog trajanja s kojima se u hrvatskoj praksi ulazi u sekundarne obrade (Bonacci, 1994). Nakon što su odabrani svi pojedinačni događaji na temelju kojih se definira oblik pljuska za projektiranje,

definirane su kumulativne krivulje uzastopnim zbrajanjem 5-min vrijednosti visine oborina. Transformacija krivulja u bezdimenzionalni prostor provedena je na način da se y vrijednosti zabilježenih količina oborine po krivulji kumulante podijele s ukupnom zabilježenom oborinom H , a x zabilježene vrijednosti trajanja krivulje podijele s ukupnim trajanjem oborine t_k . Na ovaj način svaka krivulja smještena je unutar koordinata (0, 0) i (1, 1).

Krivulje su kategorizirane u četiri razreda prema trajanju oborina. Razredi trajanja odabrani su iskustveno s obzirom na karakteristike oborina, prvenstveno njihove vremenske varijabilnosti. Prvi razred čine oborine trajanja duljeg od 15 min i kraćeg ili jednakog od 60 min. Ove oborine su najintenzivnije, ali zbog kratkog trajanja imaju slabije izraženu vremensku varijabilnost. Oborine kraće od 15 minuta isključene su iz analize, jer zbog vremenskog koraka klasičnih ombrografskih uređaja od 5 min ne sadrže dovoljno informacija o vremenskoj varijabilnosti oborine. Drugi razred čine oborine trajanja duljeg od 1 h i kraćeg od ili jednakog 3 h. Ove oborine mogu biti vrlo intenzivne te imaju i vrlo izraženu vremensku varijabilnost. Oborine trajanja duljeg od 3 h i kraćeg od ili jednakog 6 h čine treći razred oborine. U ovom razredu trajanja očekuju se oborine slične vremenske varijabilnosti kao i oborine drugog razreda. Pritom, moguće je da oborine ovog trajanja imaju složeniji oblik s dva maksimuma trenutnog intenziteta. Posljednji, četvrti razred čine sve oborine trajanja dužeg od 6 h. Ovo su oborine nešto slabije izražene vremenske varijabilnosti, uz više odvojenih maksimuma trenutnog intenziteta.

2.2. Metoda prosječne varijabilnosti

Metoda prosječne varijabilnosti (Pilgrim, 1987) temelji se na obradi karakteristika niza zabilježenih oborina. Originalna metoda provodi se za niz oborina istoga trajanja te stoga daje različite oblike pljuska za svako pojedino trajanje oborine. U radu Krvavica i sur. (2018) predložena je modifikacija metode prosječne varijabilnosti koja se provodi istovremeno za oborine različitog trajanja, koje se nalaze unutar unaprijed definiranog razreda, te stoga producira znatno manji broj oblika pljuska za projektiranje. U ovom radu odabrana su četiri razreda trajanja, kako je prethodno obrazloženo.

Za svaki razred trajanja oborine, postupak određivanja krivulje pljuska za projektiranje provodi se u tri koraka (Krvavica i sur., 2018). Prvo se svaka bezdimenzionalna kumulativna krivulja oborine transformira u bezdimenzionalni hijetogram s unaprijed definiranih N vremenskih intervala. Potom se za svaku oborinu trenutni bezdimenzionalni intenziteti sortiraju u N razreda od najvećeg prema najmanjem. Za svaki razred intenziteta izračuna se prosječni intenzitet. Pored toga se svakom intervalu dodijeli odgovarajući razred oborine s obzirom na prosječne vrijednosti. Konačno se svakom intervalu dodijeli odgovarajući prosječni intenzitet. Na ovaj način dobiven je sintetički hijetogram koji odražava vremenske varijabilnosti niza zabilježenih oborina. Sumiranjem pojedinačnih postotnih intenziteta, dobiva se kumulativna krivulja pljuska za projektiranje.

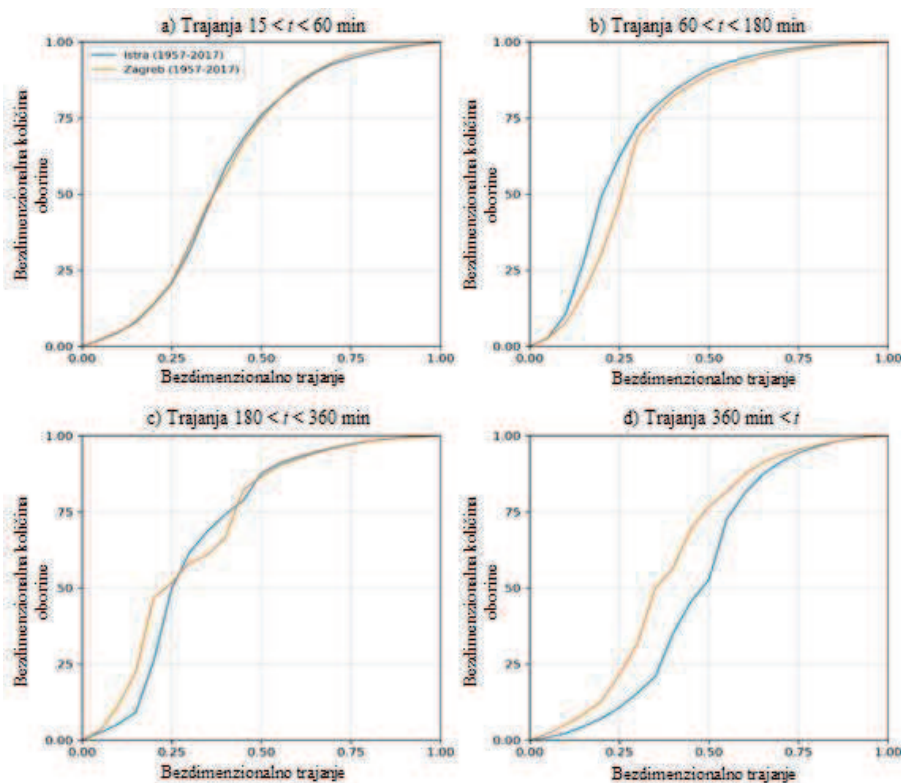
3. REZULTATI PROVEDENIH OBRADA PLJUSKA ZA PROJEKTIRANJE

U nastavku će se prikazati rezultati provedenih obrada oborina te definiranja pljuska za projektiranje na pilot područjima Istre i Zagreba. Prvo se prikazuju sintetičke kumulativne krivulje i hijetogrami dobiveni za navedena pilot područja te se komentiraju njihove

razlike s ciljem naglašavanja regionalnih specifičnosti. Potom se daje jedan primjer praktične primjene pljuska za projektiranje na području grada Zagreba, sve s ciljem naglašavanja važnosti korištenja vremenski varijabilne oborine u usporedbi s oborinom ravnomjernog intenziteta.

3.1. Regionalne specifičnosti pljuska za projektiranje

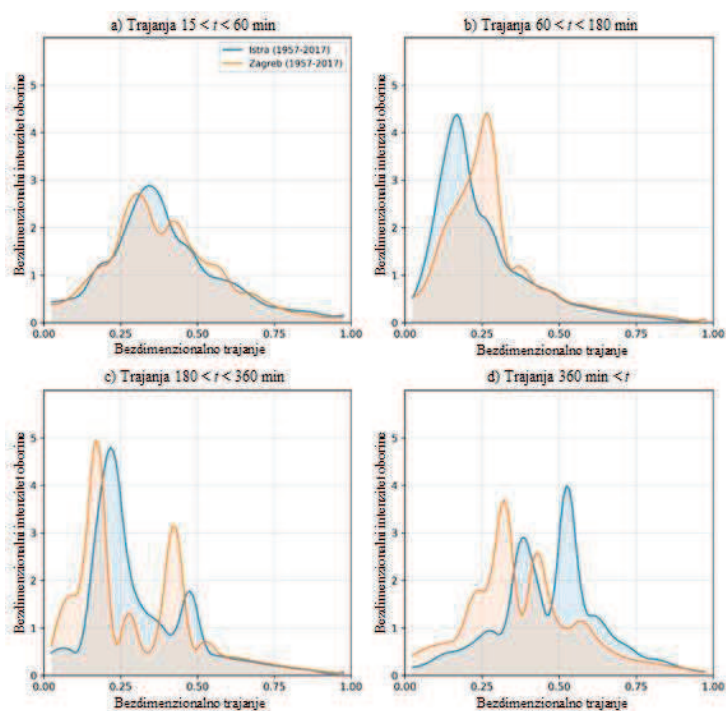
Kako bi se evidentirale regionalne razlike pljuska za projektiranje na područjima Istre i Zagreba, krivulje pojedinačnih pljuskova objedinjene su po stanicama odabranih područja. Za područje Istre, objedinjeni su svi zabilježeni pljuskovi s postaja Pula i Pazin, te je na osnovu tih podataka proveden postupak definiranja kumulativne krivulje i hijetograma pljuska za projektiranje. Za područje Zagreba objedinjeni su svi pojedinačni pljuskovi s postaja Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir te je također proveden postupak definiranja kumulativne krivulje i hijetograma pljuska za projektiranje.



Slika 1. Bezdimezionalni oblici kumulativne krivulje pljuska za projektiranje za pilot područja Istre i Zagreba, za četiri razreda trajanja oborine

Usporedba kumulativnih krivulja pljuska za projektiranje za područja Istre i Zagreba prikazana je na slici 1, za sva četiri razreda trajanja oborine. Iz usporedbe mogu se primijetiti skoro identične krivulje za sva tri razreda trajanja kraća od 6 sati. Razlike u

krivuljama su jasnije tek kod najduljeg razreda trajanja, gdje se može primijetiti kako se na području Istre sporije razvijaju najizraženiji trenutni intenziteti oborine. Za detaljniji uvid treba promotriti hijetograme pljuskas za projektiranje (slika 2). Za najkraći razred trajanja oborine (od 15 do 60 minuta), hijetogrami oba predmetna područja se gotovo preklapaju. Za drugi razred trajanja (od 60 min do 3 h) može se primijetiti kako se na području Istre ranije razvijaju maksimalni intenziteti, iako su na oba područja maksimumi intenziteta relativno podjednake veličine. Slična situacija je i kod trećeg razreda oborine (od 3 do 6 h), gdje su maksimumi intenziteta također podjednake veličine, a i pojavljuju se u približno jednako vrijeme. Jedina razlika je što se na području Zagreba mogu očekivati izraženiji sekundarni maksimumi trenutnog intenziteta. Najizraženije razlike između projektnog hijetograma na područjima Istre i Zagreb prisutne su za trajanja oborine dulja od 6 h. Na oba područja jasno su primjetni dvostruki maksimumi trenutnog intenziteta. Međutim, na području Istre prvi maksimum je znatno slabiji od drugoga, dok je na području Zagreba situacija obrnuta. Na području Zagreba se oba maksimuma intenziteta očekuju u drugom kvartilu trajanja oborine, dok se na području Istre manji od dva maksimuma očekuje u drugom kvartilu, dok se veći maksimum očekuje u trećem kvartilu trajanja oborine. Sveukupno, na području Istre se očekuju veći maksimumi intenziteta.



Slika 2. Bezdimenzionalni hijetogrami pljuskas za projektiranje za pilot područja Istre i Zagreba, za četiri razreda trajanja oborine

3.2. Primjer proračuna otjecanja pomoću pljuska za projektiranje

U nastavku se prikazuje cjelokupan postupak proračuna otjecanja oborine definirane pljuskom za projektiranje na jednom praktičnom primjeru. Pored toga, rezultirajući hidrogram otjecanja uspoređen je s hidrogramom otjecanja oborine jednolikog intenziteta te hidrogramom otjecanja realne kišne epizode zabilježene na meteorološkoj stanici Zagreb-Grič 27. lipnja 2009. godine. Ova usporedba daje se s ciljem naglašavanja važnosti korištenja pljuska za projektiranje kao realnijeg opisa stvarnih oborina.

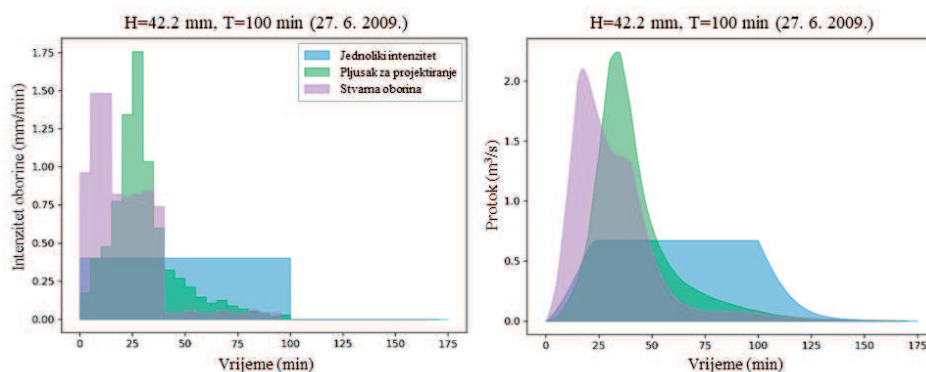
U lipnju 2009. godine na postaji Zagreb-Grič zabilježena je oborina trajanja 100 minuta, tijekom kojih je palo 42,2 mm oborine (slika 3). Prema HTP krivuljama za istoimenu postaju, ova kišna epizoda odgovara povratnom periodu 10 godina (RAINMAN, 2019):

$$H_{10god} = 14,613 \times t^{0,2199} \text{ za } t < 1,03 \text{ h} \quad (1)$$

gdje je H_{10god} ukupna količina oborine 10-godišnjeg povratnog perioda, a t trajanje oborine.

Za oborinu trajanja 100 minuta, očekuje se 40,2 mm oborine. Stoga, hijetogram jednolikog intenziteta određen iz HTP krivulja definiran je trajanjem od 100 min i ravnomjernim intenzitetom od 0,40 mm/min (slika 3).

Za definiranje hijetograma pljuska za projektiranje prvo je potrebno prethodno izvedenom bezdimenzionalnom hijetogramu (slika 2) dodijeliti pripadajuće trajanje te prosječni intenzitet oborine. Konačno, hijetogrami realne oborine, oborine ravnomjernog intenziteta te oborine definirane pljuskom za projektiranje prikazani su na slici 3.



Slika 3. Hijetogram i hidrogram otjecanja oborine definirane ravnomjernim intenzitetom, pljuskom za projektiranje te realna oborina zabilježena 27. lipnja 2009.

Na slici 3 uz dobivene hijetograme daje se i prikaz hidrograma otjecanja oborine definirane jednolikim intenzitetom, pljuskom za projektiranje te realnom oborinom. Proračun otjecanja oborine proveden je pomoću metode kinematičkog vala, s obzirom na zadane parametre sliva. Odaбран je sliv pravilne pravokutne površine, duljine $L = 1000$ m, širine $B = 100$ m, uz poprečni pad od $I = 1\%$ te uzdužni pad $S = 0,5\%$. Površina je nepropusna, pa sva pala oborina direktno sudjeluje u površinskom otjecanju, a Manningov koeficijent hrapavosti iznosi $n = 0,015 \text{ s/m}^{1/3}$.

Sve tri oborine jednakog su trajanja i ukupne količine oborine, međutim, primjetno je kako maksimalni intenzitet realne oborine i pljuska za projektiranje u određenim trenucima znatno nadmašuje prosječni intenzitet. Jednako tako, rezultirajući hidrogram otjecanja, ukazuje na činjenicu kako oborina jednolikog intenziteta nekoliko puta podcjenjuje vršni protok. S druge strane, hidrogram od pljuska za projektiranje rezultira skoro identičnim, samo malo većim, vršnim protokom kao i realna oborina.

ZAKLJUČAK

U ovom radu ukratko je prikazana metodologija te rezultati obrada pljuska za projektiranje na pilot područjima Istre i Zagreba. Provedene su usporedbe dobivenih kumulativnih krivulja te sintetičkih hijetograma kako bi se evidentirale regionalne razlike između dva pilot područja. Može se općenito zaključiti kako je pljusak za projektiranje vrlo sličnih vremenskih karakteristika na područjima Istre i Zagreba za trajanja oborine kraća od 6 h, dok se za duže oborine ipak očekuju određene razlike u vidu vremenske varijabilnosti i strukture jakih oborina. Također treba naglasiti kako se najveće promjene trenutnog intenziteta očekuju za trajanja između 3 h i 6 h, kada iznos trenutnog maksimalnog intenziteta nadmašuje prosječni intenzitet za otprilike pet puta. Prikazani primjer naglašava prednosti korištenja pljuska za projektiranje pri proračunu otjecanja oborinskih voda, što je od posebne važnosti za analize rizika od pluvijalnih poplava, kao i za dimenzioniranje retencijskih i infiltracijskih građevina unutar sustava odvodnje oborinskih voda. Razvijena metodologija te prikazane analize oborina predstavljaju primjerenu polaznu osnovu za buduća promišljanja o prognoziranju i ublažavanju posljedica od pluvijalnih poplava na području RH, posebice u urbanim sredinama. Kao preduvjet takvih proračuna, nužno je da se provedu obrade oblika pljuska za projektiranje i za ostala područja u Hrvatskoj te provede njihova prostorna regionalizacija.

LITERATURA

- [1] Bonacci, O. (1994): *Oborine - glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus*. Geing, Split, 341 str.
- [2] Dietz, M.E. (2007): *Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions*. Water, air, and soil pollution, 186, 1-4, 351-363.
- [3] Krvavica, N., Jaredić, K., Rubinić, J. (2018): *Metodologija definiranja mjerodavne oborine za dimenzioniranje infiltracijskih sustava*. Građevinar, 70(8), 657-669.
- [4] Pilgrim, D.H. (1987): *Australian rainfall and runoff, a guide to flood estimation*. The Institution of Engineers, ACT, Australia, 1987.
- [5] RAINMAN (2019): *Analiza oborina na pilot područjima u Istri i Zagrebu (projekt RAINMAN)*, (voditelj studije: Rubinić, J.), Građevinski fakultet u Rijeci i Državni hidrometeorološki zavod, Rijeka-Zagreb.

AUTORI

doc. dr. sc. Nino Krvavica ^a

doc. dr. sc. Josip Rubinić ^a

^a Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, nino.krvavica@uniri.hr, jrubinic@uniri.hr



R 1.05.

PROJEKT RAINMAN - USPOREDBA PTP KRIVULJA OMBROGRAFSKIH POSTAJA NA PILOT PODRUČJIMA ISTRE I ZAGREBA

**Josip Rubinić, Ksenija Cindrić Kalin, Maja Radišić,
Ivan Güttler, Nino Krvavica**

SAŽETAK: Područje Hrvatske vrlo je heterogeno u pogledu pojavnosti kratkotrajnih jakih oborina, a njihove značajke najčešće se opisuju u vidu PTP (količina oborine-trajanje-povratni period) ili ITP krivulja (intenzitet oborine-trajanje-povratni period). Te su krivulje često i jedina korištena podloga koja je utemeljena na mjerenim podacima nekoga od parametara vezanih uz značajke vodnog režima na nekom području. No, unatoč važnosti koje imaju, značajke PTP krivulja, pa ni sama metodologija njihove obrade, na području Hrvatske nisu u dovoljnoj mjeri poznate a ni dostupne za šire korištenje. Zbog toga je u okviru EU projekta RAINMAN, kao jedna od početnih obrada, provedena obrada PTP krivulja na dva pilot područja – Zagreba i Istre. Analizirani su podaci s pet meteoroloških postaja na širem području Zagreba (Zagreb - Grič, Zagreb – Maksimir, Puntijarka, Bijenik i Borčec) te s osam postaja na području Istre (Pula, Poreč, Celega, Abrami, Botonega, Letaj, Pazin i Grdinići). U radu je prikazana usporedba rezultata provedenih obrada, kako unutar pojedinih pilot područja, tako i između samih pilot područja. Dobiveni rezultati pokazuju vrlo značajnu ujednačenost pojavnosti kratkotrajnih jakih oborina unutar pojedinih područja, ali i značajne razlike njihove pojavnosti u Istri i na području Zagreba. Rezultati provedenih obrada zasnovani su na istim metodološkim postavkama – primjeni nizova godišnjih ekstrema te GEV funkciji raspodjele.

KLJUČNE RIJEČI: kratkotrajne jake oborine, regionalne značajke, GEV raspodjela, klimatske promjene

PROJECT RAINMAN – COMPARISON OF RDF CURVES FROM OMBROGRAPHIC STATIONS IN ISTRIA AND ZAGREB PILOT AREAS

ABSTRACT: Croatia is a very heterogeneous area considering the occurrence of short-term intensive precipitation whose characteristics are usually described by RDF (rainfall-duration-frequency) or IDF (intensity-duration-frequency) curves. These curves are often the only used rainfall parameter that is based on the measured data representing the water regime of a given location. However, despite their importance, the characteristics of RDF curves, including the methodology for their derivation, are not sufficiently familiar nor

available for wider application in Croatia. Because of these limitations, a detailed derivation of RDF curves for two pilot areas, Zagreb and Istria, was conducted as a starting point of the EU project RAINMAN. We analysed data from five stations in the greater Zagreb area (Zagreb - Grič, Zagreb – Maksimir, Puntijarka, Bijenik and Borčec) as well as data from eight stations in Istria (Pula, Poreč, Celega, Abrami, Botonega, Letaj, Pazin and Grdinići). The paper presents a comparison of the analysis results, both within the individual pilot area and between them. The obtained results show a significantly unified occurrence of short-term intensive precipitation within individual areas, but also significant differences in its occurrence between Istria and the Zagreb area. The results of the conducted analyses are based on the same methodologies – the implementation of annual extreme series and the GEV distribution.

KEYWORDS: short-term intensive precipitation, regional characteristics, GEV distribution

1. UVOD

Problemi uvjetovani pojavom jakih kratkotrajnih oborina na manjim slivovima i urbanim područjima stvaraju sve veće probleme i štetne posljedice, kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj. Dijelom je to posljedica mogućih utjecaja klimatskih promjena koje se manifestiraju već i u današnje doba, a za koje se očekuje da će se pojačano manifestirati i u budućnosti. No, puno većim dijelom je to posljedica neodgovarajućih podloga, proračuna i samih rješenja odvodnje. Europski projekt RAINMAN, koga na području Hrvatske provode kao projektni partner Hrvatske vode i njene suradničke institucije, orijentiran je na prevenciju i ublažavanje takvih štetnih posljedica. Na području Hrvatske su u prvoj fazi projekta analizirane značajke oborinskog režima kratkotrajnih jakih oborina na pilot područjima u Istri i Zagrebu (Rainman, 2019). Predmetni rad sadrži dio rezultata provedenih istraživanja koji se odnose na analize PTP krivulja (količina oborina – trajanje – povratni period) na postajama spomenutih pilot područja, a koje su najčešća hidrološka podloga pri provedbi proračuna odvodnje.

Utvrđeno je da se posljednjih nekoliko desetljeća sve češće pojavljuju ekstremljive količine oborine i poplave na području Republike Hrvatske, s najizraženijim ekstremima na Jadranskoj obali (Gajić Čapka i drugi, 2012; Ivančan-Picek i drugi, 2014). Područje Istre, koje je jedno od hrvatskih pilot područja u projektu RAINMAN, nalazi se pod utjecajem središnjih atmosferskih strujanja i ima naglašenije pojave intenzivnih oborina. No, i ostali dijelovi Hrvatske imaju sve više pojava i problema s oborinskim vodama kao posljedicom pojava obilnih oborina. Posebno se to odnosi na područje grada Zagreba gdje su štetne posljedice pojava obilnih oborina još naglašenije. Razlog tome su koncentracije pojava oborinskih voda uslijed njihova dotoka bujičnim vodotocima koji se pružaju s planinskog masiva Medvednice ne samo u užem središtu grada, već i u gradski sustav odvodnje oborinskih voda, kao i zbog koncentracije vrijednih sadržaja na parterima urbanih područja.

Počeci sustavnih mjerenja i obrada ombrografskih podataka u vidu PTP (ponegdje zvane i HTP krivulje) ili ITP krivulja (Intenzitet oborina – Trajanje – Povratni period) imaju na području Hrvatske relativno dugačku tradiciju. Tako ombrografska postaja Zagreb-Grič ima kontinuirani niz registriranih ombrografskih podataka od 1908. godine, a na području

Istre prva su ombrografska praćenja uspostavljena dvadesetih godina prošlog stoljeća. Za istaknuti je i da je upravo na području Istre, za koju se i danas smatra da ima u odnosu na većinu drugih područja u Hrvatskoj vrlo razvijenu mrežu ombrografskih postaja, u vrijeme pripreme projekata odvodnje u dolinama Mirne i Raše dvadesetih godina prošlog stoljeća, bilo podjednako, pa čak moguće i više aktivnih ombrografskih postaja nego li ih ima danas, ukoliko se promatraju samo ombrografske postaje u nadležnosti DHMZ-a. Počeci suvremenih kompleksnijih analiza značajki kratkotrajnih intenziteta oborine na području Hrvatske vezani su za radove Srebrenovića (1960 i 1962), Patrčevića (1980), Bonaccija (1981, 1994), Rubinića i drugih (1995), Gajić-Čapke (2002) kao i mnogih drugih, a velik doprinos dali su i radovi s Okruglog stola održanog u Splitu 2003. godine (SHMZ, 2003).

U kontekstu tematike predmetnog rada, za njegovo oblikovanje ključna su tri rada na koja se u nastavku posebno navode. U radu „Analiza pristupa inženjerskoj obradi kratkotrajnih jakih kiša na primjeru Pule“ (Rubinić i drugi, 2003), dan je pregled razvoja metodologije obrada kratkotrajnih jakih oborina na području Hrvatske. Na primjeru usporedbe rezultata dosadašnjih obrada pluviografskih podataka grada Pule, prikazane su i razlike do kojih dolazi zbog različitih pristupa obradi istog inženjerskog zadatka – obradi podataka o značajkama jakih oborina kao ulaznom podatku za daljnje hidrološke proračune odvodnje. Utvrđeno je da su te razlike ponekad čak i veće nego li su razlike između stvarnih značajki režima kratkotrajnih jakih oborina pojedinih lokaliteta u Hrvatskoj.

U radu Gajić-Čapka i Horvat (2009) analizirane su značajke pojava kratkotrajnih jakih oborina na četiri ombrografske postaje u Istri (Pula, Poreč, Pazin, Abrami) s najduljim raspoloživim nizovima podataka. Pri tome su analizirana trajanja do 2 sata, a analizirani zabilježeni podaci odnose se na razdoblje toplijeg dijela godine (travanj – listopad) tijekom kojeg su svi ombrografi bili aktivni. Primjenom opće razdiobe ekstrema (GEV) na godišnje oborinske maksimume definirane su krivulje međuodnosa količina oborine i vjerojatnosti njihove pojave za trajanja od 10 minuta do 2 sata temeljene na jednakom razdoblju obrade (1985. - 2002.). Utvrđeno je da su očekivani maksimumi veći u unutrašnjosti Istre nego li na obali te da se odstupanja povećavaju s povećanjem povratnog perioda.

U radu Cindrić i drugi (2014) ispitane su promjene maksimalnih godišnjih kratkotrajnih količina oborine za trajanja od 10 min do 2 sata u razdoblju od 1955. do 2010. godine na dvije meteorološke postaje koje imaju različite oborinske režime: Split-Marjan (maritimni) i Varaždin (kontinentalni). Analiza je provedena procjenom trenda iz razdoblja 1955. - 2010. te usporedbom procjena očekivanih kratkotrajnih maksimuma primjenom GEV razdiobe iz dva kraća razdoblja: 1955. - 1980. i 1981. - 2010. Rezultati trenda na obje postaje ukazala su na slabo izražene, statistički neznčajne, vremenske promjene kratkotrajnih količina oborine od sredine 20. stoljeća. S druge strane, usporedba dvaju razdoblja ukazuje na slabo izraženu prisutnost pojačanja kratkotrajne oborine u novijem razdoblju na obje postaje.

2. METODOLOGIJA I PODLOGE

Iako podloge o značajkama kratkotrajnih jakih oborina imaju izuzetno široku i učestalu primjenu u hidrotehničkoj praksi (uglavnom vezanoj uz sustave odvodnje površinskih voda) relativno slaba pokrivenost pojedinih područja mjernim postajama, razlike u metodološkim pristupima i razini obrada, kao i vrlo učestale greške u interpretaciji re-

zultata s raspoloživih postaja gdje su praćeni i intenziteti oborina, upućuju na potrebu posvećivanja veće pozornosti tom problemu. U nastavku je dan osnovni prikaz standardnog inženjerskog pristupa takvim obradama. Radi se o metodološkim postupcima koji su već i ranije bili dokumentirani u do sada objavljenim radovima i dokumentima (primjerice Bonacci, 1994; Gajić-Čapka, 2000; Coles, 2001; Rubinić, 2003). Uvriježeni postupak u obradama režima kratkotrajnih jakih oborina u svrhu definiranja PTP (ITP) krivulja za neku odabranu ombrografsku postaju sastoji se u sljedećim karakterističnim koracima: Digitalizacija i primarna obrada ombrografskih zapisa registriranih nizova podataka o izmjerenim količinama oboriname te njihova usporedba s podacima na pripadnom kišomjeru.

Formiranje nizova karakterističnih vrijednosti intenzivnih oborina za različita trajanja i ispitivanje njihove homogenosti, pri čemu se osim nizova maksimalnih godišnjih količina oborina koriste i nizovi prekoračenja te kao mjerodavne odabiru veće rezultirajuće vrijednosti.

Procjene očekivane maksimalne količine/intenziteta oborine različitih trajanja za različite povratne periode, pri čemu se umjesto nekadašnjeg pristupa korištenja različitih teoretskih funkcija raspodjele te testiranja i odabira najprilagodljivije, primjenjuje opća razdioba ekstrema (*eng. Generalized Extreme Value distribution, GEV*).

Tablica 1. Popis ombrografskih postaja na području Zagreba i Istre s raspoloživim dugogodišnjim razdobljem mjerenja prema ombrografu i kišomjeru te rezultirajuće nepouzidane godine ombrografskih mjerenja

Postaja	Nadmorska visina (m n.m.)	Razdoblje rada ombrografa	Nepouzidane godine
Zagrebačko područje			
Zagreb-Maksimir	123	1961.-2016.	Nema nepouzdatih godina.
Zagreb-Grič	157	1961.-2016.	1973., 1988.
Puntijarka	988	1961.-2006., 2008.-2016.	1981., 1984., 1990., 1992., 1993., 1998., 2003.
Zagreb-Bijenik	220	1980.-2012., 2015.-2016.	1993.
Zagreb-Borčec	200	1968.-2007.	1991., 1992., 1993.
Istra			
Poreč	15	1984.-2016.	1986., 1992., 1993.
Pula	43	1961.-2016.	1961., 1962., 1966., 1975., 1977., 1978., 1979., 1980., 1981., 1992., 1993.
Abrami	85	1962.-2016.	1962., 1964., 1973., 1975., 1981.
Pazin	291	1963.-2016.	1971., 1972., 1974., 1975., 1987., 1988., 1989.
Letaj brana	100	1987.-2016.	Nema nepouzdatih godina.
Botonega	50	1987.-2016.	1991., 1992.
Celega	25	1982.-2011.	1985., 1986., 1998., 1999.
Grdinići	425	1985.-2016.	1992.

Definiranje PTP (ITP) krivulja na temelju analiza prilagođavanja više tipova krivulja prilagodbe, pri čemu se u slučajevima nedovoljno dobre prilagodbe duž cjelokupnog trajanja oborina odabire i primjena dvaju krivulja za trajanja do oko 2 sata, kao i za dulja trajanja.

Usporedba dobivenih vrijednosti maksimalnih količina (intenziteta) oborine odabranih trajanja kako međusobno unutar iste analizirane postaje, tako i s rezultatima eventualnih prethodnih obrada na analiziranoj predmetnoj postaji, kao i na postajama sa šireg regionalnog prostora te njihova verifikacija.

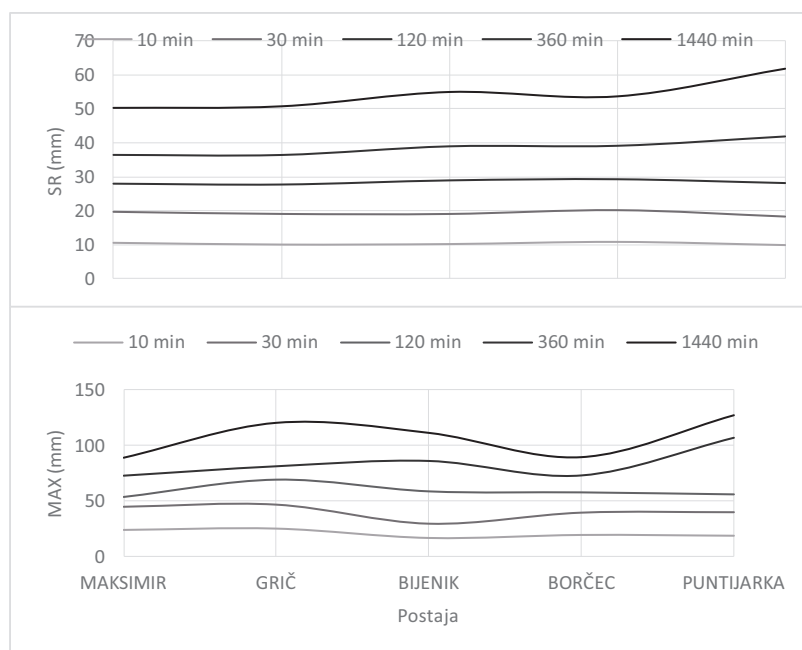
Koristeći se tim pristupom, kao i podlogama s ombrografskih postaja na području Zagreba i Istre (Tablica 1), provedene su daljnje obrade čiji su sumarni rezultati (usporedba rezultirajućih vrijednosti PTP krivulja) dani u predmetnom radu. Zbog nekompletnosti registracije ombrografskih podataka, iz daljnjih su obrada izuzete pojedine nepouzdana godine. Iz dane je tablice vidljivo da su na raspolaganju nizovi podataka duljine od 30-tak, pa i više godina koji omogućuju pouzdane procjene očekivanih maksimalnih intenziteta oborine.

3. REZULTATI I RASPRAVA

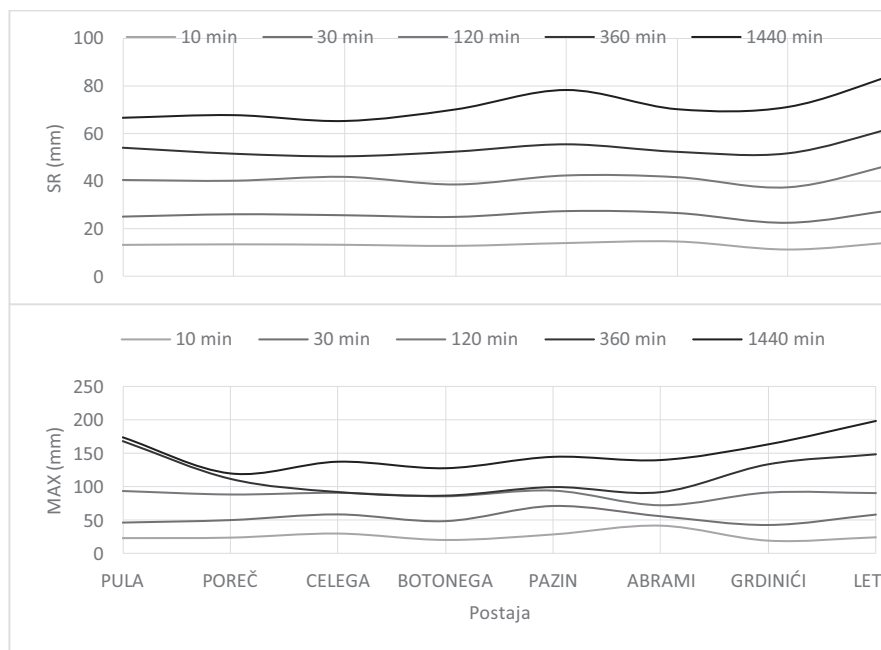
Sumarni rezultat osnovnih statističkih pokazatelja iz nizova godišnjih maksimuma kratkotrajnih količina oborine, uključujući srednjak i najveće i najmanje registrirane vrijednosti s pojedinih analiziranih postaja na odabranim pilot područjima dani su u Tablici 2. Iz nje je vidljivo da, neovisno o duljini raspoloživih nizova podataka, kao i položaju samih postaja unutar pojedinih pilot područja, područje Istre karakteriziraju i veće i varijabilnije kratkotrajne oborine nego li područje Zagreba. Na Slikama 1 i 2 prikazane su, po pojedinim pilot područjima, srednje te maksimalne vrijednosti količina oborine po pojedinim postajama za odabrana trajanja u rasponu između 10 minuta i 24 sata. Iz tih je prikaza vidljivo da ne postoje naglašenije razlike između karakterističnih vrijednosti zabilježenih oborina po pojedinim pilot područjima. Vidljivo je blago i neizraženo povećanje srednjih količina kratkotrajnih jakih oborina kod postaja na većim nadmorskim visinama ili bliže lociranim planinskim masivima Medvednice i Učke (Puntijarka na području Zagreba, Pazin i Letaj na području Istre), no ekstremne vrijednosti oborina javljaju se i na ostalim postajama.

Tablica 2. Osnovna statistika godišnjih maksimuma kratkotrajnih količina oborina (mm) (Sr-srednjak, σ -standardna devijacija, cv-koeficijent varijacije, Max-najveća srednja količina oborine, Min-najmanja srednja količina oborine, MAX-najveća registrirana količina oborine)

TRAJANJE (min)	ZAGREB					ISTRA				
	10	30	120	360	1440	10	30	120	360	1440
Sr	10,3	19,3	28,4	38,5	54,3	13,5	26,0	41,4	54,0	71,9
σ	0,39	0,71	0,67	2,26	4,6	1,07	1,74	3,07	4,01	6,74
Cv	0,037	0,037	0,023	0,059	0,085	0,079	0,067	0,074	0,074	0,094
Max	10,9	20,2	29,3	41,8	61,8	14,8	28,4	47,7	63,1	85,5
Min	9,9	18,3	27,7	36,4	50,2	11,4	22,6	37,5	50,5	65,4
MAX	25,4	46,9	69,3	106,9	127,1	42,1	71,5	94,5	168,5	198,6



Slika 1. Prikaz karakterističnih vrijednosti oborina za različita trajanja (10, 30, 120, 360 i 1440 min) na postajama na području Zagreba: srednja vrijednost (gore) i maksimalna vrijednost (dolje)

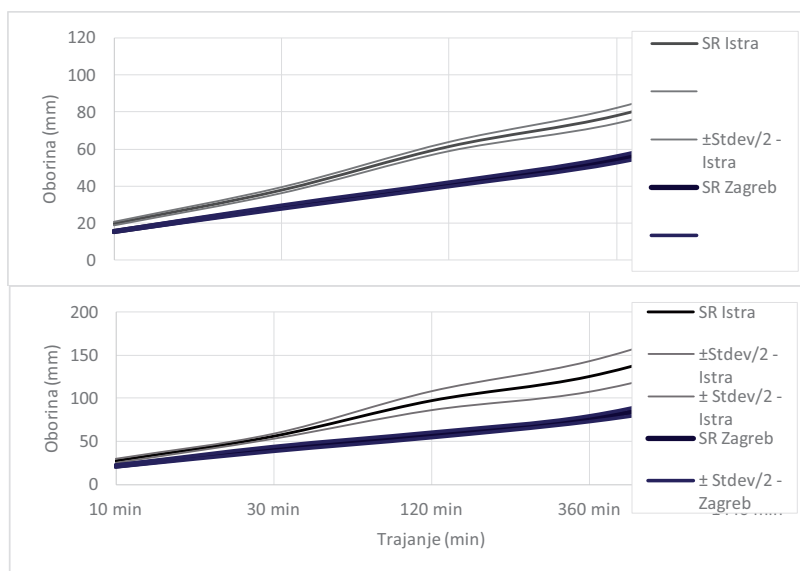


Slika 2. Prikaz karakterističnih vrijednosti oborina za različita trajanja (10, 30, 120, 360 i 1440 min) na postajama na području Istre: srednja vrijednost (gore) i maksimalna vrijednost (dolje)

Na osnovi provedenih obrada prema opisanoj metodologiji, definirane su PTP krivulje po pojedinim postajama (Rainman, 2019), na osnovu kojih su provedene usporedbe rezultirajućih vrijednosti proračunatih količina oborina po pojedinim povratnim periodima i trajanjima (Slika 3). Iz slike je vidljivo da se rezultati provedenih obrada vjerojatnosti pojave maksimalnih oborina postaja s odabranih pilot područja grupiraju u uskom rasponu vrijednosti oko vrijednosti prosjeka po pojedinim pilot područjima. Nešto je veća varijabilnost ipak izražena na području Istre. Isto tako, veće su razlike kod duljih trajanja. Iz danih je prikaza vidljivo da na svakom od analiziranih pilot područja postoji velika podudarnost kako u značajkama osmotrenih nizova podataka, tako i proračunatih vjerojatnosti pojave kratkotrajnih jakih oborina, i to gotovo neovisno o položaju samih ombrografskih postaja na temelju čijih su podataka provedene usporedne analize. I na zagrebačkom području, kao i na području Istre, postoji naznaka blagoga povećanja oborina s njihovim trajanjem na postajama koje su na višim nadmorskim visinama ili im je pak zaleđe takvo (Letaj u Istri, Puntijarka kod Zagreba). No, ne samo srednje vrijednosti, nego i njihove standardne devijacije, koeficijenti varijacija pa čak i maksimalne zabilježene vrijednosti, kao i proračunate vrijednosti maksimalnih oborina za određena trajanja i povratne periode, pokazuju vrlo veliku ujednačenost unutar analiziranih pilot područja, tako da se unutar tih područja i ne iskazuje potreba nekih dodatnih prostornih regionalnih obrada.

Generalno, na područje Istre javljaju se značajniji intenziteti kratkotrajnih jakih obori-

na nego li su na području Zagreba, ali s vrlo sličnim koeficijentima varijacija njihovih prosječnih vrijednosti za pojedina trajanja. Kod kraćih trajanja (10-30 minuta) su i manje razlike između značajka pojava jakih oborina na različitim lokacijama unutar istoga pilot područja, dok se te razlike donekle povećavaju kod oborina za trajanja od 6 do 24 sata. No, i to povećanje vrlo često ujednačeno unutar cjelokupnog raspona promatranih trajanja, tako da kod nekih trajanja najveće vrijednosti pokazuju podaci s jedne od postaja, a kod bliskim im trajanja vrlo često najveće vrijednosti pokazuju podaci s drugih postaja, čak i onih koje su prethodno imale najmanje vrijednosti. Dakle, na razini pilot područja iskazana je prostorna varijabilnost jakih oborina, ali bez naglašenih razlika u smislu nekih pravilnosti u njihovim varijacijama u ovisnosti o mogućim uzročnicima tih varijabilnosti (prostorni položaj, nadmorska visina i slično).



Slika 3. Prikaz hoda oborina za različita trajanja (10, 30, 120, 360 i 1440 min) na postajama na području Zagreba i Istre za različite povratne periode: 10 (gore) i 100 godina (dolje)

ZAKLJUČAK

Regionalne analize, provedene s ujednačenim kriterijima odabira ulaznih podataka i njihovom provedbom po istim metodološkim postavkama, pokazale su da ne postoji izražena prostorna izdiferenciranost značajki kratkotrajnih jakih oborina unutar pojedinih pilot područja. No, takve su razlike naglašeno prisutne ukoliko se usporede rezultati s pojedinih pilot područja. Unutar pojedinih pilot područja postoje naznake među utjecaja količina oborina, posebno duljih trajanja s udaljenošću lokacije od gorskoga masiva, ali zbog premalog broja raspoloživih ombrografskih postaja po pojedinim pilot područjima za provedbu analiza takvih među utjecaja, isti nisu mogli biti kvantificirani. Da bi se

osigurale primjerene podloge za hidrološke proračune vršnih protoka, nužna je sveobuhvatnija analiza kratkotrajnih jakih oborina u Hrvatskoj. Pritom takvu obradu nužno je provesti na njenom cjelokupnom prostoru, uzimajući u obzir sve ombrografske postaje za koje postoje na raspolaganju raspoloživi nizovi ombrografskih podataka duljine od najmanje 30 godina.

LITERATURA

- [1] Bonacci, O. (1981): *Kiše jakih intenziteta slivnog područja grada Zagreba*, Građevinar 33/8, 347-354.
- [2] Bonacci, O. (1994): *Oborine - glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus*, Geing, Split, 341 str.
- [3] Coles S. (2001): *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, Springer, 208 str.
- [4] Gajić-Čapka, M., Sokol Jurković, R., Nikolić, D., Čapka, B. (2012): *Floods in Croatia - Societal and economic impacts and responses in the newspapers*, 6th HyMeX workshop: abstracts. Primošten, Hrvatska.
- [5] Gajić-Čapka, M. (2000): *Metode klimatološke analize kratkotrajnih oborina velikog intenziteta*, disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb, str 131.
- [6] Gajić-Čapka, M., Horvat, B. (2009): *Regionalne razlike jakih kratkotrajnih oborina u Istri*, Hrvatske vode, 17, 68, 87-101.
- [7] Gajić-Čapka, M. (2002): *Regionalna analiza učestalosti ekstremnih oborina*, Zbornik radova okruglog stola Urbana hidrologija, Split 25. i 26.4.2002., 91-99.
- [8] Ivančan-Picek, B., Horvath, K., Strelec Mahović, N., Gajić-Čapka, M. (2014): *Forcing mechanisms of a heavy precipitation event in the southern Adriatic area*, Natural hazards, 72, 2; 1231-1252.
- [9] Patrčević, V. (1980): *Analiza kiša jakog intenziteta*, Magistarski rad na Fakultetu građevinskih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, nepublicirano.
- [10] RAINMAN (2019): *Analiza oborina na pilot područjima u Istri i Zagrebu (projekt RAINMAN)*, (voditelj studije: Rubinić, J.), Građevinski fakultet u Rijeci i Državni hidrometeorološki zavod, Rijeka-Zagreb, nepublicirano.
- [11] Rubinić, J. (2003): *Inženjerska obrada kratkotrajnih intenziteta oborina*, Zbornik radova seminara Praktična hidrologija, Zagreb 20. i 21.03.2003., Društvo građevnih inženjera i Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb, 37-60.
- [12] Rubinić, J., Barbalić, D., Ožanić, N. (2003): *Analiza pristupa inženjerskoj obradi kratkotrajnih jakih kiša u Hrvatskoj na primjeru Pule*, Zborniku radova Hrvatske vode u 21 stoljeću (Ur: Gereš, D.). Hrvatske vode, Zagreb, 113-121.
- [13] Rubinić, J., Gajić-Čapka, M., Milković, J., Ožanić, N. (1995): *Intenziteti oborine - problemi obrade i interpretacije u praksi*, Zbornik radova sa Okruglog stola Uloga hidrologije u strukturi gospodarstva Hrvatske (Ur: Bonacci, O), Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb, 53-69.

- [14] SHMZ (1983): *Okrugli stol o metodološkim aspektima obrade i analize intenziteta kiša*, Materijali Jugoslovenskog simpozijuma o inženjerskoj hidrologiji, Split, 9-12.11.1983., 83 str.
- [15] Srebrenović, D. (1960): *Kišni intenziteti i njihova primjena u određivanju maksimalnih vodnih količina*, Građevinska knjiga, Beograd.
- [16] Srebrenović, D. (1962): *Učestalost dnevnih kiša i jaki kišni intenziteti u relaciji s godišnjom oborinom*, Građevinar 9.

AUTORI

dr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ. ^a

mr. sc. Ksenija Cindrić Kalin, dipl. ing. fiz. ^b

Maja Radišić, mag. ing. aedif. ^a

dr. sc. Ivan Güttler, dipl. ing. fiz. ^b

dr. sc. Nino Krvavica, dipl. ing. građ. ^a

^a Građevinski fakultet u Rijeci, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka, Hrvatska, jrubic@uniri.hr, maja.radisic@uniri.hr, nino.krvavica@uniri.hr

^b Državni Hidrometeorološki zavod, Grič 3, 10000 Zagreb, Hrvatska, cindric@cirus.dhz.hr, ivan.guettler@cirus.dhz.hr



R 1.06.

EKSTREMNI METEOROLOŠKI I HIDROLOŠKI DOGAĐAJI NA PODRUČJU KONAOSKOG POLJA U 2018. GODINI

**Dijana Oskoruš, Tatjana Vujnović, Kornelija Mace,
Marin Milin, Marko Džaja**

SAŽETAK: U slučajevima intenzivnih oborina i juga praćenog visokim valovima, zbog svoje topografske konfiguracije, poplavama je naročito ugroženo jadransko obalno područje kao i dalmatinsko zaleđe. Posebno treba istaknuti krška polja, gdje su ti procesi naročito intenzivni i teško ih je zabilježiti. Međutim, na osnovi precizne meteorološke i hidrološke prognoze bujičnih poplava, moguće je planirati terenska mjerenja i u takvim uvjetima. U radu će biti prikazani ekstremni događaji u razdoblju od 29. do 30.10. 2018. i od 19. do 20.11.2018., kada je lokalno pala obilna oborina u obliku izraženih pljuskova praćenih grmljavinom, što je imalo za posljedicu pojavu bujičnih poplava na području Konavoskog polja. Za te događaje su prikazani rezultati hidroloških prognostičkih modela (SEEFFGS i EFAS) koji se u Državnom hidrometeorološkom zavodu koriste za prognozu bujičnih poplava. Također su sistematizirani, obrađeni i prikazani hidrološki podaci izmjereni na hidrološkim postajama na vodotocima Ljuta, Konavočica i Kopačica.

KLJUČNE RIJEČI: bujične poplave, vršni protok, hidrološki prognostički model, Konavosko polje

EXTREME METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL EVENTS IN THE KONAVLE FIELD IN 2018

ABSTRACT: Due to their topographic features, the Adriatic coastal region and Dalmatian hinterland are particularly vulnerable to flooding in cases of intensive precipitation followed by the sirocco wind (jugo) and high waves. These processes are particularly intense and difficult to record in karst fields. However, based on accurate meteorological and hydrological forecasts of flash floods, it is possible to plan field measurements in such conditions as well. The paper presents extreme events in the periods from 29 - 30 October 2018 and 19 - 20 November 2018, with heavy local precipitation in the form of thunderstorms that resulted in the occurrence of flash flooding in the Konavle field. For these events, the results of the hydrological forecasting models (SEEFFGS and EFAS), which are used by the Croatian Meteorological and Hydrological Service for flash flood forecasting, are presented. Systemized, processed and presented hydrological data mea-

sured at the hydrological stations on the watercourses Ljuta, Konavočica and Kopačica are also included.

KEYWORDS: Flash floods, peak discharge, hydrological forecasting model, Konavle field

1. UVOD

Konavosko polje je smješteno na krajnjem jugoistoku Hrvatske, južno od grada Dubrovnika, neposredno uz granicu sa BiH i Crnom Gorom. Pokriva površinu od 48 km², a glavni recipijenti tog polja su rječica Ljuta te bujice Konavočica i Kopačica. Zona ponora nalazi se na 45 m n/m, s kotom preljeva 43,5 m n/m., slika 1. Godine 1910. izrađen je projekt odvodnog tunela prema moru, ispod Konavoskih stijena, a 1939. godine započeli su radovi na bušenju tunela s izlazne strane. Nakon prekida tijekom 1. Svjetskog rata i izmjene projekta vezano za povećavanje kapaciteta, tunel je dovršen 1958. godine u ukupnoj duljini od 1916 m, slika 2. Tada je izvršena i djelomična regulacija Ljute, Kopačice i Konavočice u nizinskom dijelu toka. (Beraković, B. i dr. 2008.)



Slika .1 Preljev na ulazu u ponor
(Foto: Higra d.o.o., Split)

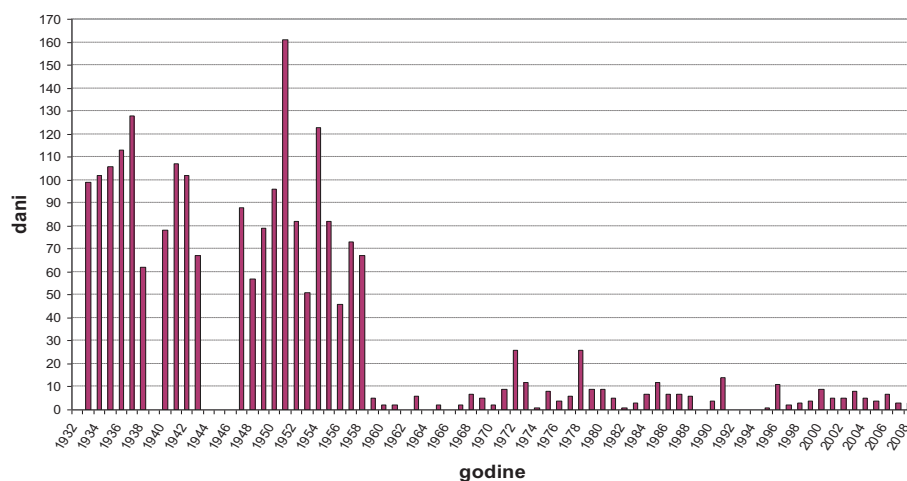


Slika 2. Ulaz u tunel za evakuaciju velikih voda
(Foto: Higra d.o.o., Split)

2. HIDROGRAFIJA KONAVOSKOG POLJA

U prošlosti je polje veći dio godine bilo poplavljeno, stoga je glavni cilj bio održavanje i čišćenje ponora u svrhu smanjenja poplava. Na grafičkom prikazu broja dana sa poplavom u razdoblju od 1932. do 2008. godine, slika 3, vidljivo je da je prije izgradnje tunela 1958., polje redovno bilo poplavljeno od mjesec i pol dana do čak 4 mjeseca u kišovitim godinama, što je onemogućavalo poljoprivrednu proizvodnju. Nakon 1. faze izgradnje tunela, broj dana s poplavom se smanjio na manje od 10, u iznimnim godinama do 25 dana. Nakon 1974. godine, odnosno 2. faze rekonstrukcije tunela, broj dana s poplavom se sveo na 5, a maksimalno 10 dana u godini. U sadašnjoj situaciji tunel je u funkciji samo kod većih voda, a kod manjih vodnih količina voda i dalje otječe kroz ponore, slika 1,2. Međutim, kod maksimalnih voda dolazi do plavljenja polja jer je kapacitet tunela dimenzioniran na prihvrat velike vode od 60 m³/s (PR 25-30), dok ekstremna 100-godišnja protoka iznosi 92 m³/s. (Oskoruš, D. 2009.)

Na slici 4 je prikazana karta područja s lokacijama hidroloških postaja: Ljuta-Dvori nizv, Ljuta-Gruda, Konavočica-Gruda uzv. i Kopačica-Gruda. Mjerodavne meteorološke postaje za to područje su: GMP Dubrovnik, GMP Dubrovnik aerodrom, AMP Žarkovica, AMP Prevlaka te kišomjerne postaje Pridvorje i Čibača.



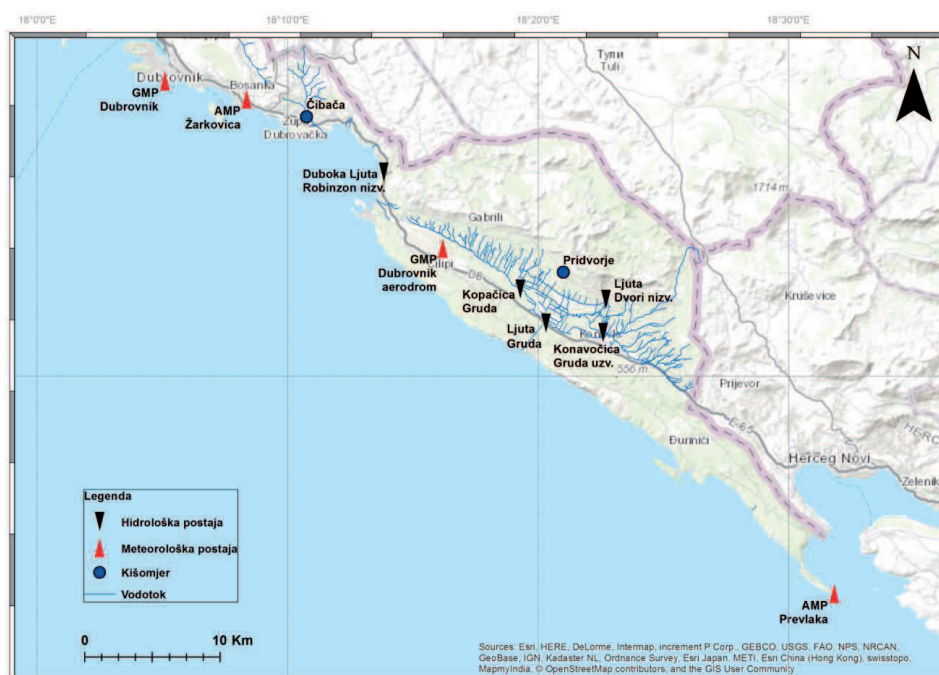
Slika 3. Broj dana sa poplavom u razdoblju od 1932. do 2008. godine

Rječica Ljuta izvire kod zaseoka Arbanas, na sjevernom rubu Konavoskog polja i duga je šest kilometara. Prihranjuje se iz nekoliko izvora na visini od 100 do 114 m n/m., a drenira krško zaleđe od Graba, Ubla i padina Orjena. Pod utjecajem kiša koje su na tom području u zimskom dijelu godine obilne, naglo se povećava protok koji se kreće u rasponu od 0,2 do 64 m³/s. Najstariji vodokaz za praćenje razine vode u polju postavljen je još 1932. godine na Ljutoj, neposredno kod ponora. Dvadesetak godina kasnije drugi vodokaz je postavljen kod samog izvora Ljute, a kasnije je premješten nizvodno na most. Od 1973. se nalazi u mjestu Dvori, na reguliranom potezu vodotoka, na najuzvodnijoj stepenici rijeke Ljute. No, budući da je stepenica preširoka, nije bilo moguće točno odrediti protoke u sušnom razdoblju godine, stoga je je 10.04.1987. godine, između dviju preljevnih stepenica, uspostavljena nova postaja pod nazivom Ljuta Dvori nizvodni, a 1999. i 2000. godine izvršena je regulacija vodotoka uzvodno od hidrološke postaje.

Neposredno uzvodno od hidrološke postaje voda otječe u lijevi i desni kanal. Vodu desnog kanala koristi restoran "Konavoski dvori", a vode lijevog kanala se koriste za navodnjavanje Konavoskog polja. U ljetnim, sušnim mjesecima kanali uzimaju svu vodu Ljute te glavno korito ostaje suho. Količinu vode u kanalima nije moguće točno odrediti jer mještani izgradnjom improviziranih brana u kanalima nerealno podižu vodostaje te se ne može odrediti čvrsti Q/H odnos i definirati protočna krivulja.

Vodotoci Konavočica i Kopačica su bujičnog karaktera. Korita su im najveći dio godine suha, a u kišnom razdoblju vodni valovi naglo dolaze i vremenski kratko traju. Neodržavanje korita na lokaciji mjernih profila je stalno prisutan problem jer vodoprivreda samo povremeno očisti korito od bujne vegetacije. Izrazito turbulentno tečenje je dodatni problem koji onemogućava provedbu mjerenje protoka kod velikih voda. Iz svih

nabrojanih razloga u studijskoj praksi je za takve profile često veliki izazov definirati stabilan Q/H odnos, a posljedično time i količine vode koje protječu Konavoskim poljem. Točka gdje se sastaju sva tri vodotoka, čija se ukupna slivna površina procjenjuje na 100 km², nalazi se neposredno prije ponora. Upravo na toj najnižoj točki polja vodostaji mogu u samo 24 sata porasti za više od 6 m te ukupni volumen vode koja se ovdje u kratkom razdoblju akumulira prelazi kapacitet ponora od 60 m³/s, a što odgovara vodostaju oko 300 cm na HP Gruda-Ljuta, slika 1.



Slika 4. Karta područja s lokacijama mjerodavnih hidroloških i meteoroloških postaja

2.1. Ekstremne oborine

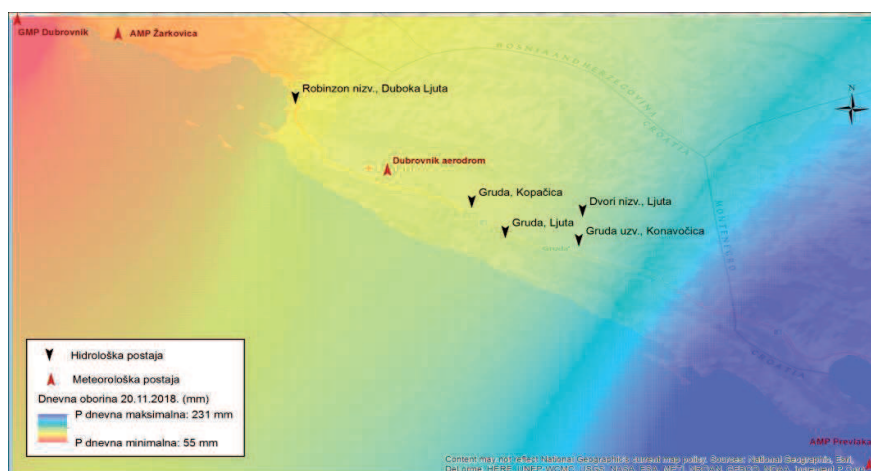
Na ovom području su prisutne izmjene izuzetno sušnih i ekstremno kišnih razdoblja, a u posljednjih desetak godina ekstremne dnevne oborine izrazito lokalnog karaktera često premašuju maksimalne mjesečne količine izmjerene na tom području. U tablici 1 prikazane su dnevne količine oborina izmjerene na meteorološkim postajama Dubrovnik, Žarkovica, Dubrovnik aerodrom i Prevlaka.

U razdoblju od 28. do 30.10. 2018. u Dubrovniku je pala velika količina kiše koja je izazvala bujice i poplave u samom gradu. Međutim, 25 km južnije ta oborina nije izazvala značajniji porast bujica na području Konavoskog polja. Na grafičkim prikazima oborina i vodostaja za taj događaj, slika 6 vidljivo je da je porast vodostaja bio vrlo blag na svim hidrološkim postajama osim na hidrološkoj postaji Gruda - Ljuta, gdje su se sastali svi površinski dotoci s polja.

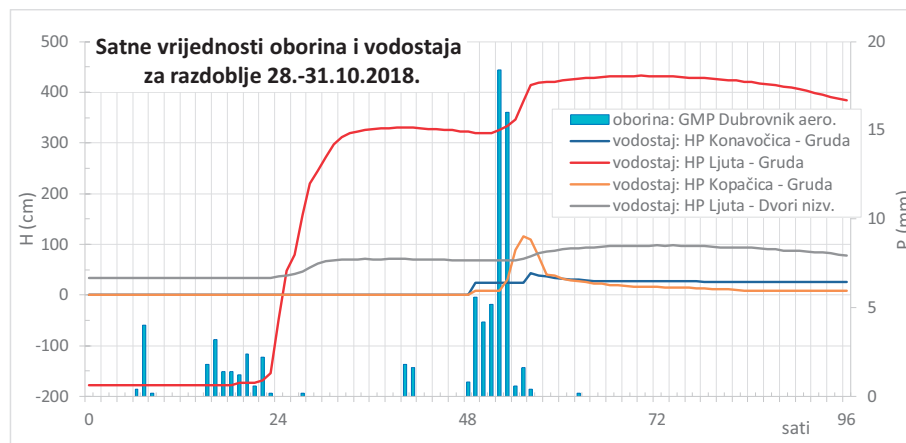
U drugom događaju od 19. do 21.11.2018., područje južno od Dubrovnika, uz granicu s Crnom Gorom pogodilo je snažno nevrijeme praćeno jakom kišom i grmljavinom. Na slici 5 prikazane su vrijednosti oborina izmjerene 20.11. na pojedinim meteorološkim postajama kao i njihova prostorna interpolacija između GMP Dubrovnik i AMP Prevlaka. Prema podacima u tablici 1 na AMP Prevlaka je 20.11. zabilježena rekordna količina oborine od 231,3 mm dok je na postaji Dubrovnik aerodrom taj dan palo 108 mm. To je imalo za posljedicu pojavu bujičnih poplava na području Konavoskog polja, što je vidljivo iz grafičkog prikaza na slici 7.

Tablica 1. Dnevne oborine (mm) izmjerene na meteorološkim postajama u 10. i 11. mj. 2018.

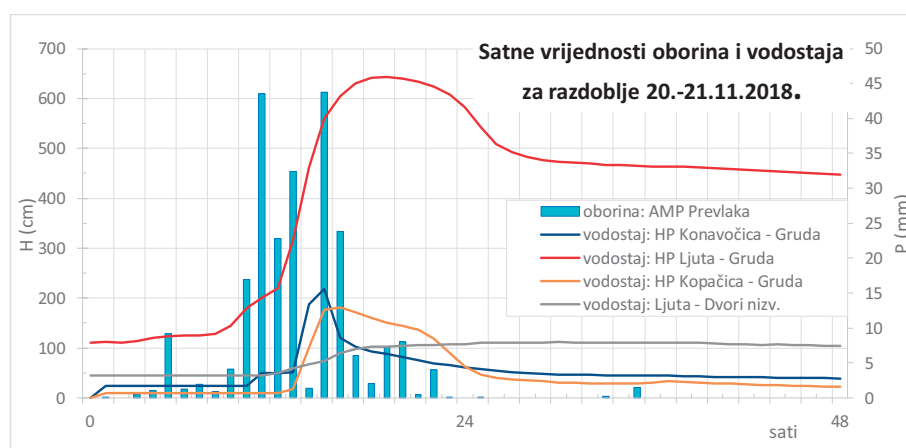
NAZIV MP	28.10.	29.10.	30.10.	19.11.	20.11.	21.11.
GMP Dubrovnik	7,1	5	28,4	2,9	54,9	27,3
AMP ŽARKOVICA	6,4	4,7	13	2,6	85	15,7
GMP DUBROVNIK AERODR.	19	4,4	52,2	1,4	108	13,8
AMP PREVLAKA	15,9	20,8	22,9	1,7	231,3	1,8
ČIBAČA kišomjer	3,2	10,0	50,0	0	14,0	59,0
PRIDVORJE kišomjer	11,7	33,2	68,3	0	20,3	76,9



Slika 5. Izmjerene i interpolirane količine oborine izmjerene 20.11.2018. na području od Dubrovnika do Prevlake



Slika 6. Satne vrijednosti oborina i vodostaja u Konavoskom polju od 28. do 31.10.2018.



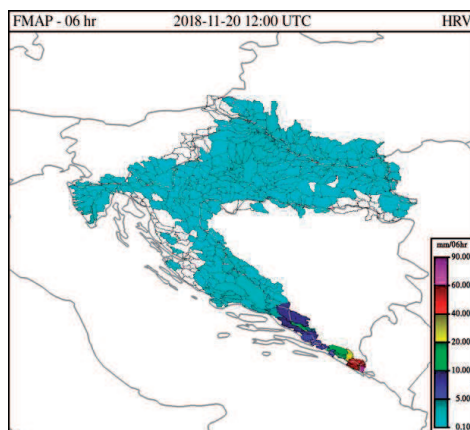
Slika 7. Satne vrijednosti oborina i vodostaja u Konavoskom polju od 20. do 21.11.2018.

2.2. Hidrološka prognoza

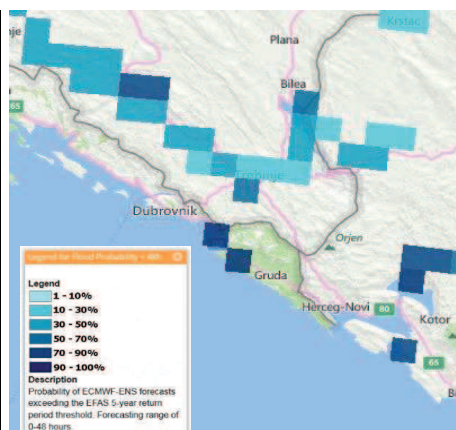
Za spomenute događaje prikazani su rezultati hidrološkog prognostičkog sustava SEEFFGS - WMO (South East Europe Flash Flood Guidance System) i EFAS (European Flood Awareness System) koji se u Državnom hidrometeorološkom zavodu koriste za prognozu bujičnih i riječnih poplava.

Na osnovi produkata oba prognostička sustava pripremaju se upozorenja na pojavu bujičnih poplava. Na slikama 8 i 9 prikazani su izabrani produkti sustava SEEFFGS i EFAS na osnovi kojih je Državni hidrometeorološki zavod za 20. i 21.11.2018. izdao upozorenje na bujične poplave na krajnjem jugu zemlje. Ova informacija je bila od izuzetne važnosti za planiranje terenskih mjerenja na području Konavoskog polja te je

tvrtka Higma d.o.o. iz Splita planirala i izvršila seriju mjerenja u vrhu vodnog vala na hidrološkim postajama Gruda-Kopačica i Gruda uzv.-Konavočica.



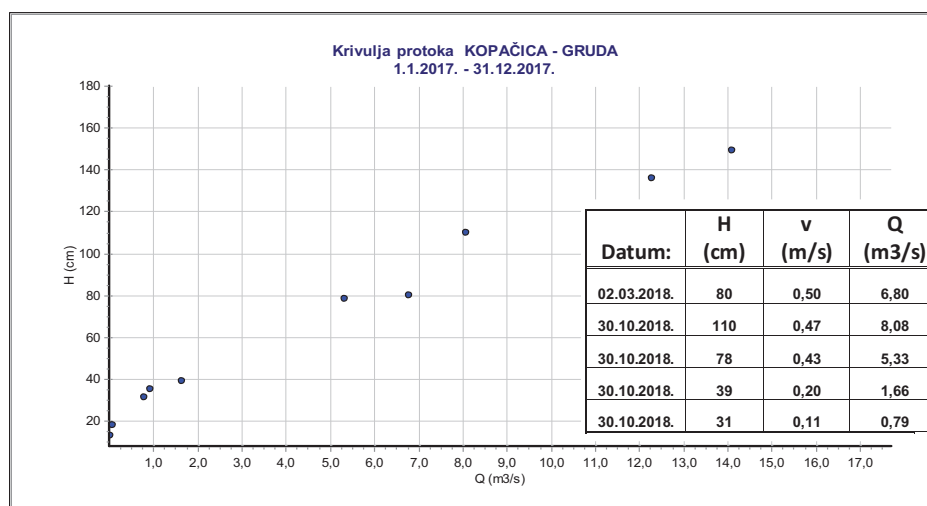
Slika 8. SEEFFGS prognoza oborine za 20.11.2018. u 00 sati



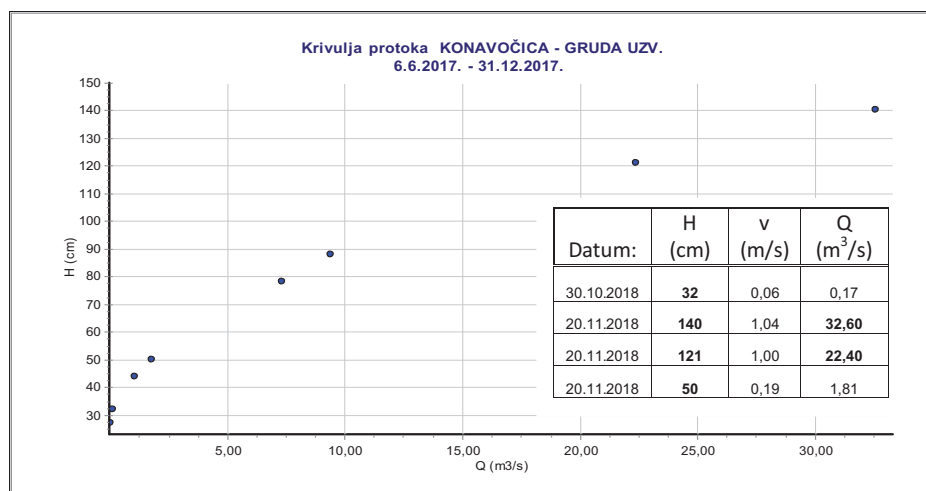
Slika 9. EFAS prognoza riječnih poplava 20.11.2018., u 12 sati

2.3. Krivulje protoka

Na slikama 10 i 11 su prikazane protočne krivulje definirane za hidrološke postaje u 2017. godini, zajedno s novim rezultatima mjerenja iz 2018. godine. Na slici 10 je vidljivo da mjerenja na HP Kopačica-Gruda u srednjem segmentu odstupaju od definirane krivulje u odnosu na vanvegetacijsko razdoblje, što upućuje na veliki utjecaj vegetacije na protočnost korita. Iz tog razloga definiraju se krivulje samo za kraće periode, slika 11.



Slika 10. Krivulja protoka za razdoblje 1.1.2017.-31.12.2017. za HP Kopačica-Gruda



*Slika 11. Krivulja protoka za razdoblje 6.6.2017.-31.12.2017.
za HP Konavočica-Gruda uzv.*

Iz grafičkog prikaza krivulje za HP Konavočica-Gruda uzv. (slika 11) vidljivo je da nova mjerenja uvelike utječu na aproksimirani Q/H odnos u segmentu velikih voda. Za vodostaj $H=121$ cm izmjeren je protok $Q_m=22,4$ m³/s, a za $H=140$ cm, $Q_m=32,6$ m³/s. Prema važećoj krivulji za prvi slučaj $Q_k=20,6$ m³/s, a za drugi $Q_k=28,6$ m³/s, što u prvom slučaju predstavlja razliku od 9 %, a u drugom 14 %. Kada se na osnovi novih mjerenja za 2018. godinu bude definirao novi Q/H odnos, razlika u vrhu vodnog vala u odnosu na krivulju iz 2017. će biti i veća budući da su na ovoj postaji zabilježeni vodostaji preko 200 cm.

Bez obzira što se ekstrapolirani dio krivulje smatra pouzdanim samo u području do 20 % raspona vodostaja s izmjerenim protocima, u praksi se za ovakve događaje krivulja često značajno ekstrapolira nekom od standardnih metoda te se naknadno validira mjerenjima. Nedostatak podataka mjerenja protoka kod visokih vodostaja, do koje često dolazi iz sasvim tehničkih razloga (obično je to kratkoća trajanja vodnog vala i nemogućnost organizacije mjerenja), jest činjenica koja ozbiljno može ugroziti kvalitetu ovog korelacijskog odnosa. Pitanja točnosti definiranja krivulje je zapravo pitanje točnosti određivanja maksimalnih protoka, stoga se dobri rezultati serije mjerenja ne mogu preneglasiti. (Srebrenović D.,1986.)

ZAKLJUČAK

U radu su prikazani ekstremni hidro-meteorološki događaji krajem 2018. godine na području Konavoskog polja, kao tipičnom primjeru specifičnih hidroloških procesa u krškim poljima. Za takve slivove nedostatak izmjerenih podataka često predstavlja velik izazov u pripremi kvalitetnih hidroloških podloga za potrebe vodnog gospodarstva i zaštite od poplava. Izazove poput definiranja protoka u vrhu vodnog vala pokušalo se premostiti zajedničkom suradnjom dviju institucija DHMZ i Higra d.o.o., putem razmjene informacija vezanih za hidrološke prognoze bujičnih poplava kao i dobrim planom serije

terenskih mjerenja. Suradnja institucija u području monitoringa, vodnog gospodarstva, zaštite od poplava i lokalne zajednice u budućim klimatskim scenarijima biti će od velike važnosti, stoga je neophodno ulagati u učinkoviti sustav međusobne razmjene informacija potrebnih za obavljanje pojedinih djelatnosti.

LITERATURA

- [1] Beraković, B. i dr. (2008.) *Floods in Karst Area - Case Study - Croatia*, Proceedings of the 4th International Symposium on Flood Defence: Managing, Flood Risk, Reliability & Vulnerability / Simonović, S. ; Bourget, P. ; Blanchard, S. - Toronto : Institute for Catastrophic Loss Reduction, 2008, 161-168
- [2] Srebrenović, D. (1986.) *Primjenjena hidrologija*, Tehnička knjiga, Zagreb, 509 str.
- [3] Oskoruš, D. (2009.) *Hidromelioracijski sustavi krških polja*, seminarski rad iz kolegija Melioracije III, doktorski studij, Građevinski fakultet, Zagreb, 39 str.
- [4] *Izvor podataka: DHMZ: HIS2000 – Hidrološki informacijski sustav*, <http://hidro.dhz.hr>
- [5] *Klimatološka baza podataka*, <http://uran.gric.dhz.hr/io>
- [6] Higura d.o.o., Doverska 13, Split

AUTORI

dr.sc. Dijana Oskoruš ^a

dr.sc. Tatjana Vujnović ^a

Kornelija Macek mag.ing.geol. ^a

Marin Milin mag.ing.aediff. ^b

Marko Džaja mag.ing.aediff. ^b

^a Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10000, Hrvatska, oskorus@cirius.dhz.hr, tvujnovic@cirius.dhz.hr, macek@cirius.dhz.hr

^b Higura d.o.o., Doverska 13, Split, 21000, Hrvatska, higura.ured@gmail.com



REZULTATI PROJEKTA DRIDANUBE ZA HRVATSKU

**Ksenija Cindrić Kalin, Ivana Marinović, Izidor Pelajić,
Kornelija Špoler Čanić, Blaženka Matjačić, Lidija Srnec, Lovro Kalin**

SAŽETAK: U ovom radu predstavljeni su glavni rezultati projekta Rizici od suše u Dunavskoj regiji (DriDanube) za područje Hrvatske. Uspoređeni su trenutni indeksi za praćenje suše koji se operativno koriste u Državnom hidrometeorološkom zavodu (DHMZ) s produktima razvijenim u sklopu projekta (karte procjene učinaka suše na poljoprivredne kulture i šume i satelitskim produktima uspostavljenog sustava praćenja suše - Drought Watch). Analiza je provedena za tri klimatski različita pilot područja u Hrvatskoj (Osječko-baranjska županija, Grad Zagreb i Splitsko-dalmatinska županija) s ciljem ispitivanja mogućnosti primjene besplatno dostupnih satelitskih produkata na platformi Drought Watch za praćenje suše, a koji uključuju vlažnost tla i stanje vegetacije. DriDanube je međunarodni strukturni EU projekt financiran Programom transnacionalne suradnje Dunav (Interreg Dunav) koji je započeo s provedbom u siječnju 2017. godine u trajanju od 30 mjeseci. DHMZ je glavni hrvatski partner u projektu. Opći cilj projekta DriDanube je unaprijediti mogućnosti pravovremenog odgovora na sušu u Dunavskoj regiji te poboljšati spremnost za upravljanje sušom uvođenjem novih alata za praćenje i procjenu rizika od suše te poboljšanje suradnje između operativnih službi i donositelja odluka na nacionalnoj i regionalnoj razini. Glavni rezultati projekta su: (1) uspostavljen operativni sustav za praćenje suše (tzv. Drought Watch) u svrhu što točnijeg i efikasnijeg upozorenja na sušu, (2) pripremljena metodologija izrade procjene rizika od suše te (3) pripremljen konceptualni model upravljanja sušom usklađivanjem zakonodavnog i institucionalnog okvira u svrhu unapređenja pravovremenog odgovora na sušu.

KLJUČNE RIJEČI: suša, Dunav, DriDanube, Drought Watch, rizik, praćenje suše

DRIDANUBE PROJECT RESULTS FOR CROATIA

ABSTRACT: In this paper the main results of the Drought Risk in Danube Region (DriDanube) project are presented. Current drought monitoring indices used in Croatian Meteorological and Hydrological Service (DHMZ) are compared with the products developed in the frame of the project (Maps of estimated drought impact on main crop yields and forests and satellite products available on the drought monitoring web platform - Drought Watch). The analysis was performed in order to examine the possibilities of using free satellite products available on the Drought Watch platform to monitor drought, which

also include soil moisture and vegetation status. The analysis was performed on three pilot areas representing different climate regimes in Croatia - Osijek-Baranja County, City of Zagreb and Split-Dalmatia County. The DriDanube project is an international EU structural project funded by the Interreg Danube Transnational Programme. It started in January 2017 and will last for 30 months, with DHMZ as the main partner from Croatia. The overall objective of the DriDanube project is to improve the drought emergency response of the Danube region and to increase the capacity to manage drought by introducing new tools for drought risk monitoring and assessment as well as to improve cooperation between operative services and decision makers on national and regional levels. The main goals achieved during the project are: (1) web based platform for drought monitoring - Drought Watch - is developed, with the aim to improve the accuracy and efficiency of drought warnings; (2) drought risk assessment methodology is proposed; and (3) conceptual drought management model which harmonizes the institutional and legislative framework is prepared in order to improve timely draught response.

KEYWORDS: drought, Danube, DriDanube, Drought Watch, risk, drought monitoring

1. UVOD

DriDanube je međunarodni strukturni EU projekt financiran Programom transnacionalne suradnje Dunav (Interreg Dunav). Započeo je s provedbom u siječnju 2017. godine u trajanju od 30 mjeseci. Projekt okuplja 15 partnera i 8 pridruženih strateških partnera iz 10 zemalja dunavskog sliva (Slovenija, Austrija, Češka, Slovačka, Mađarska, Rumunjska, Srbija, Crna Gora, Bosna i Hercegovina i Hrvatska). Vodeći partner projekta je Slovenska agencija za okolje (ARSO), a Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) je hrvatski partner u projektu sa strateškim partnerom Ministarstvom zaštite okoliše i energetike - Uprava vodnog gospodarstva (DHMZ, 2017).

Osnovna motivacija za pokretanje projekta bio je nedovoljno razvijen sustav za praćenje suše i neusklađenost prekograničnih aktivnosti po pitanju suše. Premda je suša sve češća pojava sa značajnim učincima na gospodarstvo, još uvijek nije prepoznata kao problem od velikog značaja. Ne postoji sustavna baza podataka o učincima suše, a procjena rizika od suše bazira se na različitim nacionalnim metodama što otežava međusobnu usporedivost. Osim toga, upravljanje sušom provodi se pretežno retroaktivno, tj. suočavanjem s njezinim posljedicama, a na nacionalnoj osnovi ne postoji zakonodavni okvir za upravljanje sušom.

Stoga je glavni cilj projekta DriDanube unaprijediti mogućnosti pravovremenog odgovora na sušu u Dunavskoj regiji te poboljšati spremnost za upravljanje sušom uvođenjem novih alata za praćenje i procjenu rizika od suše te poboljšati suradnju između operativnih službi i donositelja odluka na nacionalnoj i regionalnoj razini. Tako je u okviru projekta pripremljena web platforma, tzv. Drought Watch, za operativno praćenje suše, a koja sadrži i karte učinaka suše na poljoprivredne kulture te karte procjene rizika od suše u dunavskoj regiji. U sljedećem poglavlju bit će prikazani pojedini rezultati. Dodatno, u okviru projekta pripremljen je i konceptualni model upravljanja sušom usklađivanjem zakonodavnog i institucionalnog okvira u svrhu unapređenja pravovremenog odgovora na sušu (Cindrić Kalin i drugi, 2018).

2. Drought Watch PLATFORMA ZA PRAĆENJE SUŠE

U okviru projekta DriDanube razvijena je web platforma Drought Watch (www.drought-watch.eu) kako bi se omogućio pristup, pregledavanje i ispitivanje prostornih skupova podataka vezanih uz sušu. Svi podaci su javni i besplatni za korištenje te će platforma ostati javno dostupna i nakon završetka projekta. Ti skupovi podataka na platformi uključuju različite indekse za praćenje suše koji su procijenjeni na temelju dugogodišnjih nizova podataka, pa je time uključena i vremenska komponenta što nadalje omogućuje korisniku ispitivanje razvoja te predviđanje mogućnosti pojave suše u dunavskom području.

Platforma pruža tri osnovne kartografske podloge - Google kartu, Kartu topografije i satelitske slike (Sentinel 2) - uz mogućnost razgledavanja po teritorijalnim jedinicama NUTS1 i NUTS3 definiranih za potrebe službene statistike u zemljama članicama Europske unije (Eurostat). Trenutno su na platformi dostupni sljedeći indikatori za praćenje suše:

- Anomalija indeksa vlažnosti tla (engl. Soil Water Index, SWI),
- Anomalija vegetacijskog indeksa normalizirane razlike (engl. normalized Difference Vegetation Index, NDVI),
- Indeks manjka vode u tlu (engl. Soil Water Deficit) dobiven modelom vodne ravnoteže mGROWA-SI (razvijen u ARSO-u),
- 24-satna akumulirana oborina,
- Relativno stanje vegetacije,
- Površinska vodna ravnoteža procijenjena iz simulacije modela numeričke prognoze vremena,
- Percentili srednje 60-dnevne temperature na 2 m visine,
- Učinci suše na poljoprivredne kulture i šume,
- Očekivano trajanje sušnog razdoblja (u danima) za različita povratna razdoblja.

Potonja dva indikatora prikazana su na platformi u obliku (statičnih) karata, a kojima će do kraja projekta biti pridružena i karta procjene rizika od suše u Dunavskoj regiji. Više detalja o pojedinom indeksu može se pronaći u priručniku za korištenje platforme Drought Watch (<http://www.droughtwatch.eu/#/manual>).

U ovom radu uspoređeni su indeksi NDVI i SWI s postojećim indikatorima za praćenje klime (temperatura zraka i količina oborine) u DHMZ-u. Analiza usporedbe provedena je za 2018. godinu za tri meteorološke postaje - Zagreb-Grič, Osijek i Split-Marjan - koje su smještene u različitim klimatskim područjima (kontinentalna i maritimna klima). Godina 2018. je odabrana jer za tu godinu postoje i karte učinaka suše na poljoprivredne kulture i šume, pa je omogućena usporedba s ocjenom klimatskih prilika.

2.1. Usporedba klimatskih indikatora s anomalijama NDVI i SWI

NDVI je posredni način kvantificiranja vegetacije koji se može povezati s aktivnošću fotosinteze u vegetaciji. Definiran je kao $NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$ gdje je NIR reflektirano zračenje u bliskom infracrvenom dijelu spektra, a R zračenje u crvenom dijelu spektra. NDVI anomalija je razlika pojedine dekade i višegodišnjeg srednjaka za tu dekadu za koji se često koristi i izraz klimatologija. Višegodišnji srednjak za izračun anomalija dobiven je iz razdoblja 1999. – 2016.

SWI snimke na dnevnoj bazi daju informaciju o vlazi na različitim dubinama tla. SWI podaci korišteni za platformu Drought Watch odnose se na dubinu tla od otprilike 0-40 cm. SWI anomalija je razlika između SWI vrijednosti za pojedini dan i višegodišnjeg srednjaka za taj dan (klimatologija). Može se koristiti kao mjera deficita vode u tlu. Višegodišnji srednjak za izračun anomalija dobiven je iz razdoblja 2007. – 2016. Produkt ima dnevnu vremensku razlučivost, a prostorna razlučivost je 12,5 km i 1 km.

U tablici 1 nalazi se ocjena temperaturnih i oborinskih prilika na pojedinim postajama tijekom ljetnih mjeseci (lipanj, srpanj, kolovoz) prema klimatskim indikatorima (DHMZ) i prema satelitskim indikatorima SWI i NDVI (Drought Watch) po mjesecima i njihovim dekadama. Kako su na području Slavonije tijekom jeseni zabilježene sušne prilike, na postaji Osijek su dodatno provedene usporedbe za listopad i studeni.

Na slici 1 prikazana je ocjena temperaturnih prilika na području Hrvatske za ljetne mjesecce (lipanj, srpanj i kolovoz) 2018. godine. Slika 2 prikazuje kumulativne količine oborine za postaje Osijek, Zagreb-Maksimir i Split-Marjan, a slika 3 pripadne anomalije NDVI i SWI.

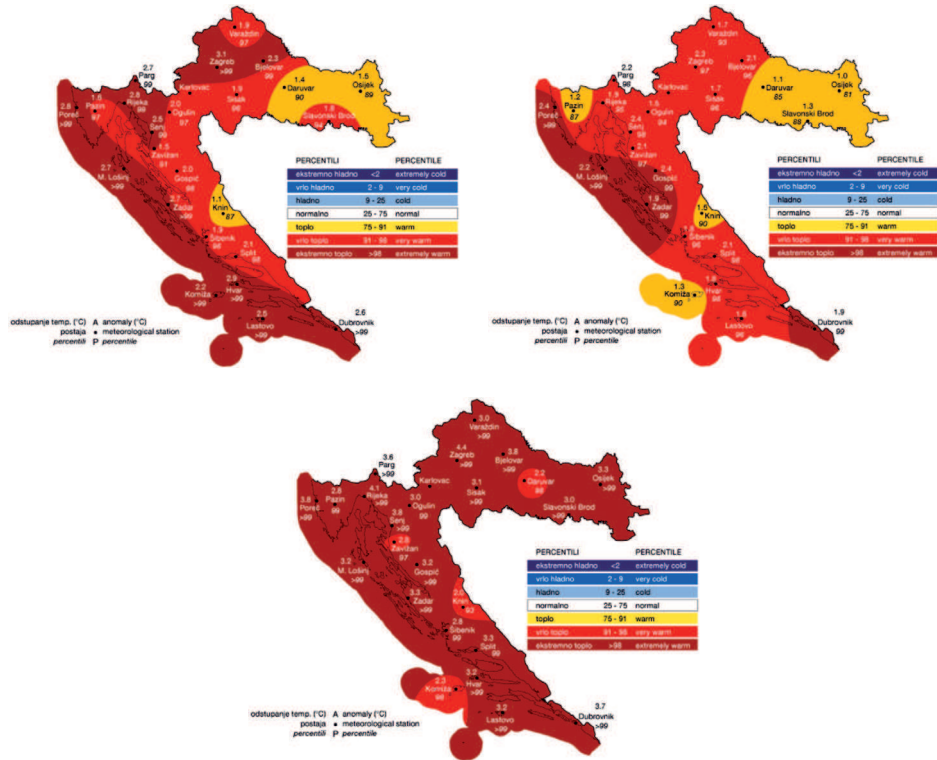
Na području Zagreba tijekom ekstremno toplog lipnja, kumulativna količina oborine bila je u granicama normale, a u posljednjoj dekadi prevladale su kišne prilike što rezultira i pozitivnim indeksom SWI, tj. vlažnijim tlom te pozitivnim razvojem vegetacije (pozitivan NDVI). Tijekom vrlo toplog srpnja, kumulativna količina oborine bila je pretežno u granicama normale, a anomalije SWI i NDVI dosežu maksimalne vrijednosti ukazujući na dovoljno vlage u tlu i optimalnu vegetaciju. Ekstremno topao kolovoz s prevladavajućim sušnim prilikama doprinosi smanjenju anomalija indeksa vlažnosti i vegetacije, no i dalje ostaju pozitivnog predznaka.

U Slavoniji, na području Osijeka, tijekom toplog lipnja i srpnja 2018. oborinske prilike bile su uglavnom kišne, a srpanj je bio i vrlo kišan. Ipak, zbog ekstremno toplog i sušnog svibnja, SWI je negativan u prvoj dekadi lipnja, a potom mijenja predznak i ostaje pozitivan tijekom cijelog ljeta. S druge strane, anomalija NDVI reagira sporije na zabilježenu oborinu nakon sušnog svibnja tako da postaje pozitivna tek u trećoj dekadi lipnja. Tijekom srpnja prevladavaju normalne prilike koje se prema kraju mjeseca pomiču prema kišnim i vrlo kišnim. U skladu s time je i pozitivna anomalija SWI, ali se NDVI smanjuje. Tijekom ekstremno toplog kolovoza s prevladavajućim sušnim prilikama, anomalija SWI se smanjuje, ali ostaje pozitivna, dok je NDVI negativan, smanjuje se tijekom prve dekade, zatim raste u drugoj dekadi, a u trećoj dekadi nema dostupnih podataka. Na postaji Osijek su tijekom jesenskih mjeseci zabilježeni sušni uvjeti, a temperaturne prilike su bile vrlo tople (listopad) i tople (studeni). Zbog nedostatka oborine u oba mjeseca, i anomalije SWI i NDVI imaju negativan predznak. SWI ima trend smanjenja, u drugom dijelu studenog doseže minimum (-25.5), a potom raste zbog zabilježene oborine u zadnjoj dekadi. S druge strane, NDVI raste u drugoj dekadi listopada premda nije zabilježena oborina.

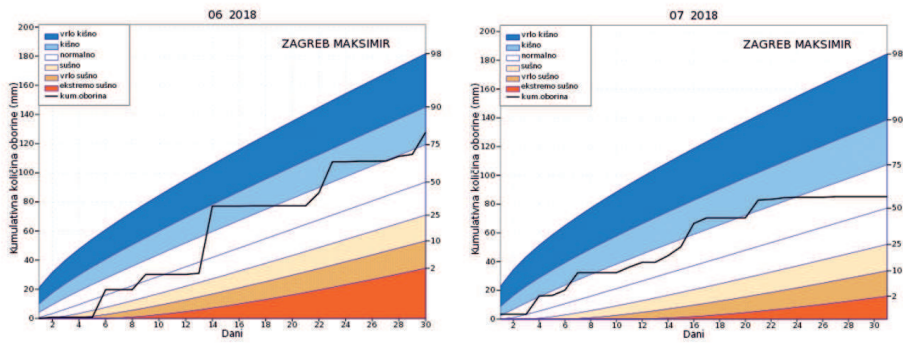
Na području Splita, tijekom vrlo toplog lipnja i srpnja prevladavale su normalne oborinske prilike, dok su u kolovozu prevladale sušne prilike. Anomalija SWI ukazuje na trend opadanja, odnosno, pozitivnog je predznaka tijekom prve dvije dekade lipnja, a potom je do kraja ljeta u opadanju i ima negativan predznak. S druge strane, anomalija NDVI prve dvije dekade lipnja raste, zatim naglo pada u zadnjoj dekadi lipnja, a potom do kraja ljeta ima pozitivan trend. Dakle, ova dva indikatora se ne podudaraju u predznaku i smjeru kako je bio slučaj za Osijek i Zagreb.

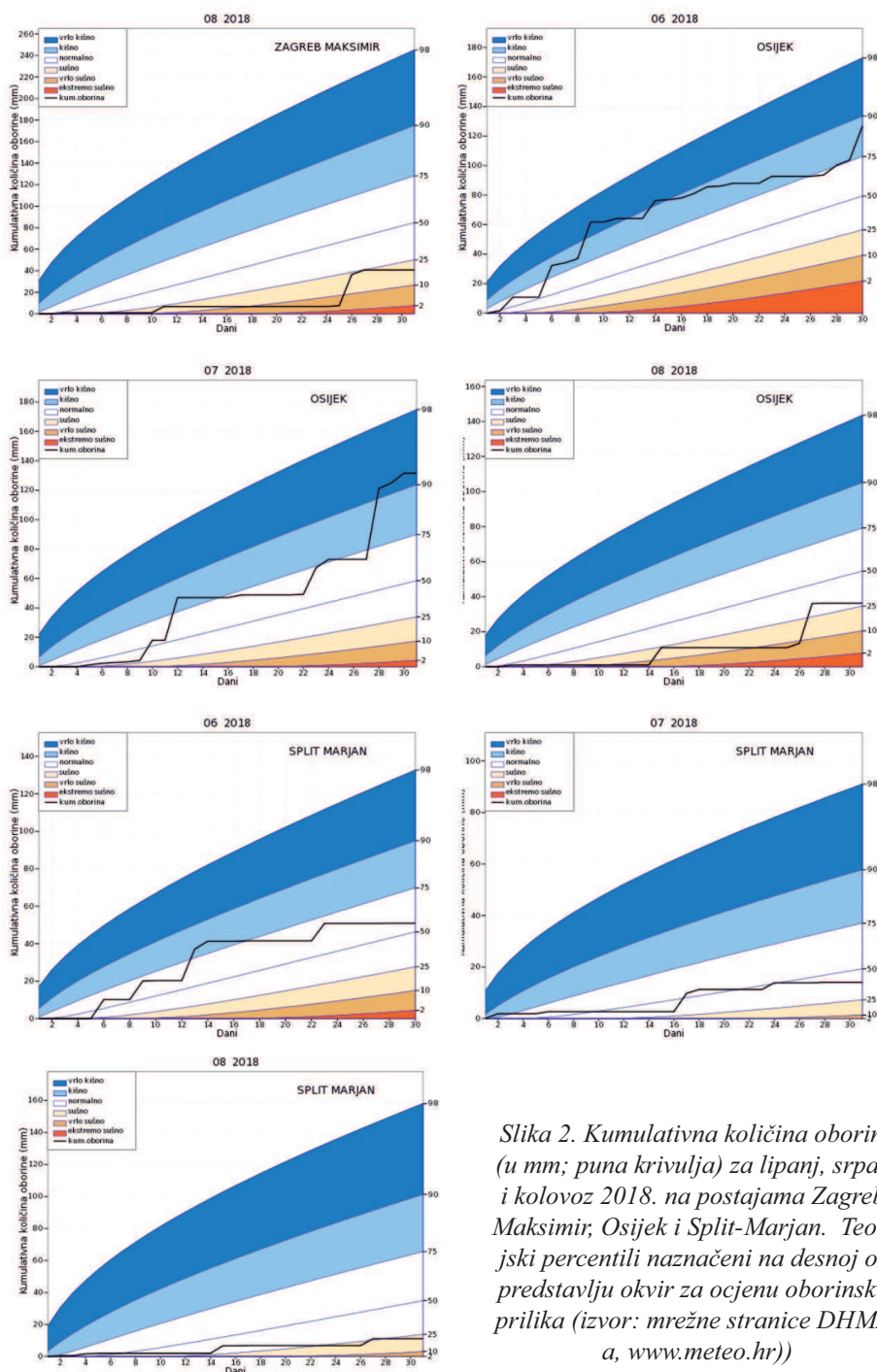
Tablica 1. Usporedba klimatskih indikatora (temperature i oborine) s indeksima SWI i NDVI s web platforme DroughtWatch (N: normalno, S: sušno, VS: vrlo sušno, K: kišno, VK: vrlo kišno). Smjer trenda u pojedinoj dekadi označen je s + (rastući) i - (negativni), a nula ukazuje da nema trenda.

2018	Temperature prilike	Oborinske prilike	Oborina 1., 2., 3. dekada			SWI raspon	SWI Start, Kraj	SWI trend 1., 2., 3. dekada			NDVI raspon	NDVIa Start, Kraj	NDVI trend 1., 2., 3. dekada				
			N	N	K			+	+	-			-	+	+	-	+
ZAGREB																	
Lipanj	ekstremno toplo	sušno	N	N	K	8, 16	11, 16	-+	+	-	-2.7, 6.5	-1, 6.5	-	+	+		
Srpanj	vrló toplo	normalno	N	K	N	16, 26	16, 17	0	+0	-	0.5, 8	6.5, 4.3	-	+	-		
Kolovoz	ekstremno toplo	sušno	S	VS	S	10, 17	17, 12	0-	-	0	0.3, 4.3	4.3, 2.3	-	+	x		
Listopad	ekstremno toplo	normalno	N	N	N	-5, 6	0, 5	0+	-	+	-17.5,-12	-12,-17.5	-	-	x		
Studeni	toplo	normalno	N	N	N	0, 15	5, 1	+-	-	-+	x	x	x	x	x		
OSIJEK																	
Lipanj	toplo	kišno	VK	K	K	-5.5, 8	-1, 5	-	+	+	-5, 2	-5, 2	+	+	+		
Srpanj	toplo	kišno	N	N	VK	4, 14	5, 13.5	0+	0	+	-2.5, 2	2, -2.5	-	0	-		
Kolovoz	ekstremno toplo	normalno	S	S	N	2, 18	13.5, 7	+-	-	+	-3, 0.5	-2.5, 0.5	-	+	x		
Listopad	vrló toplo	sušno	N	S	S	-19,-6	-6, -18	+	+	-	-16, -1.5	-1.5, -6.5	-	+	-		
Studeni	toplo	sušno	VS	VS	S	-25.5,-4	-18, -8	0-	+	+	-6.5, -6	-6.5, -6	+	x	x		
SPLIT																	
Lipanj	vrló toplo	normalno	N	N	N	-4, 6	5, -3	0-	-	-	-7.8, -2.5	-5, -7.8	+	+	-		
Srpanj	vrló toplo	normalno	N	N	N	-5, -0.5	-3, -2	+	+	+	-7.8, -3	-7.8, -3	+	-	+		
Kolovoz	ekstremno toplo	sušno	N	N	S	-9, -0.5	-2, -9	+	+	-	-4, -3	-3, -4	-	+	x		
Listopad	vrló toplo	normalno	VK	K	N	-3.5, 8	-0.5, 8	-+	+	+	-5.2, 0	-5.2, -1.5	+	+	-		
Studeni	vrló toplo	normalno	S	S	N	-5, 12	8, 3	-	+	0+	-4.5, 1	-1.5, -4.5	+	-	-		

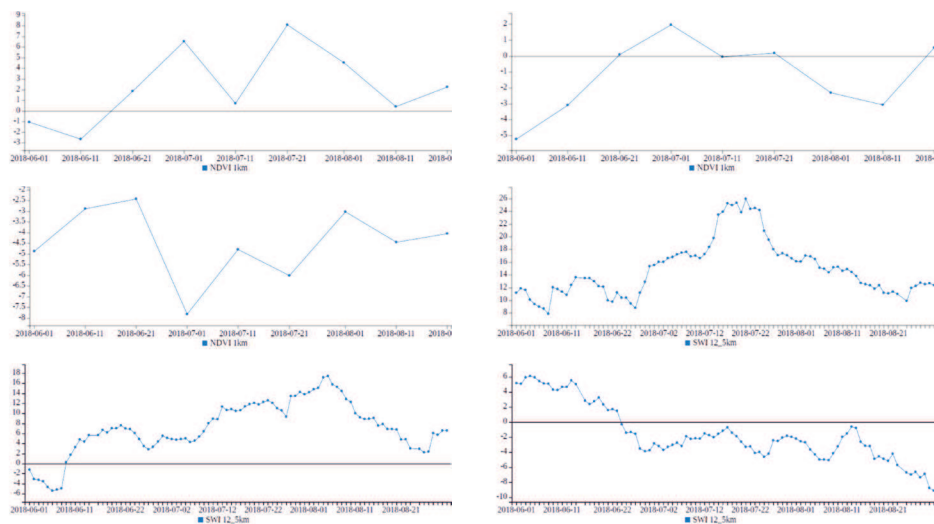


Slika 1. Ocjena temperaturnih prilika na području Hrvatske za lipanj, srpanj i kolovoz 2018. (izvor: mrežne stranice DHMZ-a, www.meteo.hr)

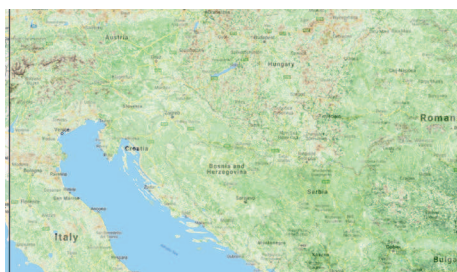
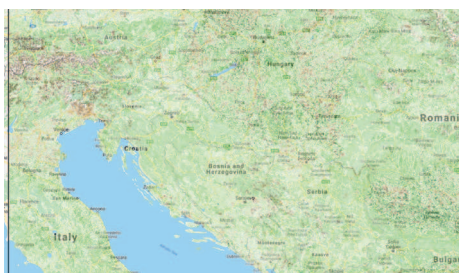
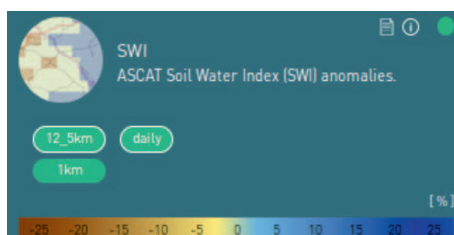
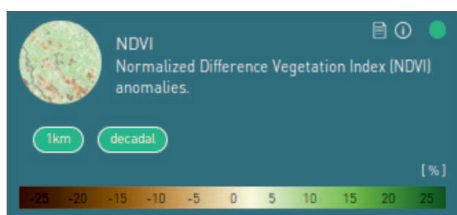


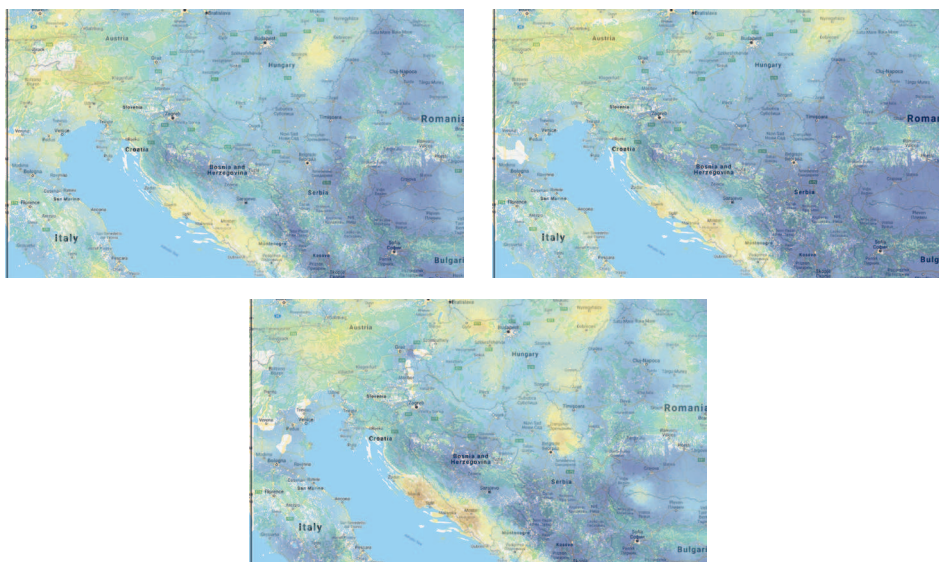


Slika 2. Kumulativna količina oborine (u mm; puna krivulja) za lipanj, srpanj i kolovoz 2018. na postajama Zagreb-Maksimir, Osijek i Split-Marjan. Teorijski percentili naznačeni na desnoj osi predstavljaju okvir za ocjenu oborinskih prilika (izvor: mrežne stranice DHMZ-a, www.meteo.hr)



Slika 3. Vremenski nizovi anomalija NDVI (gornji red) i SWI (donji red) tijekom lipnja, srpnja i kolovoza 2018. na postajama Zagreb-Maksimir, Osijek i Split-Marjan (izvor: platforma Drought Watch www.droughtwatch.eu)





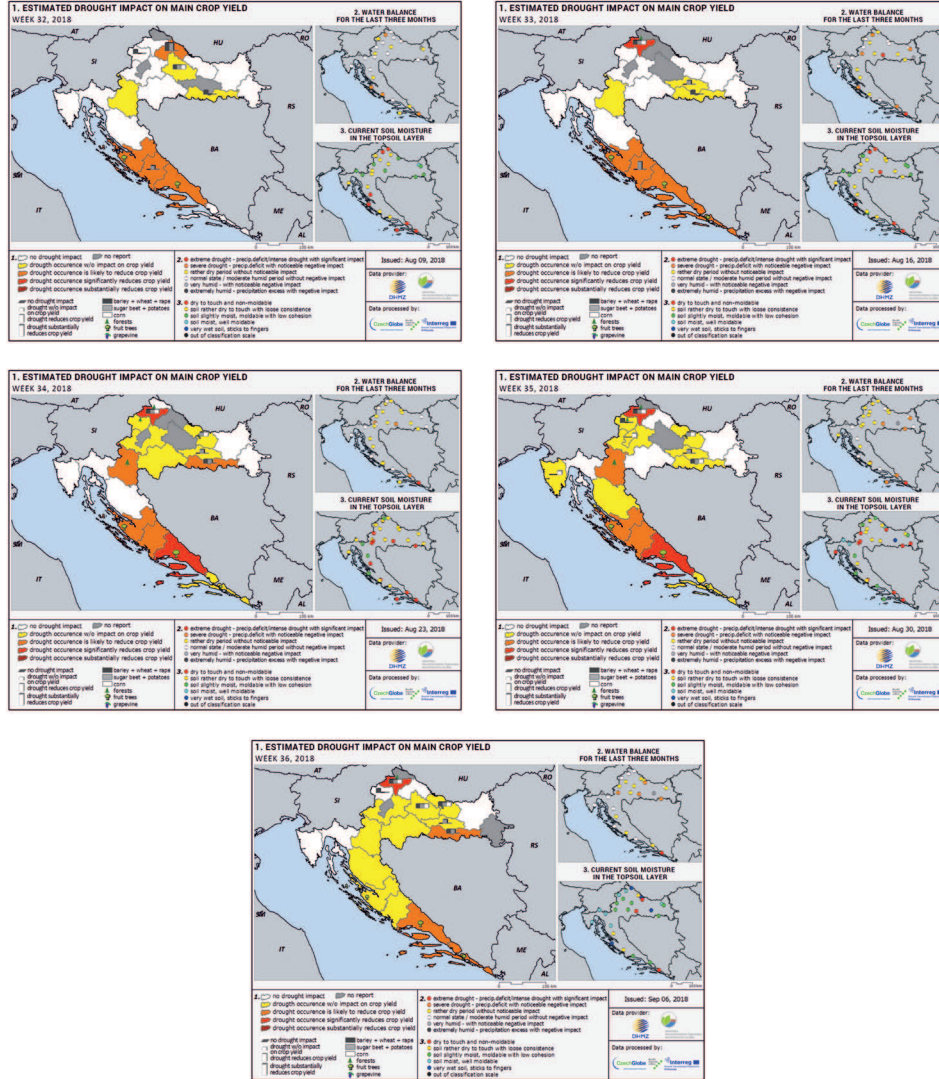
Slika 4. Prostorni prikaz anomalija NDVI (gornji red) i SWI (donji red) na dane 1. srpnja (lijevo), 1. kolovoza (sredina) i 1. rujna 2018. (desno) (izvor: platforma Drought Watch www.droughtwatch.eu)

2.2. Karte učinaka suše prema procjeni izvjestitelja u RH

U okviru projekta DriDanube uspostavljena je nacionalna mreža izvjestitelja po županijama Republike Hrvatske koju čine djelatnici Hrvatske poljoprivredno šumarske savjetodavne službe (Ministarstvo poljoprivrede), zatim motritelji na glavnim meteorološkim postajama DHMZ-a te zainteresirane osobe. Izvjestitelji jednom tjedno on-line ispunjavaju upitnike o procjeni stanja tla i mogućim učincima (potencijalne) suše na usjeve, voćnjake, vinograde, maslinike i šume. Na osnovu njihovog izvještavanja pripremaju se tri karte: karta procjena učinaka suše na prinos prevladavajućih kultura, karta vodne ravnoteže u posljednja tri mjeseca i karta stanja vlažnosti tla u površinskom sloju debljine 20 cm. Te karte su dostupne na mrežnim stranicama DHMZ-a od lipnja 2018., kako za Hrvatsku tako i za sve zemlje sudionice u projektu DriDanube. Na slici 5 prikazane su tjedne karte za Hrvatsku tijekom kolovoza 2018.

Prema rezultatima izvjestitelja, u prvoj polovini kolovoza, na središnjem i južnom Jadranu moguć je učinak suše na voćnjake (Splitsko-dalmatinska, Zadarska i Dubrovačka županija) i na pojedine poljoprivredne kulture (Šibensko-kninska županija). U drugoj polovini kolovoza izvjestitelji Brodsko-posavske i Karlovačke županije prijavljuju učinak suše na glavne poljoprivredne kulture i šume, a u Splitsko-dalmatinskoj županiji može se očekivati značajan učinak na voćnjake. U Varaždinskoj županiji je tijekom većeg dijela kolovoza očekivan značajan učinak suše na poljoprivredne kulture i na šume premda su u svim ljetnim mjesecima prevladavale normalne oborinske prilike.

Vodna ravnoteža u prethodna tri mjeseca (slika 5) ukazuje na vrlo suhe uvjete u istočnoj Hrvatskoj i na južnom Jadranu, a iznimno suhe u Dubrovačkoj županiji. U ostalim županijama su uglavnom opažena sušnja razdoblja bez vidljivih učinaka.



Slika 5. Primjer karata učinaka suše, vodne ravnoteže i stanja vlažnosti tla tijekom kolovoza 2018. (izvor DHMZ: http://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracenje¶m=spi&el=karte_suse)

ZAKLJUČAK

Jedan od posebnih ciljeva projekta DriDanube je uspostava operativnog praćenja suše u svrhu što točnijeg i efikasnijeg upozorenja na sušu i to korištenjem dostupnih izmjerenih podataka i satelitskih produkata.

U ovom radu ukratko je opisana web platforma Drought Watch za praćenje suše koja je uspostavljena u okviru projekta DriDanube i pruža prostorni uvid različitih produkata za cijelo dunavsko područje. Provedena je preliminarna usporedba pojedinih indikatora za praćenje suše (anomalije SWI i NDVI) s postojećim pokazateljima za ocjenu klimatskih prilika u Hrvatskoj. Rezultati su općenito pokazali suglasnost pojedinih indikatora, ali je potrebna detaljnija analiza kako bi se objasnilo zašto u pojedinim slučajevima anomalije SWI i NDVI nisu istog predznaka što je posebno slučaj za područje Jadrana. Naime, složena konfiguracija tla, lokalizirane pojave intenzivnih pljuskova i odabir postaja samo su neki od čimbenika koji mogu imati različite utjecaje na ocjenu stanja vegetacije i vlage u tlu.

Analiza je provedena za 2018. godinu koja nije bila sušna, ali je odabrana budući za tu godinu postoje karte učinaka suše na poljoprivredne kulture koje su također pripremljene u okviru projekta. Rezultati usporedbe pokazali su prilično dobro slaganje opažanja izvjestitelja s općom ocjenom klimatskih prilika. Ipak, treba napomenuti da su procjene učinaka suše, vodne ravnoteže i stanja tla subjektivne procjene izvjestitelja te da će zasigurno trebati još određeno vrijeme dok izvještavanje ne bude potpuno djelotvorno.

Provedena analiza u ovom radu pruža tek preliminarne rezultate o korisnosti platforme Drought Watch budući da je ograničena s odabirom samo dva satelitska produkta. Stoga će u budućnosti biti provedene detaljnije usporedbe koje će uključivati i druge dostupne produkte.

LITERATURA

- [1] Cindrić Kalin, K., Špoler Čanić, K., Kalin, L., Moderc, A., Sušnik, A., Gregorić, G., (2018): *Razvoj strategije odgovora na sušu u sklopu projekta DriDanube*, VII. Konferencija Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa Zbornik radova (Urednik - Holcinger N.), Državna uprava za zaštitu i spašavanje, Zagreb, 36-41.
- [2] DHMZ (2019): Državni hidrometeorološki zavod, http://www.meteo.hr/istrazivanje.php?section=projekti¶m=projekti_u_tijeku&el=dridanube (28.02.2019.)

AUTORI

mr.sc. Ksenija Cindrić Kalin ^a

Ivana Marinović, mag.phys-geophys. ^a

Izidor Pelajić, mag.phys-geophys. ^a

mr.sc. Kornelija Špoler Čanić ^a

mr.sc. Blaženka Matjačić ^a

mr.sc. Lidija Srnec ^a

Lovro Kalin, dipl.ing. ^a

^a Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, 10000 Zagreb, Hrvatska, cindric@cirus.dhz.hr, ivana.marinovic@cirus.dhz.hr, izidor.pelajic@cirus.dhz.hr, spoler@cirus.dhz.hr, blazenka.matjagic@cirus.dhz.hr, srnec@cirus.dhz.hr, lovro.kalin@cirus.dhz.hr



R 1.08.

OPERATIVNI SUSTAV „MURADRAVA-FFS“ KAO POMOĆ PRI UPRAVLJANJU DRAVSKIM HIDROELEKTRANAMA KOD VELIKIH VODA

**Damir Bekić, Klaudija Bašić, Tin Kulić, Danijel Bunić, Leonard Sekovanić,
Tomislav Šlehta, Igor Tošić**

SAŽETAK: Recentni događaji na Muri i Dravi pokazali su relativno veliku vjerojatnost koincidencije njihovih velikih voda na ušću. Analize različitog rada dravskih hidroelektrana pokazale su da se pravovremenom regulacijom i upravljanjem vodnog režima u akumulacijama može, u određenoj mjeri, utjecati na smanjenje vrijednosti i trenutka pojave vršnih protoka Drave na nizvodnim dionicama. Za ostvarenje takve pozitivne transformacije hidrograma velikih voda potrebno je imati pravovremenu informaciju o prognostičkim protocima Mure na ušću i dotocima Drave a regulaciju i upravljanje pojedinom hidroelektranom treba koordinirati s radom lanca hidroelektrana. U radu se prikazuje razvoj i implementaciju operativnog sustava „MuraDrava-FFS“ koji objedinjuje hidrološke prognoze i rano upozorenje od poplava kao pomoć pri upravljanju dravskim hidroelektranama za vrijeme velikih voda. U operativnom sustavu automatizirano je prikupljanje hidroloških mjerenja i postojećih prognoza za izračun prognostičkih protoka Mure i Drave do 48 sati unaprijed, kao i izrada i diseminacija izvještaja te arhiviranje podataka. Operativni sustav „MuraDrava-FFS“ izrađen je korištenjem platforme otvorenog koda Delft-FEWS i instaliran je na PC računalo u Hrvatskim vodama u Centru za obranu od poplava Varaždin.

KLJUČNE RIJEČI: operativni sustav, hidrološke prognoze, upravljanje hidroelektranama, obrana od poplava

OPERATING SYSTEM "MURADRAVA-FFS" AS SUPPORT TO THE MANAGEMENT OF HYDROPOWER PLANTS ON THE DRAVA RIVER DURING FLOOD EVENTS

ABSTRACT: The recent flood events on the Mura and Drava Rivers showed a relatively high probability of coincidence of their hydrograph peaks at the confluence. Analyses of various hydropower plant regulation and management regimes have demonstrated that the timely regulation and management of the water regime in reservoirs may, to a certain extent, reduce the values and occurrence time of the Drava peak flows in the

downstream river sections. In order to achieve this positive transformation of flood hydrographs, it is necessary to obtain timely information on forecasted discharges of the Mura River at the confluence and of the Drava River inflows as well as to coordinate the regulation and management of individual hydropower plants with the operation of the HPP chain. This paper presents the development and implementation of the operating system "MuraDrava-FFS" which combines flood forecasts and flood early warnings as support to the management of hydropower plants on the Drava River during flood events. Automated processes within the operating system include the collection of hydrological measurements and existing forecasts for calculation of prognostic discharges of the Mura and Drava up to 48 hours ahead as well as the preparation and dissemination of reports and data backup. The operating system "MuraDrava-FFS" was developed within the open source platform Delft-FEWS and is PC-installed at the Flood Protection Centre of Hrvatske vode in Varaždin.

KEYWORDS: operating system, hydrological forecasts, hydropower plant management, flood protection

1. UVOD

Poplave su prirodni fenomeni čije se pojave ne mogu izbjeći, a uzrokuju i velike štete. Meteorološki i hidrološki događaji, s udjelom od po 31 %, zaduženi su za 62 % u ukupnim štetama od elementarnih nepogoda u Europi, pokazuju posljednji pokazatelji na razini europske unije (EEA, 2018). Uslijed klimatskih promjena očekuje se daljnje povećanje učestalosti meteoroloških ekstrema, a time i hidroloških ekstrema (Hrvatske vode, 2013). Analizom nedavnih velikovodnih događaja na Dravi nizvodno od ušća Mure (UNIZG GF, 2018) pokazano je da postoji relativno velika vjerojatnost koincidencije vršnog dijela hidrograma Mure i Drave. U studiji (UNIZG GF, 2018) je također ispitana i mogućnost ublažavanja vršnih protoka Drave radom dravskih hidroelektrana s ciljem povećanja sigurnosti od poplave na nizvodnim dionicama. Pokazano je da postoji potencijal za „pozitivnu“ transformaciju hidrograma velikih voda na dravskim hidroelektranama, a za što su potrebna tri elementa: (a) poznavati prognostičke protoka Mure i dotoka Drave u satnim vremenskim koracima do četiri dana unaprijed i (b) regulirati i upravljati pojedinom hidroelektranom u koordinaciji s radom lanca hidroelektrana.

Postojeće hidrološke prognoze na Muri dostupne su iz dva sustava: združeni austrijsko-slovensko-mađarski model¹ (Steiermark) i mađarski model² (hydroinfo.hu). Rezultati ova dva modela za narednih 48 sati dani su za 10 termina (Steiermark) odnosno za 8 termina (hydroinfo.hu). Unutar PP HE Sjever izveden je SCADA sustav za nadzor i upravljanje cijelim proizvodnim područjem. Sustav je od velike koristi u uvjetima malih i srednjih voda Drave kada se za spremine u akumulacijama koristi primarno za proizvodnju električne energije. No SCADA sustav ne nadzire rijeku Mura pa nije omogućen niti puni potencijal akumulacija za ublažavanje i transformaciju velikih voda Drave na hidroelektranama za potrebe obrane od poplava dionica Drave nizvodno od ušća Mure. Hidrološke prognoze dotoka Drave do dravskih hidroelektrana ne postoje, osim dojava voznog reda iz DEM-a

1 http://app.hydrographie.steiermark.at/bilder/Hochwasserzentrale/Source/MurOverview_hu.htm

2 <http://www.hydroinfo.hu/>

Tablica 1. Prikaz dostupnih satnih mjerenja i postojećih hidroloških prognoza

Vodotok	Hidrološka postaja	Mjerenja		Postojeće hidrološke prognoze		
		H od-do	Q od-do	Mađarski model (hydroinfo.hu)	Združeni model (Steiermark)	Vozni red HED
Mura	Gornja Radgona	1989-2015*	1993-2015		+	
Kučnica	Cankova					
Ščavnica	Pristava				+	
Ledava	Čentiba	2005-2016**	2005-2016**		+	
Kerka	Tormafölde	1990-2016	1990-2016		+	
Tmava	Donji Hrašćan	1991-2016***	2007-2015****			
Mura	Mursko Središće	1982-2017*****	1998-2017*****		+	
Mura	Goričan	1982-2017	1998-2017	samo H	+	
Drava	HE Dubrava		2013-2017			samo Q+/-
Drava	Donja Dubrava	1982-2017	2003-2017			
Drava	Örtilos	2000-2017	2004-2017	samo H		
Drava	Botovo	1982-2016	2001-2016	samo H		

(+) podaci postoje; (+/-) podaci postoje u određenim uvjetima; podaci nedostaju (*) za 2007 i 2008; (**) za 2008, 2009 i 2015; (***) za 1994 i 2000; (****) za 2010 i 2011; (*****) za 2006.

Na predmetnom području od studijske dokumentacije dostupne su osnovne hidrološke obrade na hidrološkim postajama na Muri (UL FG, 2011) te niz studija i dvodimenzionalnih hidrauličkih modela na rijeci Dravi (UNIZG GF, 2014; 09/2013; 05/2013; 04/2013), kao i analiza velikovodnog događaja iz 2012. godine (Bekić i drugi, 2013).

Uz mjerenja vodostaja i protoka na mreži hidroloških postaja u Sloveniji, Mađarskoj i Hrvatskoj, na promatranom području postoje hidrološke prognoze protoka Mure iz dva sustava. Združeni hidrološko-hidraulički model (Steiermark) daje prognoze vodostaja i protoka na slivu Mure do 6 dana unaprijed s različitim vremenskim korakom: vremenski korak je 1h do 6 sati unaprijed i povećava se na 6h odnosno 12h do 48 sati unaprijed; vremenski korak iznosi 24h nakon 48 sati unaprijed. Prognoze združenog modela izdaju se svakih 90 minuta. Prognoze mađarskog modela (hydroinfo.hu) daju se kao anvelopa prognostičkih vodostaja za Muru i Dravu do 6 dana unaprijed s vremenskim korakom od 6h, a izdaju se jednom dnevno (između 9 i 11h). Tablica 1 prikazuje dostupnost satnih hidroloških mjerenja i postojećih hidroloških prognoza po postajama. Prognoze protoka za HE Dubrava (vozni red) za naredna 24 sata dostavljaju se u određenim uvjetima, a što će biti objašnjeno u nastavku.

Pokazano je da je za „pozitivnu“ transformaciju hidrograma velikih voda na dravskim hidroelektranama potrebno poznavanje prognostičkih protoka Drave i Mure u satnim vremenskim koracima do četiri dana unaprijed (UNIZG GF, 2018). No SCADA sustavom ne nadzire se rijeka Mura, a hidrološke prognoze dotoka Drave do dravskih hidroelektrana ne postoje. Svi potrebni prognostički podaci za sliv Mure dobivaju se iz združenog modela (Steiermark) koji ne daje rezultate u satnim vremenskim koracima za cjelokupno potrebni vremenski horizont (nekoliko dana unaprijed). Pregledom postojećih hidrološko-hidrauličkih modela na predmetnom području, pokazalo se da ne postoji

mogućnost dobivanja satnih prognoza protoka Mure i Drave do nekoliko dana unaprijed. Zbog toga se krenulo u izradu novog operativnog sustava „MuraDrava-FFS“ u kojem će se razviti novi model hidroloških prognoza i sustav za rano upozorenje od poplava.

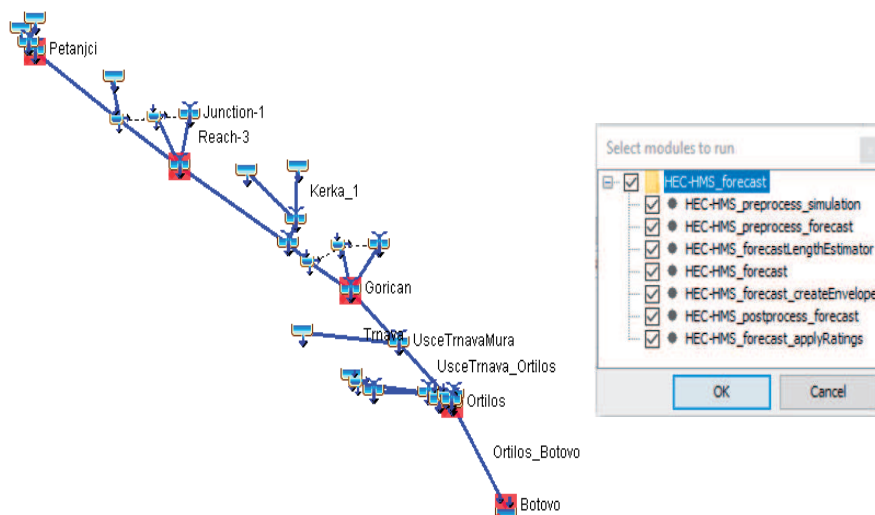
3. METODOLOGIJA

Izrađen je novi operativni HEC-HMS model propagacije vodnih valova na Muri i Dravi. Hidrološki model obuhvaća Muru u Sloveniji, Mađarskoj i Hrvatskoj i glavne pritoke (Kučnica, Ščavnica i Ledava u Sloveniji, Kerku u Mađarskoj i Trnavu u Hrvatskoj) te Dravu od HE Dubrava do Botova (Slika 2, lijevo). Propagacija valova računa se Muskingum metodom (McCarthy i Gerald, 1939) duž prirodnih korita Mure i Drave te metodom kinematskog vala na pritokama i derivacijskim kanalima hidroelektrana. Za kalibraciju i verifikaciju hidrološkog modela odabrano je 26 velikovodnih događaja, a većina odabranih događaja je pod dominantnim utjecanjem velikih voda Drave. Propagacija valova računa se temeljem zabilježenih i prognostičkih protoka na uzvodnim dionicama.

Za izradu hidrološkog modela korištene su različite hidrološke i topografske podloge te podaci o dravskim hidroelektranama. Osim satnih vodostaja i protoka dostupne su bile i lokacije postaja, pripadajuće slivne površine, mjerodavni vodostaji i protoci za primjenu mjera obrane od poplava te prethodna vodomjerenja i vodomjerni profili na stanicama. Topografske podloge uključivale su *shape* datoteke podslivova rijeke Mure i Drave, riječne mreže, vodnih tijela i derivacijskih kanala hidroelektrana. Podatci o dravskim hidroelektranama uključivali su površinu i krivulju volumena akumulacija, kote normalnog, minimalnog i maksimalnog radnog nivoa u akumulacijama, instalirane protoke te satne protoke i vodostaje na hidroelektranama.

Pri velikovodnim događajima na Muri i Dravi dolazi do izlivanja vode iz glavnog korita i plavljenja okolnog područja uz vodotok što uzrokuje smanjenje vršnih protoka i duže trajanje hidrograma na nizvodnim dionicama. Zbog toga su Mura i Drava modelirani na način da se zasebno računa propagacija u glavnom koritu a zasebno na inundacijama. Na ovaj inovativan način uključuje se i utjecaj različite hrapavosti inundacijskog područja na propagaciju vodnog vala nizvodno čime je proračun prognostičkih satnih protoka Mure i Drave pouzdaniji. Proračunsko vrijeme iznosi nekoliko sekundi za vremenski horizont od nekoliko dana unaprijed.

Delft-FEWS (Delft Flood Early Warning System) je platforma otvorenog koda koja se sastoji od skupa međusobno povezanih modula za izradu operativnog sustava hidroloških prognoza i upravljanja vodnim resursima, a omogućava prilagodbu i uključivanje različitih zahtjeva korisnika (Werner i drugi, 2013). Hidrološki model HEC-HMS i Delft-FEWS platforma operativno su integrirani preko niza modula (Slika 2, desno). Podaci se prikupljaju u realnom vremenu s hidroloških postaja u Hrvatskoj, Sloveniji i Mađarskoj te s dravskih hidroelektrana (Tablica 2).



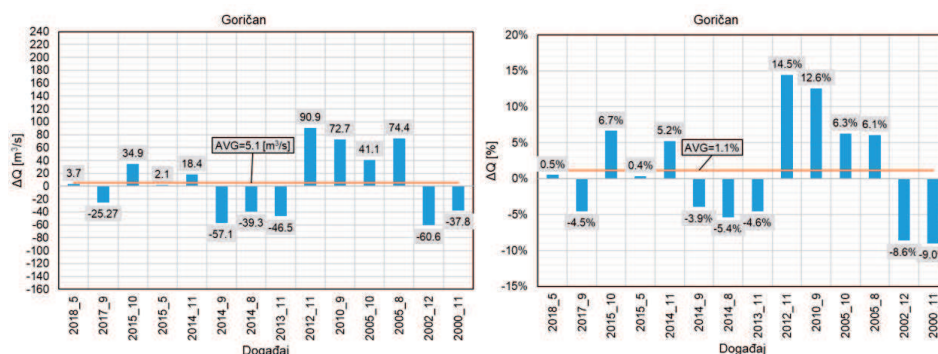
Slika 2. Domena HEC-HMS modela propagacije vodnih valova na Muri i Dravi (lijevo) i moduli “HEC-HMS forecast” unutar operativnog sustava (desno)

Tablica 2. Izvori ulaznih izmjerenih i prognostičkih podataka

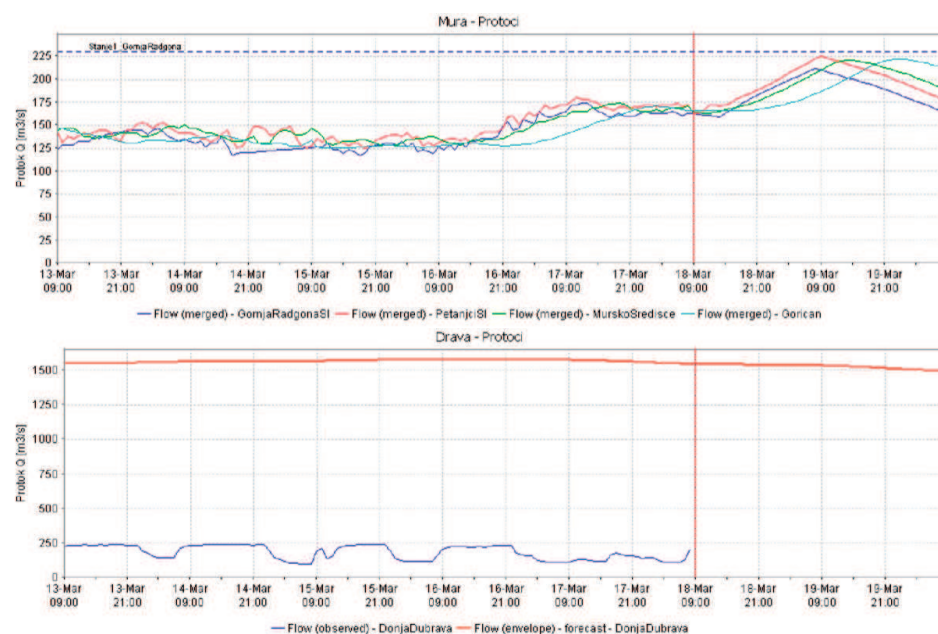
	Podaci	Izvor	Prikupljanje
Izmjereni podaci	postaje/HE u Sloveniji	Agencija Republike Slovenije za okolje	web
	postaje/HE u Hrvatskoj	Hrvatske vode	ftp server
	postaje u Mađarskoj	Nacionalna uprava za vode, Mađarska	web
Prognostički podaci	za Muru, Ledavu, Ščavnicu i Kerku	Združeni model Mure	web
	za postaje Goričan, Ortilos i Botovo	hydroinfo.hu	web

4. REZULTATI

Operativni sustav „MuraDrava-FFS“ (UNIZG GF, 2018) razvijen je za potrebe povećanja obrane od poplava na dionici Drave nizvodno od ušća Mure. Operativni sustav objedinjuje novi model hidroloških prognoza i sustav za rano upozorenje od poplava na području Mure i Drave do Botova. Satne prognoze protoka na vodomjernim postajama dobivaju se iz novog HEC-HMS modela temeljem zabilježenih i prognostičkih protoka na uzvodnim dionicama Mure i Drave, a prognoze vodostaja interpretiraju se iz prognoza protoka i važećih konsumpcijskih krivulja. Operativna platforma je Delft-FEWS (Werner i drugi, 2013) koja izvještaje o hidrološkim prognozama i upozorenja automatizirano isporučuje na email i Telegram aplikaciju.



Slika 3. Pogreške vršnih protoka na lokaciji h.p. Goričan pri verifikaciji modela



Slika 4. Redovni izvještaj hidroloških prognoza i graničnog protoka Drave na HE Dubrava

Prognoze vodostaja i protoka daju se za hidrološke postaje na Muri (Petanjci, Mursko Središće i Goričan) i Dravi (Donja Dubrava, Örtilos i Botovo). Kalibracija hidrološkog modela na Muri i Dravi provedena je za 9, a verifikacija za 5 velikovodnih događaja usporedbom odstupanja računskih od zabilježenih hidrograma na hidrološkim postajama (Slika 3). Analiza rezultata kalibracije i verifikacije modela na Muri za h.p. Goričan pokazuje srednju, maksimalnu i minimalnu vrijednost apsolutne pogreške protoka za 5 događaja od 5.1 [m^3/s], 90.9 [m^3/s] i -60.6 [m^3/s], a što odgovara relativnoj pogreški protoka od 1.1 %, 14.5 % i -9.0 %.

Jedan od glavnih rezultata operativnog sustava je određivanje graničnog hidrograma Drave nizvodno od HE Dubrava do 48 sati unaprijed te izrada i diseminacija izvještaja. Granični hidrogram na HE Dubrava predstavlja preporuku za upravljanje dravskim hidroelektranama kod velikih voda na način da se na h.p. Botovo ne premaše redovne mjere obrane od poplava. Granični hidrogram određuje se svaki sat kao razlika između preporučenog maksimalnog protoka Drave na ušću Mure (h.p. Örtilos) i prognostičkog hidrograma Mure na ušću uz uvažavanje nepouzdanosti hidroloških prognoza. Izvještaji hidroloških prognoza i graničnog hidrograma na HE Dubrava izrađuju se u grafičkom i tabličnom obliku s prikazima računskih i prognostičkih vodostaja i protoka na Muri i Dravi do 48 sati unaprijed (Slika 4). Izrađuju se dva tipa izvještaja ovisno o trenutačnom stanju i prognozama na Muri i Dravi. U uvjetima malih i srednjih voda Mure i Drave izrađuje se „*Redovni izvještaj prognoza*“ jednom dnevno, a „*Posebni izvještaj prognoza*“ izrađuje se u satnim intervalima u uvjetima velikih voda Mure i/ili Drave. Diseminacija izvještaja i upozorenja izvršava se putem e-mail-a (png, pdf i csv formati) i „Telegram“ aplikacije (png format). Svi procesi unutar operativnog sustav „MuraDrava-FFS“ su u potpunosti automatizirani i instaliran je na PC računalo u Hrvatskim vodama u Centru za obranu od poplava Varaždin.

ZAKLJUČAK

Rezultati nedavnih analiza pokazali su da je pravovremenim i koordiniranim upravljanjem dravskim hidroelektranama moguća određena transformacija vršnog dijela hidrograma kroz lanac hidroelektranama. Za potrebe povećanja sustava obrane od poplava na Dravi nizvodno od ušća Mure izrađen je operativni sustav „MuraDrava-FFS“ koji objedinjuje novi model hidroloških prognoza i sustav za rano upozorenje od poplava. Temeljem hidroloških mjerenja i postojećih prognoza na uzvodnim dionicama dobivaju se satne prognoze protoka do 48 sati unaprijed za proračunsko vrijeme od nekoliko sekundi. Glavni rezultati sustava su granični hidrogrami Drave nizvodno od HE Dubrava te izrada i diseminacija izvještaja. Operativni sustav omogućava pravovremene pripremne aktivnosti kod upravljanja dravskim hidroelektranama i u provedbi mjera obrane od poplava, a čime se poplavne štete na nizvodnim dionicama mogu značajno ublažiti. Operativni sustav u potpunosti je automatiziran, a satni izvještaji prognoza do 48 sati unaprijed dostavljaju se na email i Telegram aplikaciju. Postojeći operativni sustav predstavlja početak razvoja šireg sustava operativnih prognoza na Muri i Dravi, a nadogradnja sustava bi trebala ići u smjeru hidroloških prognoza Drave i Mure do 4 dana unaprijed.

LITERATURA

- [1] Bekić, D., Mioč, A., Kerin, I. (2013): *Hidrološko-hidraulička analiza vodenog vala rijeke Drave 5.11.2012. na širem području HE Varaždin*, Zbornik radova skupa Dani gospodarenja vodama 2013, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, pp. 41-62.
- [2] European Environment Agency (2018): *Indicator Assessment Report on Economic losses from climate-related extremes in Europe*, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/direct-losses-from-weather-disasters-3/assessment-1>, pristup: 06.03.2019.

- [3] Hrvatske vode (2013): *Prethodna procjena rizika od poplava*, <http://korp.voda.hr/pdf/Prethodna%20procjena%20rizika%20od%20poplava/PRETHODNA%20PROCJENA%20RIZIKA%20OD%20POPLAVA%20-%20TEKST.pdf>, pristup: 05.03.2019.
- [4] Hungarian Hydrological Forecasting Service (hydroinfo.hu), <http://www.hydroinfo.hu/en/index.html> pristup: 05.03.2019.
- [5] McCarthy, G. T., Gerald, T. (1939): *The Unit Hydrograph and Flood Routing*, Providence, R.I. : Army Engineer District, Providence
- [6] Režek, D., (2003): *Hidroelektre na Dravi*, Građevinar, pp. 647-653.
- [7] Sekulić, S., Vrdoljak, K. (2016): *The SCADA System at the Generation Center of Hydro North*, Engineering and Industry Series, Volume 3: Power Systems, Energy Markets and Renewable Energy Sources in South-Eastern Europe (Mavromatakis, F., Siderakis, K.), Trivent Publishing, Budimpešta, pp. 2-14.
- [8] Sliv Mure – Automatizirani hidrološki prognostički model (Steiermark), http://app.hydrographie.steiermark.at/bilder/Hochwasserzentrale/Source/MurOverview_hu.htm pristup: 05.03.2019.
- [9] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet (UNIZG GF) (04/2013): *Studija protočnosti starog korita rijeke Drave na širem području HE Varaždin*.
- [10] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet (UNIZG GF) (09/2013): *Studija protočnosti starog korita rijeke Drave uz HE Čakovec*.
- [11] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet (UNIZG GF) (2014): *Studija protočnosti starog korita rijeke Drave uz HE Dubrava*.
- [12] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet (UNIZG GF) (2017): *Hidraulički model Bednje od brane u Kućanu Ludbreškom do ušća u Dravu*.
- [13] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet (UNIZG GF) (2018): *Operativni model upravljanja dravskim hidroelektranama za vrijeme velikih voda*.
- [14] Univerzitet u Ljubljani, Fakultet građevinarstva i geodezije (UL FGG) (2011): *Hidrološka studija rijeke Mure*.
- [15] Werner, M., Schellekens, J., Gijsbers, P., van Dijk, M., van den Akker, O., Heynert, K. (2013): *The Delft-FEWS flow forecasting system*, Environmental Modelling & Software, pp. 65-77.

AUTORI

doc.dr.sc. Damir Bekić ^a

Klaudija Bašić, mag.ing.aedif. ^a

Tin Kulić, mag.ing.aedif. ^a

Danijel Bunić, dipl.ing.građ. ^b

mr.sc. Leonard Sekovanić ^b

Tomislav Šlehta, dipl.ing.geot. ^b

Igor Tošić, mag.ing.geoling. ^b

^a Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, damir.bekic@grad.hr, kbasic@grad.hr, tkulic@grad.hr

^b Hrvatske vode, VGO za Muru i gornja Drava, Međimurska ulica 26b, Varaždin, Hrvatska, danijel.bunic@voda.hr, leonard.sekovanic@voda.hr, tomislav.slehta@voda.hr, igor.tosic@voda.hr



R 1.09.

KOINCIDENCIJA VELIKIH VODA NA ŠIREM SEKTORU UŠĆA REKE DRAVE U DUNAV PRIMENOM RAZLIČITIH PROCEDURA – MODELA PROIL I KOPULA

Stevan Prohaska, Aleksandra Ilić, Boris Pokorni

SAŽETAK: Problematika definisanja merodavnih velikih voda za potrebe projektovanja sistema za zaštitu od poplava u zonama ušća glavne reke i pritoke je veoma složena, s obzirom na međusobni uticaj uspora koji se pojavljuje kao posledica asinhronosti u pojavi maksimalnih protoka na oba vodotoka. Zbog toga se pri izboru merodavnih protoka na oba vodotoka mora voditi računa o njihovoj međusobnoj povezanosti, što se postiže proračunom verovatnoće istovremenih događaja, odnosno koincidencije maksimalnih godišnjih protoka na oba vodotoka. U ovom radu prikazuju se rezultati primene različitih procedura za proračun koincidencije velikih voda na primeru šireg ušća Drave u Dunav u Srbiji. Korišćena su dva pristupa: proračun verovatnoće prevazilaženja u dvodimenzionalnom prostoru, koncipiran kao model PROIL i upotreba tri familije tzv. Arhimedovih kopula – Gumbelova, Klejtonova i Frankova, kojima se određuju zajedničke raspodele verovatnoća različitih slučajno promenljivih u višedimenzionalnom prostoru verovatnoća. Proračun koincidencije velikih voda Drave i Dunava, primenom navedenih procedura, urađeni su na širem sektoru ušća od hidrološke stanice Donji Miholjac na Dravi, zatim od hidrološke stanice Bezdan pa do hidrološke stanice Bogojevo na Dunavu. Rezultati proračuna prikazani su numerički, preko marginalnih verovatnoća razmatranih kombinacija promenljivih za koje su definisane koincidencije i računskih protoka na osnovu definisanih zavisnosti. Linije prevazilaženja verovatnoća prikazane su ilustrativno za jednu kombinaciju promenljivih po obe metode.

KLJUČNE REČI: koincidencija velikih voda, dvodimenzionalna sučajno promenljiva, model PROIL, kopule, vrh poplavnog talasa, verovatnoća prevazilaženja

FLOOD FLOW COINCIDENCE IN THE GREATER AREA OF THE DANUBE AND DRAVA CONFLUENCE BY APPLICATION OF DIFFER- ENT PROCEDURES – PROIL MODEL AND COPULA PROCEDURE

ABSTRACT: The issues related to defining design flood flow for a system of flood protection in river confluence areas are very complex, given the interaction of backed-up flows resulting from the asynchronicity in the occurrence of maximum discharges on both

watercourses. For this reason, the selection of design discharges on both watercourses has to take into account their interconnection, which is achieved by the calculation of probability of simultaneous events or coincidences of maximum annual discharges in both watercourses. This paper presents the results of applying different procedures for calculating the coincidence of flood flows on the example of the greater confluence zone of the Drava and Danube Rivers in Serbia. Two approaches were used: the calculation of the probability of exceedance in a two-dimensional space, as a model PROIL, and the use of so-called three families of Archimedean copula – Gumbel, Clayton and Frank, which are used for determining the joint probability distribution of different random variables in the multidimensional space. The calculation of coincidences of flood flows in the greater area of the Drava and the Danube confluence by applying the mentioned procedures were performed from the hydrological station at Donji Miholjac on the Drava and the hydrological station at Bezdan to the hydrological station at Bogojevo on the Danube. The calculation results are presented numerically, by marginal probabilities of the considered combinations of variables for which coincidences were defined and the calculated discharges according to the defined dependences. As a graphical illustration, exceedance isolines are shown for one combination of variables according to both methods.

KEYWORDS: flood flow coincidence, bivariate random variable, PROIL model, copula method, flood peak, exceedance probability

1. UVOD

Hidrotehnički objekti se projektuju sa ciljem da obezbede zahtevanu sigurnost nizvodnog područja, tako da se i određivanje računске velike vode svodi na definisanje maksimalnog protoka i/ili drugih karakteristika poplavnog talasa određene verovatnoće pojave. Izbor merodavnih protoka za projektovanje regulacionih radova i planiranje mera za odbranu od poplava na sektorima reka koje obuhvataju ušće pritoka je složen postupak.

Nekoliko studija se bavilo problematikom raspodela verovatnoće u dvodimenzionalnom prostoru (Bender et al, 2016): Moris i Calise 1987, Raynal i Salas 1987, ali se tom popisu moraju svakako pridodati poglavlja u monografijama koja su se bavila ovom problematikom na sektorima reke Dunav sa značajnijim pritokama (Prohaska et al, 1999 i Prohaska i Ilić, 2010). Sve studije ističu da se verovatnoće prevazilaženja u dvodimenzionalnom prostoru dobijaju na osnovu unapred zadatih funkcija raspodela verovatnoće, što je uglavnom predstavljalo ograničenje u njenoj primeni.

Korišćenjem kopula funkcija, koje postaju sve popularnije napušta se pristup unapred zadate funkcije raspodele verovatnoće slučajne promenljive i omogućava njen izbor iz različitih grupa raspodela.

U ovom radu se prikazuje komparativna analiza korišćenja dvodimenzionalne distribucije (model PROIL) i kopula za određivanje računskog protoka za dimenzionisanje sistema odbrane od poplava u neposrednoj zoni uticaja glavne reke i njene pritoke.

2. METODE PRORAČUNA

Na teorijskom nivou se prikazuje raspodela verovatnoće složenog višedimenzionalnog događaja koja se računa na osnovu pojedinačnih (marginalnih) raspodela svake komponente slučajnog procesa, za koje se po pravilu pretpostavlja da su normalno ili log-normalno raspoređeni (Prohaska, Marjanović, Čabrić, 1978). Tako sračunata verovatnoća predstavlja zapravo verovatnoću prevazilaženja događaja unapred usvojenih kombinacija slučajno promenljivih. Ovo je upravo osnova modela PROIL.

Poteškoće i ograničenja koja su se pojavljivala pri ovakvom pristupu počinju da se razrešavaju upotrebom kopula.

2.1. Marginalne verovatnoće

Kako bi se odredila gustina raspodele, $f(x,y)$, prvi korak je određivanje marginalnih verovatnoća i. kao: $f(x, \bullet)$ i $f(\bullet, y)$, kao:

$$f(x, \bullet) = \int_{y=-\infty}^{y=\infty} f(x, y) dy, \quad f(\bullet, y) = \int_{x=-\infty}^{x=\infty} f(x, y) dx \quad (1)$$

Njihove kumulativne verovatnoće su onda:

$$F(x, \bullet) = \int_{t=-\infty}^{t=x} f(t, \bullet) dt, \quad F(\bullet, y) = \int_{z=-\infty}^{z=y} f(\bullet, z) dz \quad (2)$$

U ustaljenoj proceduri pri određivanju verovatnoće prevazilaženja odabrane karakteristike poplavnog talasa u dvodimenzionalnom prostoru verovatnoća uslov je da se odabrane slučajne promenljive pokoravaju istom zakonu raspodele verovatnoća. U tu svrhu izabrane su Pearson Type3 (P3), Log-Pearson Type3 (LP3), Extreme Value Type 1 – Gumbel (EV1) i Log-normal (LOGN) kao potencijalne marginalne distribucije. Parametri raspodele se ocenjuju metodom momenata. Ocena dobrote prilagođavanja izabranih teorijskih funkcija raspodele empirijskim podacima izvršena je pomoću χ^2 , Kolmogorov-Smirnov i $n\omega^2$ testova.

Prilikom konstruisanja kopula grupa mogućih marginalnih raspodela proširena je General Extreme Value (GEV) raspodelom. Parametri raspodela su određivani na osnovu metode L-momenata. L-momenti su zasnovani na ideji klasičnih momenata ali se modifikacija ogleda u korišćenju težinskih funkcija u obliku verovatnoća (Hosking, 1990). Kvalitet prilagođavanja funkcije raspodele uzorku ocenjen je na osnovu Kolmogorov-Smirnov i Darling-Anderson testova kao i srednjeg kvadratnog odstupanja (Root Mean Square Error – RMSE).

2.2. Verovatnoća prevazilaženja u dvodimenzionalnom prostoru – PROIL model

Model PROIL se zasniva na dvodimenzionalnoj normalnoj raspodeli sa gustinom verovatnoće koja se definiše na sledeći način (Prohaska, Marjanović, Čabrić, 1978):

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sqrt{1-\rho^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2 \cdot (1-\rho^2)} \left[\frac{(x-\mu_x)^2}{\sigma_x^2} - \frac{2\rho \cdot (x-\mu_x)(y-\mu_y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} + \frac{(y-\mu_y)^2}{\sigma_y^2} \right]} \quad (3)$$

gde su:

x i y – istovremene realizacije slučajnih promenljivih X i Y , respektivno;

μ_x i μ_y – matematička očekivanja X i Y ;

σ_x i σ_y – standardne devijacije X i Y ;

ρ – koeficijent korelacije X i Y .

Kumulativna raspodela verovatnoće, se definiše:

$$F(x, y) = P[X \leq x \cap Y \leq y] = \int_{t=-\infty}^{t=x} \int_{z=-\infty}^{z=y} f(t, z) dt dz \quad (4)$$

Sledeći korak je određivanje verovatnoće prevazilaženja u dvodimenzionalnom prostoru verovatnoća (Prohaska, Marjanović, Čabrić, 1978):

$$\begin{aligned} \Phi(x, y) &= \int_{t=x}^{t=+\infty} \int_{z=y}^{z=+\infty} f(t, z) dt dz = P[X > x \cap Y > y] = 1 - P[X < x \cup Y < y] = \\ &= 1 - F(x, \cdot) - F(\cdot, y) + F(x, y) \end{aligned} \quad (5)$$

Primena dvodimenzionalne raspodele verovatnoća pri statističkoj analizi različitih parametara hidrograma velikih voda zahteva uprošćenja da bi opisana procedura proračuna bila primenljiva. Osnovno uprošćenje se odnosi na pretpostavku da se svaka od razmatranih karakteristika hidrograma pokorava normalnom (log-normalnom) zakonu raspodele, što ne mora biti slučaj. Detaljnija teorijska osnova definisanja dvodimenzionalne funkcije raspodele sa primenom grafo-analitičke procedure (Abramowitz i Stegun, 1972) u rešavanju može se naći u literaturi (Prohaska et al, 1999).

Čvrstina korelacione zavisnosti se određuje odnosom koeficijenta linearne korelacije R i standardne greške ocene koeficijenta korelacije σ_R (Yevjevich, 1972):

$$|R| \geq 3\sigma_R \quad (6)$$

2.3. Kopule

Matematički model se bazira na višedimenzionalnim funkcijama raspodele verovatnoće, odnosno njihovim uslovnim verovatnoćama. Za relevantne slučajne promenljive, razmatraju se istovremene veličine hidrograma poplavnih talasa na glavnoj reci i pritoci.

Neka je $(X_1, X_2, \dots, X_N) \in \mathbb{R}^N$ slučajni vektor sa kumulativnom raspodelom:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_N) = P\{X_1 \leq x_1, X_2 \leq x_2, \dots, X_N \leq x_N\}$$

i marginalnim raspodelama:

$$F_n(x_n) = P\{X_n \leq x_n\}, \quad 1 \leq n \leq N.$$

Kopula C raspodele F je definisana na $[0,1]^N$ i

$$F(x_1, x_2, \dots, x_N) = C(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_N(x_N)).$$

Egzistencija i jedinstvenost kopule C je obezbeđena pod određenim uslovima, koji su zadovoljeni u slučajevima koji se ovde razmatraju. Kao što je već istaknuto promenljive mogu da imaju različite marginalne raspodele, a pošto je i kompletna struktura međusobne zavisnosti promenljivih sadržana u kopuli, samim tim je ona odvojena od tipa marginalne raspodele svake zavisno promenljive.

U ovom radu korišćene su tri familije kopula: Gumbelova, Klejtonova i Frankova koje pripadaju "Arhimedovim kopulama". Sve kopule su jednoparametarske sa parametrom θ . Procena parametra kopule vršena je putem poznatih aproksimacija koje vezuju parametar θ sa Kendallovim koeficijentom korelacije τ , koji je lako izračunati iz samog uzorka (Nelsen, 2006).

Da bi se odredila verovatnoća prevazilaženja dve jedinične uniformno raspoređene slučajno promenljive sa kopulom $C(u, v, \theta)$ računa se kopula \bar{C} , tzv. kopula preživljavanja po relaciji:

$$\bar{C}(u, v) = C(1-u, 1-v) + u + v - 1 \quad \text{za } u, v \in [0,1]^2 \quad (7)$$

2.4. Ocena kvaliteta prilagođavanja kopula uzorku

Kvalitet prilagođavanja kopule uzorku u radu ocenjen je na osnovu statističkog testa (Reddy, Ganguli, 2012) koji su prvo predložili Genest, Remillard i Beaudoin 2009 godine. Test se zasniva na parametarskoj Bootstrap metodi. Za svaku kopulu generiše se n slučajnih nezavisnih uzoraka i utvrđuje sintetički niz osmatranja koji se upoređuje sa sintetičkim serijama generisanih pomoću Monte Carlo simulacije na osnovu izmerenih podataka. Test se zasniva na merenjima i ne zavisi od izabrane marginalne verovatnoće. Veličina uzorka primenjena u radu je $n=10000$.

Za ocenu statističke značajnosti koristi se p vrednost koja se računa na osnovu Cramer-von Misesove statistike S_n (Reddy, Ganguli, 2012) i upoređuje se sa α nivoom značajnosti. Ako je $p < \alpha$, rezultat je statistički značajan.

3. ULAZNI PODACI

Zadatak na koji treba da odgovori sistem za odbranu od poplava u zoni ušća reke Drave u reku Dunav je ekonomski optimalno dimenzionisan nasip za zaštitu okolnog područja (Prohaska i Petković, 1989). Predmetna deonica reke Dunav prostire se od ulaznih hidroloških stanica Bezdan na reci Dunav i Donji Miholjac na reci Dravi do izlaznog profila – h.s. Bogojevo na reci Dunav.

3.1. Definisane promenljivih

Za definisanje merodavnih nivoa neophodno je raspolagati sledećim podacima:

- a) serijama maksimalnih godišnjih protoka na ulaznim profilima (recipijentu i pritokama) i izlaznom profilu (recipijentu), i

- b) rezultatima proračuna koincidencije velikih voda sledećih kombinacija promenljivih:
- maksimalan godišnji protok recipijenta – maksimalan godišnji protok na pritoci;
 - maksimalan godišnji protok recipijenta – odgovarajući protok na pritoci, i
 - maksimalan godišnji protok na pritoci – odgovarajući protok na recipijentu.

Analiza koincidencije velikih voda recipijenta i pritoke bazira se na razmatranju zavisnih struktura kombinacija promenljivih (Prohaska et al, 1999). U ovom radu korišćeni su podaci o protocima na hidrološkim stanicama Bezdan i Bogojevo na reci Dunav i hidrološkoj stanici Donji Miholjac na reci Dravi za period 1931. – 2014. godina.

4. REZULTATI

Ne vodeći računa o koincidenciji velikih voda, osnovu za dimenzionisanje nasipa činile bi teorijske vrednosti proticaja različitih povratnih perioda. Te vrednosti za navedene hidrološke stanice na razmatranom sektoru Dunava i Drave prikazane su u tabeli 1 za metode ocene parametara raspodele navedene u poglavlju 2.1.

Kao rezultat proračuna koincidencije dobija se linija istih verovatnoća navedenih kombinacija odabranog parametra poplavnog talasa (diferencijalni zakon raspodele), kao i linije koje definišu verovatnoću prevazilaženja istih kombinacija promenljivih.

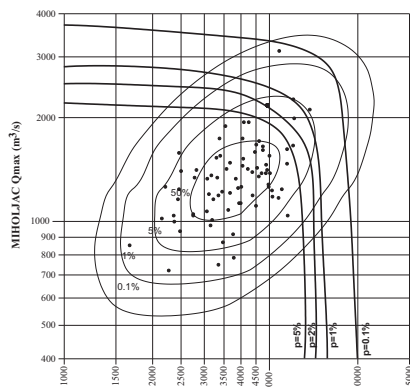
Na slikama 1 i 2 su samo ilustrativno prikazane linije verovatnoća prevazilaženja (funkcija raspodele) po dvodimenzionalnom zakonu i kopulama kao i empirijske tačke za slučaj pojave maksimalnog protoka na Dravi i odgovarajućeg na Dunavu.

Tablica 1. Teorijske vrednosti maksimalnih godišnjih proticaja reka Dunava i Drave za različite verovatnoće pojave – $Q_{max,p}$ (m^3/s)

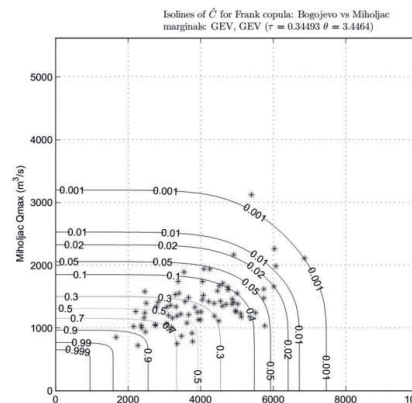
Verovatnoća (%)	reka Dunav				reka Drava	
	h.s. Bezdan $Q_{max,p}$ (m^3/s)		h.s. Bogojevo $Q_{max,p}$ (m^3/s)		h.s. D. Miholjac $Q_{max,p}$ (m^3/s)	
	MOM (LP3)	LMOM (GEV)	MOM (LP3)	LMOM (GEV)	MOM (LP3)	LMOM (GEV)
0.1	10058	13078	10842	16048	3258	3164
1	8302	9708	9183	11538	2542	2513
2	7763	8793	8653	10363	2336	2315
5	7029	7641	7912	8915	2064	2051

Ocnom statističke značajnosti sračunatih promenljivih koincidencija proticaja velikih voda reke Dunav i Drave osnovni pokazatelji čvrstine uspostavljenih koincidencionih veza i to: koeficijent linearne korelacije i standardna greška ocene koeficijenta korelacije po jednačini (6), potvrđuje se da je koincidencija statistički značajna.

Kada je reč o kopulama, podacima se najbolje prilagođava Gumbelova kopula u slučaju maksimalnih protoka na Dunavu u svim kombinacijama, Frankova u slučaju pojave maksimalnog protoka na Dravi i Klejtonova u slučaju pojave maksimalnog protoka i na Dravi i na Dunavu, po proceduri opisanoj u poglavlju 2.4



Slika 1. Koincidencija max. godišnjih protoka reke Drave i odg. protoka Dunava – model PROIL



Slika 2. Frankova kopula preživljavanja za slučaj max. protoka Drave i odg. Dunava

Protoci za dimenzionisanje nasipa u zoni ušća određeni na osnovu definisanih zavisnosti prikazani su u tabelama 2 i 3.

Tablica 2. Merodavni proticaji za različite verovatnoće koincidencije velikih voda Dunava i reke Drave

Verovatnoća (%)	HS Bezdan			HS Bogojevo			HS Donji Miholjac		
	$Q_{max,p}^{Bez}$	$Q_{odg1,p}^{Bog}$	$Q_{odg1,p}^{DM}$	$Q_{max,p}^{Bog}$	$Q_{odg1,p}^{Bez}$	$Q_{odg2,p}^{DM}$	$Q_{max,p}^{DM}$	$Q_{odg2,p}^{Bog}$	$Q_{odg2,p}^{Bez}$
0.1	10058	9500	1000	10842	7800	1100	3258	5700	4000
1.0	8302	7300	500	9183	6500	700	2542	4000	3000
2.0	7763	6750	460	8653	6150	600	2336	3500	2800
5.0	7029	6000	400	7912	5800	500	2064	3000	2500

Tablica 3. Merodavni proticaji za različite verovatnoće koincidencije velikih voda Dunava i reke Drave primenom kopula procedure

Verovatnoća (%)	HS Bezdan			HS Bogojevo			HS Donji Miholjac		
	$Q_{max,p}^{Bez}$	$Q_{odg1,p}^{Bog}$	$Q_{odg1,p}^{DM}$	$Q_{max,p}^{Bog}$	$Q_{odg1,p}^{Bez}$	$Q_{odg2,p}^{DM}$	$Q_{max,p}^{DM}$	$Q_{odg2,p}^{Bog}$	$Q_{odg2,p}^{Bez}$
0.1	9504	11137	714	10539	9278	744	2715	5812	5012
1.0	8075	9191	585	9012	7935	688	2198	5351	4508
2.0	7570	8574	573	8551	7433	590	1997	5340	4465
5.0	6906	7686	519	7817	6733	547	1828	4940	4027

ZAKLJUČAK

Analizom rezultata računskih protoka prikazanih u tabelama 2 i 3 može se konstatovati da postoje razlike u kombinacijama vrednosti promenljivih. Merodavni računski protoci za dimenzionisanje sistema za zaštitu od poplava uzvodno od ušća reke Drave u reku

Dunav bili bi identični onima koji su dobijeni na konvencionalan način. Značajne izmene u graničnim uslovima i merodavnim protocima se konstatuju na deonici koja obuhvata ušće i deonici pritoke uzvodno od ušća u recipijent.

Treba istaći da analize pokazuju da su vrednosti dobijene posmatrajući poplavu u zoni ušća reke i njene pritoke niže (naročito primenom kopula procedure), što je naznaka da ovaj još uvek "teorijski pristup" može naći svoje mesto u projektovanju ekonomičnijih objekata čime bi se ostavilo dovoljno prostora za neinvesticione mere zaštite od poplava kojima se sve više pridaje značaj. Nezaobilazno je posmatranje poplave kao složenog fenomena uz analizu i ostalih karakteristika poplavnih talasa (npr. zapreminu) i njihovih odnosa u višedimenzionalnom prostoru.

ZAHVALNICA

Predstavljeni rezultati i analize su predmet istraživanja naučnog projekta „Ocena uticaja klimatskih promena na vodne resurse Srbije“ (TR-37005) za period 2011–2018. godine Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije. Autori se zahvaljuju ministarstvu na pruženoj finansijskoj pomoći i podršci.

LITERATURA

- [1] Abramowitz M., Stegun A. I., (1972): *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs and Mathematical Tables*, Dover Publications, INC., New York.
- [2] Bender J., Wahl T., Muller A., Jensen J., (2016): A multivariate design framework for river confluences, *Hydrological Sciences Journal*, 61:3, 471-482
- [3] Hosking J. R. M., (1990): L-moments: Analysis and Estimation of Distributions using Linear Combinations of Order Statistics, *Journal of Royal Statistical Society*, Vol. 52, No. 1, pp. 105-124
- [4] Nelsen R. B., (2006): *An introduction to copulas. Lecture notes in statistics*. 2nd ed. New York, Springer
- [5] Prohaska S., Marjanović N., Čabrić M., (1978): *Dvoparametarsko definisanje velikih voda*, Vode Vojvodine, Novi Sad.
- [6] Prohaska S., Petković T., (1989): Metode za proračun velikih voda, Deo I, Proračun velikih voda na hidrološki izučanim profilima, *Građevinski calendar 89*, Beograd.
- [7] Prohaska S et al., (1999): Concidence of Flood Flow of the Danube River and its Tributary, *The Danube and its Basin – A Hydrological Monograph*, Follow-up volime IV, Regional Cooperation of the Danube Countries in the Frame of the International Hydrological Programme of UNESCO, Bratislava.
- [8] Prohaska S., Ilic A., (2010): *Coincidence of Flood Flow of the Danube River and Its Tributaries*, (In: Mitja Brilly (Ed.): *Hydrological Processes of the Danube River Basin - Perspectives from the Danubian Countries*), Publisher: Springer, ISBN 978-90-481-3422-9, Book Chapter 6, p. 175-226. DOI: 10.1007/978-90-481-3423-6_6
- [9] Reddy M. J., Ganguli P., 2012: Bivariate Flood Frequency Analysis of Upper Godavari River Flows Using Archimedean Copulas, *Water Resources Management*, DOI 10.1007/s11269-012-0124-z

- [10] Yevjevich V., 1972: *Probability and Statistics in Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins, Colo. U.S.A

AUTORI

prof. dr Stevan Prohaska ^a

Aleksandra Ilić ^b

dr Boris Pokorni ^c

^a Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Jaroslava Černog 80, 11226 Beograd, Srbija, stevan.prohaska@jcerni.rs

^b Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija, aleksandra.ilic@gaf.ni.ac.rs

^c Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Jaroslava Černog 80, 11226 Beograd, Srbija, boris.pokorni@jcerni.rs



R 1.10.

VODOSTAJI KOPAČKOG RITA - UGROZA MOČVARE

Siniša Maričić

SAŽETAK: Na stanje vodnosti inundacijskog prostora oko Kopačkog rita ukazuju vodostaji obližnjih hidroloških postaja na Dravi i Dunavu. Samo stanje unutar Kopačkog rita, kao i na pojedinim postajama je međuzavisno sa svim okolnim stanjima. Procjenu ponašanja Rita omogućilo je relativno kratko mjerenje vodostaja samog Kopačkog jezera tijekom 2001. do 2003. godine. Iz analize istovremenih dnevnih vrijednosti vodostaja različitih lokacija konstatirano je poprilično rasipanje podataka oko prosječnih korelacijskih zavisnosti. Konstatiran je značajan utjecaj Dunava na vodostaje Rita i Drave. Dunavski uspor se javlja i uzvodno od Belišća. Uočljivo je da vodostaj na samom Kopačkom jezeru značajno ovisi o vodostaju kod Apatina, ali i trendu njegovog porasta ili opadanja. Od značaja je i prethodno stanje povećane vlažnosti ili sušnosti.

Prema periodičnim podacima (stari 1949. - 1990. te novi 1992. - 2017.) potvrđeno je sniženje karakterističnih vodostaja u odnosu na prethodni period obrade te je konstatiran njihov daljnji trend sniženja. Prema podacima reprezentativne postaje Apatin proveden je proračun učestalosti i trajanja za nove podatke. Usporedbom izvedenih krivulja učestalosti i trajanja predmetnog vodostaja, za sukcesivne periode, utvrđeno je značajno smanjenje trajanja onih vodostaja koji osiguravaju ekološki presudnu vlažnost močvara Rita (kote 81,5 – 83,0 m n.m.).

KLJUČNE RIJEČI: vodostaji, Kopački rit, Drava, Dunav, Apatin, trajanje, močvara

WATER LEVELS AT KOPAČKI RIT - ENDANGERED WETLAND

ABSTRACT: The status of water quantity in the inundation area around Kopački Rit is indicated by water levels at the nearby hydrological stations on the Drava and Danube Rivers. The status within Kopački Rit itself and the status at individual stations is interdependent. The assessment of the Kopački Rit behaviour was enabled by a relatively short measurement of water levels in Kopačko Jezero (lake) in the period 2001-2003. The analysis of simultaneous daily values of water levels at different locations showed a marked data dispersion in view of average correlation dependencies. It was concluded that the Danube River had a significant impact on the water levels in Kopački Rit and the Drava River. The Danube backwater occurs upstream of Belišće as well. It is noticeable that the water levels at Kopačko Jezero itself significantly depend on the water levels at Apatin, both with regard to its upward and downward trends. A preceding state of increased hu-

midity or dryness is also of importance. According to the periodic data (1949-1990 and 1992-1997), a decrease in the characteristic water levels was confirmed in relation to the previous monitoring period, including a further downward trend. The data from the representative station Apatin was used in the calculation of frequency and duration for the new data. A comparison of the derived curves of water level frequency and duration for the successive periods showed a significant decrease in the duration of those water levels that ensure the ecologically critical humidity of the Kopački Rit wetland (81.5 - 83.0 m a.s.l.).

KEYWORDS: Water levels, Kopački Rit, Drava, Denube, Apatin, duration, wetland

1. UVOD

Kopački rit je izduženo područje uz desnu obalu glavnog korita Dunava. To je uglavnom šira inundacija (4-8 km) ove velike rijeke, što je u Europi rijetkost. Ističe se bogatstvom flore i faune te je zakonski zaštićeno, kao i još neka okolna područja. Posebnost Kopačkog rita je svakogodišnje povremeno plavljenje površina, što mu daje specifične močvarne osobine pogodne za razvoj brojnih životnih zajednica vezanih uz vodu. U smislu zaštite ovog područja hidrologija je važan segment, ali joj se možda ne pridaje dovoljno važnosti. Nadalje će se pokušati na to ukazati.

2. NEKE ODREDNICE KOPAČKOG RITA

Samo područje Kopačkog rita već je često opisivano. Znaju mu se pozicija, „granice”, dimenzije, povijest zaštite, reprezentativne vrste, turistički sadržaji i sl. Neke osobine ovdje se već rutinski prate, takvo je primjerice sezonsko prebrojavanje ptičjih vrsta i jedinki, broj ugriza komaraca u jedinici vremena te praćenje broja posjetitelja. Naredna poglavlja fokusirana su primarno na hidrološki tematiku vezanu za ovo područje.

Iako je bilo i prije opisa hidrologije ovog područja, dobro i cjelovito hidrološko razmatranje napravljeno je u okviru Plana upravljanja Parkom prirode Kopački rit (Bonaci i drugi, 2002). Podloga su mu bili hidrološki podaci uglavnom s 30 do 50-godišnjim periodima praćenja započetim sredinom prošlog stoljeća, uz opasku da su hidrološke postaje i mjerenja uspostavljena uglavnom iz razvojnih potreba, a ne iz zaštitnih. Tom studijom je jasno ukazano na izraženije trendove sniženja karakterističnih vodostaja uz manje smanjenje protoka Drave i Dunava u ovom području, što govori o usijecanju riječnih korita. Zatim je, analizom učestalosti i trajanja, ukazano na prosječno ukupno godišnje vrijeme plavljenja površina unutar Rita. Završno je konstatirana potreba za proširenjem opsega praćenja hidroloških parametara. I u drugim radovima je ukazano na morfološke promjene korita (Bognar i drugi, 2003) te se pojašnjavao vodni režim Kopačkog rita i njegovi segmenti (Brnić-Levada i drugi, 1998; Tadić i drugi, 2003).

Bitna odrednica bazičnog dijela Kopačkog rita (cca 14.000 ha) je povezanost s koritima okolnih rijeka, koja je zadržala svoju prirodnost. Dijelom je to pomoću glavnih korita (Vemeljski dunavac, Hulovski kanal, Čonakut, Renovo) raznih pozicija, a dijelom preko obala Drave i Dunava, raznih stanja, kada ih preplave riječne vode. Na stanje vodnosti inundacijskog prostora Kopačkog rita tako ukazuju vodostaji obližnjih hidroloških postaja. Nekoliko ih je na Dunavu, a nekoliko na Dravi. Samo stanje unutar Kopačkog rita, kao i na pojedinim postajama je međuzavisno sa svim okolnim stanjima.

Biljni i životinjski svijet Kopačkog rita ovisan je o vodi, njenoj energiji (razini), trajanju pojedinih stanja te režimu pojavnosti tijekom vremena. O tim elementima ovisi preživljavanje i intenzitet razvoja svakog pojedinog organizma pa tako i zajednica. Zapuštanje Baranjskih ribnjaka (rubnih 750 ha) pokazalo je kako se promjenom vodnih uvjeta mijenja sav život tog područja. Močvarne ekosustave ubrzo su zamijenili razni šumski sklopovi. U specijalnom zoološkom rezervatu posebno, a i u cijelom Parku prirode Kopački rit nastoje se zaštititi močvarne vrijednosti. Dosadašnja praksa je bila u vidu kontrole i ograničenja ljudskih aktivnosti. No, bilo je idejnih prijedloga i manjih pokušaja da se aktivno, gradnjom pridonese zadržavanju vode u Ritu (Majstorović i drugi, 1997; Bognar i drugi, 2003). Svakako, prije razmatranja ikakvih eventualnih zahvata nužno je pratiti stanje i promjene za što treba više organiziranih mjerenja, u čemu su svi deklarativno suglasni.

Možda je bitno ukazati i na činjenicu da područje Kopačkog rita nije baš „netaknuta“ priroda. Inundacijski prostor je ovdje ograničen nasipom Drava-Dunav, na glavnim korita su izvođeni hidrotehnički radovi (Đuroković, Brnić-Levada, 1999), više je regulacijskih građevina na obalama Dunava i Drave, a na uzvodnim slivnim površinama intenzivna je gradnja (vodne stepenice, odvodni sustavi, urbanizacija i sl.). Svakako je to utjecalo na vodni režim pa tako i uzrokovalo ili pridonijelo morfološkim i drugim promjenama.

3. ANALIZE VODOSTAJA BITNIH ZA KOPAČKI RIT

Ovaj rad se nadovezuje na neke prethodne (Maričić i drugi, 2003; Maričić, 2005 te Maričić i Petraš, 2006) koji su se bavili hidrološkom problematikom Kopačkog rita. U njima je dat širi opis područja i njegovih osobina pa se o tome ovdje neće puno iznositi. Težište problematike je stavljeno na opažanje vodostaja i njihovu ulogu u razumijevanju osebujnog života u području Kopačkog rita.

U prvom radu predstavljena su dragocjena mjerenja vodostaja Kopačkog jezera i fond prikupljenih podataka. Ukazano je na podudarnost vodostaja okolnih hidroloških postaja te propagaciju vodnih valova preko ovog prostora, kao i dominantnost utjecaja Dunava na stanje vodnosti u Kopačkom ritu. U drugom radu data je usporedba satnih i dnevnih vrijednosti vodostaja uz ocjenu vremenskog karaktera njihovih promjena, prikazano je definiranje protočnih krivulja prema raspoloživim podacima mjerenja brzina i profila, napravljena je analiza ulaznih protoka i odgovarajućih izlaznih protoka prema području Kopačkog rita iz čega su izvedene procjene volumnih odnosa i retencijskog učinka ovog prostora. U trećem radu je predstavljena korelacijska analiza vodostaja okolnih hidroloških postaja i istovremenih vodostaja samog Kopačkog jezera te je ukazano na zone (dohvate) vodostaja s različitim ponašanjem krivulja korespondentnih vodostaja.

Opažanja i obrade vodostaja dugo vremena su prisutni na profilima rijeka oko Kopačkog rita. Predstavljena su u priloženoj tablici 1. gdje je vidljivo da se vodostaj u Osijeku prati već od 1826. godine, a na ostalim lokacijama se proširivalo opažanje tijekom narednih desetljeća. Podataka o nekim sustavnim mjerenjima unutar Kopačkog rita nema (ili nisu poznati) osim onih s početka ovog stoljeća koja obuhvaćaju tri godine. Kompletan obrada (stara studija) utemeljena je otprilike na podacima od sredine pa do kraja prošlog stoljeća. S obzirom na, u stručno-znanstvenim krugovima stalno spominjane, klimatske promjene, za razmatranje područje dobro bi došla neka nova hidrološka studija. Rad nadalje prikazuje neke analize vodostaja bitnih za Kopački rit. U fokusu su im noviji trendovi

promjena vodostaja, zatim trajanja pojedinih vodnih stanja, kao i osobine i promjene režima voda u ovom složenom hidrološkom sustavu. Za nove analize korišteni su podaci od 1990. ('80.) pa sve do kraja 2018. godine (DHMZ-Zg, RHMZ-Bg, Hrvatske vode). Ovdje se mogu izložiti samo neki dijelovi obrada. Na slikama 1., 2. i 3. prikazani su rezultati tih analiza.

Tablica 1. Relevantne hidrološke postaje za vodnost Kopačkog rita i njihove odrednice;

OSNOVNI PODACI HIDROLOŠKIH POSTAJA OKO KOPAČKOG RITA – PREDMETNA ANALIZA VODOSTAJA					
LOKACIJA	Rijeka Drava			Kopački rit	
PODACI	D. Miholjac	Belišće	Osijek	Kopačko j.	
sliv (km ²)	37 142	38 500	39 982	-	
pozicija (r.km)	80,60	53,8	19,1	-	
„0“ (m n.m.)	88,57	83,993	81,481	78,51	
početak (god.)	1890.	1961.	1827.	2001.	
oprema	limnigraf	limnigraf	limnigraf	limnigraf	
stara studija	'46. - '99.	'62. - '91.	'46. - '99.	-	
nova analiza	'80.-2018.	'80.-2018.	'80.-2018.	2001. - '03.	
LOKACIJA	Rijeka Dunav				
PODACI	Bezdan	Apatin	Aljmaš	Bogojevo	Dalj
sliv (km ²)	210 250	211 139	251 513	251 593	-
pozicija (r.km)	1 425,5	1 401,4	1381,5	1 367,4	1 354,2
„0“ (m n.m.)	80,64	78,84	78,08	77,46	75,204
početak (god.)	1856.	1876.	1909.	1871.	1985.
oprema	limnigraf	limnigraf	letva	limnigraf	letva
stara studija	'49. - '98.	'49. - '90.	'51. - '90.	'49.- '98.	-
nova analiza	'90.-2018.	2000.-'17.	'90.-2018.	'90.-2018.	'85.-2018.

3.1. Trendovi karakterističnih vodostaja i njihove promjene

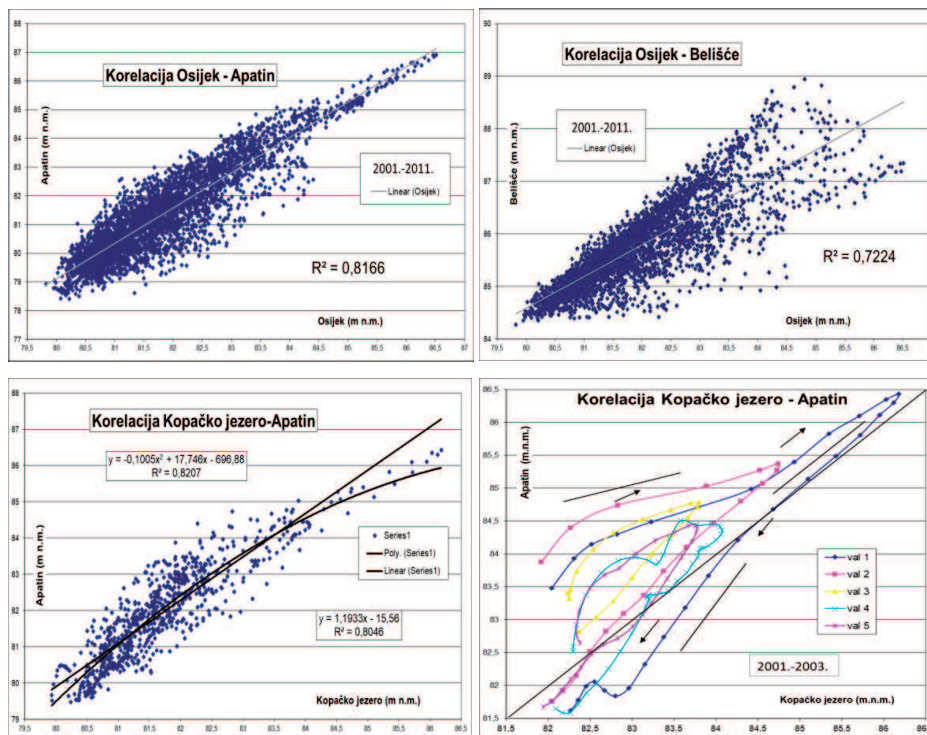
Osim vlastitih voda (uzrokovanih oborinama, na Ritu gravitirajućoj slivnoj površini) najznačajniji utjecaj na vodnost imaju nadprosječne vode obodnih rijeka (Drave i Dunava). Indikatori stanja riječnih voda su vodostaji koji se opažaju na hidrološkim postajama, dobro raspoređenim duž korita koja se ovdje spajaju. Za predstavljanje ove analize priložene su slike 1. - 3. na kojima su primjeri uzvodnih (donosnih) postaja svake rijeke. Uz karakteristične vodostaje (minimalni, srednji i maksimalni godišnji) dati su i linearni trendovi njihovih promjena. Uočljivo je daljnje pa i povećano sniženje svih vodostaja u periodu koji uglavnom zahvaća prijelaz i ovo stoljeće. Riječ je o prosječnom godišnjem sniženju od preko 1 cm.

3.2. Korelacijski odnosi vodostaja – režim promjena stanja Rita

Analiza korelacijskih odnosa istovremenih vodostaja pojedinih parova hidroloških postaja oko Kopačkog rita pokazuje dominantan utjecaj dunavskih voda na stanja većine lokacija. Djelovanje (uspor) Dunava značajno se osjeti u Osijeku, jača je korelacija s dunavskim vodama nego s uzvodnim dravskim. Veza dolazi do izražaja kod velikih voda. Uspor je prisutan kod najviših vodostaja i u Belišću (slika 4. gore), a sama korelacijska veza vodostaja je tek naznačena.

Korelacijski odnosi sa vodostanjem u Kopačkom jezeru, iako pokazuju značajnu vezu, manje su izraženi sa Apatinom ($R=0,836$) nego sa Aljmašom ($R=0,891$) ili Bogojevom ($R=0,897$), što nekako nije očekivano. Iako je Apatin najbliža postaja, s priljevnom vodom, vode Kopačkog jezera i druge Ritske vode s njom su u indirektnoj vezi, preko rukavaca, fokova, obala i niskoležećih površina, obraslih vegetacijom, ovisno o brojnim uvjetima. Zato se mogu posebno promatrati viši (oko i iznad prosjeka) i visoki vodostaji i to odvojeno oni u uvjetima porasta vodostaja i oni u opadanju. Korelacija tako izdvojenih vodostaja (slika 4.) pokazuje manje smanjenje veze u uvjetima prirastanja vodostaja (nailaska valova), a bolju korelaciju za opadanje (odlazak) valova.

Posljedica je to direktnije veze (koritom Hulova i okolnim nižim terenom) prilikom pražnjenja Ritskog prostora. Vodni valovi Dunava nailaze na različita stanja u Ritu (vlažnosti, vegetacijske zastupljenosti (vrsta i količina) i razvoja (faza od nicanja do zrelosti), morfologije terena i sl.) te vodostaji (Kopačko jezero – Apatin) imaju veću ili manju podudarnost. Nakon većeg površinskog preplavlivanja ovi vodostaji se ujednačuju, a pri povlačenju (odlasku) valova manje-više zadržavaju ujednačenost. Tako se mogu uočiti zone vodostaja sa različitim međudodnosom, a najčešće je to i bilo promatrano prema vodostajima u Apatinu (Tadić, Z. 2003).



Slika 4. Korelacija vodostaja Drave kod Osijeka i vodostaja okolnih postaja (gore); korelacija vodostaja Kopačkog jezera i najbliže dunavske postaje Apatin (dolje)

3.3. Promjene trajanja vodnosti Kopačkog rita – ugroza močvarnosti

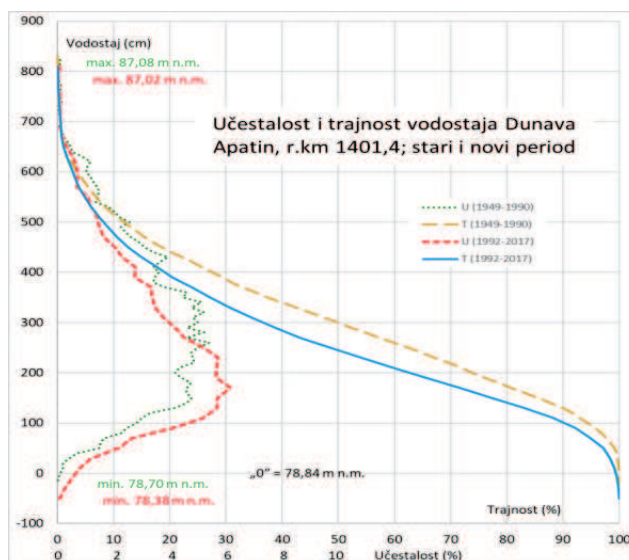
Pojedini vodostaji na najreprezentativnijoj hidrološkoj postaji Apatin ukazuju na vodnost (stanje podzemnih voda, tečenje i razlijevanje iz spojnih korita, preplavljenost površine) Rita. Trajanje pojedinih vodostaja indikator je životnih uvjeta u Ritu pa je svojevremeno definirano hidrološkom studijom (za razdoblje 1949. - 1990. - stari).

Ovdje je data obrada novijih podataka (1992. do 2017.) i rezultati su joj uspoređeni s prethodnim. Krivulje učestalosti i trajanja za dva perioda predstavljene su slikom 5., a u tabl. 2. su date promjene hidrološkog stanja prema ovim krivuljama. Iz priloženog je razvidno sniženje svih vodostaja i kraće trajanje utvrđenih mjerodavnih vodostaja.

Tablica 2. Promjena karakterističnih vodostaja (u visini i u trajanju) za stari/novi period

HIDROLOŠKA POSTAJA APATIN, Dunav 1401,4 r. km, „0“=78,84 m n.m.						
MJERODAVNI H		TRAJNOST VODOSTAJA H [% (dana)]				
m n.m.	cm	1949. - 1990.	1992. - 2017.	promjena		
81,50	266	59,0 (215)	44,2 (161)	-14,8 (54)		
82,00	316	47,0 (172)	33,3 (122)	-13,7 (50)		
82,50	366	34,5 (126)	24,5 (89)	-10,5 (37)		
83,00	416	25,0 (91)	16,9 (62)	-8,1 (29)		

KARAKTERISTIČNI VODOSTAJI - APATIN, Dunav 1401,4 r. km, „0“=78,84 m n.m.						
vodostaj	staro, 1949. - 1990.		novo, 1992. - 2017.		promjena-sniženje	
karak. H	cm	m n.m.	cm	m n.m.	cm	m n.m.
max.	824	87,08	818	87,02	-6	-0,06
10 %	515	83,99	477	83,61	-39	-0,38
50 %	300	81,84	244	81,28	-59	-0,56
sred.	290	81,74	260	81,44	-30	-0,30
90 %	130	80,14	101	79,85	-29	-0,29
min.	-14	78,70	-46	78,38	-32	-0,32



Slika 5. Krivulje učestalosti i trajanja vodostaja Dunava kod Apatina za dva perioda

ZAKLJUČAK

Predstavljene hidrološke analize su, pomoću vodostaja, pokazale slijedeće:

S obzirom na nastavak trenda sniženja karakterističnih vodostaja Drave i Dunava, čak s povećanjem prosječnog godišnjeg iznosa, jasno je da u površinskim slojevima područje Kopačkog rita i dalje gubi vodu. Razlozi su u usijecanju korita fluvijalnom erozijom dna i smanjenju ukupnog godišnjeg riječnog dotoka.

Rijeka Dunav dominantno opskrbljuje vodom Kopački rit i s obzirom na reljefnu i riječnu morfologiju utječe na vodostaje mjernih postaja. Utjecaj uspora kod najvećih voda prisutan je na Dravi i uzvodno od Belišća. Korelacija vodostaja unutar Rita značajna je sa stanjem na postaji Apatin, ali uočljive su visinske zone i stanja prirasta ili opadanja vodnog vala kod kojih je međusobna ujednačenost veća ili manja. Akceptirajući to podaci s postaje Apatin mogu se smatrati reprezentativnim za ocjenu stanja u Kopačkom ritu,

Nova obrada vodostaja Dunava kod Apatina, perioda 1992. - 2017., u odnosu na prethodnu 1949. - 1990. pokazala je sniženje većine karakterističnih vodostaja od preko 30 cm pa i znatno više, osim maksimuma, kod kojih je to znatno manje. S obzirom na nadmorsku visinu utvrđeno je promjena od cca 10 - 15% kraćeg trajanja, tj. 30-55 dana manjeg prisustva viših (oko i iznad prosjeka) vodostaja (81,50 - 83,00 m n.m.),

Usporedbom uprosječenog godišnjeg hoda karakterističnih vodostaja Dunava kod Apatina za sukcesivne periode obrade, osim općeg sniženja vodostaja, primjetno je ranije pojavljivanje povećanja vodostaja i produženje perioda moguće pojave vršnih vrijednosti, a kod maksimalnih voda prisutna je veća raspršenost moguće pojavnosti duž godine.

Ovaj hidrološki aspekt ugroze Kopačkog rita trebaju valorizirati i druge struke.

LITERATURA

- [1] Bognar, A., Pletikapić, A., Tadić, Z. (2003): *Rijeka Drava i održivi razvitak*; III. Hrvatska konferencija o vodama, Hrvatske vode u 21.stoljeću, (urednik: Gereš, D.); 28.-31.svibnja 2003., Osijek; str. 943-1000;
- [2] Bonacci, O; Tadić, Z., Radeljak, I.; (2002): *Plan upravljanja Parkom prirode Kopački rit – Sektorska studija Hidrologija i meteorologija*, Hidroing d.o.o. Osijek;
- [3] Brnić-Levada, Darko, Đuroković, Z., Haničar, D., Tadić, Z. (1998): *The Water Balance of the Nature Park Kopački Rit*; XIXth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management (editor:), 15.-19. june 1998.; pp. 413-419;
- [4] Đuroković, Z.; Brnić-Levada, D. (1999): *Utjecaj izvedenih hidrotehničkih radova na vodne resurse u Kopačkom ritu*, Zbornik radova II hrvatske konferencije o vodama _ Hrvatske vode od Jadrana do Dunava, (urednik: Gereš, D.), Dubrovnik, str. 661-666;
- [5] Majstorović, V.; Gec, D.; Brna, J.; Manojlović, R. (1997): *Kopački rit – hidro-eko-sustav*, Intergraf, Osijek; 35 str.
- [6] Maričić, S., Petraš, J., Brezak, S. (2003): *Water Levels as the Basic Indicator of the Kopački Rit Hydrology*; VIII. International symposium on Water Management (ed. Šoltész A.) Podbanske, Slovakia, October, 5-9, 2003.
- [7] Maričić, S. (2005): *Analyses of One of the Rare Natural Retention in the Middle Danube*; IXth International symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Ottenstein, Austria, 4th-7th September 2005., str. 383-393;
- [9] Maričić, S., Petraš, J. (2006): *A few hidrological analyses of high waters of Kopački rit*; XXIIIrd conference of danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management (editor: Petković, A. i dr.), Beograd, Republika Srbija, 28. – 31. august 2006., str. 52-53;
- [10] Tadić, Z., Bonacci, O., Radeljak, I., Tadić, L. (2003): *Vodni režim Parka prirode Kopački rit*, III. Hrvatska konferencija o vodama, Hrvatske vode u 21.stoljeću, (urednik: Gereš, D.); 28.-31.svibnja 2003., Osijek; str. 941-950;

AUTOR

mr. sc. Siniša Maričić, dipl. ing. građ. ^a

^a Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Ul. V. Preloga 3, 31 000 Osijek, R. Hrvatska, smaricic@fos.hr



R 1.11.

MONITORING UČINKOVITOSTI LATERALNOG KANALA ZMAJEVAC - KNEŽEVI VINOGRADI

Lidija Tadić, Tamara Brleković, Dunja Blažević, Ivan Leninger

SAŽETAK: Lateralni kanal Zmajevac-Kneževi Vinogradi duljine oko 12,3 kilometara izgrađen je 2015. godine i ima dvojaku funkciju. Njime se rješava se pitanje odvodnje brdskog dijela sliva ukupne površine oko 56 km² kao i opskrba vodom za navodnjavanje dijela Baranje tijekom sušnog razdoblja ukupne površine oko 5.000 ha.

Na cjelokupnoj dužini lateralnog kanala razlikuju se 3 karakteristična poprečna presjeka širine dna 2,0-3,0 m, jednostavnog ili složenog trapeznog presjeka, nagiba pokosa 1:1,5 - 1:2 - 1:3 i oblogom od glinovitog materijala u debljini 0,5 do 1,66 m.

Za potrebe projekta „Monitoring i analiza učinkovitosti dovoda vode lateralnim kanalom za potrebe navodnjavanja“ tijekom 12 mjeseci (2017. – 2018.) provodilo se opažanje vodostaja i razina podzemne vode u zaobalju Lateralnog kanala u 3 karakteristična presjeka (Kneževi Vinogradi, Suza i Zmajevac). Cilj monitoringa bio je utvrditi učinkovitost glinene obloge koja je ugrađena na pojedinim dionicama gdje je tlo s većim sadržajem pijeska. Monitoring je pokazao pozitivan učinak glinene obloge, ali i dominantan utjecaj Dunava na razinu podzemne vode u ovom dijelu Baranje. Nadalje, opažanja količina crpljene vode u/iz lateralnog kanala crpljenja omogućila su bilanciranje vode u sustavu navodnjavanja SN Baranja u ovoj fazi izgrađenosti.

KLJUČNE RIJEČI: monitoring, učinkovitost dovoda vode, navodnjavanje

MONITORING OF THE LATERAL CANAL ZMAJEVAC-KNEŽEVI VINOGRADI EFFICIENCY

ABSTRACT: The lateral canal Zmajevac-Kneževi Vinogradi, completed in 2015, is about 12.3 km long and has two purposes. It resolves the drainage of the mountainous part of the basin with a total surface of approximately 56 km² and supplies water for irrigation of about 5,000 ha in Baranja during drought periods.

Along the entire canal length, there are 3 characteristic cross-sections ranging from 2.0 m - 3.0 m, depending on the bottom width. They are single or double trapezoidal cross sections, with side slopes of 1:1.5, 1:2 and 1:3, and a clay lining in the thickness of 0.5 m - 1.66 m.

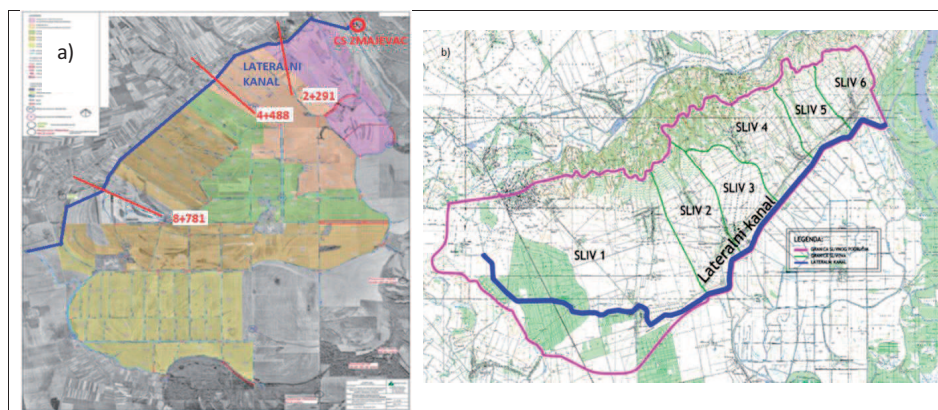
The implementation of the project “Monitoring and water conveyance efficiency analysis of the lateral irrigation canal” consisted of surface water level and groundwater level

monitoring in 3 characteristic cross sections (Kneževi Vinogradi, Suza and Zmajevac) in the period of 12 months. The purpose of monitoring was to evaluate the efficiency of the clay lining constructed in the canal sections passing through predominantly sandy soil. Although the monitoring confirmed the positive effect of the clay lining, it also showed the dominant influence of the Danube River on groundwater levels. In addition, monitoring of water quantities abstracted from the lateral canal facilitated the water balancing in the Baranja irrigation system at this stage of its development.

KEYWORDS: monitoring, water conveyance efficiency, irrigation

1. UVOD

Projekt „Monitoring i analiza učinkovitosti dovoda vode lateralnim kanalom za potrebe navodnjavanja“ započeo je u srpnju 2017. godine s rokom trajanja od 18 mjeseci. Cilj ovog istraživačkog projekta bio je definirati učinkovitost lateralnog kanala Kneževi Vinogradi-Zmajevac (dužine oko 12,3 km), glavnog dovodnog kanala za izgrađene i buduće sustave navodnjavanja u okviru SN Baranja. Cjelokupni sustav navodnjavanja SN Baranja sastoji se od 5 podsustava ukupne površine oko 5.000 ha, a lateralni kanal bi trebao osigurati dovod vode za cjelokupni sustav (Slika 1a). Pored toga, druga funkcija mu je funkcija odvodnje, kao obodnog/lateralnog kanala. Položajno je postavljen u podnožju baranjskih povišenih (brežuljkastih) terena te prikuplja vodu nastalu površinskim otjecanjem s povišenih terena (Slika 1b). Na taj način prikupljena voda reducira potrebu za crpljenjem vode iz Dunava tijekom vegetacijskog razdoblja i lateralni kanal ima ulogu akumulacije te je iz tog razloga kontrola gubitaka uslijed infiltracije vrlo važna. Da bi se uspješno zadovoljile potrebe dvonamjenskog korištenja kanala, traži se redovito održavanje i dobro upravljanje kanalom.

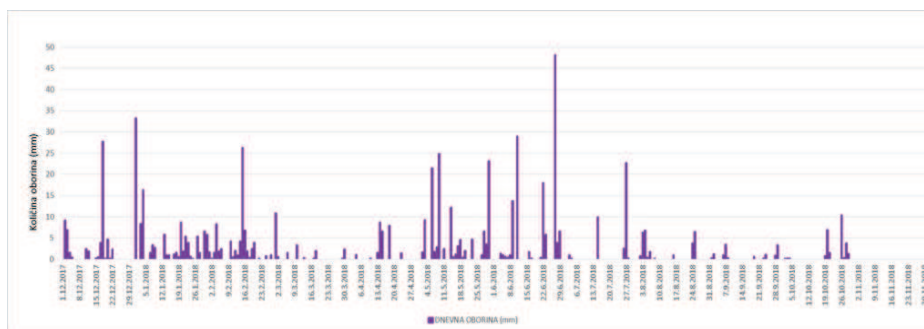


Slika 1. Lateralni kanal s označenim podsustavima SN Baranja a) i slivna područja lateralnog kanala b) (IGH d.d., 2014.)

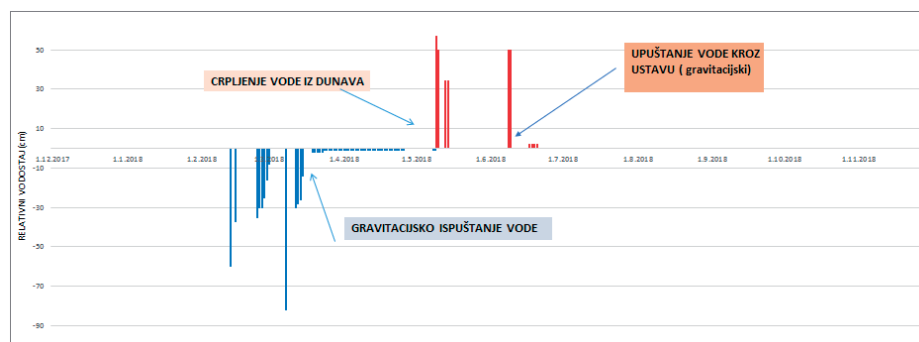
1.1. Opis područja

Prema projektu, na cjelokupnoj dužini lateralnog kanala razlikuju se 3 karakteristična

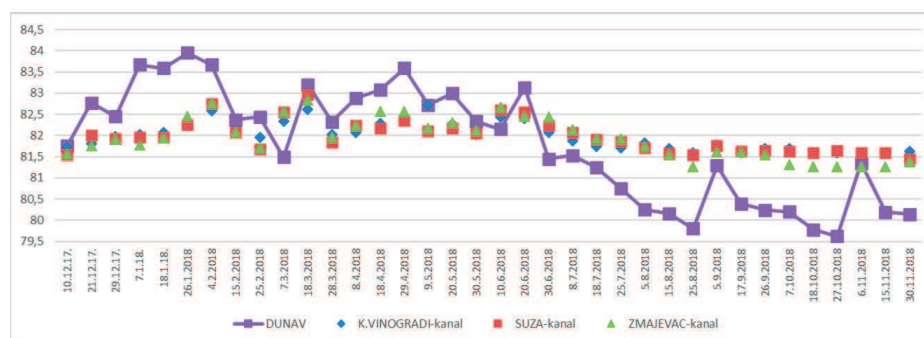
boja) i crpljenja vode u lateralni kanal iz Dunavca mehaničkim putem s izuzetkom jednog slučaja (između 17. i 20. lipnja kada se zbog povoljnih odnosa vodostaja voda iz Dunavca mogla gravitacijskim putem upustiti u lateralni kanal).



Slika 3. Količina dnevnih oborina (1. prosinca 2017. - 1. prosinca 2018.)



Slika 4. Raspored ispuštanja i upuštanja vode u lateralni kanal



Slika 5. Apsolutni vodostaji Dunava i lateralnog kanala u sva 3 karakteristična presjeka

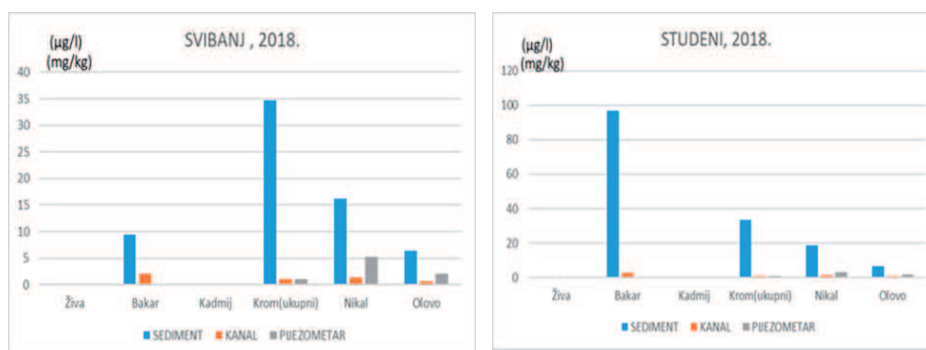
Vremenski hod vodostaja u lateralnom kanalu (Slika 5) i Dunavu pokazuje da je tijekom veljače i ožujka bilo moguće gravitacijsko ispuštanje vode iz kanala, a u svibnju i lipnju upuštanje vode (crpljenjem iz Dunavca i gravitacijskim upuštanjem, Slika 4). Od početka

kolovoza, pa do kraja studenog kanal je bio gotovo prazan. Nekonzistentnost u vodostajima lateralnog kanala u karakterističnim presjecima posljedica je narušavanja nivelete kanala zbog erozijskih procesa na pokosima kanala ili ispiranjem čestica tla površinskim otjecanjem s povišenijih dijelova sliva, a što je uobičajeni proces (Ferrero i drugi, 2002). To potvrđuje provedeno snimanje uzdužnog presjeka 2018. godine koje je uspoređeno sa snimkom izvedenog stanja (2015. godine.) Novo snimljeno dno preklapljeno je ponovo s uzdužnim profilom izvedenog stanja lateralnog kanala.

1.2. Analiza vode i sedimenta na teške metale

Jedan od istraživačkih zadataka bio je i analiza kakvoće površinske vode iz lateralnog kanala, podzemne vode zahvaćene iz piezometra i uzorka sedimenta na teške metale (živa, bakar, kadmij, olovo, krom i nikal). Uzorkovanje je provedeno 2 puta, u svibnju i studenom 2018. godine i svi uzorci uzeti su na presjeku Zmajevac. Onečišćenje sedimenta u vodotocima obično je dobar pokazatelj antropogenih utjecaja na slivu (Kaldermann, 2000; Belluci i drugi, 2002; Pandey i Singh, 2017).

U Hrvatskoj ne postoji pravilnik ili standard prema kojem bi se određivala onečišćenost sedimenta u kanalima, ali takvi standardi postoje u nekim drugim zemljama u Europi i izvan nje (Dalmacija, 2013). Ovaj problem ima dvojaki karakter – problem definiranja statusa sedimenta s obzirom na stupanj onečišćenosti i problem kategorizacije sedimenta u cilju određivanja mogućnosti njegovog odlaganja. Slika 6 prikazuje odnos koncentracija teških metala u sedimentu, površinskim i podzemnim vodama.



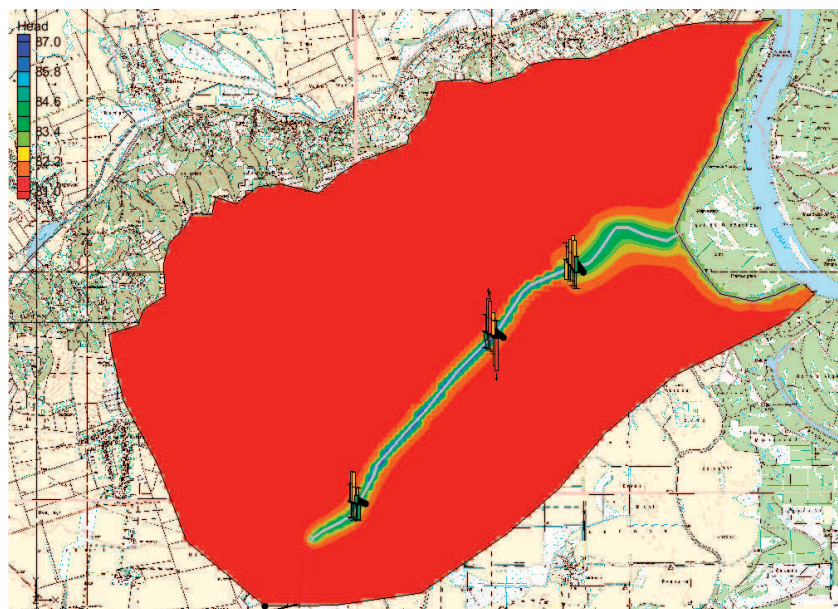
Slika 6. Onečišćenost površinske vode, podzemne vode i sedimenta u svibnju 2018. a) i studenom 2018. b)

Usporedba onečišćenosti sedimenta, površinske vode lateralnog kanala i podzemne vode zahvaćene iz piezometra u svibnju i studenom 2018. godine ima za cilj pokazati utjecaj površinskog otjecanja na stupanj onečišćenja. Prema dobivenim rezultatima nema razlike između onečišćenja kadmijem, kromom, bakrom, niklom i živom uzorkovanim nakon zimskog i proljetnog razdoblja s većom količinom oborina koja izaziva površinsko otjecanje i onečišćenja opažanog u jesen, nakon relativno sušnog razdoblja. Razlika je jedino kod koncentracije bakra koja je u studenom bila oko 10 x veća. Stoga ima osnova za ponavljanje uzorkovanja.

2. NUMERIČKI MODEL

Trodimenzionalni model strujanja podzemne vode rađen je u računalnom programu GMS 10.2 (Groundwater Modeling System). Model strujanja podzemne vode rađen je pomoću programskog paketa MODFLOW koji je integriran u GMS. Ovaj je program najčešće korišten u svijetu za modeliranje toka podzemne vode (Banta i drugi, 2010; Bordas, 2005, Harbaugh i drugi, 2000; Gjetvaj i drugi, 2011)

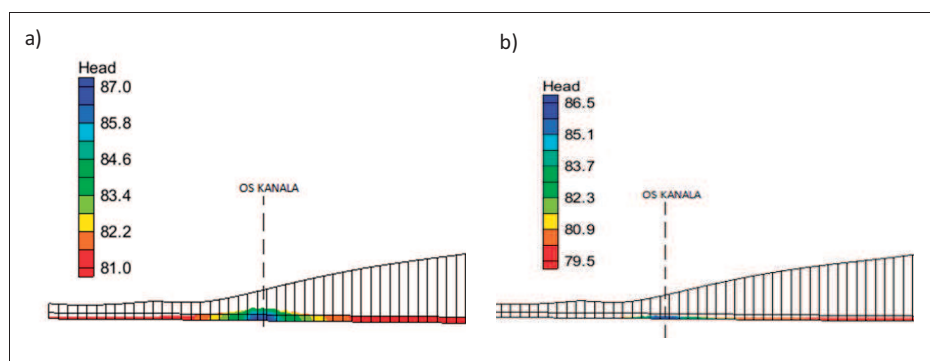
Ulazni podatci za konceptualni model vežu se uz datum 18. ožujka 2018. kada su zabilježene maksimalne razine podzemne vode. Nakon simulacije, rađena je kalibracija. Na takvom kalibriranom modelu provedena je i parametarska analiza kako bi se utvrdilo koji parametri imaju najveći utjecaj na strujanje podzemnih voda. Posljednja faza je izrada modela za minimalne razine podzemnih voda izmjerene na dan 27. listopada 2018. koji sadrži, osim ulaznih podataka koji odgovaraju stanju za taj datum, i parametre dobivene kalibracijom prvog modela kao što su koeficijenti filtracije tla. Konceptualni model predstavlja prvi korak modeliranja, a obuhvaća sve procese i podatke vezane uz analizirano područje. Konceptualnim modelom je obuhvaćen lateralni kanal, kao i njegovo okolno područje. Sjeverna granica modela se podudara s vododjelnicom slivnog područja samog kanala koja je prikazana na slici 1, dok je s južne strane modela obuhvaćen i dio poljoprivrednog područja koji bi se trebao u budućoj fazi razvoja sustava SN Baranja navodnjavati vodom iz kanala. Istočna granica modela je Dunavac koji ujedno predstavlja i rubni uvjet modela, dok je na ostalim granicama uvjet da nema tečenja. Na razini konceptualnog modela definirane su i lokacije piezometara i razine podzemne vode korištene za kalibraciju modela. Nakon provedene simulacije za maksimalne izmjerene razine, rađena je kalibracija za koju su korišteni piezometri ranije opisani.



Slika 7. Razine podzemne vode dobivene modelom nakon kalibracije

Kako bi se dobilo što točnije poklapanje, varirani su sljedeći parametri: hidraulička vodljivost slojeva tla, provodljivost dna kanala, infiltracija, veličina evapotranspiracije te ravnina koja ovisi o geometriji modela, a u kombinaciji s razinom podzemne vode utječe na količinu vode koja će ispariti evapotranspiracije. Točnost postignuta kalibracijom, odnosno poklapanje izmjerenih i izračunatih vrijednosti razina podzemne vode prikazana je na slici 7.

Rezultati modela pokazuju da su u neposrednoj blizini kanala razine podzemnih voda više u odnosu na okolni teren. Ovakvi rezultati ukazuju na to da kanal zapravo prihranjuje okolne podzemne vode u razdoblju velikih voda. Na slici 7. najniže razine su označene crvenom bojom, a najviše plavom. Najveća zona utjecaja kanala na podzemne vode je u blizini ušća kanala u Dunavac, dok je na ostatku dionice utjecaj samo na uskom području uz sam kanal. Kako je kalibracijom postignuta dobra podudarnost kod Kneževih Vinograda i Zmajevca, u nastavku će se prikazati rezultati simulacije stacionarnog strujanja preko poprečnih presjeka kod tih lokacija.



Slika 8. Razine podzemne vode – poprečni presjek kod Kneževih Vinograda u smjeru sjever-jug za maksimalne vodostaje u kanalu a) i minimalne vodostaje b)

Numerički model koji je obuhvatio lateralni kanal i njegovo okolno područje je pokazao dobro podudaranje s vrijednostima izmjerenim na terenu na području Kneževih Vinograda i Zmajevca, dok je najveće odstupanje u predjelu oko Suze, na srednjoj dionici kanala. Rezultati modela su pokazali da kanal prihranjuje podzemlje, što je osobito izraženo u uvjetima visokih vodostaja (Slika 8).

ZAKLJUČAK

U hidrološkom smislu, razdoblje trajanja projekta, od 1. prosinca 2017. do 1. prosinca 2018. godine nije bilo osobito sušno. Količina oborina od 675 mm može se smatrati prosječnom, ali je njezin raspored bio relativno dobar. Izrazitije sušno razdoblje nastupilo je tek potkraj ljeta i u jesen kada potrebe za vodom nisu bile više velike. Stoga je potreba za navodnjavanjem bila relativno mala i to je imalo utjecaja na rezultate koji su prezentirani. Tijekom opažanog razdoblja 2017./2018. godina kanal je obavljao obje funkcije koje su predviđene projektom. Monitoring vodostaja u kanalu i razina podzemnih voda u piezometrima okomito na os kanala pokazao je djelomičnu učinkovitost glinene obloge,

odnosno komunikaciju površinske i podzemne vode. Rezultati modela su pokazali da kanal prihranjuje podzemlje, što je osobito izraženo u uvjetima visokih vodostaja. Najveća zona utjecaja kanala na podzemne vode je u blizini ušća kanala u Dunavac, dok je na ostatku dionice utjecaj samo na uskom području uz sam kanal. Onečišćenost na teške metale površinske vode iz lateralnog kanala, podzemne vode iz piezometra i sedimenta iz kanala ispitana je dva puta. Površinske i podzemne vode imale su stupanj onečišćenosti na teške metale izuzetno mali. Koncentracije teških metala u sedimentu su značajno veće, ali jedino kod bakra prelaze granične vrijednosti različitih inozemnih kriterija i to samo kod jednog uzorkovanja (studeni 2018). Kako je lateralni kanal u funkciji samo 3 godine, onečišćenost sedimenta trebalo bi pratiti zbog procesa akumulacije teških metala u sedimentu tijekom vremena. Nastavak monitoringa preporuča se i zbog činjenice da tijekom vremena učinak obloge kanala postaje sve manji.

LITERATURA

- [1] Banta, E.R., (2000): *Modflow-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—Documentation Of Packages For Simulating Evapotranspiration With A Segmented Function (Ets1) And Drains With Return Flow (Drt1)*, U.S. Geological Survey Open-File Report 00-466.
- [2] Bellucci, L. G., Frignani, M., Paolucci, D., Ravanelli, M., (2002): *Distribution of heavy metals in sediments of the Venice Lagoon: the role of the industrial area*, Sci Total Environ. 295(1-3). 35-49.
- [3] Bordas, J.M., (2005): *Modeling groundwater flow and contaminant transport in fractured aquifers*, PhD Thesis, Air Force Institute of Technology, Ohio.
- [4] Ferrero A., Lisa L., Parena S., Sudiro L., (2002): *Runoff and soil erosion from tilled and controlled grass-covered vineyards in a hillside catchment*, 9th Conference of the European Network of Exp. and Rep. Basins (ERB) Demänovská dolina (Slovakia), 25 – 28 Sept105-111
- [5] Frančičković-Bilinski, S., Mlakar, M., Bilinski, H., (2017): *Izrada prijedloga graničnih vrijednosti za određene opasne tvari u sedimentu kopnenih površinskih voda*, (elaborat); Gjetvaj G., Lončar, G., Malus, D., Ocvirk, E., (2011): *Primjeri međnutjecaja površinskih i podzemnih voda*, Građevinar, 63 (11), pp. 941-951.
- [6] Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., McDonald M.G., (2000): *Modflow-2000, The U.S. Geological Survey modular ground-water-User guide to modularization concepts and the ground-water flow process*, Open file Report 00-92, USGS, Reston, Virginia.
- [7] Dalmacija, B., Rončević S., (2013): *Kvalitet površinskih voda i sedimenta – procjena i upravljanje rizikom*, elaborat. Novi Sad.
- [8] Kelderman P, Drossaert, W.M.E. Zhang Min, Galione, L.S. Okonkwo, L.C., Clarisse, I.A. (2000): *Pollution assessment of the canal sediments in the city of Delft (the Netherlands)*, Water Research 34 (3), pp 936-944.
- [9] Pandey, J. & Singh, R., (2017): *Heavy metals in sediments of Ganga River: up- and downstream urban influences*, Appl Water Sci (2017) 7: 1669. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0334-7>

- [9] Tehničko izvješće o izvedbi 17 piezometara duž kanala Kneževi Vinogradi-Zmajevac, Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o., Osijek, 2017.godina.
- [10] Izvedbeni građevinski projekt Lateralnog kanala Kneževi Vinogradi-Zmajevac , Institut IGH d.d. 2014.

AUTORI

dr. sc. Lidija Tadić ^a

dr. sc. Tamara Brleković ^a

Dunja Blažević, mag.ing aedif. ^a,

Ivan Leninger, univ. bacc. aedif. ^a

^a Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Ulica Vladimira Preloga 3, Osijek, 31000, Hrvatska, ltadic@gfos.hr, tamaradadic@gfos.hr, ileninger@live.com



R 1.12.

PROGNOSTIČKI SUSTAV U FUNKCIJI PLOVIDBE DUNAVOM U REPUBLICI HRVATSKOJ

Renata Vidaković Šutić, Dijana Oskoruš

SAŽETAK: Hidrološki ekstremi na površinskim vodama pojavljuju se sve češće, a njihova su trajanja često dulja od trajanja ekstrema zabilježenih u ranijim desetljećima. Dulje razdoblje niskih plovidbenih vodostaja ograničavajući je faktor riječnoj plovidbi, a ograničenje plovidbe provodi se i uslijed pojave leda. Ograničenja plovidbe dužeg trajanja u velikoj su mjeri povezana sa financijskim gubicima vezanim za riječni transport robe. Prognostički sustav za rijeku Dunav na dionici koja protječe Republikom Hrvatskom je integralni dio projektnih aktivnosti u sklopu EU projekta FairWay Danube. Jezgra predmetnog prognostičkog sustava je hidraulički simulacijski model tečenja, koji se sastoji od dionice Dunava od državne granice s Republikom Mađarskom do državne granice s Republikom Srbijom i dionice Drave od Belišća do ušća u Dunav. Sustav automatski prikuplja mjerene podatke s hidroloških postaja DHMZ RH i mađarske prognoze na ulaznim profilima, izvodi kontinuirane simulacije te prognozira vodostaje na zadanim lokacijama u zadanoj vremenskoj domeni. U radu će se dati osvrt na metodologiju izrade, rezultate i kontrolu točnosti prognoza u uvjetima malih i srednjih voda na Dunavu.

KLJUČNE RIJEČI: prognostički model, male vode, plovidba, rijeka Dunav, rijeka Drava

FORCASTING SYSTEM FOR PURPOSES OF NAVIGATION ON THE DANUBE IN CROATIA

ABSTRACT: Hydrological extremes occur more and more often on surface waters, and their duration is frequently longer than the duration of extremes recorded in earlier decades. A longer period of low navigable water levels is a limiting factor for river navigation, with navigation restrictions also implemented during ice occurrences. Navigation restrictions of long duration are largely extent associated with financial losses affecting river transport of goods. The Danube Forecasting System on the Croatian section of the Danube is an integral part of the project activities under the EU project FairWay Danube. The core of this forecasting model is a hydraulic flow simulation model comprised of the Danube section from the Croatian state border with the Republic of Hungary to the state border with the Republic of Serbia and the Drava section from Belišće to its confluence with the Danube. The system automatically collects recorded hydrological data from the gauging stations of the Croatian Hydrological and Meteorological Service (DHMZ) and

the Hungarian forecasts at the inlet profiles, performs continuous simulations and forecasts water levels at default locations in the given time domain. The paper will give an overview of the applied methodology, results and accuracy of the forecasts in the conditions of low and medium water levels of the Danube.

KEYWORDS: forecasting model, low water levels, navigation, Danube River, Drava River

1. UVOD

Prognoziranje vodostaja na rijekama u realnom vremenu provodi se u svrhu donošenja pravovremenih odluka i provođenje odgovarajućih mjera. Prognoze velikih voda u najvećoj se mjeri koriste za potrebe aktivnosti obrane od poplava. Saznanja o prognoziranim niskim vodostajima podloga su za donošenje odluka vezanih za riječnu plovidbu, od ograničenja plovidbe povezanih s pretovarom tereta na manja plovila, do potpune obustave prometa.

Dionica Dunava u Republici Hrvatskoj dugačka je oko 140 km i na cijelom potezu je plovni put VI kategorije. Dionica Drave od luke Osijek do ušća u Dunav plovni je put IV kategorije, dok je a dionica uzvodno od Osijeka plovni put III kategorije (slika 1a). Obveza održavanja plovnog puta u nadležnosti je Ministarstva pomorstva, prometa i infrastrukture Republike Hrvatske.

Prognozički sustav za osiguranje i unaprjeđenje plovidbe integralni je dio projektnih aktivnosti u sklopu EU projekta FairWay Danube, a izrađen je za dionicu Dunava od državne granice s Republikom Mađarskom do državne granice s Republikom Srbijom i dionicu Drave od Belišća do ušća u Dunav. Na slici 1b prikazan je plovni put Dunava i Drave na području obuhvata prognozičkog modela.



Slika 1.a Plovni put Dunava i Drave



Slika 1.b Obuhvat prognozičkog modela

2. ZNAČAJKE PROGNOŠTIČKOG SUSTAVA

Osnovna uloga prognostičkog sustava su prognoze vodostaja za 5 dana unaprijed na lokacijama hidroloških postaja na Dravi (Belišće i Osijek) i Dunavu (Batina, Aljmaš, Dalj, Vukovar i Ilok). Kako su na predmetnoj dionici Dunava uspostavljene nove hidrološke postaje: Siga, Petreš, Sotin i Mohovo, prognostički sustav omogućuje da se nakon verifikacije i one uključe u prognoze vodostaja. Osim upozorenja za niski plovidbeni vodostaj, prognostički sustav daje upozorenja za mogućnost pojave leda na vodotoku, prikaz meteoroloških prognoza i izmjerenih vrijednosti oborine i temperature zraka na lokacijama meteoroloških stanica te kontinuirani uvid u rad svih mjernih postaja u sustavu. Sustav automatski prikuplja izmjerene satne podatke o vodostaju i protoku zabilježene u prethodnih 48 sati na svim mjernim postajama, preuzima podatke o prognozama protoka na mjernim postajama Belišće na Dravi i Mohacs na Dunavu iz mađarskog prognostičkog sustava te simulira vodostaje za buduće 5 dnevno razdoblje. Simulacije se pokreću automatski svakih 6 sati, a za posebne slučajeve omogućeno je i ručno pokretanje. Automatske procedure u vidu prikupljanja mjerenih podataka za asimilaciju, kreiranje ulaznih datoteka, pokretanje simulacije, prikupljanje rezultata simulacije, arhiviranje i objavljivanje na webu, provode se vlastito razvijenim softverskim paketom za potrebe prognostičkog sustava.

Rezultati se na odabranim lokacijama prikazuju na posebno izrađenoj web platformi Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ), koja je dostupna korisnicima plovnog puta Dunav. Sustav arhivira sve ulazne i prognozirane vrijednosti te daje numeričku i grafičku usporedbu apsolutnih odstupanja rezultata provedenih simulacija (prognoza) i izmjerenih (ostvarenih) vrijednosti. Kontrola pouzdanosti modela ugrađena je u prognostički sustav preko tri različita testa te omogućuje ispitivanje pouzdanosti za proizvoljno odabrana razdoblja.

2.1. Hidrološki podaci i analize

S obzirom na namjenu prognostičkog sustava, hidrološkim obradama i analizama obuhvaćene su male i srednje vode. Na temelju analize satnih protoka na Dunavu izabrana su višemjesečna razdoblja malih i srednjih voda za potrebe kalibracije i verifikacije hidrauličkog modela. Usporedbom raspoloživih Q-h funkcija, ustanovljene su česte i značajne morfološke promjene na lokacijama mjernih profila.

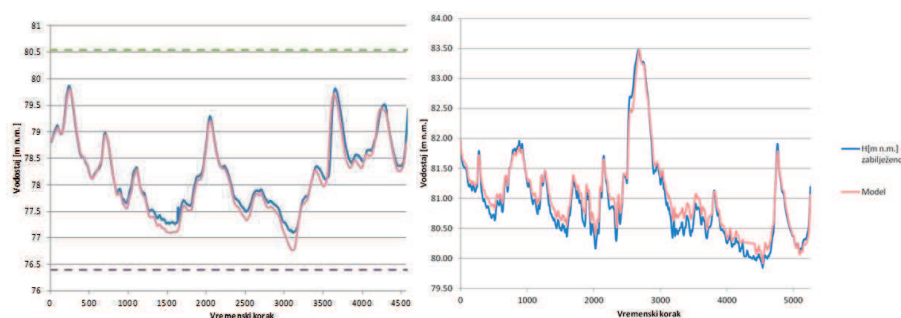
Obradama su obuhvaćene lokacije na kojima se prognoziraju vodostaji na Dravi (h.s. Belišće i h.s. Osijek) i Dunavu (h.s. Batina, h.s. Aljmaš, h.s. Dalj, h.s. Vukovar i h.s. Ilok), kao i podaci sa hidroloških postaja koje reprezentiraju dotok vodotocima s međusliva: Baranjske Karašice (h.s. Popovac), Vučice (h.s. Marjančaci) i Vuke (h.s. Tordinci). Na slici 1b prikazane su lokacije svih hidroloških postaja na predmetnom području.

U sklopu prethodne hidrološke analize ispitani su odnosi Drave i Dunava, kao i hidrološki doprinosi Vučice na Dravu i Dunav te Baranjske Karašice i Vuke na Dunav u području malih i srednjih voda. Ustanovljeno je da se pojedinačni doprinos srednjih voda Vučice, Vuke i Baranjske Karašice na protoke Dunava u vrijeme malih i srednjih voda kreće ispod 1 %. Površina međusliva navedenih pritoka u odnosu na ukupni sliv Dunava do Iloka, iznosi oko 1 %. Uvažavajući činjenicu da se utjecaj navedenih slivova nalazi unutar očekivane pogreške modela, njihova se oborinska komponenta nije uzela u obzir, tim

više što eventualni hidrološki doprinos uzrokovan oborinama na predmetnim slivovima u vrijeme malih voda Dunava dolazi „prekasno“ da bi poboljšao plovnost ili spriječio ograničenje plovidbe proglašeno na mađarskom dijelu plovnog puta.

2.2. Hidraulički model

Za hidrauličku analizu i modeliranje tečenja Drave i Dunava odabran je jednodimenzionalni nestacionarni numerički model MIKE Hydro River. Početak modela na Dunavu je na granici Hrvatske i Mađarske, a na Dravi model počinje nešto uzvodnije od lokacije h.p. Belišće. Završetak modela je na granici sa Republikom Srbijom neposredno nizvodno od h.p. Ilok. Ukupna duljina modelirane dionice Dunava je 132 km, a duljina modelirane dionice Drave 56 km. Za geometriju korita korištene su najnovije raspoložive podloge. Korito Dunava modelirano je na temelju hidrografske snimke iz 2016. (Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi“), kada je na predmetnoj dionici snimljeno 134 profila, na razmacima od 800 – 1000 m. Za potrebe modeliranja korita Drave, od ušća Drave u Dunav do 23. km od ušća korištene su single beam snimke korita iz 2017. godine, a preostalih 30-ak km do h.p. Belišće preuzeto je iz Hidrografskog atlasa Drave iz 2000. godine. Na modeliranoj dionici Drave nalazi se 212 profila u razmacima od 200 – 300 m. Ulazni podaci su protoci zadani hidrogramom neposredno uzvodno od h.s. Belišće na Dravi i hidrogramom na lokaciji oko 5 km uzvodno od h.s. Batina na Dunavu. Nizvodni rubni uvjet je $Q - h$ krivulja na lokaciji malo nizvodnije od h.s. Ilok. Hidraulički model je kalibriran na lokacijama hidroloških postaja na Dunavu i na Dravi za izabrane hidrološke događaje u razdoblju od 2005. – 2010. godine a verificiran za izabrane višemjesečne hidrološke događaje malih voda u razdoblju 2011. – 2016. godine. Obzirom na namjenu prognostičkog sustava, hidraulički model koji je osnova za prognoziranje malih voda, izrađen je za hidrauličke uvjete u kojima voda ostaje u koritu, odnosno nema izlivanja izvan korita. Hidraulička hrapavost je definirana preko Manningovog koeficijenta. Vrijednosti koeficijenta hrapavosti se razlikuju ovisno o obraštaju vegetacije korita i obale te se u skladu s time mijenjaju lokalno prema Ven Te Chow metodologiji. Usvojene vrijednosti kreću se u granicama $n = 0.028 - 0.035 \text{ s} / \text{m}^{1/3}$.



Slika 2. Rezultati kalibracije na h.p. Dalj (27.08.2006. – 05.03.2007.) i verifikacije modela na h.p. Osijek (01.07.2015. – 05.02.2016.)

Na slici 2 prikazan je rezultat kalibracije modela na lokaciji h.p. Dalj za izabrano šestomjesečno razdoblje (27.08.2006. – 05.03.2007.) i rezultat verifikacije modela na

lokaciji h.p. Osijek za razdoblje verifikacije (01.07.2015. – 05.02.2016.). Donja crtkana linija na h.p. Dalj predstavlja minimalni, a gornja maksimalni zabilježeni vodostaj u razdoblju (2001.-2017.) Vremenski korak prikazan je u satima. Kvaliteta modela ocijenjena je zadovoljavajućom za daljnju nadogradnju u smislu prognoza vodostaja.

2.3. Primjena modula za prognoziranje na izrađeni hidraulički model

Postupak u kojem se mjerenja u realnom vremenu unutar modelske domene koriste za korekcije modela, odnosno poboljšavanje kvalitete njegovih rezultata, naziva se asimilacija podataka ili DA (Data Assimilation). Asimilacija podataka se aktivira u posebnom modulu unutar MIKE Hydro River platforme.

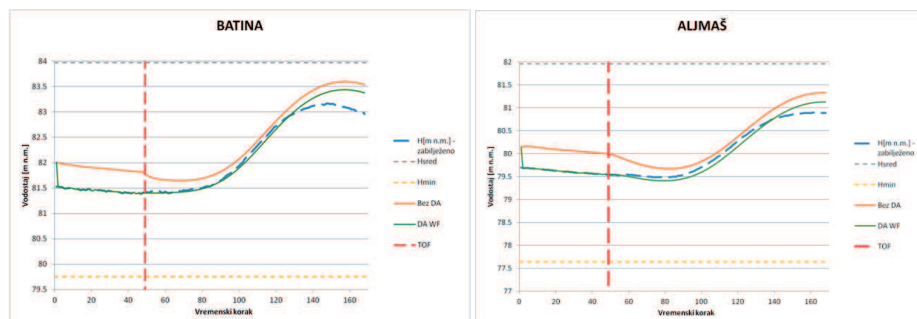
Kod definiranja modula za prognoziranje jedan od osnovnih parametara je trenutak prognoze, TOF (Time of Forecast). To je trenutak u kojem se model prebacuje u prognostički način rada, a izmjereni podaci do trenutka prognoze moraju biti uneseni u model za sve prognostičke točke.

Korekcija je provedena pomoću metode težinske funkcije WF (Weight Function). Parametri težinske funkcije su vrsta distribucije korekcije pogreške, faktor uvažavanja modelske greške i duljina uzvodnog i nizvodnog utjecaja korekcije pogreške u odnosu na mjernu postaju. Vrsta distribucije korekcije pogreške može biti konstantna, triangularna i mješovita eksponencijalna. U slučaju predmetnog modela izabrana je konstantna distribucija.

Faktor uvažavanja modelske greške je bezdimenzionalni faktor, vrijednosti 0-1. Ako ima vrijednost 1, smatra se da su mjerenja apsolutno točna, a ako ima vrijednosti bliže 0, manje značaja se daje mjerenjima u odnosu na model. S obzirom na pouzdanost hidroloških opažanja na mjernim postajama Drave i Dunava, izabrana je vrijednost 1.

Duljina uzvodnog i nizvodnog utjecaja korekcije pogreške s neke mjerne postaje je određena otprilike polovicom udaljenosti do sljedeće mjerne postaje, tako da korekcijom bude pokrivena čitava modelska domena. Na kraju je potrebno usvojiti jednadžbu kojom se definira način korekcije pogreške do trenutka prognoze te se primjenjuje na model iza trenutka prognoze. U ovom slučaju je odabrana jednadžba u kojoj se modelskom vodostaju pridodaje vrijednost pogreške u odnosu na mjerenje iz prethodnog vremenskog koraka.

Na slici 3 prikazano je ažuriranje pomoću težinske funkcije na lokacijama prognoziranja h.p. Batina i h.p. Aljmaš na Dunavu. Asimilacija podataka (DA) provedena je za vremensko razdoblje izrade i testiranja modela (lipanj/srpanj 2018). Vremenski korak prikazan je u satima. Do trenutka prognoze se provodi ažuriranje modela i vidljivo je da su poklapanja izmjerenih i modelskih vrijednosti vrlo dobra. Nakon trenutka prognoze, vidljivo je da pouzdanost modelskih rezultata opada protekom vremena, sa zadovoljavajućim poklapanjem prvih 60 sati od trenutka prognoza (TOF).



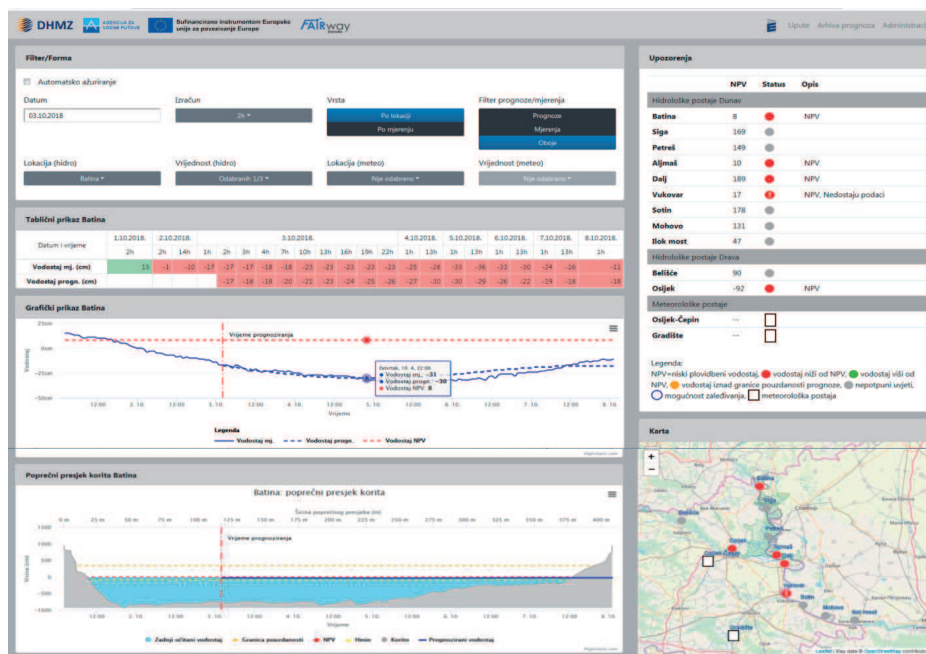
Slika 3. Usporedba simuliranog i izmjerenog nivograma sa i bez DA na lokacijama h.p. Batina i h.p. Aljmaš, za realni događaj iz srpnja 2018.

2.4. Uspostava operativnog hidrološkog prognostičkog sustava

U provedbi operativnog rada u realnom vremenu, model koristi 2 dana izmjerenih satnih vrijednosti protoka na Dravi i Dunavu iz sustava podataka DHMZ, prikuplja i dopunjava ulazni hidrogram za simulacije iz mađarskog prognostičkog sustava za Dravu (Belišće) i Dunav (Mohacs) te prognozira nivogram za 5 dana unaprijed. Simulacije se provode kontinuirano svakih 6 sati.

Posebno razvijen software-ski paket, izvršava funkcije: prikupljanja mjerenih podataka o vodostaju, protoku i temperaturi vode; prikupljanja prognoziranih podataka o protoku (mađarske prognoze); kreiranje ulaznih datoteka za simulacije; pokretanje simulacija; prikupljanje rezultata simulacija; prikaz prognoza na web pregledniku; arhiviranje prognoza; izračun točnosti prognoza; prikaz izmjerenih i prognoziranih klimatoloških pokazatelja.

Nakon 2 mjeseca testnog rada izvršene su dorade poput logičke kontrole ulaznih podataka sa upozorenjima na nepotpune podatke ili sumnjive i nelogične promjene u uzastopnim vrijednostima ulaznog niza podataka. Kreirana je grafička podrška prikaza hidroloških podataka na adekvatnom prikazu poprečnog presjeka korita na svakoj lokaciji te upozorenja za situacije koje ugrožavaju plovidbu (vodostaj niži od kote propisanog niskog plovidbenog vodostaja, mogućnost pojave leda na vodotoku). Prognostički sustav je instaliran u Sektoru za hidrologiju DHMZ te se tijekom probnog rada operativno koristio paralelno na računaru u Institutu za elektroprivredu i u DHMZ-u, uz istovremene interaktivne dorade web prikaza, u cilju njegove kvalitete i preglednosti. Testni i probni rad provedeni su u razdoblju malih voda na Dravi i Dunavu te su utvrđene zadovoljavajuće točnosti prognoza. Na slici 4. prikazan je izgled web preglednika za slučaj prekoračenja niskog plovidbenog vodostaja za lokaciju h.s. Batina.



Slika 4. Izgled web preglednika Prognostičkog sustava za razdoblje prekoračenja niskog plovidbenog vodostaja na h.s. Batina na Dunavu

Tijekom probnog rada Prognostičkog sustava u više navrata zabilježena je višednevna pojava vodostaja nižeg od granice niskog plovidbenog vodostaja, a značajno je da je zabilježen hidrološki ekstrem prekoračenja minimalnog vodostaja na h.p. Batina na Dunavu. Apsolutni minimum vodostaja u recentnom razdoblju (2001-2017) na h.s. Batina od -82 cm zabilježen je 27.10. 2018., a prognoziran dva dana ranije. Ta vrijednost vodostaja Dunava na lokaciji h.s. Batina, prema aktualnoj Q-h krivulji odgovara protoku od 872,9 m³/s.

2.5. Kontrola točnosti prognoza

Za ocjenu učinkovitosti i točnosti prognostičkog sustava korištena su tri statistička pokazatelja: Nasch-Sutcliff koeficijent efikasnosti modela (NSE) (1), korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE) (2) i standardna devijacija (SD) (3). Formule za statističke pokazatelje navedene su u nastavku, a vrijednosti koeficijenata koje potvrđuju zadovoljavajuću točnost, navedene su u tablici 1.

Nasch-Sutcliff koeficijent efikasnosti modela (NSE)

$$R_m = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1+lt}^n (H_{mi} - H_{oi})^2}{\sum_{i=1+lt}^n (H_{oi} - \bar{H}_o)^2}} \quad (1)$$

R_m - Nasch-Sutcliff koeficijent efikasnosti modela

H_{oi} - opaženi vodostaj u vrijeme i

\bar{H}_o - prosječni opaženi vodostaj

H_{mi} - modelirani vodostaj u vrijeme i

lt - obuhvat prognoze

Korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1+lt}^n \frac{(H_{mi} - H_{oi})^2}{n}} \quad (2)$$

Standardna devijacija (SD)

$$\delta = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1+lt}^n (H_{mi} - H_{oi})^2 - (\sum_{i=1+lt}^n (H_{mi} - H_{oi}))^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

Tablica 1. Granice vrijednosti koeficijenata NSE, RMSE i SD za pouzdanost prognoza

		OBUHVAT PROGNOZE	
		1-2 dana	3-5 dana
STATISTIČKA MJERA GREŠKE	NSE	>0.95	>0.85
	RMSE	<20	<40
	SD	<20	<40

Iz tablice 1, vidljivo je da je zahtijevana točnost u prvih 48 sati veća od razdoblja sljedećih 72 sata, kada se tolerira veće odstupanje. U administracijskom sučelju Prognozičkog sustava, na kartici *Izračun točnosti*, moguće je pokrenuti izračun točnosti prognozičkog sustava na temelju povijesnih izvođenja simulacija i mjerenih podataka. Rezultati izračuna točnosti za razdoblje prognoza od 31.10.2018 do 31.01.2019. za sve lokacije prognoza, prema sva tri navedena kriterija, ukazuju na slabiju pouzdanost prognoza na h.p. Belišće na Dravi u cijelom rasponu vremenske domene, a na h.p. Osijek tek u 5 danu. Mogući razlog većeg odstupanja rezultata prognoze i stvarnih vrijednosti protoka na ulaznom profilu Belišće leži u izlaznom rezultatu mađarskog prognozičkog modela za Dravu. Za sve lokacije prognoza na Dunavu, prema svim kriterijima zadovoljene su granice točnosti.

ZAKLJUČAK

Prognostički sustav za osiguranje i unaprjeđenje plovidbe integralni je dio projektnih aktivnosti u sklopu EU projekta FairWay Danube, a izrađen je za dionicu Dunava od državne granice s Republikom Mađarskom do državne granice s Republikom Srbijom i dionicu Drave od Bilišća do ušća u Dunav. Za operativno održavanje prognostičkog sustava zadužen je Državni hidrometeorološki zavod, Sektor za hidrologiju, a krajnji korisnik je Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture Republike Hrvatske.

Implementirani Prognostički sustav za unaprjeđenje plovidbe u Republici Hrvatskoj sastavni je dio Sustava za nadzor plovidbe Dunavom u okviru EU.

Osim prognoze vodostaja, implementirani sustav putem interaktivnog sučelja daje upozorenja o mogućnosti pojave leda, što isto tako ograničava plovidbu. Dodatna vrijednost interaktivnog sučelja Prognostičkog sustava je što ukazuje na anomalije u izmjerenim vrijednostima vodostaja, protoka i temperature vode u realnom vremenu te pruža mogućnost pravovremene intervencije na mjernoj opremi postaja.

Kako je probni rad sustava koincidirao sa višestrukim i višednevnim prekoračenjima vrijednosti minimalnih plovidbenih vodostaja, prognostički sustav je potvrdio svoju svrhu i važnost pravovremenih informacija za donošenje odgovarajućih sektorskih odluka i provođenje mjera za sigurnost plovidbe.

Utvrđeno odstupanje od zadane točnosti prognoziranja vodostaja na Dravi, osobito na lokaciji h.p. Bilišće, ukazuje na potrebu rješavanja dodatnih pitanja, vezanih na usklađenje Q-h funkcija sa mađarskim partnerima kao i usklađivanjem mađarskog prognostičkog sustava sa radom uzvodnih hidroelektrana na Dravi.

Morfološka dinamika korita Dunava i Drave uzrokuje lokalne i globalne promjene koje mogu negativno djelovati na točnost modela na kome se temelje prognoze. Stoga se, kao preporuka ističe potreba za redovitim održavanjem hidrološko-hidrauličkog modela u smislu noveliranja i dopune geometrije, rekalkibracije modela ili pojedinih dionica i ažuriranja Q-h odnosa na lokacijama hidroloških postaja. Nakon verifikacije novoosnovanih hidroloških postaja, model je potrebno dopuniti sa novim prognostičkim točkama te i na taj način poboljšati pouzdanost prognoza vodostaja na kritičnim dionicama za plovidbu.

LITERATURA

- [1] HIS2000 – *Hidrološki informacijski sustav DHMZ*
- [2] DHI GROUP (2017): *MIKE 2017; MIKE HYDRO River;*
- [3] Institut za elektroprivredu d.d.(2018): *Hidrološki prognostički sustav za unapređenje plovidbe na rijeci Dunav u Republici Hrvatskoj;*
- [4] www.fairwaydanube.eu;
- [5] www.mathworks.com/matlabcentral;
- [6] www.vodniputovi.hr

AUTORI

Renata Vidaković Šutić, dipl. ing. građ^a

dr. sc. Dijana Oskoruš, dipl. ing. geot.^b

^a Institut za elektroprivredu d.d., Koturaška 51, Zagreb, 10000, Hrvatska, renata.sutic@ie-zagreb.hr

^b Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske, Grič 3, Zagreb, 10000, Hrvatska, oskorus@cirus.dhz.hr



HIDROLOŠKA ANALIZA RIJEKE VUKE

Tatjana Mijušković – Svetinović, Marija Šperac, Matej Jelenić

SAŽETAK: U radu su analizirane hidrološke promjene na primjeru rijeke Vuke, koja predstavlja najveći slavonski vodotok te jedan od većih pritoka Dunava. Rijeka Vuka izvire na Krndiji, ali može se reći da je početak rijeke Vuke akumulacija Borovik. Ušće rijeke Vuke je u centru Vukovara. Vuka ima najviši vodostaj i protok u razdoblju proljetnih kiša i otapanja snijega, tako da su na rijeci Vuki najčešće proljetne poplave u ožujku i travnju. Pri blagim zimama moguće su poplave i u siječnju i veljači. Male vode se javljaju najčešće od prosinca do svibnja. U radu su analizirani srednji dnevni vodostaji i protoci na vodomjernim stanicama Beketinci, Bračevci i Tordinci, za razdoblje od 2000. do 2017. godine. To su limnografske stanice koje su započele s radom tek 2000. godine. Provedena analiza ukazuje da minimalni, srednji i maksimalni vodostaji na mjernim stanicama imaju značajan trend opadanja, što je sukladno trendovima na svim, do sada analiziranim, vodotocima u Hrvatskoj. Jedino minimalni godišnji vodostaji i protoci na mjernoj stanici Beketinci pokazuju blagi trend porasta. U radu su analizirane i male vode rijeke Vuke.

KLJUČNE RIJEČI: rijeka Vuka, vodostaji, protoci, hidrološke promjene, trend

HYDROLOGICAL ANALYSIS OF THE VUKA RIVER

ABSTRACT: The paper analyses hydrological changes on the example of the Vuka River, which is the largest Slavonian watercourse and one of the largest tributaries of the Danube River. The Vuka source is at Mt. Krndija, although it can be also claimed that the river starts at Reservoir Borovik. Its confluence is located in the Vukovar town centre. The maximum water levels and discharges of the Vuka occur in the period of spring rains and snowmelt, thus it most frequently floods in March and April, although flooding can also occur in January and February during mild winters. The low water levels occur in the period from December to May. The paper analyses the mean daily water levels and discharges at the hydrological stations Beketinci, Bračevci and Tordinci in the period 2000 - 2017. These are limnigraphic stations that only started operating in 2000. The conducted analysis shows that the minimum, mean and maximum water levels at the hydrological stations show a significant downward trend, which is in line with the trends observed on all analysed watercourses to date in Croatia. Only the minimum annual water levels and discharges at the Beketinci hydrological station show a mild upward trend. The paper further analyses low water levels of the Vuka River.

KEYWORDS: Vuka River, water levels, discharges, hydrological changes, trend

1. UVOD

Kao rezultat klimatskih promjena, svjedoci smo pojave sve češćih poplava i suša koje uzrokuju materijalne štete ali i ljudske žrtve. Ta činjenica ukazuje na nužnost mjerenja, odnosno raspolaganja pouzdanim hidrološkim podlogama i analizama, naročito za ekstremne uvjete. Na osnovu pouzdanih podataka vodostaja i protoka mogu se pratiti, tumačiti i predvidjeti kratkoročne ali i dugoročne hidrološke promjene nekog vodotoka i sliva.

Cilj ovog rada je analizirati hidrološke promjene na primjeru rijeke Vuke, ukupne površine sliva 1.123,52 km², koja predstavlja najveći slavonski vodotok te jedan od većih pritoka Dunava. Rijeka Vuka izvire na Krndiji, ispod Vučje glave, ali može se reći da je početak rijeke Vuke (i njezina završna stacionaža rkm 98+510) akumulacija Borovik, koja je dovršena 1978. godine. Ušće rijeke Vuke je u centru Vukovara na rkm 1333+050 Dunava. [Hrvatske vode, 2014] Uzdužni profil rijeke Vuke može se podijeliti na dva karakteristična dijela, gornji tok s većim padovima na kojem se nalaze vodne stube i donji tok koji ima blage čak i nedostatne padove (0,01 ‰), tako da je na tom dijelu Vuka jako meandrirala. Po dionicama se poprečni profil rijeke Vuke dosta razlikuje. Vuka ima najviši vodostaj i protok u razdoblju proljetnih kiša i otapanja snijega, tako da su na rijeci Vuki najčešće proljetne poplave u ožujku i travnju. Pri blagim zimama moguće su poplave i u siječnju i veljači. Olakšavajuća okolnost pri provedbi mjera obrane od poplava na rijeci Vuki je mala vjerojatnost istovremene pojave velikih voda na Vuki i Dunavu (Hrvatske vode, 2014.). Male vode rijeke Vuke se javljaju najčešće od prosinca do svibnja.

U radu su analizirani srednji dnevni vodostaji i protoci na vodomjernim stanicama Bračevci, Beketinci i Tordinci, za razdoblje od 2000. do 2017. godine. Sve navedene mjerne stanice su „mlade“, započele su s radom tek 2000. godine (za mjernu stanicu Tordinci podatci postoje od 2008. godine), a imale su i prekide u radu, tako da nizovi nisu kontinuirani. Na mjernoj stanici Bračevci mjerenja su prekinuta, odnosno podatci postoje samo do 2014. godine. U radu su analizirane i male vode rijeke Vuke na mjernoj stanici Beketinci.

2. ANALIZA VODOSTAJA I PROTOKA RIJEKE VUKE

2.1. Analizirano područje

Za analizu vodostaja i protoka rijeke Vuke, korišteni su podaci za mjerne stanice Bračevci, Beketinci i Tordinci. (Slika 1.) To su limnigrafske postaje i pripadaju porječju Drave i Dunava, odnosno crnomorskom slivu. Korišteni podatci dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ). Postoje prekidi u radu stanica pa podatci nisu kontinuirani, a i nizovi nisu jednaki, odnosno analizirano razdoblje je različito za pojedine stanice:

- Mjerna stanica Bračevci, za razdoblje od 2000. do 2014. godine Mjerna stanica započela je s radom 30. studenog 2000. godine. Mjerenja za studeni i prosinac 2009. nedostaju, a u 2010. godini mjerenja počinju tek od srpnja. U 2014. g. nedostaju mjerenja za kolovoz i prosinac. Kota "0" vodomjera se nalazi na 108,192 m. n. m.,
- Mjerna stanica Beketinci, za razdoblje od 2000. do 2016. godine. Mjerenja za 2009. godinu nedostaju, a u 2010. godini, mjerenja počinju tek od srpnja. Kota „0“ vodomjera se nalazi na 85,54 m. n. m.,

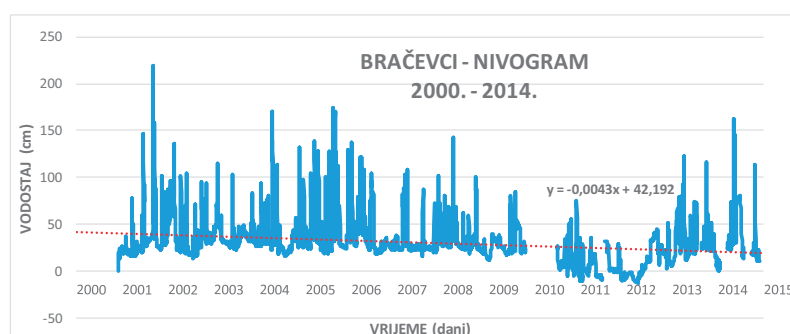
- Mjerna stanica Tordinci, za razdoblje od 2008. do 2017. godine. Mjerenja su započela 30. studenog 2000. godine. U 2015. godini nedostaju podaci za prvih deset mjeseci, a u 2016. imamo podatke samo za siječanj, veljaču i ožujak. Kota "0" vodomjera se nalazi na 79,878 m. n. m. (Jelenić, 2018.).



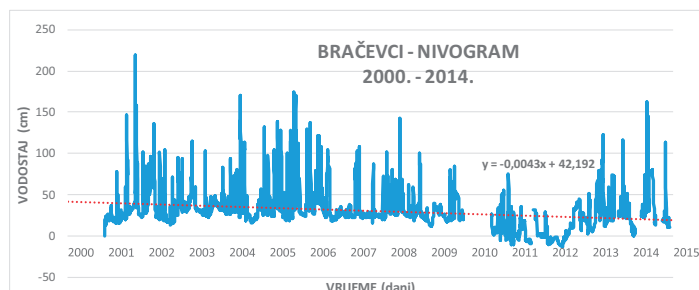
Slika 1. Položaj mjernih stanica na rijeci Vuki za koje je napravljena analiza vodostaja i protoka

2. 2. Analiza vodostaja rijeke Vuke

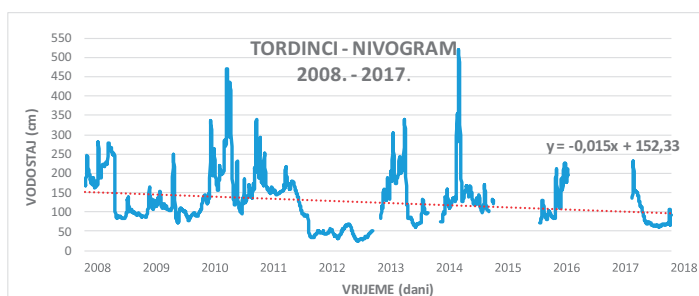
Na slikama 2. - 4. prikazani su nivogrami srednjih dnevnih vodostaja za mjerne stanice Bračevci, Beketinci i Tordinci. Na slikama 8. – 10. su prikazani minimalni, srednji i maksimalni godišnji vodostaji, izvedeni iz srednjih dnevnih protoka, za navedene mjerne stanice. Na slikama se može vidjeti da linija trenda pokazuje blagi pad svih godišnjih vodostaja, osim minimalnih na mjernoj stanici Beketinci, što je vidljivo na slici 9. U tablici 1. prikazan je broj podataka vodomjerenja, te srednje i ekstremne izmjerene vrijednosti s datumima kada su oni zabilježeni.



Slika 2. Nivogram s linijom trenda za mjernu stanicu Bračevci



Slika 3. Nivogram s linijom trenda za mjernu stanicu Beketinci



Slika 4. Nivogram s linijom trenda za mjernu stanicu Tordinci

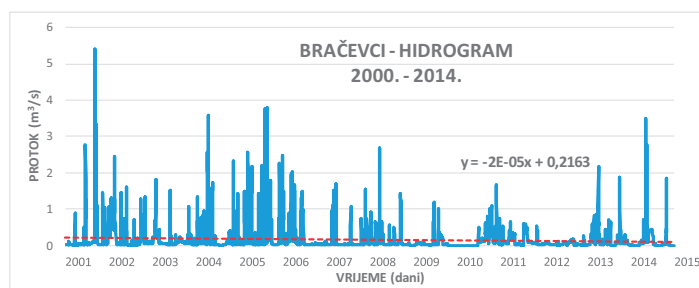
Tablica 1. Podaci o srednjim i ekstremnim izmjerenim vrijednostima na rijeci Vuki

VODOMJERNA STANICA	BROJ PODATAKA	VODOSTAJ				
		SREDNJI (cm)	MINIMUM (cm)	MINIMUM datum	MAKSIMUM (cm)	MAKSIMUM datum
BRAČEVCI	4682	30,26	-13	1. 4. 2012.	219	6. 9. 2001.
BEKETINCI	4887	76,05	16	31. 12. 2012.	413	23. 8. 2005.
TORDINCI	2830	129	26	24. - 25. 8. 2012.	519	19. 5. 2014.
		PROTOK				
		SREDNJI (m ³ /s)	MINIMUM (m ³ /s)	MINIMUM datum	MAKSIMUM (m ³ /s)	MAKSIMUM datum
BRAČEVCI	4675	0,17	0,002	29. - 31. 12. 12. 2008.	5,41	6.9.2001.
				3. - 6. 1. 2009.		
BEKETINCI	4887	0,68	0,032	12.12. 2000.	23,1	23.8.2005.
TORDINCI	2830	132,8	0,032	18. 10. 2017.	33,52	19. 5. 2014.

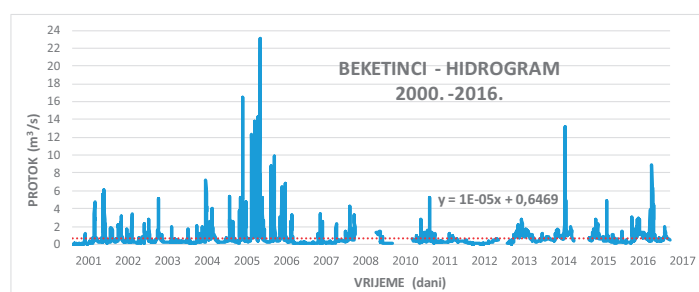
2.3. Analiza protoka rijeke Vuke

Na slikama 5. – 7. prikazani su hidrogrami srednjih dnevnih protoka za mjerne stanice Bračevci, Beketinci i Tordinci. Na slikama 8. - 10. su prikazani minimalni, srednji i maksimalni godišnji protoci, izvedeni iz srednjih dnevnih protoka. Na slikama se može vidjeti da linija trenda pokazuje blagi pad svih godišnjih protoka na mjernim stanicama Bračevci i Tordinci. Na mjernoj stanici Beketinci, jedino su maksimalni godišnji protoci u opadanju (Slika 9).

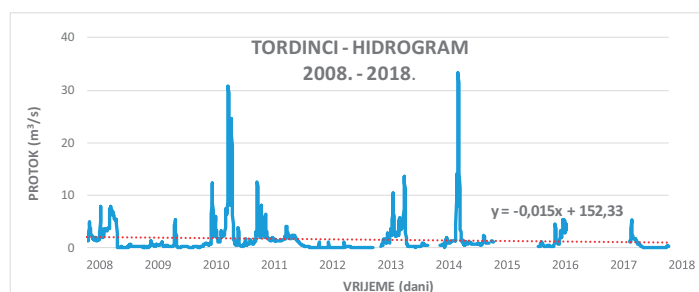
U tablici 1. prikazan je broj podataka na temelju koje je analiza napravljena, te srednje i ekstremne izmjerene vrijednosti dnevnih protoka, te datumi kada su oni zabilježeni.



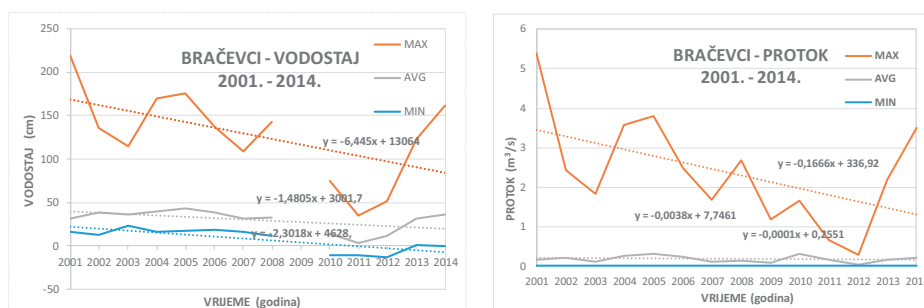
Slika 5. Hidrogram s linijom trenda za mjernu stanicu Bračevci



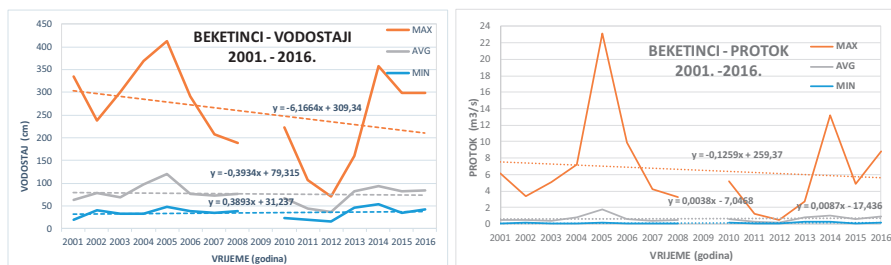
Slika 6. Hidrogram s linijom trenda za mjernu stanicu Bektinci



Slika 7. Hidrogram s linijom trenda za mjernu stanicu Tordinci



Slika 8. Minimalni, maksimalni i srednji godišnji vodostaji i protoci s linijama trenda za stanicu Bračevci



Slika 9. Minimalni, maksimalni i srednji godišnji vodostaji i protoci s linijama trenda za stanicu Beketinci

2.4. Analiza malih voda rijeke Vuke

U radu su analizirane i male vode rijeke Vuke i to samo za stanicu Beketinci, jer ona ima najduži i najkontinuiraniji niz u razdoblju od 2001. do 2016. g. Analiza je napravljena prema metodi praga (eng. Treshold Level Method). Metoda je pokušaj da se formulira, objasni i analizira opći stohastički model malih riječnih voda polazeći od definicije da se pojava, trajanje i deficit male riječne vode ili suše odmjerava u odnosu na unaprijed usvojeni referentni protok. (Mijušković - Svetinović i Maričić, 2013.) Tako se za svaku sušnu epizodu može odrediti više karakteristika malovodnog razdoblja, kao što su: vrijeme početka i završetka, trajanje, minimalni protok, zapremina deficita (često se koristi i termin jakost ili totalni deficit) i intenzitet suše. Trajanje deficita, odnosno suše, neprekidno je trajanje ili vremenski korak u kojem je analizirani parametar (protok, vodostaj ili oborina) manji od unaprijed usvojene referentne vrijednosti analiziranog razdoblja, što je u ovom slučaju protok 95 % vjerojatnosti pojave ($Q_{95} = 0,071 \text{ m}^3/\text{s}$) analiziranog razdoblja. Zapremina ili jakost deficita (suše) predstavlja sumu deficita unutar jednog koraka, a intenzitet se dobije dijeljenjem jakosti i trajanja. (Tadić i drugi, 2014.). U tablici 2. prikazano je pet najvećih deficita u razmatranom razdoblju. Iz tablice je vidljivo da se najveći deficiti pojavljuju u zimu i proljeće, odnosno od prosinca do svibnja, a do najvećih deficita je došlo 2012. i 2001. godine. Ostali zabilježeni deficiti (zabilježeno ih je ukupno deset) ne mogu se smatrati značajni ni po jakosti ni po trajanju ni po intenzitetu.

Tablica 2. Najveći deficiti vode na mjernoj stanici Beketinci u razdoblju od 2001. do 2016.

REDNI BROJ	DEFICIT m^3	TRAJANJE dani	INTENZITET m^3/dan	MALOVODNO RAZDOBLJE		
				GODINA	POČETAK	ZAVRŠETAK
1	246.758	55	4487	2000. – 2001.	4.12. 2000.	27. 1. 2001.
2	104.803	65	1612	2012.	28. 2. 2012.	2. 5.2012.
3	101.347	46	2203	2001.	4. 2. 2001.	21. 3.2001.
4	54.864	36	1524	2012.	1. 1. 2012.	5. 2. 2012.
5	27.734	18	1541	2001.	5. 4. 2001.	22. 4. 2001.

ZAKLJUČAK

Rijeka Vuka jedan je od većih vodotoka u Republici Hrvatskoj. Izvire na Krndiji, ali danas se može reći da je početak rijeke Vuke akumulacija Borovik koja je izgrađena 1978. g. Vuka se ulijeva se u Dunav u centru Vukovara. U ovom radu su analizirani srednji dnevni, te minimalni, srednji i maksimalni godišnji vodostaji i protoci rijeke Vuke, za mjerne stanice Bračevci, Beletomci i Tordinci za razdoblje od 2000. do 2017. godine. U tom razdoblju Rijeka Vuka je imala je vrlo vlažna (2005. i 2014.) ali i vrlo sušna razdoblja (2000., 2001. i 2012.). Bez obzira na to što mjerne stanice na rijeci Vuki imaju relativno kratak niz mjerenja te prekide u radu, može se doći do očekivanih zaključaka. Analiza srednjih dnevnih, te minimalnih, srednjih i maksimalnih godišnjih vodostaja i protoka rijeke Vuke pokazuje da su vodostaji i protoci u analiziranom razdoblju u opadanju. Izuzetak su minimalni vodostaji i protoci te dnevni i srednji godišnji protoci na mjernoj stanici Beketinci. Rezultati analize su sukladni trendovima na svim, do sada analiziranim, vodotocima u Hrvatskoj.

Analiza malovodnih razdoblja rijeke Vuke na mjernoj stanici Beketinci metodom praga, s obzirom na protok 95 % vjerojatnosti pojave ($Q_{95} = 0,071 \text{ m}^3/\text{s}$), pokazuje da je najveći deficit izmjeren na prijelazu 2000. i 2001. godine jakosti 246.758 m^3 a trajao je 55 dana. Najduže malovodno razdoblje trajanja 65 dana je zabilježeno od veljače do svibnja 2012. godine.

Svakako treba istaknuti i nužnost nastavka mjerenja (mjerna stanica Bračevci) kao i održavanja svih mjernih mjesta na rijeci Vuki, koja se vrlo često opisuju kao "nepouzdana". Rijeka Vuka je važan vodotok, njene se vode koriste za navodnjavanje a postoji i opasnost od njenih velikih voda, pa su nam podatci o vodostajima i protocima dragocjeni.

LITERATURA

- [1] *Hrvatske vode (2014): Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja, Sektor B, Dunav i Donja Drava, Branjeno područje 15: Područje malog sliva Vuka, Zagreb.*
- [2] *Jelenić, M. (2018): Analiza vodostaja i protoka rijeke Vuke, Završni rad, Građevinski fakultet u Osijeku*
- [3] *Mijušković-Svetinović, T., Maričić, S. (2013): Analysis of the Drava River at gauging station Belišće; 13th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Bratislava, Slovakia, 475-486 on CD*
- [4] *Tadić, L., Dadić, T., Bosak, M. (2015): Usporedba različitih metoda za ocjenu suše na kontinentalnom dijelu Hrvatske, Građevinar, 67, 1, 11 - 22*

AUTORI

mr. sc. Tatjana Mijušković – Svetinović ^a

prof. dr. sc. Marija Šperac ^a

Matej Jelenić ^b, bacc. ing. aedif.

^a Građevinski i arhitektonski fakultet Sveučilišta u Osijeku, Vladimira Preloga 3, OSIJEK, 31000, Hrvatska, tatjanam@gfos.hr, msperac@gfos.hr

^b Građevinski i arhitektonski fakultet Sveučilišta u Osijeku, Vladimira Preloga 3, OSIJEK, 31000, Hrvatska, student, matej.jelenic5@gmail.com



R 1.14.

HIDROLOŠKI MODEL ZA KONTINUIRANU SIMULACIJU OTJECANJA U KRŠU

Ivana Bartolić, Mladen Petrićec, Filip Kalinić

SAŽETAK: Unaprjeđenje korištenja i zaštite od voda pretpostavlja razvoj informacijskih sustava u okviru upravljanja hidrotehničkim građevinama. Hidrološki modeli, osim standardnog korištenja u procesu projektiranja (posebno kod tzv. neizučениh slivova), značajno unaprjeđuju upravljanje vodama u realnom vremenu uključivanjem i meteoroloških prognoza. U okviru projekta unaprjeđenja upravljanja i efikasnijeg korištenja voda krškog sliva Zagorske Mrežnice na HE Gojak, razvijen je i hidrološki model otjecanja sa sliva u postojećim uvjetima. Korišten je programski paket HEC-HMS i modul za kontinuiranu simulaciju SMA. Model je kalibriran i verificiran te se može koristiti za simulaciju otjecanja u akumulacijsko jezero Sabljaci. Analizom rezultata simulacije i raspoloživih mjerenja, ukazano je na moguća poboljšanja modela proširenjem sustava meteoroloških mjerenja na slivu.

KLJUČNE RIJEČI: modeliranje, kontinuirana simulacija, otjecanje, krš

HYDROLOGICAL MODEL FOR CONTINUOUS RUNOFF SIMULATION IN THE KARST

ABSTRACT: Improvement of water use and protection assumes a development of information systems in the management of hydrotechnical structures. Hydrological models, besides their standard use in the design process (especially for ungaged basins), significantly improve water management in real time by incorporating meteorological forecasts. As part of the project of improved management and more efficient water use in the karst basin of the Zagorska Mrežnica River at the HPP Gojak, a hydrological model of the basin runoff in the existing conditions was developed. For modelling, the HEC-HMS software package and SMA module for continuous simulation were used. The model has been calibrated and verified and can be used for the simulation of runoff into the Sabljaci Reservoir. The analysis of the simulation results and available measurements indicates that the model could be improved by extending the system of meteorological measurements in the basin.

KEYWORDS: modelling, continuous simulation, runoff, karst

1. UVOD

Unaprjeđenje korištenja i zaštite od voda pretpostavlja razvoj i informacijskih sustava u okviru upravljanja hidrotehničkim građevinama. Temeljna pretpostavka razvoja informacijskih sustava su simulacijski modeli (hidrološki i hidraulički). Osim standardnog korištenja u procesu projektiranja, posebno kod tzv. neizučenih slivova, hidrološki modeli značajno unaprjeđuju upravljanje vodama u realnom vremenu uključivanjem i meteoroloških prognoza. U nedostatku hidroloških mjerenja za potrebe projektiranja hidrološki modeli se uglavnom koriste za simulacije pojedinih kišnih događaja. Njima se za odabrane hidrološke i meteorološke situacije definiraju ulazni podaci za projektne parametre tehničkog rješenja.

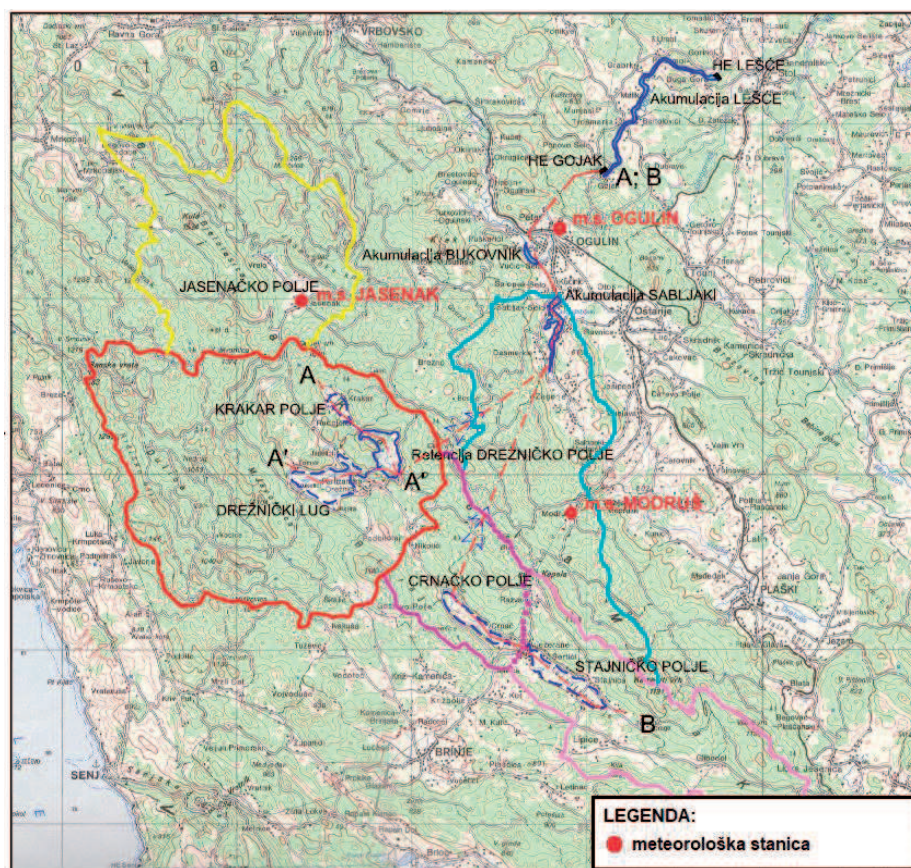
Hidrološki modeli za kontinuiranu simulaciju se koriste za modeliranje dužih vremenskih razdoblja (nekoliko mjeseci ili godina) te na taj način uzimaju u obzir uvjete u tlu kroz cijeli period simulacije. Nasuprot kontinuiranim modelima su modeli za simulaciju pojedinačnih kišnih događaja kod kojih se prethodni uvjeti vlažnosti tla mogu samo pretpostaviti. Hidrološki modeli za kontinuiranu simulaciju su korisni kod planiranja operativnog upravljanja. U procesu upravljanja vodnim sustavima (npr. akumulacijom), modelom se za trenutno stanje na slivu (obraštenost, vlažnost, temperaturu, saturiranost vodom) simuliraju hidrološka stanja za aktualne meteorološke prognoze (oborine, temperature i dr.).

Efikasnije korištenja voda slivnog područja Zagorske Mrežnice na HE Gojak i HE Lešće predviđa se izgradnjom retencije Drežničko polje, koja ima zadaću smanjiti preljeve akumulacijskog jezera Sabljaci. U okviru pripreme izgradnje retencije predviđen je razvoj hidrološkog prognostičkog modela, kao podrška sustavu upravljanja retencijom. U prvoj fazi, za kalibraciju modela postojećeg stanja, usvojen je programski paket HEC-HMS i modul za kontinuiranu simulaciju SMA. Zbog složenosti sliva, osim modula za kontinuiranu simulaciju, u modelu su uključene i retencije na slivnom području. Usvojeni period simulacije i verifikacije modela je 2013. - 2015. godina.

2. ZNAČAJKE SLIVNOG PODRUČJA I REŽIM OTJECANJA

2.1. Topografske i hidrogeološke značajke slivnog područja

Slivno područje Zagorske Mrežnice obuhvaća dijelove Ogulinsko-oštarijske ploče te Veliku Kapelu i na jugozapadnom dijelu naslonjene tzv. Gornje horizonte Zagorske Mrežnice. Stijene su značajne razlomljenosti sa pružanjem slojeva pretežito u smjeru sjeverozapad - jugoistok. U najvećem dijelu slivno područje predstavlja tipičan brdsko planinski krški krajobraz čija slivna površina se procjenjuje na oko 600 km² (EPZ, 2005). Gornji horizonti, odnosno polja, imaju stepenasti položaj u odnosu na izvorište Zagorske Mrežnice koje se nalazi na koti od oko 320 m n.m. Gledajući sa sjevera najviše je smješteno Jasenačko polje, a slijede Krakar i Drežnički lug. S južne strane je Stajničko polje smješteno iznad Crnačkog polja, a na najnižoj koti je samo Drežničko polje (Slika 1).



Slika 1. Sliv Zagorske Mrežnice sa pripadnim podslivovima i lokacijama meteoroloških stanica

Za razvoj modela otjecanja važni su hidrogeološki odnosi sabirnog okruženog područja sliva Zagorske Mrežnice. Topografske i geološke značajke ukazuju na hidrauličku vezu pojedinih polja preko niza izvorišnih i ponorskih zona. Dokazana je povezanost posebno Jasenačkog polja, Krakara, Drežničkog luga i Drežničkog polja, te posebno Stajničkog i Crnačkog polja s izvorišnom zonom Zagorske Mrežnice. Pri tome je ponorska zona Drežničkog polja smještena najniže, tako da se otjecanje iz sjeverozapadnog dijela sliva prema izvorima Zagorske Mrežnice događa preko podzemnog i površinskog dijela prirodne retencije Drežničko polje. Opažanja na Drežničkom i Crnačkom polju ukazuju i na njihovu hidrauličku vezu preko podzemnog dijela slivnog područja. Prirodna retencija Drežničko polje sastoji se od dva međusobno zavisna dijela, površinski dio (poplave polja) i podzemni dio retencije, koji funkcioniraju kao hidrološka-hidraulička cjelina. Podzemna retencija se nastavlja na površinsku retenciju i bitno utječe na preraspodjelu voda tijekom godine. Tijekom kišnog razdoblja najveći dio otjecanja sa sliva se sakuplja u retenciji Drežničko polje. Vode iz retencije dominantno otječu prema izvorištu Zagorske Mrežnice i ulaze u akumulacijsko jezero Sabljaci.

2.2. Meteorološke značajke slivnog područja

Meteorološka mjerenja na slivu Zagorske Mrežnice ukazuju da je područje izrazito bogato oborinama. Najveće oborine javljaju se krajem jesenskog i proljetnog razdoblja, a njihov izmjereni godišnji prosjek značajno oscilira ovisno o položaju mjernih postaja na slivu (od 1300 pa do preko 2200 mm oborina godišnje u višim planinskim područjima). Količina oborina opada u smjeru sjeverozapad - jugoistok. Na utjecajnom području trenutno su aktivne samo dvije meteorološke stanice: Jasenak i Modruš, dok je meteorološka stanica Drežnica prestala s radom 2013. godine. Temeljem korelacijskih analiza za kontrolu i dopunu podataka kišomjernih stanica Modruš i Jasenak se koristi klimatološka stanica Ogulin. Analizom količine oborina i prostornog razmještaja stanica procjenjuje se da ukupni volumen oborine pale na sliv čini: 30 % oborine zabilježene na stanici Jasenak i 70 % na stanici Modruš. Snijeg se na slivu zadržava 70 do 100 dana u godini i topi se porastom temperature. Analizom podataka istjecanja uočavaju se periodi otapanja snijega jer oborina nije zabilježena a dotok se povećava. Ukupna količina oborine obuhvaća svu oborinu koja je pala na sliv što znači da podaci o oborini obuhvaćaju i vodu koja je sadržana u snijegu te nije potrebno dodavati zasebno količinu vode iz snijega. U slučaju da se želi dobiti točnija vremenska dinamika pojave vode kod modeliranja istjecanja potrebno je razdvojiti količinu izmjerene oborine na vodu od kiše i vodu koju sadrži snijeg. Tada bi se moglo modelirati otapanje snijega u funkciji porasta temperature te na taj način dobiti kvalitetnije rezultate vremenske dinamike pojave vode, što se predviđa u fazi unaprjeđenja modela.

Evapotranspiracija (ET) je vrlo važna komponenta hidrološkog ciklusa te ima velik utjecaj na proračun bilance vode riječnog sliva (Senay et al., 2011.). Pod utjecajem je velikog broja fizikalnih faktora (sunčevo zračenje, količina dostupne vode, vlaga vjetar i dr.) i komponenta je vodne bilance koju je najteže izračunati ili izmjeriti (Ivezić et al., 2018).

U dosadašnjim studijama sliva Zagorske Mrežnice (EPZ, 2005, HI, 2017.) prosječna količina evapotranspiracije preuzete su iz studije *Pedološko hidropedološka istraživanja* (EPZ, 2004.) i ista je za sve analizirane godine. U navedenoj studiji proračunata je srednja količina evapotranspiracije po mjesecima za razdoblje 1964. - 1985. te iznosi 724 mm. Obzirom na važnost evapotranspiracije u bilanci vode, u nastavku rada bit će prikazan proračun evapotranspiracije za analizirani niz godina 2013. - 2017.

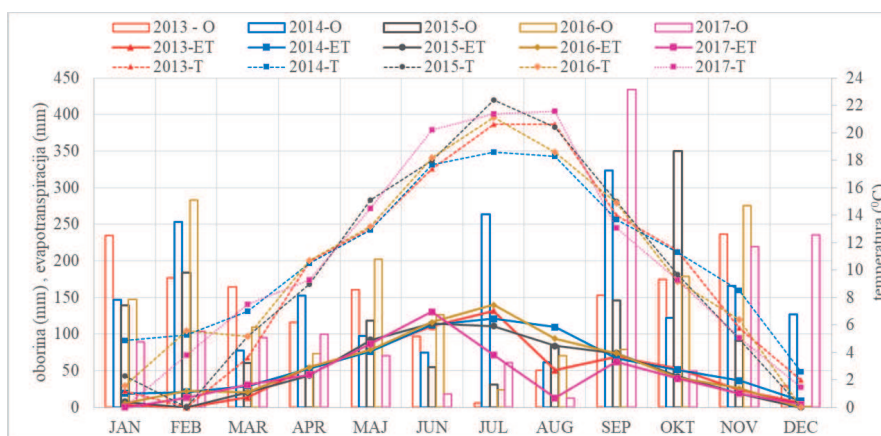
Vrijednosti evapotranspiracije u jednoj točki moguće je odrediti mjerenjem ili proračunom. Postoji više metoda kojima se može odrediti stvarna i potencijalna evapotranspiracija, a obzirom na dostupnost podataka na slivu Zagorske Mrežnice odabrana je metoda Thornthwaita za proračun srednje mjesečne ET za meteorološku stanicu Gospić. Metoda se temelji na određivanju PET prema empirijskom izrazu:

$$PET = 16 \cdot (10 \cdot T/I)^a$$

gdje su: PET - potencijalna evapotranspiracija u mm/mjesec, t - srednja mjesečna temperatura zraka u °C, I - godišnji toplinski indeks koji se dobiva zbrajanjem dvanaest mjesečnih vrijednosti toplinskog indeksa i ($i = t/5$)^{1,514}, a - vrijednost koja se izvodi iz godišnjeg toplinskog indeksa $a = (1,6/100) \cdot I + 0,5$. Da bi se dobivena vrijednost PET mogla koristiti na svim geografskim širinama potrebno je množiti s korekcijskim faktorom k koji ovisi o geografskoj širini (Gospić $\Phi=44^{\circ} 32' 46''$ N). Detaljan opis proračuna dan je

u radu Thornthwaite and Mather (1957.).

Na slici 2 prikazane su srednje mjesečne količine oborine i srednja mjesečna temperatura za period 2013. - 2017. kao i proračunate vrijednosti ET. Vidljiva je značajna varijacija oborina po mjesecima iz godine u godinu dok su temperature ujednačenije. Značajnije varijacije temperature su prisutne u siječnju i veljači odnosno studenom i prosincu. Proračunata ET značajno oscilira po godinama u periodu lipanj-kolovoz tj. u sušnijem dobu godine kada bi retencija Drežničkog polja trebala biti prazna. Prosječna godišnja količina isparavanja za razdoblje 2013. - 2017. iznosi 620 mm što je oko 15 % manje u odnosu na period 1964. - 1985. Vidljivo je kako evapotranspiracija varira iz godine u godinu te ju je za određivanje bilance sliva važno proračunati iz godine u godinu, a ne uzimati istu prosječnu vrijednost.



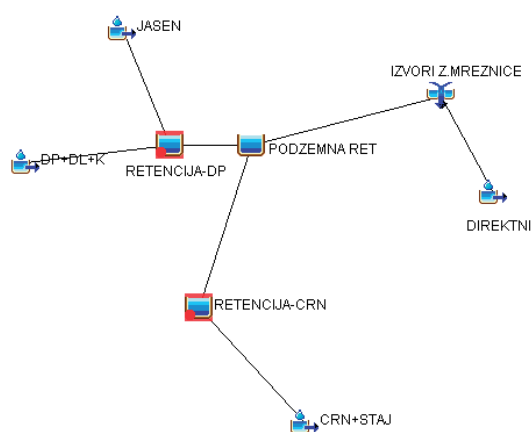
Slika 2. Srednje mjesečne količine oborine i temperature na m.s. Gospić te proračunate vrijednosti stvarne ET po mjesecima za razdoblje 2013. - 2017.

2.3. Hidrološka mjerenja na slivu i bilanca voda

Na slivnom području Zagorske Mrežnice provode se redovita mjerenja stanja i kretanja površinskih voda u poljima Krakar, Drežnički lug, Drežničkom polju, Crnačko polje, i Stajničko polje. Za potrebe modeliranja (kalibracije i verifikacije modela) bitna su mjerenja vodostaja u poljima od kojih se koriste vodostaji zabilježeni u Drežničkom i Crnačkom polju. Osim u poljima, uspostavljen je sustav mjerenja na izvorima Zagorske Mrežnice (izvor Zagorska Mrežnica, izvor Bistrec i Pečina). Hidrogeološka istraživanja su pokazala da vode iz retencije Drežničko polje dominantno teku prema navedenim izvorima iako u pojedinim situacijama vode otječu i u drugim smjerovima. Efektivna oborina određena preko količine oborine i proračunate evapotranspiracije u usporedbi s količinom vode zabilježene na izvorima ukazuje da oko 25-30 % ukupnog otjecanja sa sliva otječe u nekom drugom smjeru, a ne prema izvorima Zagorske Mrežnice.

3. KALIBRACIJA I VERIFIKACIJA MODELA OTJECANJA SA SLIVA

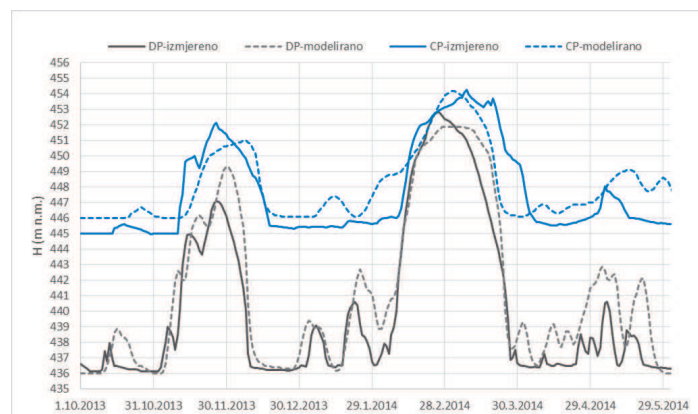
Za simulaciju oborina-otjecanje odabran je programski paket HEC-HMS (Bennett, 1988.) koji za opis pojedine komponente otjecanja koristi različite module. Za proračun volumena otjecanja korišten je modul SMA (Soil moisture accounting), za određivanje direktnog otjecanja Clarkov jedinični hidrogram, a za bazno tečenje metoda linearnih rezervoara. S obzirom da navedeni moduli zahtijevaju veliki broj ulaznih parametara dio parametara je pretpostavljen (početne površine, jednolika raspodjela oborine, početna količina vode u tlu) dok su ostali dobiveni kalibracijom modela (infiltracija, broj linearnih rezervoara, koeficijent linearnih rezervoara, vrijeme koncentracije podslivova). Analizom režima otjecanja, uzimajući u obzir ograničenja modela, definirana je shema sliva prema slici 3.



Slika 3. Shema sliva Zagorske Mrežnice formirana u modelu HEC-HMS

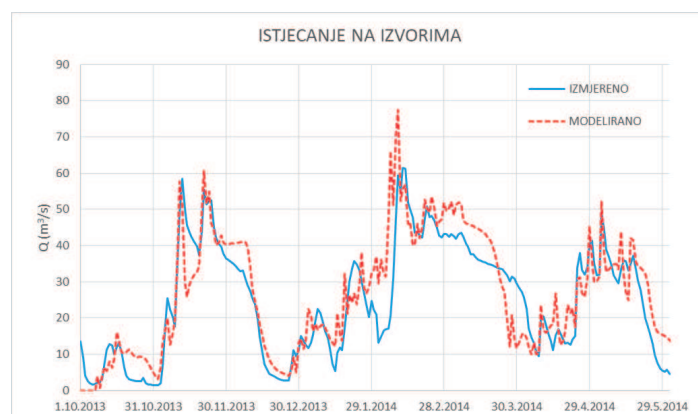
Vode s Crnačkog i Stajničkog polja otječu prema retenciji Crnačko polje gdje se reteniraju i otječu prema podzemnoj retenciji odnosno na izvore Zagorske Mrežnice. Otjecanje s Jasenačkog polja, Drežničkog luga i Krakara se događa preko površinskog i podzemnog dijela retencije Drežničkog polja. Pretpostavka je da dio voda iz podzemne retencije odlazi u smjeru izvora na jezeru Sabljaci, dok „višak“ vode u odnosu na izmjerenu količinu na izvorima otječe u nekom drugom smjeru ili se zadržava u podzemlju.

Kalibracija modela otjecanja je provedena za hidrološku godinu 2013. - 2014. (razdoblje velikih i srednjih voda – listopad - svibanj). Pretpostavljeno je da je podzemna retencija 1.10. prazna te ovisno o režimu oborine i otjecanja sa sliva se puni ili prazni. Za navedeno razdoblje dostupni su podaci o razinama voda u Crnačkom i Drežničkom polju koji su poslužili za kalibraciju parametara podslivova vezanih na retencije, kao i veličina i broja otvora retencije Crnačkog i Drežničkog polja. Površine podslivova su u prvom koraku pretpostavljene prema elaboratu (EPZ, 2005.), a kroz kalibraciju je dobiveno da ukupna slivna površina iznosi 590 km².



Slika 4. Izmjerene i modelirane razine vode u Drežničkom (DP) i Crnačkom polju (CP) za razdoblje 1.10.2013.-31.05.2014.

Na slici 4 prikazani su rezultati izmjerenih i modeliranih razina u Drežničkom i Crnačkom polju za razdoblje listopad 2013. - svibanj 2014. Koeficijent korelacije izmjerenih i modeliranih vrijednosti vodostaja u Drežničkom polju je $R=0,95$ dok je za Crnačko polje $R=0,84$.



Slika 5. Istjecanje na izvorima Zagorske Mrežnice i modelirano istjecanje za razdoblje 1.10.2013.-31.05.2014.

Na slici 5 prikazana je usporedba istjecanja izmjerenog na izvorima Zagorske Mrežnice i modeliranog istjecanja. Koeficijent korelacije iznosi $R=0,88$. Uz pretpostavku da dio vode odlazi u nekom drugom smjeru ili se zadržava u podzemlju (što je potvrđeno kroz bilancu voda), izmjereni volumen istjecanja je oko 8 % veći u odnosu na simulirani volumen. Verifikacija modela je napravljena za razdoblje rujanj 2015. – svibanj 2016. godine. Korelacija između izmjerenih i modeliranih razina u Crnačkom polje je 0,75. Dobiveni koeficijent je manji u odnosu na koeficijent za razdoblje kalibracije modela no još uvijek zadovoljavajući. Korelacija između izmjerenih i modeliranih razina u Crnačkom polje je 0,89 što ukazuje na čvrstu korelacijsku vezu. Koeficijent korelacije kod zabilježenog

i modeliranog istjecanja na izvorima je 0,87 što je približno isto kao i kod kalibracije modela. Navedeni koeficijenti korelacije izmjerenih i modeliranih veličina ukazuju da su parametri modela dobro kalibrirani i da se dobiveni model može koristiti za prognoziranje razina u Drežničkom polju kao i istjecanja na izvorima Zagorske Mrežnice.

ZAKLJUČAK

Upravljanje vodama u realnom vremenu može se značajno unaprijediti korištenjem hidroloških modela i uključivanjem meteoroloških prognoza. U okviru projekta izgradnje retencije Drežničko polje, sa zadaćom smanjivanja preljeva iz akumulacije Sabljaci, predviđen je razvoj hidrološkog prognostičkog modela, kao podrške sustavu upravljanja retencijom. U prvoj fazi razvijen je simulacijski model postojećeg stanja sliva, koji se planira nakon izgradnje retencije nadograditi i koristiti kao prognostički.

Za modeliranje dužeg vremenskog razdoblja, uzimanjem u obzir zasićenosti tla vodom, korišten je hidrološki model HEC-HMS i modul za kontinuiranu simulaciju SMA. Kalibracijom i verifikacijom kontinuiranog hidrološkog modela uočeno je da je programski paket HEC-HMS pogodan za simulaciju otjecanja sa složenog krškog sliva. Analiza meteoroloških mjerenja na slivu ukazuje na mogućnost povećanja točnosti simuliranih i mjerenih veličina vodostaja i protoka razdvajanjem zabilježene oborine na kišu i snijeg. Prema podacima za 2017. godinu visina izmjerenog snijega je iznosila 252 cm što čini značajnu količinu vode s obzirom na koncentrirano topljenje snijega u samo nekoliko tjedana. Proračun evapotranspiracije se razlikuje iz godine u godinu te je uočena važnost proračuna za promatrano razdoblje. Modelom je potvrđen zaključak dobiven bilancom vode na slivu da količina vode koja istječe na izvorima (Zagorska Mrežnica, Pećina i Bistrec) čini oko 70-75 % ukupne količine otjecanja dok ostatak vode otječe u nekom drugom smjeru kretanja vode.

LITERATURA

- [1] Bennett, T. (1988.): *Development and application of a continuous soil moisture accounting algorithm for the hydrologic engineering center hydrologic modeling system* (HEC-HMS). M.S. Thesis., Davis, California
- [2] Elektroprojekt, (2004.): *Pedološko hidropedološka istraživanja*
- [3] Elektroprojekt, (2005): *Retencija Drežničko polje – Energetska valorizacija retencije Drežničko polje*
- [4] Hidroinženjering d.o.o., (2017.): *Retencija Drežničko polje – model otjecanja*
- [5] Ivezić, V.; Bekić, D.; Horvat, B., (2018.): *Modelling of Basin Wide Daily Evapotranspiration with Partial Integration of Remote Sensing Data*, Atmosphere (MDPI), 9(4),120
- [6] Senay, G.B.; Leake, S.; Nagler, P.L.; Artan, G.; Dickinson, J.; Cordova, J.T.; Glenn, E.P.; (2011): *Estimating basin scale evapotranspiration (ET) by water balance and remote sensing methods*. Hydrol. Process., 25, 4037–4049.
- [7] Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. (1957.): *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance by Centerton*, New Jersey

AUTORI

Ivana Bartolić, mag. ing. aedif. ^a

dr. sc. Mladen Petrićec, dipl. ing. građ. ^a

Filip Kalinić, mag. ing. aedif. ^a

^a Tehničko veleučilište Zagreb, Graditeljski odjel, Av. Većeslava Holjevca 15, Zagreb
10010, Hrvatska, ibartolic@tvz.hr, mpetricec@tvz.hr, fkalinic@tvz.hr



R 1.15.

VODNI SUSTAV PLITVIČKIH JEZERA – RECENTNI HIDROLOŠKI MEĐUODNOSI I UTJECAJI

**Maja Radišić, Josip Rubinić, Andrijana Brozinčević, Nikola Markić,
Željka Klemar, Igor Ružić**

SAŽETAK: Plitvička jezera su osebujan vodni sustav površinskih jezera čija je dinamika kolebanja uvjetovana kako hidrološkim prilikama, tako i procesima rasta i erozije sedrenih barijera. Osim unutar godišnjeg kolebanja razine vode u jezerima u ovisnosti o hidrološkim prilikama, jezera karakteriziraju i vrlo raznoliki trendovi višegodišnjih hodova odabranih hidroloških veličina pokazatelja tijekom razdoblja nakon 1953. godine od kada počinju hidrološka praćenja na dvama najvećim jezerima – Prošću i Kozjačkom jezeru. Oborine imaju blagi trend smanjenja njihovih godišnjih količina, srednje godišnje temperature zraka imaju pak trend porasta, dok srednje godišnje protoke karakterizira trend opadanja njihovih vrijednosti. To su uobičajeni trendovi za širi regionalni prostor, uvjetovani prisutnim klimatskim varijacijama i promjenama. No, hod srednjih godišnjih vodostaja pokazuje vrlo raznolik hod - trend porasta do početka devedesetih prošlog stoljeća te trend stagnacije, pa i blagoga opadanja nakon 2001. godine. U radu su analizirane hidrološke prilike koje su mogući uzrok promjene dinamike rasta sedrenih barijera. Ocijenjeno da je naglašenija pojava ekstremnih hidroloških prilika protoka (kako malih voda tako i velikih) tijekom posljednje decenije uzročnik naglašenijih prisutnih procesa erozije sedrenih barijera u odnosu na ranije dominantno prisutan rast sedrenih barijera. Tom zaključku ide u prilog i zabilježeno odlamanje sedrene barijere Milinog jezera tijekom proljeća 2018. godine.

KLJUČNE RIJEČI: NP Plitvička jezera, Proščansko jezero, jezero Kozjak, dinamika rasta sedrenih barijera, hidrološki sustav

WATER SYSTEM OF PLITVICE LAKES – RECENT HYDROLOGICAL INTERRELATIONS AND IMPACTS

ABSTRACT: Plitvice Lakes are a unique water system of surface lakes whose dynamics of fluctuation is caused both by the hydrological conditions and by the processes of growth and erosion of tufa barriers. In addition to annual fluctuations of lake water levels depending on the hydrological conditions, the lakes are also characterized by highly diverse trends of multi-annual data series of the selected hydrological indicators in the period since 1953 when hydrological monitoring on the two largest lakes, Lake Prošće and

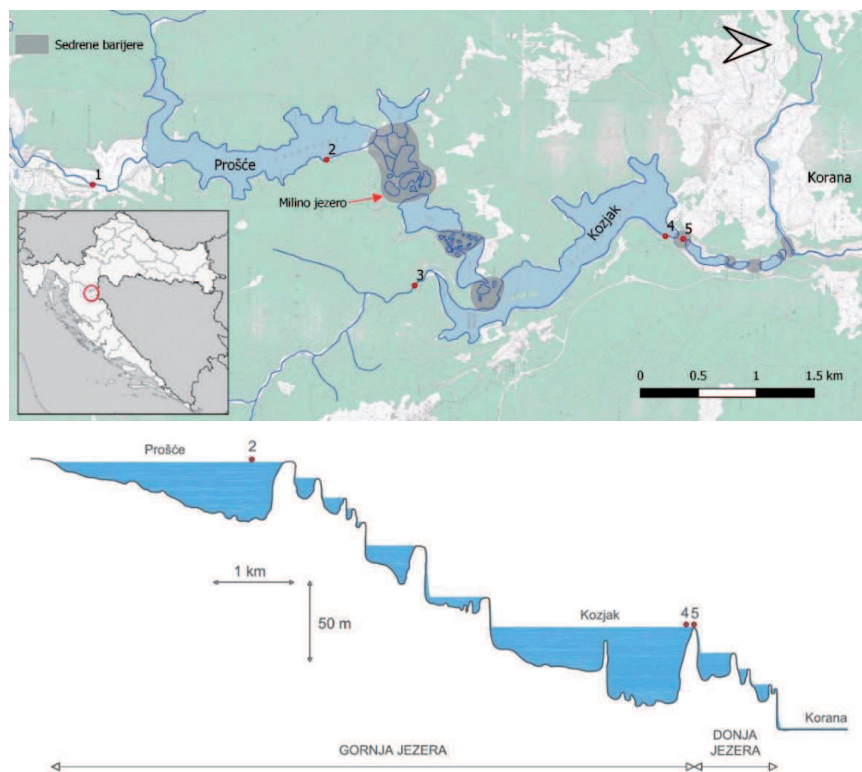
Lake Kozjak, began. The annual rainfall amount has a mild downward trend, the mean annual air temperatures have an upward trend whereas the mean annual discharges show a downward trend. These are common trends in the wider region caused by the existing climate variations and change. However, the mean annual water levels reveal a highly diverse data series – an upward trend until the start of the 1990s, and a stagnating, and even slightly downward trend after 2001. The paper analyses the hydrological conditions that have possibly caused the change in the dynamics of the tufa barrier growth. Our assessment is that extreme hydrological discharge events (both low and high water levels) in the last decade are the cause of a marked presence of erosion processes of tufa barriers in comparison to their earlier dominant growth. This conclusion is also supported by the recorded disintegration of a tufa barrier in Milino Lake during the spring of 2018.

KEYWORDS: NP Plitvice Lakes, Prošće Lake, Kozjak Lake, tufa barrier growth dynamics, hydrological system

1. UVOD

Plitvička jezera su područje naročite prirodne vrijednosti, čiji su temeljni fenomen upravo sedrene barijere. Jezerski sustav čini 16 većih i manjih kaskadno poredanih jezera odijeljenih sedrenim barijerama (Slika 1), koje zbog različite dinamike rasta i erozije pojedinih barijera uvjetuju ne samo različite visinske odnose između pojedinih jezera, nego utječu i na sam broj jezera jer se, na geološkoj vremenskoj skali, neka jezera spajaju, a neka nova nastaju.

Plitvička jezera su osebujan i vrlo osjetljiv hidrološki i biodinamički sustav. Karakteriziraju ga prostorno i vremenske promjene hidroloških značajki i to kako periodične, tijekom unutar godišnjih razdoblja, tako i na višegodišnjoj vremenskoj skali. Promjene hidroloških prilika utječu na biogeno uvjetovane procese rasta sedrenih barijera i na njihovu eroziju, kao i na promjene niza drugih ekoloških značajki tog vodnog sustava. Gotovo svi prirodni procesi koji se odvijaju na cijeloj površini Parka odražavaju se i izražavaju upravo na slapištima i u jezerima. Opstanak i funkcioniranje vodnog sustava Plitvičkih jezera uvjetovan je mnogim faktorima poput geološke podloge, klimatološkim i hidrološkim prilikama, vegetacijskim pokrovom, kakvoćom same vode te fizikalnim, kemijskim i biološkim procesima unutar cijelog ekosustava, a posebno unutar samih jezera. Brzina rasta sedrenog obraštaja na barijerama Plitvičkih jezera dugo je vremena bila predmet interesa niza raznih struka, ali ne i hidrologije, barem ne na način da se brzina rasta sedrenih barijera pokuša kvantificirati na temelju podataka hidrološkog monitoringa. Pri takvim generalnim sagledavanjima rasta barijera ili češće promatrano same sedre na pojedinim dijelovima barijera, za istaći je prije svega radove Pevaleka (1924, 1935, 1938, 1958), Franića (1910), Petrika (1958), Matoničkina i drugih (1971), Stofersa (1975), Srdoča i drugih (1985), Movčana (1983), Emeisa i drugih (1987) Chafetza i drugih (1994), Horvatinić i drugih (2000), Habdije i Stilinović (2005), Golubić i drugih (2008), Miliša i drugih (2010), Božićevi i drugih (2013).



Slika 1. Geografski položaj Nacionalnog parka Plitvička jezera (hidrološke postaje: 1-Matica, 2-Prošće, 3-Rječica, 4-Kozjak most – nova lokacija, 5-Kozjak most – prethodna lokacija)

Prve hidrološke procjene brzine izdizanja sedrenih barijera po cijelom profilu barijera, temeljene su na analizama trendova kolebanja vodostaja i protoka na Kozjačkom jezeru te sagledavanjem konsumpcijskih odnosa u pregradnom profilu (Zwicker i Rubinić, 2005; Rubinić i Zwicker, 2005). Prema tim rezultatima ukupan rast sedrenih barijera, koji sumarno uključuju i procese porasta barijera, ali i njihove erozije, za 39-godišnje razdoblje od 1952. do 1990., iznosio je 22 cm, odnosno prosječno 0,56 cm/god. To je više od dvostruko sporije u odnosu na točkasti podatak o rastu sedre na deblu smreke potopljenom u jezeru Kozjak, gdje je temeljeno na analizi starosti ^{14}C utvrđen prosječan godišnji porast od 1,35 cm (Srdoč i drugi, 1985). Slične procjene o brzini rasta barijera sadržane su i u radu Božićevića i drugi (2013), gdje se, bez iskaza o metodologiji provedene procjene, pa je moguće da se radi o preuzimanju saznanja iz rada Srdoča i drugih (1985), navodi da je u današnje vrijeme prirast barijera prosječno 13 mm godišnje. Puno veći raspon mogućeg rasta barijera, prosječno godišnje 1-3 cm, dao je Petrik (1958), temeljeno na procjenama razlika u geodetskim premjerima položaja jezera koje je stoljeće ranije proveo Omčikus (1855. godine), uz napomenu da se visinski položaj Kozjačkog jezera tijekom tog vremena najmanje mijenjao.

Monitoring hidroloških prilika na Plitvičkim jezerima prekinut je početkom devedesetih godina prošlog stoljeća zbog ratnih prilika te je ponovno postupno uspostavljen početkom novoga milenija. Uočene promjene u razinama vode u jezerima tijekom razdoblja od 2000. do 2011., u odnosu na predratno dugogodišnje razdoblje, bile su predmet interesa radova Bonaccija (2013 a i b) te Brozinčević i drugih (2013). No, iskazani nagli skok u razinama vode prije i nakon prekida i obnove hidroloških mjerenja na jezeru Kozjak ponajviše je bio uvjetovan neodgovarajućim geodetskim podacima o visinskom položaju nove vodokazne letve na obnovljenoj hidrološkoj postaji, a srećom ipak puno manje mogućim drugim uzrocima koji su spominjani u navedenim radovima.

S obzirom na okolnost da je od izrade spomenutih radova proteklo još pet godina, unutar kojih su, uz geodetske korekcije razine vode u Kozjačkom jezeru, zabilježene i neke ekstremne situacije, a u proljeće 2018. godine čak i destrukcija, odlamanje dijela sedrene barijere Milinog jezera, u danom radu detaljnije su analizirani recentni trendovi i mogući uzroci zabilježenih promjena. Rad je izrađen je u sklopu istraživanja na projektu Hidrodinamika Plitvičkih jezera koji se provodi u suradnji triju fakulteta – Prirodoslovno-matematičkog fakulteta iz Zagreba koji je i nositelj projekta, Građevinskog fakulteta u Rijeci koji je nositelj hidroloških istraživanja te Geotehničkog fakulteta iz Varaždina koji je nositelj geokemijskih istraživanja, kao i uz aktivno učešće istraživača NP Plitvička jezera.

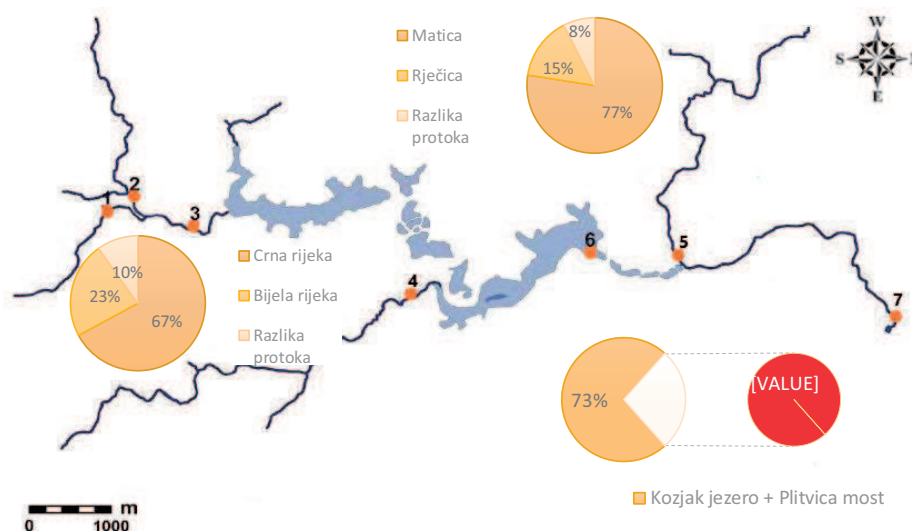
2. HIDROLOŠKE ANALIZE

Sustavni hidrološki monitoring na analiziranom prostoru započeo je početkom pedesetih godina prošlog stoljeća kada su 1951. godine uspostavljene hidrološke postaje na Prošćanskom jezeru, Matici i Plitvici, a 1953. i na Kozjačkom jezeru. Kasnije su postupno obnavljanje kao i osnivanje nove hidrološke postaje i na ostalim pritokama jezera, s prekidom monitoringa tijekom rata u razdoblju od 1991. do 1996. godine. Nakon 1996. godine postupno je započela obnova motrenja na svim ranije uspostavljenim postajama, kao i na nekoliko novih lokaliteta, najprije s registracijom vodostaja, dok se na većini postaja protoci ponovno određuju tek od 2001. godine. Vodokazna postaja Kozjak most, nakon obnove 2000. godine, pomaknuta je s lokacije na samome pješačkom mostu na desnu obalu jezera oko 100 m uzvodno od mosta, čime su se donekle promijenili i visinski odnosi zabilježenih razina vode na toj lokaciji, koja je nekad bila pod utjecajem krivulje depresije zbog promjene pada vodnog lica u zoni utjecaja slapova.

Usporedba srednjih godišnjih protoka u slivu Plitvičkih jezera za razdoblje od 2002. do 2017. (Slika 2) pokazuje da vodotok Matica predstavlja glavni doprinos vode jezerskom sustavu Plitvičkih jezera (prosječan dotok za analizirano razdoblje iznosi $2,26 \text{ m}^3/\text{s}$). Od ove količine vode otprilike 67 % dotječe Crnom rijekom, oko 23 % Bijelom rijekom, a ostatak od oko 10 % čine izravni dotoci. Na izlazu iz jezerskog sustav nema vodomjerne postaje na kojoj bi se mogao mjeriti protok. Najbliža je ona na izlazu iz jezera Kozjak gdje istječe oko $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Doprinos Matice je oko 77 %, 15 % je dotok vodotoka Rječica, a 8 % je doprinos izravnih slivova Prošćanskog jezera, Gornjih jezera i jezera Kozjak i dotoka vodotoka Sušanj.

Na samom izlazu iz sliva Plitvičkih jezera nema postaje koja ima dovoljno dugi niz podataka (tek 2016. godine uspostavljena je hidrološka postaja Sastavci) te je analiza napravljena za prvu nizvodnu postaju na rijeci Korani u profilu Luketići. Ovim dijelom

Korane protječe oko 2,3 m³/s. Usporedbom dotoka u gornji tok Korane (podaci s profila Kozjak most + Plitvica) i protoka na profilu Luketići vidljivo je da su na analiziranoj dionici toka Korane prisutni značajni gubici, a koji na razini godišnjih vrijednosti iznose 0,964 m³/s za razdoblje od 2002. do 2017. godine. Najveći gubici bili su 2014. godine i iznosili su 1,68 m³/s. Samo jedne godine (2010.) nije bilo evidentiranih gubitaka. Radi se o jednom uprošćenom prikazu međuodnosa dotoka i gubitaka iz jezerskog sustava, u kome nisu obračunavani dotoci s hidrološki nekontroliranih dijelova sliva kao i uslijed palih oborina na jezersku površinu, gubici na isparavanje s jezerske površine kao ni na poniranje voda. No, i s takvim uprošćenim proračunom iskazani bilančni međuodnosi ukazuju na dominantni bilančni utjecaj dotoka iz najuzvodnijeg dijela sliva koga čine Bijela i Crna Rijeka koji se zajednički prate na hidrološkoj postaji Matica, kao i na bilančne odnose na cjelokupnom nizvodnijem području sustava Plitvičkih jezera kroz koja se relativno brzo propagiraju protoke s uzvodnijeg područja.

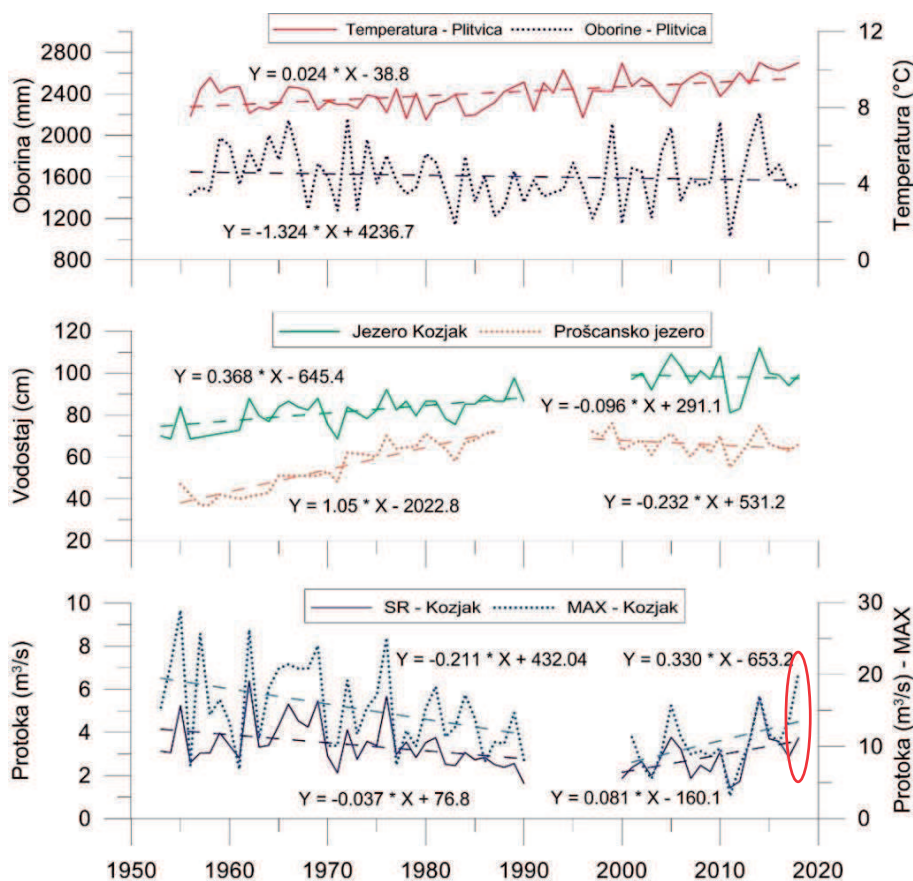


Slika 2. Usporedba srednjih godišnjih protoka u slivu Plitvičkih jezera za razdoblje od 2002. do 2017.

Hidrološke postaje: 1 – Crna rijeka, 2 – Bijela rijeka, 3 – Matica, 4 – Rječica, 5 – Plitvica, 6 – Kozjak most, 7 – Korana-Luketići (novelirano o odnosu na Meaški, 2011.)

Ukoliko se prate propagacije velikih vodnih valova na satnoj vremenskoj skali, utvrđeno je da se nakon pojave vršne vrijednosti hidrograma vodnog vala na Matici maksimalne vrijednosti hidrograma dotoka u Kozjačko jezero javljaju u prosjeku za svega 10 sati zakašnjenja. Radi se dakle o vrlo brznoj propagaciji velikih voda kroz jezerski sustav ukupnog volumena od oko 23 milijuna m³. No, ta se propagacija ne odvija u nekim stacionarnim uvjetima, već je ovisna o prethodnom stanju hidroloških prilika, kao i o samoj morfologiji jezerskog sustava u kome se odvijaju procesi rasta i erozije sedrenih barijera. Velike vode su pokretači erozije i destrukcije barijera, kao što je bio slučaj iz travnja 2018. godine. Dana 18. ožujka 2018. došlo je do velikog vodnog vala vršne protoke

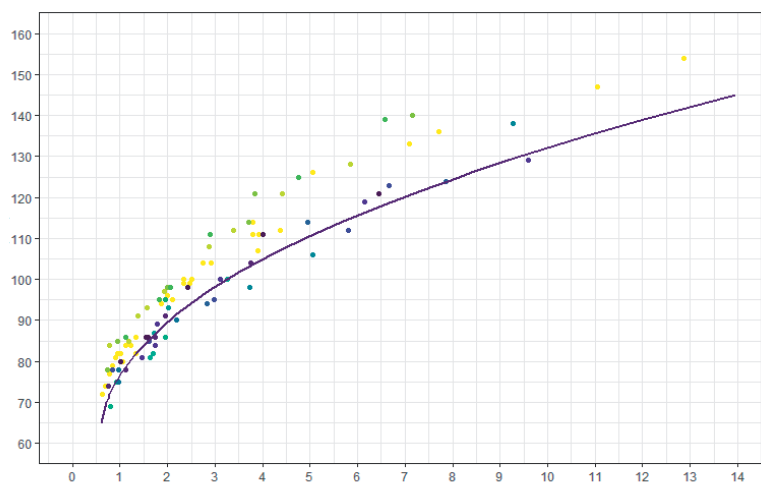
od oko $20,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ na postaji Kozjak, kakve velike vode prethodno nisu zabilježene čak od 1976. godine. Nakon samo 14 dana (1. travnja 2018.) ponovno je došlo do pojave velikog vodnog vala vršne protoke od $19,9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ na postaji Kozjak. Kao posljedica protjecanja dvaju velikih vodnih valova u kratkom vremenu, došlo je najprije do puknuća, a onda i do jake erozije barijere na Milinom jezeru, nakon čega su se promijenili uvjeti istjecanja i protjecanja u njemu, a samo jezero drastično smanjilo svoje normalno vodno lice. Očito je da su trendovi hoda pojedinih hidroloških veličina važan indikator hidroloških i morfoloških procesa. Na slici 3 dan je prikaz hoda ukupnih godišnjih oborina i srednjih godišnjih temperatura zraka na postaji Plitvica te srednjih godišnjih vodostaja i protoka na hidrološkim postajama Prošće i Kozjak most u razdoblju od 1953. do 2018. godine. Klimatološki podaci s lokacije meteorološke postaje Plitvica su dijelom nadopunjeni preko promatranih podataka s postaje Slunj.



Slika 3. Prikaz hoda ukupnih godišnjih oborina i srednjih godišnjih temperatura zraka na postaji Plitvica te srednjih godišnjih vodostaja i protoka na hidrološkim postajama Prošće i Kozjak most (1953. – 2018.)s označenom situacijom djelomičnog loma barijere na Milinom jezeru u proljeće 2018.

Vidljivo je da je srednje godišnje temperature zraka pokazuju ustaljeni trend povećanja, dok kod oborina nema izraženog trenda njihova hoda. Analizirano razdoblje praćenja vodostaja i protoka podijeljeno u dva dijela – prijeratno razdoblje od 1953. do 1990. i poslijeratno razdoblje od 1996. do 2018., a analizirani podaci pokazuju različite trendove. Podaci o srednjim godišnjim protokama, pokazuju izraženi trend opadanja za prijeratno razdoblje te trend porasta za kasnije razdoblje, dok podaci o vodostajima na oba jezera pokazuju obrnuti trend od protoka - povećanje za prijeratno razdoblje te blagi trend opadanja u kasnijem razdoblju.

Na temelju analize spomenutih trendova, provedena je i usporedba dinamike rasta sedrenih barijera Kozjačkog jezera do devedesetih godina prošlog stoljeća (Zwicker i Rubinić, 2005), kao i za recentno novije razdoblje (2001. - 2017.). Prema provedenim analizama, pri čemu je korištena metodologija opisana u radu Zwicker i Rubinića (2005), utvrđeno je da je tijekom tog recentnog skoro 20-godišnjeg razdoblja došlo do promjene dinamike rasta, i da je u novije doba dominantniji proces erozije, a ne rasta barijera. Na temelju analiziranih trendova hoda srednjih godišnjih vodostaja, prosječno sniženje spomenute barijere iznosi 0,59 cm/god, dok prema provedenim analizama hoda najmanjih godišnjih vodostaja dinamika prosječnog sniženja barijere iznosi 0,45 cm/god. Obzirom na okolnost da se pri procjeni dinamike promjena na barijerama podaci o srednjim godišnjim vrijednostima izvedeni iz daleko većeg broja sudjelujućih članova niza u odnosu na jedan godišnji podatak o zabilježenom minimumu, kao vjerodostojniji podatak može se uzeti podatak o prosječnom godišnjem sniženju barijere od 0,59 cm/god. Radi usporedbe, za razdoblje od 1952. do 1990., prosječan prirast spomenute barijere, koristeći oba niza podataka, iznosio je prosječno 0,56 cm/god. Sličan hod ima i hod razne vode/prirasta barijere u Proščanskom jezeru, iako ga se ne može kvantificirati na prije opisani način iz razloga što nedostaju kontinuirana praćenja protoka na mjestu prelijevanja iz Proščansko jezero.



Slika 4. Prikaz rezultata vodomjerenja na postaji Kozjak most tijekom razdoblja 2000.-2018. te konsumpcijska krivulja za 2017. godinu

Vjerojatni razlog tome je erozija barijera i smanjenje obraštaja na njima, a što se najbolje može uočiti iz međuodnosa rezultata vodomjerenja provedenih tijekom razdoblja od 2000. do 2017. te posljednje definirane konsumpcijske krivulje – one za 2018. godinu, na kojoj je vidljiv njen pomak udesno u odnosu na rezultate ranijih vodomjerenja, odnosno veća protočnost pri jednako velikom stupcu vode iznad sedrenih barijera Kozjačkog jezera (Slika 4).

ZAKLJUČAK

Dani rad sadrži pregled stanja hidrološkog sustava Plitvičkih jezera i međuodnosa u njemu. Rezultati istraživanja recentnih međuodnosa dinamike kolebanja razine vode u dvama najvećim jezerima, Kozjačkom i Prošćanskom, pokazuju promjene dinamike rasta sedrenih barijera, odnosno nadvladavanja komponente erozije barijera u odnosu na rast barijera, tako da je za razdoblje od 2000. do 2017. iskazano prosječno sniženje Kozjačke barijere od 0,59 cm/god. K tome, u proljeće 2018. godine došlo je i do pucanja i rušenja dijela barijere na najmanjem, Milinom jezeru. Vjerojatni razlog tim promjenama su povećane vrijednosti maksimalnih protoka, zabilježene posljednjih godina, koje svojom kinetičkom energijom potenciraju erozijske procese kako samih sedrenih barijera, tako i obraštaja na njima. Rezultati prikazani u danom radu su preliminarni iz razloga što dio korištenih klimatoloških i hidroloških podloga iz 2018. godine još nije prošao uobičajenu verifikaciju već su korištene izvorno osmotrene vrijednosti.

ZAHVALA

Rezultati ovoga rada vezani su za istraživanja provedena u okviru projekta „Hidrodinamika Plitvičkih jezera“ financiranog od strane JU NP Plitvička jezera. Ovaj rad je sufinanciralo i Sveučilište u Rijeci projektom uniri-tehnic-18-298.

LITERATURA

- [1] Bonacci, O. (2013 a): *Zabrinjavajući hidrološki trendovi na Plitvičkim jezerima*, Hrvatske vode 84, 137-146.
- [2] Bonacci, O. (2013 b): *Zabrinjavajući hidrološki trend u slivu Plitvičkih jezera – Dodatak*, Hrvatske vode, 85, 243.
- [3] Božičević, S., Sremac, J., Marković, I. (2013): *Plitvička jezera – desetljeća svjedočenja znanstvenika*, Vijesti HGD-a, 50, 1–10.
- [4] Chafetz, H. S., Srdoč, D., Horvatinčić, N. (1994): *Early diagenesis of Plitvice Lakes waterfall and barrier travertine deposits*, Géogr. Phys. Quatern., 48, 247–255.
- [5] Emeis K-C, Richnow H.H. and Kempe S. (1987): *Travertine formation in Plitvice Lakes National Park, Yugoslavia: chemical versus biological control*, Sedimentology, 34, 595-609.
- [6] Franić, D. (1910): *Plitvička jezera i njihova okolica*, vlastita autorova naklada, Zagreb, 439 str.
- [7] Golubić, S., Violante, C., Plenković-Moraj, A., Grgasović, T. (2008): *Travertines and calcareous tufa deposits: an insight into diagenesis*, Geol. Croat., 61, 363–378.

- [8] Habdija, I., Stilinović, B. (2005): *Istraživanje stope osedavanja i brzine travertinizacije sedrenih barijera na području NP Plitvička jezera – završni izvještaj*, Prirodoslovno matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [9] Horvatinčić N., Čalić R. and Geyh M. A. (2000): *Interglacial Growth of Tufa in Croatia*, Quaternary Research, 53, 185-195.
- [10] Matoničkin, I., Pavletić, Z., Tavčar, V., Krkač, N. (1971): *Limnološka istraživanja reikotopa i fenomen protočne travertinizacije u Plitvičkim jezerima*, Acta biol. 7/1, Prirodoslovna istraživanja JAZU, 45-68.
- [11] Meaški, H. (2011): *Model zaštite krških vodnih resursa na primjeru nacionalnog parka „Plitvička jezera“*, Doktorska disertacija, Sveučilišta u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 210 str.
- [12] Miliša, M., Belančić, A., Matoničkin Kepčija, R., Sertić-Perić, M., Ostojić, A., Habdija, I. M., (2010): *Calcite deposition in karst waters is promoted by leaf litter breakdown and vice versa*, Annales de limnologie, 46/4, 225-232.
- [13] Movčana, J. (1983): *ref. u Carsus Jugoslaviae (Krš Jugoslavije)*, 11/4-6, 101-204.
- [14] Petrik, M. (1958): *Prinosi hidrologiji Plitvica*, Nacionalni park Plitvička jezera (ur. Šafar, J.), Poljoprivredni nakladni zavod, Zagreb, 49-173.
- [15] Pevalek, I. (1924): *La travertine phytogene des lacs de Plitvic*, Actes du I Congres des ethnographes et geographes a Prague, Prag, 207-208.
- [16] Pevalek, I. (1935): *Der Travertin und die Plitvice Seen*, Verh. Int. Ver. Limnol., 7, 165-181.
- [17] Pevalek, I. (1938): *Biodinamika Plitvičkih jezera i njezina zaštita*, Zaštita prirode 1, Zagreb, 40-61.
- [18] Pevalek, I. (1958): *Biodinamika Plitvičkih jezera i njena zaštita*, Nacionalni park Plitvička jezera, Zagreb, 275-293.
- [19] Rubinić, J., Zwicker, G. (2005): *Dinamika recentnog rasta sedrenih barijera Plitvičkih jezera*, Zborniku sažetaka Trećeg hrvatski geološki kongres, Opatija 29.09.-01.10.2005., Zagreb, Croatia, 233-234.
- [20] Srdoč, D., Horvatinčić, N., Obelić, B., Krajcar, I., Sliepčević, A. (1985): *Procesi taloženja: calcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička jezera (Calcite deposition processes in karst waters with special emphasis on the Plitvice Lakes, Yugoslavia)*, Krš Jugoslavije, Jugosl. akad. znan. umjet., 11/4-6, Zagreb, 101-204.
- [21] Stofers, P. (1975): *Recent carbonate sedimentation in the lake of Plitvice (Jugoslavia)*, Neues Jahrb. Miner. Mh., 9, 412-418.
- [22] UNESCO: <http://whc.unesco.org/en/list/98> (2.4.2019.)
- [23] Zwicker G., Rubinić, J. (2005): *Water Level Fluctuations as an Indicator of Tufa Barrier Growth Dynamics in the Plitvice Lakes*, RMZ - Materials and Geoenvironment. 52/1, 161-163.

AUTORI

Maja Radišić, mag. ing. aedif. ^a

dr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ. ^a

Andrijana Brozinčević, mag. ing. bioproc. ^b

Nikola Markić, dipl. ing. geol. ^b

Željka Klemar, mag. math. ^c

dr. sc. Igor Ružić, dipl. ing. građ. ^d

^a Građevinski fakultet u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska,
maja.radisic@uniri.hr, jrubic@uniri.hr

^b NP Plitvička jezera, Znanstveno-stručni centar „Dr. Ivo Pevalek“, Josipa Jovića 19,
Plitvička Jezera, 53231, Hrvatska, andrijana.brozincevic@np-plitvicka-jezera.hr,
nikola.markic@np-plitvicka-jezera.hr

^c Državni Hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10000, Hrvatska,
klemar@cirus.dhz.hr

^d Građevinski fakultet u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska,
iruzic@uniri.hr



R 1.16.

MOGUĆI UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA OTJECANJE KORANE KOD LUKETIĆA

Dušan Trninić, Tomislava Bošnjak

SAŽETAK: U radu se analiziraju osnovne klimatske karakteristike šireg područja NP Plitvička jezera, kao i mogući utjecaj klimatskih promjena na otjecanje Korane kod Luketića kao izlaznog hidrološkog profila iz sustava Plitvičkih jezera, koji se nalazi na izvoru Korane, i na kojem postoje kontinuirani nizovi hidroloških podataka za razdoblje: 1978. - 2017. godina. Analiza mogućeg utjecaja klimatskih promjena temelji se na podacima za dva osnovna klimatska parametra: temperaturi zraka i oborinama (u obliku kiše i snijega) za Glavne meteorološke stanice: Parg, Ogulin, Karlovac i Rijeka, koje se nalaze na širem području NP Plitvička jezera. Iz rezultata usporedbe klimatskih parametara za različita 30-godišnja razdoblja: 1961. - 1990. (bazični, referentni niz za usporedbu), i druga dva razdoblja: 1971. - 2000. i 1981. - 2010., vidi se porast srednje temperature zraka, opadanje količine oborina i smanjivanje maksimalnih dnevnih visina snijega. Iz ovih podataka može se steći orijentacioni uvid u stabilnost klimatskih prilika analiziranog područja, kao i da njihova promjenjivost može biti indikacija mogućih klimatskih promjena. Za određivanje karakteristika hidrološkog režima, izradu vodne bilance, praćenja klimatskih varijabilnosti i promjena na slivu NP Plitvička jezera potrebni su kvalitetni podaci dugotrajnih meteoroloških i hidroloških vremenskih serija, uz napomenu da zbog Domovinskog rata i njegovih posljedica nije bilo motrenja u razdoblju: 1991. - 1995., a mnoge uništene stanice obnovljene su tek zadnjih godina. Zatopljenje u klimatskom sustavu je nedvosmisleno. Iako svi mislimo da se klimatske promjene tiču nekoga drugoga, znanstvenici upozoravaju da nitko neće biti pošteđen utjecaja globalnog zatopljenja i klimatskih promjena.

KLJUČNE RIJEČI: klimatske promjene, otjecanje, Korana kod Luketića, temperatura zraka, oborina, trend

POSSIBLE IMPACT OF THE CLIMATE CHANGE ON THE KORANA RIVER RUNOFF AT LUKETIĆ

ABSTRACT: The paper analyzes the main climate characteristics of the NP Plitvice Lakes greater area and a possible impact of the climate change on the Korana River runoff at Luketić. It is the output hydrological profile from the Plitvice Lakes system, located at the Korana River source, for which there are continuous series of hydrological data for

the 1978-2017 period. The analysis of a possible impact of the climate change is based on the data for two basic climate parameters, air temperature and precipitation (rain and snow), collected at the main meteorological stations - Parg, Ogulin, Karlovac and Rijeka in the NP Plitvice Lakes greater area. A comparison of the climate parameters for different 30-year periods: 1961 - 1990 (basic, reference series for comparison) and another two periods: 1971 - 2000 and 1981 - 2010, show an increase in the mean air temperature, a decrease in precipitation quantities and a lowering of maximum daily snow depths. These data offer a rough insight in the stability of climate conditions in the subject area and indicate that their variations could be affected by the climate change. The determination of the hydrological regime characteristics, establishment of the water balance, monitoring of the climate variability and changes in the NP Plitvice Lakes basin requires high quality data of long-term meteorological and hydrological time series. It should be noted that the monitoring was suspended during the Homeland War in the 1991 - 1995 period and that numerous stations have been reconstructed only recently. The warming within the climate system is undeniable. Although the general opinion may be that the climate change affects someone else, scientists warn that no one will be spared from the impact of global warming and the climate change.

KEYWORDS: climate change, runoff, Korana River at Luketić, air temperature, precipitation, trend

1. UVOD

Na području Plitvičkih jezera posljednjih godina događaju se, između ostalih, i značajne meteorološke, hidrološke, morfološke, psamološke i druge promjene. Neki od rezultata analiza temperature zraka, oborina u obliku kiše i snijega te godišnjeg otjecanja prezentirani su u ovom radu. Ovdje treba naglasiti i na sve prisutnije i znanstveno verificirane klimatske varijabilnosti i promjene, te na sve izražajnije antropološke utjecaje na hidrološki režim. Zbog kvalitete podataka i duljina raspoloživih vremenskih serija trebalo je analizirati šire područje NP Plitvička jezera.

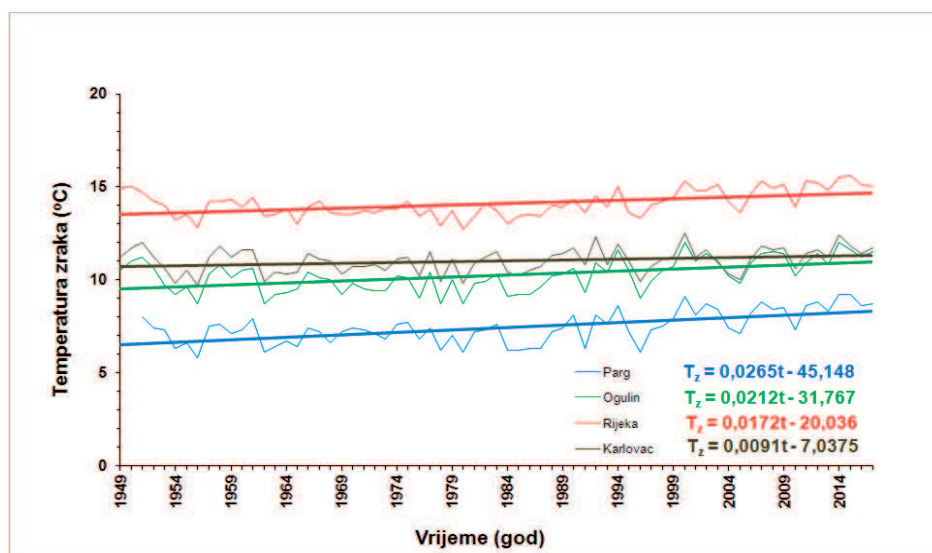
Karakteristike godišnjeg otjecanja obrađeno je na hidrološkom profilu i podacima Korane kod Luketića koji se nalazi na izlazu iz sustava Plitvičkih jezera i njihovih pritoka, i ima relativno dugačku vremensku seriju o protocima vode: 1978. - 2017. (n = 40 god.).

Kod pisanja ovoga rada najviše su se koristili podaci, rezultati i preporuke: (Zaninović i drugi, 2008), (Güttler i drugi, 2011), (DHMZ, 2019), (Trninić, 2014) i (WMO, UNEP, 2008).

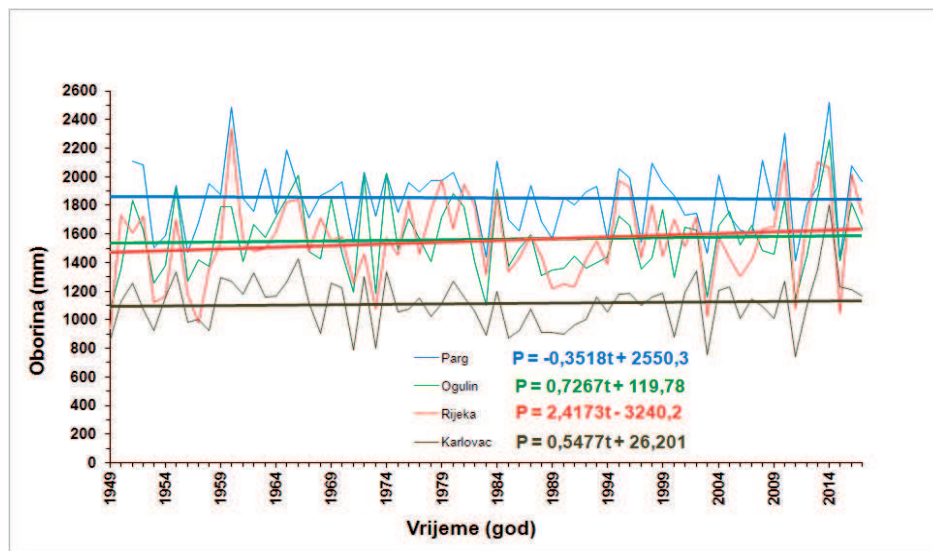
2. KLIMATSKE KARAKTERISTIKE ANALIZIRANOG PODRUČJA

U radu su analizirane osnovne klimatske karakteristike šireg područja NP Plitvička jezera samo na temelju dva osnovna klimatska parametra: temperaturi zraka i oborini (u obliku kiše i snijega), prema podacima Glavnih meteoroloških stanica (GMS): Parg, Ogulin, Rijeka i Karlovac, u razdoblju: 1949. - 2017. Podaci s klimatoloških stanica: Plitvička jezera (nalazi se unutar sliva) dok se stanice: Brinje, Otočac, Korenica, Plaški i Slunj nalaze izvan slivnog područja Plitvičkih jezera. Na ovim stanicama, podaci imaju, veće ili manje, prekide u vremenskim serijama, a na svim stanicama, zbog Domovinskog rata

i njegovih posljedica, nije bilo motrenja i mjerenja u razdoblju: 1991. - 1995. Mnoge stanice, pretrpjele su ogromne štete, a neke su obnovljene tek zadnjih godina. Na slici 1. prikazani su pretpostavljeni linearni trendovi srednjih godišnjih temperatura zraka na širem području NP Plitvička jezera u razdoblju: 1949. - 2017. Iz tih rezultata se vidi da je na podacima GMS Parg i Ogulin izračunato povećanje temperature od 0.03 °C/godišnje, dok je to povećanje na podacima GMS Rijeka 0.02 °C/godišnje, odnosno na podacima GMS Karlovac 0.01 °C/godišnje. Na slici 2. prikazani su pretpostavljeni linearni trendovi godišnjih količina oborina na širem području NP Plitvička jezera u razdoblju: 1949. - 2017. Iz tih rezultata se vidi da je na podacima GMS Rijeka izračunato povećanje količina oborina od 2.42 mm/godišnje, na podacima GMS Ogulin izračunato povećanje količine oborina je 0.78 mm/godišnje, na podacima GMS Karlovac povećanje je 0.55 mm/godišnje, dok je na podacima GMS Parg izračunato smanjivanje količina oborina od 0.40 mm/godišnje.



Slika 1. Trendovi srednjih godišnjih temperatura zraka na širem području NP Plitvička jezera u razdoblju: 1949. - 2017.



Slika 2. Trendovi godišnjih količina oborina na širem području NP Plitvička jezera u razdoblju: 1949. - 2017.

2.1. Usporedba klimatskih parametara-normala

Također su analizirane osnovne klimatske karakteristike šireg područja NP Plitvička jezera na temelju samo dva osnovna klimatska parametra: temperature zraka (t) i oborina (kiša- R i snijega S) za podatke GMS Parg, Ogulin i Rijeka za različita 30-godišnja razdoblja: 1961. - 1990. (bazični-referentni niz za usporedbu) i druga dva razdoblja: 1971. - 2000. i 1981. - 2010. godina (tablica 1.)

Tablica 1. Usporedba klimatskih parametara-normala: temperature zraka(t) i oborina: kiša (R) i snijega (S), za različita 30-godišnja razdoblja na širem području NP Plitvička jezera

PARG			
Parametar	1961.-1990.	1971.-2000.	1981.-2010.
t (°C)	7.0	7.2	7.6
T_{\max} (°C)	33.5	33.5	33.5
T_{\min} (°C)	-21.7	-21.7	-21.7
R (mm)	1849.0	1840.9	1813.8
R_{\max} (mm)	2188.5	2106.4	2307.0
R_{\min} (mm)	1438.2	1438.2	1438.2
$R_{d \max}$ (mm)	173.5	226.7	226.7
$S \geq 1$ (d)	103.6	99.7	95.9
$S \geq 10$ (d)	64.8	63.8	65.5
$S \geq 30$ (d)	31.9	31.2	30.7
$S \geq 50$ (d)	13.2	12.7	13.1
S_{\max} (cm)	156	151	141
OGULIN			
Parametar	1961.-1990.	1971.-2000.	1981.-2010.
t (°C)	9.7	9.9	10.4
T_{\max} (°C)	38.0	38.0	38.0
T_{\min} (°C)	-26.1	-24.5	-24.5
R (mm)	1577.2	1524.8	1513.4
R_{\max} (mm)	2022.7	2022.7	1915.0
R_{\min} (mm)	1103.2	1103.2	1103.2
$R_{d \max}$ (mm)	110.8	110.8	110.8
$S \geq 1$ (d)	70.7	63.0	62.1
$S \geq 10$ (d)	41.8	37.1	39.7
$S \geq 30$ (d)	15.8	13.3	14.6
$S \geq 50$ (d)	5.9	4.1	5.0
S_{\max} (cm)	110	87	83
RIJEKA			
Parametar	1961.-1990.	1971.-2000.	1981.-2010.
t (°C)	13.6	13.8	14.2
T_{\max} (°C)	35.8	38.1	40.0
T_{\min} (°C)	-11.4	-11.4	-11.4
R (mm)	1561.4	1552.4	1548.6
R_{\max} (mm)	1973.4	1973.4	2115.9
R_{\min} (mm)	1075.8	1075.8	1021.4
$R_{d \max}$ (mm)	210.3	210.3	204.5
$S \geq 1$ (d)	2.3	1.4	1.4
$S \geq 10$ (d)	0.5	0.4	0.4
$S \geq 30$ (d)	0.0	0.0	0.0
$S \geq 50$ (d)	0.0	0.0	0.0
S_{\max} (cm)	52	52	28

Iz podataka tablice 1. vidi se porast srednje temperature zraka, smanjivanje količine oborina, kao i smanjivanje maksimalnih dnevnih visina snijega, u odnosu na bazično razdoblje: 1961. - 1990. godina. Usporedbom klimatskih parametara, u našem slučaju samo temperatura zraka i oborina (u obliku kiše i snijega), za različita 30-godišnja razdoblja: 1961. - 1990., 1971. - 2000. i 1981. - 2010., može se steći orijentacioni uvid u stabilnost klimatskih prilika ili njihova promjenjivost može biti indikacija mogućih klimatskih promjena na analiziranom području.

Ovdje je važno istaknuti da je obrađena homogenizacija vremenskih serija srednjih godišnjih temperatura zraka za podatke sa GMS Parg, Ogulin i Rijeka za razdoblje 1961. - 1990. (Zaninović i drugi, 2008). Vremenske serije postaju nehomogene zbog: premještanja stanice, promjene motritelja, instrumenta, okoliša, pravila motritelja i sl. Ovdje treba spomenuti da je Komisija za klimatologiju Svjetske meteorološke organizacije (WMO) na zasjedanju u XI. 2001., odlučila da se razdoblje 1961. - 1990. koristi kao bazični-referentni niz za usporedbu, sve do završetka slijedećeg niza 1991.-2020. tj. do 2021. godine.

3. PROMJENE VARIJABILNOSTI I KLIME

Mnogo se govori i piše o klimi i klimatskim promjenama, s naglaskom kako je utjecaj čovjeka na klimu i klimatski sustav očigledan u većini područja na svijetu. Ističe se vrlo visoka vjerojatnost da je utjecaj ljudskih aktivnosti dominantan uzrok globalnog zatopljenja od sredine 20. stoljeća. Na to ukazuje sve više znanstvenih dokaza koji proizlaze iz sve brojnijih i kvalitetnijih opažanja, mjerenja te povećanog razumjevanja procesa u klimatskom sustavu i poboljšanih klimatskih modela (Güttler i drugi, 2011). Zatopljenje u klimatskom sustavu je nedvosmisleno. Trinaest od četrnaest najtoplijih godina otkako postoje službena mjerenja sva su se dogodila u 21. stoljeću, a svako od posljednja tri desetljeća bila su toplija od prethodnog, kulminirajući u razdoblju od 2001. do 2010., najtoplijem desetljeću otkako postoje službena mjerenja, odnosno od 1850. U Državnom hidrometeorološkom zavodu intenzivno se radi na metodi dinamičke prilagodbe (downscaling) kojom se izlazni rezultati globalnog klimatskog modela prilagođavaju manjem području uz pomoć regionalnog klimatskog modela. Dakle, rezultati klimatske varijabilnosti i promjena se s relativno grube rezolucije (200-300 km) prilagođuju finoj prostornoj rezoluciji (20-50 km).

Potvrđeno je da su 2015., 2016., 2017. i 2018. bile četiri najtoplije godine u povijesti mjerenja, što je jasan znak kontinuiranih dugoročnih klimatskih promjena koje se povezuju s rekordnim koncentracijama stakleničkih plinova u atmosferi.

Konsolidirana analiza pet vodećih međunarodnih baza podataka koju je provela WMO pokazala je da je prosječna globalna temperatura zraka 2018. bila za oko 1.0 °C (uz mogućnost odstupanja od 0.13 °C) viša od polazne vrijednosti predindustrijskog razdoblja (1850. - 1900.), što je čini četvrtom najtoplijom godinom u povijesti mjerenja. Godina 2016., kada je bio prisutan utjecaj snažnog El-Niña, i dalje je najtoplija godina u povijesti mjerenja, s temperaturom za 1.2 °C višom od polazne vrijednosti predindustrijskog razdoblja (DHMZ, 2019).

Međutim, ima i onih koji o ovoj problematici razmišljaju na drugi način. Oni smatraju kako su vrijednosti zabilježene u posljednjih deset godina jasno pokazale da povećanje emisije ugljičnog dioksida nije povezano s promjenom temperature. Osim toga, kako

nadalje argumentiraju protivnici teze o zatopljenju, u prošlosti je također bilo faza zatopljenja i zahladnjenja i to bez utjecaja industrije. Posljednjih stoljeća su zabilježene faze tokom kojih je čak bilo osjetno toplije nego danas. Kritičari oba "tabora" smatraju kako se faze ionako ne mogu mjeriti u desetljećima nego bi pouzdani ciklusi bili vidljivi tek iz podataka za više stoljeća. No, za te odgovore će trebati pričekati još pokoje desetljeće ili stoljeće.

4. PROMJENE GODIŠNJEG OTJECANJA NA KORANI KOD LUKETIĆA

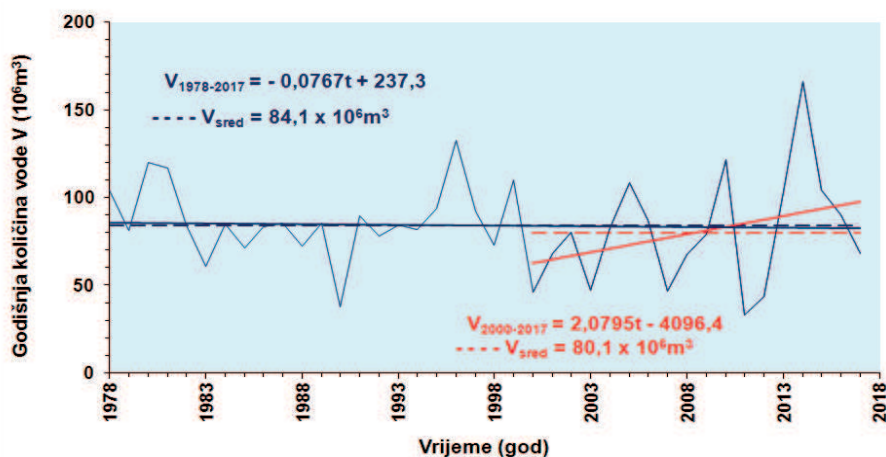
Kada govorimo o otjecanju na vodotocima u slivu Plitvičkih jezera moramo prvo analizirati stanje hidroloških stanica i podataka. Iz tih podataka vidljivo je da postoje relativno kratke vremenske serije podataka o vodostajima i protocima s čestim prekidima u radu, a zbog Domovinskog rata i njegovih posljedica nije bilo motrenja u razdoblju: 1991. - 1995. (Trninić, 2014).

Prema raspoloživim podacima najdulja i najkvalitetnija vremenska serija o protocima je na Korani kod Luketića (1978. - 2017., n = 40 god.), gdje će se analizirati mogući utjecaj klimatskih promjena na otjecanje Korane kod Luketića, a posredno i na sustav Plitvičkih jezera i njihovih pritoka. Na slici 3. je prikazan detalj Korane kod Luketića koja izvire kao nastavak Plitvičkih jezera.



*Slika 3. Detalj izvora rijeke Korane koja izvire kao nastavak Plitvičkih jezera
(izvor: House Tina)*

Analiza pretpostavljenog linearnog trenda godišnjeg otjecanja V (10^6m^3) na Korani kod Luketića u analiziranom razdoblju: 1978. - 2017. pokazala je da nema značajnijeg trenda, odnosno da je opadanje godišnjeg otjecanja samo $0.075 \cdot 10^6\text{m}^3$. Samo ilustrativno prikazan je i linearni trend za vrlo kratko razdoblje: 2000. - 2017. Trendovi godišnjeg otjecanja na Korani kod Luketića prikazani su na slici 4.



Slika 4. Trendovi godišnjeg otjecanja $V(10^6\text{m}^3)$ na Korani kod Luketića u razdobljima obrade: 1978. - 2017. i 2000. - 2017.

4.1 Klimatološke i antropološke promjene i njihov utjecaj na otjecanje

Iz rezultata istraživanja promjena varijabilnosti i klime (WMO, UNEP (2008)), može se vidjeti da treba računati sa smanjivanjem godišnjeg otjecanja na jugu (jugoistoku) Evrope za 20 do 36 %, za pojedine vremenske pragove: 2020., 2050. i 2070.godina. Rezultati tih istraživanja mogu se vidjeti u tablici 2.

Tablica 2. Rezultati istraživanja promjene klimatskih varijabilnosti i klime na promjene godišnjeg otjecanja

Godina	Smanjivanje godišnjeg otjecanja	Područje	Napomena
2020.	do 20-30 %	Jug Europe	Smanjivanje ljetnih protoka
2050.	do 20-30 %	Jugoistok Europe	-
2070.	do 36 %	Jug Europe	Smanjivanje ljetnih malih voda

Utjecaj djelovanja čovjeka na režim voda mijenja se kako po karakteru tako i po intenzitetu koji ovisi i o nivou gospodarskog, tehničkog i socijalnog razvoja i klimatskih varijabilnosti i promjena. Ponekad je vrlo teško ocijeniti takav utjecaj zato što u slivu mogu djelovati različiti utjecaji u isto vrijeme, a neki od njih kompenziraju druge. Nastavno će se samo informativno navesti najvažniji antropološki čimbenici koji utječu na otjecanje, bez pretenzija da se numerički kvantificiraju, kao što su: regulacijske i antierozijske građevine, urbanizacija, navodnjavanje, hidrotehnički radovi, vodoopskrba, preusmjeravanje voda u vremenu i prostoru i dr.

ZAKLJUČAK

Rezultati ovoga rada su pokazali da treba nastaviti s monitoringom meteoroloških, hidroloških, morfoloških, psamoloških i drugih veličina, uz uvažavanje antropoloških utjecaja i klimatskih varijabilnosti i promjena.

Prema najnovijim istraživanjima procjena klimatske varijabilnosti i promjena u Južnoj i Jugoistočnoj Evropi, u koju spada i Hrvatska, pored daljnjeg trenda porasta temperature zraka, u narednom razdoblju treba očekivati daljnja smanjenja oborina praćena smanjivanjem broja dana sa snijegom i visinom sniježnog pokrivača, smanjivanje otjecanja, vlažnosti zemljišta i raspoloživosti vodnih resursa.

Iako svi mislimo da se klimatske promjene tiču nekoga drugog, znanstvenici upozoravaju da nitko neće biti pošteđen utjecaja globalnog zatopljenja i klimatskih promjena.

LITERATURA

- [1] DHMZ, (2019.): *Privremeni izvještaj WMO-a o stanju klime u 2018*. Državni hidrometeorološki zavod RH, Zagreb.
- [2] Güttler, I., Trninić, D., Bošnjak, T., Srnc, L., Patarčić, M., Branković, Č. (2011.): Potential near future runoff changes in Croatia (Promjene u površinskom otjecanju u *Hrvatskoj prema simulaciji regionalnog klimatskog modela*). Zbornik radova: 5. Hrvatska konferencija o vodama, (Urednici: Biondić, D., Holjević, D., Tropan, L.J.) Hrvatske vode, Zagreb, 66-75.
- [3] Trninić, D., (2004.): *Obnova mreže hidroloških stanica na području Plitvičkih jezera*, Plitvički bilten br.6, 121-128.
- [4] Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec-Tadić, M.et.al. (2008.): *Klimatski atlas Hrvatske /Climate atlas of Croatia 1961.-1990., 1971.-2000*. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.
- [5] WMO, UNEP (2008): *Climate Change and Water*, IPCC Technical Paper VI.

AUTORI

dr.sc. Dušan Trninić, znanstveni savjetnik ^a

Tomislava Bošnjak, ing.građ. ^b

^a Aleja A. Augustinčića 15., Zagreb, 10 000, Hrvatska
trinicdusko@hotmail.com

^b Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10 000, Hrvatska
bosnjak@cirus.dhz.hr



R 1.17.

VELIKE VODE NA MALIM SLIVOVIMA I PROBLEMI NJIHOVOGA DEFINIRANJA

Ranko Žugaj, Željko Štefanek, Ana Turčinov Mikulec

SAŽETAK: Za hidrotehničke zahvate na vodotocima u Hrvatskoj na – u hidrološkom smislu malim slivovima – vrlo često postoji nekoliko obrada velikih voda čiji se rezultati redovito međusobno značajno razlikuju. To se odnosi na maksimalne godišnje protoke i na hidrograme velikih vodnih valova različitih povratnih razdoblja, a posljedice mogu biti vrlo neugodne, ukoliko se za projektiranje usvoje podcijenjene veličine. Razlike u veličinama velikih voda nastaju zbog različitih pristupa njihovim izračunima, odnosno primjeni različitih formula. S druge strane velike vode mogu biti određene na osnovi rezultata regionalne analize. U tome su slučaju na osnovi rezultata postojećih hidroloških istraživačkih radova definirane općenite zakonitosti veza koje vrijede za pojedina šira područja – regije – u užem smislu. Pritom su vrlo osjetljiva, a ujedno za velike vode najvažnija podloga, produljivani dijelovi protočnih krivulja, koji vrlo često obilno premašuju teorijsko područje produljivanja od 20 posto raspona vodostaja s izmjerenim protocima. Takvi odnosi, kada ih se primjenjuje na male, strme slivove regije za koju su izvedeni, zbog nepouzdanoga produljivanja u predugome području izvan postojećih mjerenja, mogu dati izrazito podcijenjene veličine maksimalnih godišnjih dotoka. Navedene probleme potkrepljuje se primjerima vodotoka Grobničkoga polja, potoka Šemnice u Hrvatskome zagorju, protočne krivulje Gornje Dobre u profilu Turkovići i bujičnih potoka zagrebačke Medvednice. Na osnovi provedenoga razmatranja predlaže se pristup definiranju velikih voda: (1) za male slivove s različitim postojećim veličinama velikih voda i (2) za neizučene male slivove.

KLJUČNE RIJEČI: velika voda, mali sliv, protočna krivulja, maksimalni specifični dotok, Grobničko polje, Šemnica, Gornja Dobra, Medvednica

FLOOD EVENTS IN SMALL BASINS AND ISSUES REGARDING THEIR DEFINITION

ABSTRACT: For hydrotechnical interventions on the watercourses in Croatia, or in hydrologically small basins, there are very frequently several analyses of flood events whose results regularly differ significantly from each other. This refers to maximum annual discharges and hydrographs of the flood waves with different return periods, the consequences of which can be very serious if underestimated values are adopted in designs.

The differences in the magnitudes of flood events appear due to different approaches in the calculations, i.e. use of different formulas. On the other hand, flood events may also be determined based on the results of regional analyses. In this case, the results from existing hydrological research works form the basis for defining general patterns prevailing in individual greater areas or regions. The unmeasured parts of rating curves, which often considerably exceed the theoretical 20 % extension of the relation between the water levels and measured discharges, are highly sensitive and the most important element for high flows. Such relations, when applied to small, steep river basins in the region for which they were established, may result in extremely underestimated values of maximum annual inflows due to an unsafe extension in an overlong area beyond the existing measurements. These problems are exemplified by the watercourses in Grobničko polje, the Šemnica stream in Hrvatsko Zagorje, the rating curve of the Gornja Dobra River on the profile Turkovići and torrential streams of Mt. Medvednica at Zagreb. Based on the conducted analyses, it is proposed that flood events are defined (1) for small basins with different existing magnitudes of flood events and (2) for unstudied small basins.

KEYWORDS: flood event, small river basin, rating curve, maximum specific discharge, Grobničko polje, Šemnica, Gornja Dobra, Medvednica

1. UVOD

Veličine velikih voda, koje su definirane maksimalnim protocima i hidrogramima velikih vodnih valova različitih povratnih razdoblja, ukoliko su određivane u različitim obradama, mogu se međusobno značajno razlikovati. U takvim, čestim, slučajevima javlja se problem koje vrijednosti usvojiti za projektiranje pa se redovito mora revidirati prethodne obrade ili, najčešće, provesti novi hidrološki izračun.

Ovim se radom želi ukazati na opasnost od izrazito podcijenjenih veličina velikih voda, ukoliko su one određene na temelju nereálnih osnovnih podloga. To se može dogoditi i u slučajevima kada se njihove veličine temelje na izmjerenim protocima, pa čak i dugim nizovima i u slučajevima kada ih se definira na osnovi iskustvenih izraza. Neće se navoditi elaborate i obrade, koje su potakle pisanje ovoga rada, niti će se ulaziti u posao revizije, nego će se preporučiti postupak na osnovi kojega se može provjeriti veličine velikih voda u njihovim obradama i realno ih odrediti.

Na malim, često brdskim, slivovima su hidrološka mjerenja velikih voda vrlo rijetka ili ih uopće nema. U takvim slučajevima definiranje velikih voda najčešće se provodi na dva načina: (1) koriste se iskustveni izrazi i (2) koriste se izrazi oblika $q_{max} = f(A)$, ukoliko su ranije bili izvedeni za regiju unutar koje je razmatrani sliv. Pritom je q_{max} ($m^3/s/km^2$) maksimalni godišnji specifični dotok različitoga povratnog razdoblja p (god), a A (km^2) površina sliva do razmatranoga profila. (Rjeđe korištene: metodu jediničnoga hidrograma i metodu izokrona ovdje se neće razmatrati.)

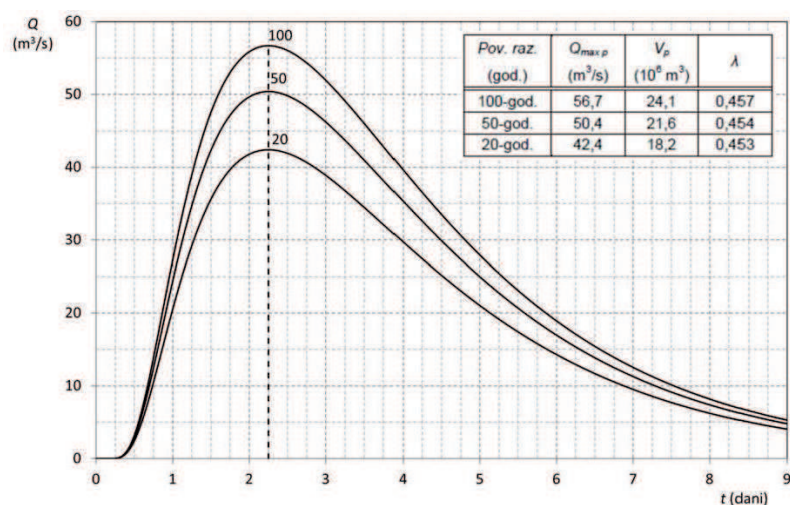
Glavni nedostatak kod primjene iskustvenih formula jest što one vrlo često nisu izvedene za područja na kojima se primjenjuju. U Hrvatskoj su izuzetak Srebrenovićeve iskustvene formule koje su izvedene na osnovi podataka sa sliva Save (Srebrenović, 1970, 1986). Osim jedne, odabrane formule, za preporučiti je koristiti nekoliko formula, rezultate međusobno usporediti i odabrati one velike vode za koje se ocijeni da su najbliže realnoj vrijednosti (Žugaj, 2015), ali se tome obično izmiče u praksi i prednost se daje samo

jednom pristupu. Pritom bi iskustvo (stvarno, a ne površno ili čak umišljeno) trebalo pomoći da se izbjegne subjektivnost.

2. VELIKE VODE U KRŠU – PRIMJER GROBNIČKOGA POLJA

Na Grobničkome polju nema nikakvih meteoroloških i hidroloških motrenja i mjerenja, a velike vode su vrlo izražene jer, osim s izravnoga sliva, još znatan dio dotoka dolazi krškim provodnicima iz Slovenije. Vodotoci: Golubovka, Zahumka, Kovačevica i Gostinjska su povremeni, ali kada se pojave jake, obilne i – u ovome slučaju – dugotrajne (višednevne) oborine poplave obuhvaćaju velike, vrlo blago nagnute, površine. U ovome slučaju, zbog izraženoga utjecaja podzemnoga dotoka nije preporučljivo rabiti iskustvene formule.

Kod ranije hidrološke analize (Rudarsko-geološko-naftni fakultet i Institut za elektroprivredu i energetiku, 2013), u nedostatku motrenja i mjerenja na razmatranome slivu, velike su vode bile definirane na osnovi podataka sa susjednoga, u hidrološkom smislu, sličnoga sliva Sušice. Pritom su za definiranje trajanja hidrograma velikih vodnih valova korišteni podaci o svakoj poplavi iz razdoblja (1997. - 2011.) iz zapisa o trajanju poplave koje je uredno u razdoblju (1997. - 2011.) vodio jedan savjesni službenik automotodroma Grobnik. Hidrogrami velikih voda u profilu IV-IV na Zahumki u Grobničkome polju, koji su prikazani na slici 1, imaju velike maksimalne protoke i vrlo velike volumene. Naime radi se o dotocima od višednevnih jakih kiša kojima se dodaju značajni podzemni dotoci iz Slovenije.



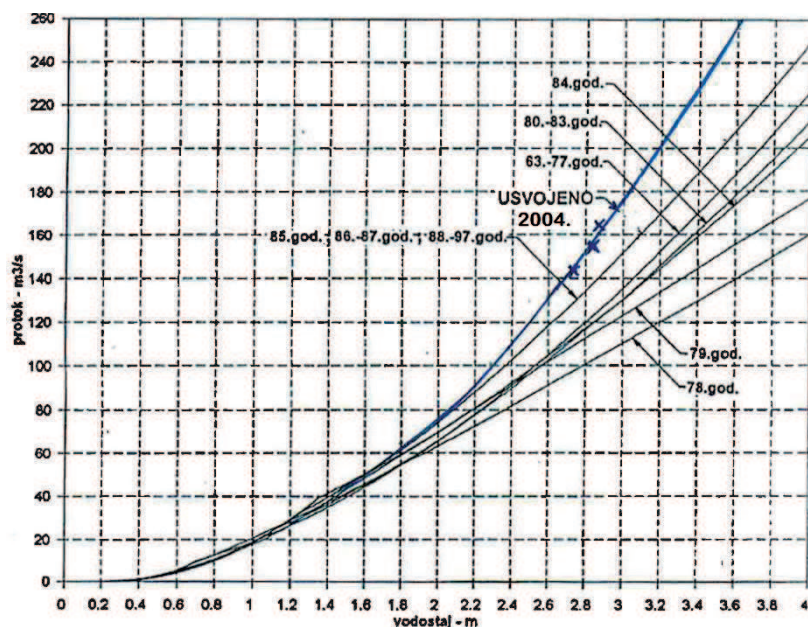
Slika 1. Hidrogrami velikih vodnih valova različitih povratnih razdoblja Zahumke u profilu IV-IV prema Goodrichu; $T_p = 2,25$ dana, $A = 23,8$ km^2
(Žugaj, Vidaković Šutić, 2013)

Zaštita od velikih voda sa slike 1 zahtijeva izvedbe velikih retencija, a to vrijedi i za ostale vodotoke u Grobničkome polju. Takvi su radovi skupi pa je zbog toga trebalo i obrazložiti takve hidrološke veličine, što je bilo učinjeno u obradi iz 2013. godine (Žugaj, Vidaković

Šutić). Zbog toga nije na odmet i ovdje naglasiti da jake kiše kratkoga trajanja ne mogu biti mjerodavne za velike vodne valove vodotoka Grobničkoga polja.

3. PROTOČNA KRIVULJA GORNJE DOBRE U PROFILU TURKOVIĆI

Primjerom Gornje Dobre u profilu Turkovići potkrepljuje se važnost ispravnoga definiranja protočne krivulje u području velikih voda. Na slici 2 prikazane su različite protočne krivulje po različitim razdobljima, s vrlo velikim međusobnim razlikama u produljenim dijelovima, na što je upozoreno prije provedenih mjerenja protoka velikih voda 2004. godine (Brkić, 2001). Prihvatljiva je protočna krivulja određena na osnovi mjerenja kojima su bile obuhvaćene i velike vode (označena na slici 2), koja je provela i protočnu krivulju definirala tvrtka *Hidroing*, Zagreb 2004. godine. Tek je na osnovi te protočne krivulju bilo moguće realno definirati velike vode različitih povratnih razdoblja koje ugrožavaju grad Ogulin (Žugaj i Pavlić, 2015).



Slika 2. Protočne krivulje Gornje Dobre u profilu Turkovići
(prema Brkić, 2001. i Žugaj, Pavlić, 2015)

4. VELIKE VODE U HRVATSKOM ZAGORJU – PRIMJER ŠEMNICE

Za izvedbeni projekt regulacije potoka Šemnica u Hrvatskom zagorju na dionici kroz naselje Šemnica trebalo je dimenzionirati korito na maksimalni godišnji protok 25-godišnjega povratnog razdoblja Q_{max25} , a propust ispod županijske ceste na 50-godišnju veliku vodu Q_{max50} .

Velicina sliva Šemnice do profila propusta ispod županijske iznosi svega: $A = 2,81 \text{ km}^2$.

Na njemu, s obzirom na strme nagibe, nepovoljan „lepezast“ oblik i jake oborine, moguća su pojavljivanja vrlo velikih voda. Izračuni maksimalnih protoka primjenom formula V. T. Chowa (Chow et al, 1964) i D. Srebrenovića (Srebrenović, 1970) daju slične rezultate (prema formuli V. T. Chowa: $Q_{max25} = 12,7 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{max50} = 15,6 \text{ m}^3/\text{s}$, a prema formuli D. Srebrenovića: $Q_{max25} = 11,7 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{max50} = 14,7 \text{ m}^3/\text{s}$).

U ovome slučaju kod razmatranja veličina maksimalnih protoka – u hidrološkom smislu – značajno je djelovanje postojećega propusta $\phi 100$, odnosno njegov maksimalni kapacitet, koji iznosi $Q_{maxpr} = 2,75 \text{ m}^3/\text{s}$. Činjenica da je praktički svake godine, kod jake kiše na slivu, obično jedan puta godišnje, područje uzvodno od propusta poplavljeno. To jasno govori da je veličina protoka $Q_{max} = 2,75 \text{ m}^3/\text{s}$ praktički 1-godišnji maksimalni protok vode na slivu Šemnice do propusta.

Za područje sliva rijeke Krapine, kojemu pripada potok Šemnica, na osnovi regionalnih hidroloških analiza bile su izvedeni općeniti izrazi za maksimalne specifične dotoke različitih povratnih razdoblja u ovisnosti od veličine sliva: $q_{maxp} = f(A)$. Nije neuobičajeno da se takav postupak, ukoliko ima pouzdanih podataka o izmjerenim maksimalnim protokama, primjeni za određivanje maksimalnih protoka različitih povratnih razdoblja. Mjerni profili na cijelome slivu (regiji) trebaju biti raspoređeni tako da se obuhvati i brdski i ravničarski dio, a izvedene zakonitosti $q_{maxp} = f(A)$ mogu biti jedinstvene ili za pojedine uže regije ili zasebno za brdski, odnosno za ravničarski dio.

Međutim, najvažnije od svega je da su protočne krivulje u mjernim profilima pouzdano definirane u području velikih voda. Protočne krivulje u području velikih voda redovito se produljuju u rasponu znatno većem od 20 % amplitude postojećih vodomjerenja – kako je preporučeno u literaturi (Petković, 1975, Jovanović i drugi, 1977). U nekim slučajevima, ali samo nakon pažljivoga provjeravanja, nakon što se provede regionalna analiza, moguće je prihvatiti ekstrapolirani dio protočne krivulje i u znatno većem rasponu od 20 % raspona vodostaja s izmjerenim protokom (Žugaj, 2015).

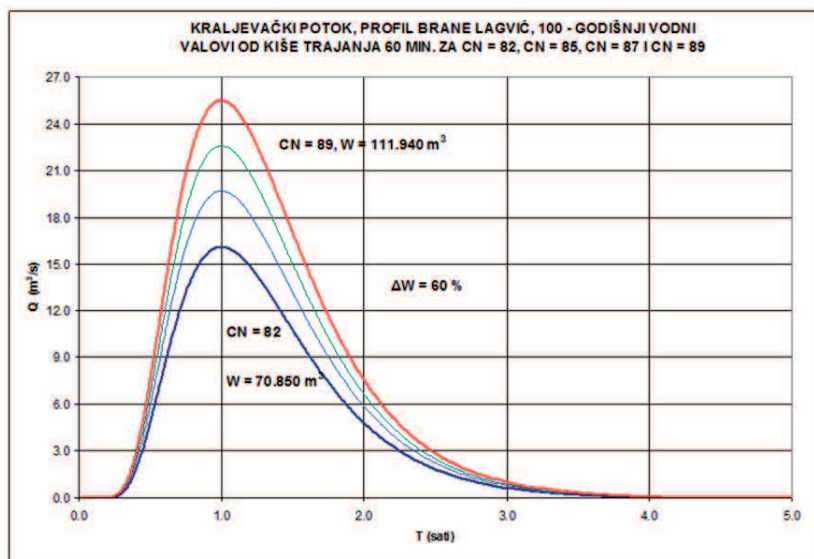
Maksimalni dotoci određeni na osnovi protočnih krivulja s podcjenjenim produljenim dijelovima imaju za rezultat nerealne zakonitosti veza $q_{maxp} = f(A)$, koje daju preniske vrijednosti maksimalnih godišnjih specifičnih dotoka različitih povratnih razdoblja q_{maxp} . U slučaju Šemnice tako određeni maksimalni godišnji protok 25-godišnjega povratnog razdoblja bio bi: $Q_{max25} = 3,08 \text{ m}^3/\text{s}$ ili 24 % 25-godišnjega protoka na osnovi formule V. T. Chowa.

5. VELIKE VODE ZAGREBAČKE MEDVEDNICE – PRIMJER KRALJEVEČKOGA POTOKA

Na potocima Medvednice postoji znatan broj limnigrafa, dugi nizovi motrenja i mjerenja hidroloških veličina, ali praktički nema mjerenja za vrijeme pojavljivanja velikih voda. (Iznimka je vodomjerenje Hidroinga, Zagreb za vrijeme velike vode 3. i 4. srpnja 1989.) U ranijim studijama i obradama (od polovice pa do osamdesetih godina 20. stoljeća), nakon provedenih opsežnih analiza, jasno je zaključeno da se velike vode ne mogu realno odrediti na osnovi podataka s hidroloških profila i od takvoga se pristupa odustalo, nego ih se mora definirati posrednim načinom.

Nakon primjena različitih iskustvenih pristupa, preporučena je i korištena metoda, odnosno formula V. T. Chowa. Ova se metoda može primijeniti u različitim slučajevima, ali je, pogotovo kod vrlo malih slivova, vrlo osjetljiva na odabranu veličinu broja krivulje

CN. Naime i male razlike u broju krivulje CN mogu dati velike razlike u veličinama maksimalnih protoka i u hidrogramima velikih vodnih valova – kako je na primjeru 100-godišnje velike vode Kraljevečkoga potoka u profilu nasute brane Lagvić – prikazano na slici 3.



Slika 3. Kraljevečki potok, profil brane Lagvić: 100-godišnji vodni valovi od kiše trajanja 60 minuta za različite vrijednosti brojeva krivulja CN (Hidroinženjering, 2004)

S druge strane izbor mjerodavnoga broja krivulje CN podložan je subjektivnosti obrađivača. Zbog toga je bilo provedeno uspoređivanje rezultata izračuna 100-godišnjih maksimalnih protoka i odgovarajućih volumena velikih vodnih valova prema različitim obradama i prema različitim iskustvenim pristupima, a pregled rezultata je u tablici 1. Na osnovi međusobne usporedbe veličina 100-godišnjih maksimalnih protoka i volumena njihovih vodnih valova u tablici 1, može se zaključiti da su najprihvatljiviji protok i volumen hidrograma vodnoga vala: $Q_{max100} = 25,5 \text{ m}^3/\text{s}$ i $W_{100} = 237.800 \text{ m}^3$. Napominje se da je bilo usvojeno da za maksimalni protok, na koji se kada se spljošti kroz retenciju, oborina traje 1 sat, a za volumen na koji se dimenzionira retencija oborina traje 4 sata.

Tablica 1. Kraljevečki potok, profil brane Lagvić: pregled veličina 100-godišnjih velikih voda prema različitim pristupima (Hidroinženjering, 2004)

Metoda (formula)	Q_{max100} (m ³ /s)	q_{max100} (m ³ /s/km ²)	W_{190} (m ³)	Napomena
V.T.Chow	20,8	4,91	173.000	Prema Glavnom projektu, CN = 87
V.T.Chow	16,1	3,80	70.850	Prema IDVOGZ-u; $t_k = 1$ sat; CN = 82
V.T.Chow	(12,3)	(2,90)	177.740	Prema IDVOGZ-u; $t_k = 4$ sata; CN = 82
V.T.Chow	25,5	6,01	111.940	$t_k = 1$ sat; CN = 89
V.T.Chow	(16,5)	(3,89)	237.800	$t_k = 4$ sata; CN = 89
Jedin.hidrogr.	25,5	6,01	400.000	Prema VOGZ-u; $t_k = 24$ sata
D.Srebrenović	34,4	8,11	358.050	$\tau = 2,78$ sati; $\beta = 2,0$; $P = 1200$ mm
Racional.for.	31,2	7,37		$T_c = 1$ sat; $c = 0,52$
Četiri koef.	26,1	6,16		
Müller	41,9	9,88		
Espey-Altman	23,8	5,61	173.000	$T_c = 46,2$ min
Gian.-Vissen.	41,4	9,76		$T_c = 1,06$ sati

Napomena: U tablici 1 kratica IDVOGZ znači: Izmjene i dopune vodoprivedne osnove Grada Zagreba, a kratica VOGZ je Vodoprivedna osnova Grada Zagreba; t_k (sati) je trajanje kiše; τ (sati) je vrijeme podizanja vodnoga vala; β je faktor površinskoga otjecanja; P (mm) je prosječna godišnja količina oborine; T_c (min) je vrijeme koncentracije i c je otjecajni koeficijent.

ZAKLJUČAK

Navedenim se primjerima željelo ukazati na sljedeće:

Za definiranje maksimalnih godišnjih protoka različitih povratnih razdoblja za male slivove može se koristiti ranije izvedene regionalne izraze oblika $q_{maxp} = f(A)$, ali je pritom neophodno da se oni temelje na realnim protočnim krivuljama u području velikih voda.

Ukoliko se koriste iskustvene formule, ispravno je provesti izračune na osnovi nekoliko formula, usporediti međusobno rezultate i odabrati i obrazložiti odabrane maksimalne protoke i hidrograme velikih vodnih valova.

Realnost regionalnih ovisnosti $q_{maxp} = f(A)$ prvenstveno ovisi o pouzdanosti produljenih dijelova protočnih krivulja. Ukoliko su ekstrapolirani protoci, na osnovi kojih su izrazi $q_{maxp} = f(A)$ izvedeni, preniski, velike će vode biti značajno podcijenjene – mogu biti čak i nekoliko puta manje od realnih vrijednosti. Prema tome, prije definiranja regionalnih ovisnosti $q_{maxp} = f(A)$ nužno je temeljito provjeriti produljene dijelove protočnih krivulja. U dosta slučajeva postoji nekoliko obrada velikih voda provedenih u različitim razdobljima s međusobno različitim veličinama velikih voda. Takove je obrade potrebno – ali prije projektiranja – novelirati, a novelirane revidirati. Naročito nije preporučljivo da se na istome vodotoku po odvojenim dionicama rade zasebne obrade. Izvodi li se na takav način noveliranje vrijednosti velikih voda u sklopu glavnoga projekta, u najmanju ruku će se produljiti rokove, a i stvoriti određene probleme, ukoliko se ustanove njihova značajna povećanja.

LITERATURA

- [1] Chow, V. T. (1964): *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1481.
- [2] Jovanović, S. i drugi (1977): *Hidrometrija*, Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu, 80.
- [3] Petković, T. (1975): *Ekstrapolacija i približna konstrukcija krivulja protoka*, Seminar Obrada hidroloških podataka, Izola, 68-83.
- [4] Srebrenović, D. (1970): *Problemi velikih voda*, Tehnička knjiga, Zagreb, 278.
- [5] Srebrenović, D. (1986): *Primijenjena hidrologija*, Tehnička knjiga, Zagreb, 509.
- [6] Žugaj, R. i drugi (2007): *Velike vode Medvednice*, 4. Hrvatska konferencija o vodama Opatija, 345-352.
- [7] Žugaj, R., Pavlič, K. (2015): *Karakteristični primjeri izračuna velikih voda veza vezano za zaštitu ugroženih područja*, Vodnogospodarski projekti i EU fondovi, Zbornik radova iz hidrotehnike s 9. Dana ovlaštenih inženjera u Opatiji 2014., ur.: B. Karleuša, K. Pavlič, Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb, 5-30.
- [8] Žugaj, R. (2015): *Hidrologija*, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 538.
- [9] Hidroinženjering d.o.o. (Žugaj, R., Štefanek, Ž.), Zagreb (2004): *Analiza dostignutog stupnja sigurnosti od poplava bujičnih voda grada Zagreba izgradnjom retencija i daljnje planiranje sustava – Geološke i hidrološke podloge*, knjiga 1.1, studija.
- [10] Hidroinženjering, d.o.o. (Žugaj, R., Štefanek, Ž.), Zagreb (2019): *Uređenje potoka Šemnica u Gornjoj Šemnici od km 2+700 do km 3+100 – izvedbeni elaborat tehničkoga održavanja s ocjenom o potrebi procjene, utjecaja na okoliš te elaborata prihvatljivosti zahvata na ekološku mrežu*, stručni elaborat.
- [11] Sveučilište u Splitu, Građevinski fakultet (Bonacci, O.), Split (1989): *Rekonstrukcija poplavnog vala velike vode u slivu potoka Črnomerec u Zagrebu na dan 03./04. srpnja 1989.*, studija.
- [12] Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. (Žugaj, R., Vidaković Šutić, R.), Zagreb (2013): *Hidrološka obrada slivova Grobničkoga polja* – stručni elaborat.
- [13] Vodoprivredno-projekttni biro d.d. (Brkić, B.), Zagreb (2001): *Hidrotehničko rješenje zaštite grada Ogulina izgradnjom retencije*, knjiga 2 – stručni elaborat.

AUTORI

prof. dr. sc. Ranko Žugaj dipl. ing. građ. ^a

Željko Štefanek dipl. ing. građ. ^a

Ana Turčinov Mikulec dipl. ing. geol. ^a

^a Hidroinženjering d.o.o., Okučanska 30, 10 000 Zagreb, Hrvatska,
ranko.zugaj@hidroinzenjering.hr, zeljko.stefanek@hidroinzenjering.hr,
ana.turcinov@hidroinzenjering.hr



HIDROLOŠKI EKSTREMI NA SLIVU RIJEKE BREGANE

Vedran Ivezić, Sanja Filipan, Vlatko Kadić

SAŽETAK: Provedena je usporedba vrijednosti mjerodavnih vodostaja i protoka za različite povratne periode definirane za tri različita perioda mjerenja na hidrološkim postajama na slivu rijeke Bregane: 1970. (1980.) – 1999., 1970. (1980.) – 2015. i 2000. - 2015. Analize ukazuju na značajna povećanja očekivanih vodostaja i protoka za pojedine povratne periode. Ukoliko se učestalost hidroloških ekstrema koji su se pojavili nakon 2000. godine nastavi i u budućnosti, morat će se voditi računa o značajnom utjecaju takvih događaja na rezultate statističkih i hidroloških analiza, a kako pokazuje ovaj rad kroz razmatranje tri hidrološka niza različitih duljina mjerenja. S obzirom na uočen trend hidroloških ekstrema na slivu, za očekivati je, nakon svakog takvog događaja, značajne štete na imovini i učestalu potrebu za interventnim mjerama na samom vodotoku. U perspektivi uočen hidrološki trend zahtijeva odgovarajući odgovor smanjenja rizika od poplava u planskom pristupu.

KLJUČNE RIJEČI: vodostaj, protok, statistička analiza, hidrološki ekstremi

HYDROLOGICAL EXTREMES IN THE BREGANA RIVER BASIN

ABSTRACT: A comparison of values of design water levels and discharges for different return periods was conducted for three measurement periods at the hydrological stations in the Bregana river basin: 1970(1980) - 1999, 1970(1980) - 2015 and 2000 - 2015. The analyses indicate a significant increase in expected water levels and discharges for individual return periods. If the frequency of hydrological extremes that have occurred after 2000 continues in the future, a significant impact of such events on the results of statistical and hydrological analyses will have to be taken into account, as shown in this paper by the analysis of three hydrological series with different measurement lengths. Considering the observed trend of hydrological extremes in the basin, significant property damages and a need for implementing emergency measures on the watercourse can be expected after each such event. The general hydrological trend we observed requires an adequate response in view of flood risk reduction in the planning approach.

KEYWORDS: water level, discharge, statistical analysis, hydrological extremes

1. UVOD

Recentni velikovodni događaji na slivu rijeke Bregane zabilježeni su 2005., 2014. i 2015. godine te su opetovano pokazali izrazito bujični karakter vodotoka (DHMZ, 2017). Preljevanje iz korita uzrokovalo je poplavljanje kućanstava, mjestimično rušenje utvrđenih obala i odnošenje šljunčanog zaobalja. Bujičnim tokom uništene su betonske kaskade, odneseni mostovi i propusti, oštećene su ceste s asfaltnim i makadamskim zastorom, bankine i propusti, a nataložen nanos na pojedinim lokacijama značajno je smanjio protočni profil.

Usljed intenzivnih oborina i pojave bujičnog toka, 22. - 23. svibnja i 24. - 25. rujna 2015. godine počevši nizvodno od mosta u stacionaži 0+500, desna konkavna obala doslovno je „odnesena“ u Savu te je pritom u dužini od cca 170 m formirano novo korito širine 20-60 m (slika 1). Osim značajnog oštećenja korita i samog ušća, Bregana je daljnjom progresivnom erozijom i urušavanjem desne obale prijetila oštećenjem te rušenjem savskog nasipa u neposrednoj blizini, što je zahtijevalo provedbu interventnih mjera na lokaciji.



Slika 1. Ušće rijeke Bregane 2014., 2015. i 2017 g. (Google Earth)

Navedeni štetni događaji dijelom su posljedica stanja vodotoka koji je samo djelomično reguliran i uređen i koji dijelom svog toka ne prihvaća vode ni 10-godišnjeg povratnog razdoblja. Dodatno, na pojedinim dijelovima uzdužnog profila rijeke Bregane zbog erozije na slivu, a uslijed intenzivnih oborina, nastala su taloženja i zatrpavanja relativno plitkih profila zbog čega je problem plavljenja dodatno izražen (DHMZ, 2017).

Istovremeno, nedvojbeno je učestalost velikovodnih događaja u periodu posljednjih desetak godina koji su višestruko veći od svih događaja zabilježenih u prethodnom 30-godišnjem periodu mjerenja istih na slivu (1970. - 2000.). Isti nedvojbeno značajno utječu na rezultate statističkih i hidroloških analiza na slivu i dovode u pitanje način korištenja mjerenja iz prethodnih perioda u daljnjim analizama. Imajući u vidu i procjene klimatskih promjena u bliskoj budućnosti, može se govoriti o izmijenjenom hidrološkom režimu sliva.

Procjene klimatskih promjena po različitim scenarijima pokazuju da će u ovom dijelu Europe u razdoblju 2041. - 2070. doći do promjena temperatura zraka i količine oborina u odnosu na referentno razdoblje 1961. - 1990. (UNFCCC, 2014). U široj okolici sliva Bregane zimski i ljetni period bit će u prosjeku topliji za 2.5 °C do 3 °C, dok će u ostalim

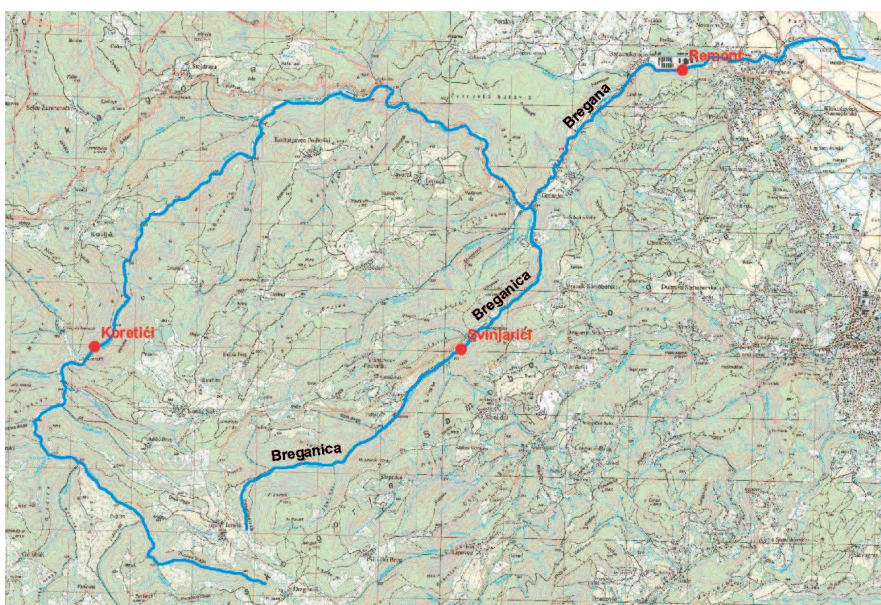
periodima biti topliji prosječno za 2 °C do 2.5 °C. Razlike u količini oborina bit će najočitiije u sezonama. U zimskim mjesecima količina oborine povećat će se za 5-15 %, a u proljetnim i ljetnim one će se smanjiti za 5-15 % (DHMZ, 2017).

2. PREDMETNO PODRUČJE I ULAZNI PODACI

Rijeka Bregana duljine 26 km predstavlja granični vodotok između Republike Hrvatske i Republike Slovenije od svog srednjeg dijela kod naselja Gabrovica do ušća u rijeku Savu. Rijeka Bregana i njeni glavni pritoci s hrvatske strane Tisovačka Bregana, Rakovac, Dobri potok, Jarak, Velika Draga, Škrbotnik i Breganica, a sa slovenske nekoliko manjih pritoka, Sevškov jarek i Kamenjak, formiraju dobro razgranatu hidrografsku mrežu u slivu lepezastog oblika površine $A=92.1\text{ km}^2$ koji pripada slivu rijeke Save (HidroKonzalt pr., 2018).

Vodomjerenja vodostaja i protoka bila su dostupna za tri hidrološke stanice (Slika 2): Bregana Remont (Bregana), Koretići (Bregana) i Svinjarići (Breganica). Istovremeno, na slivu ne postoje kišomjerne stanice koje bi omogućile potvrdu vodomjerenja temeljem korelacije istih s izmjerenom oborinom.

Limnografska postaja Bregana remont (šifra postaje 3012) nalazi se na vodotoku Bregana započela je s radom 23.01.1969. Kota nule postaje nalazi se na 152,332 m n.m. Zabilježeni ekstremi vodostaja u razdoblju mjerenja 1969. - 2015. iznose: minimum $H=11\text{ cm}$ zabilježen je 25.08.1972., dok je maksimum $H=240\text{ cm}$ zabilježen 13.09.2014. Zabilježeni ekstremi protoka u razdoblju mjerenja 1970.-2015. iznose: minimum $Q=0,235\text{ m}^3/\text{s}$ zabilježen je 11.03.1982. te maksimum $Q=84,11\text{ m}^3/\text{s}$ zabilježen 13.09.2014. (DHMZ, 2018).



Slika 2. Lokacije hidroloških stanica na slivu Bregane

Limnografska postaja Koretići (šifra postaje 3254) nalazi se na vodotoku Bregana započela je s radom 01.09.1980. Kota nule postaje nalazi se na 332,288 m n.m. Zabilježeni ekstremi vodostaja u razdoblju mjerenja 1980. - 2015. iznose: minimum $H = 18$ cm zabilježen 09.08.1982. te maksimum $H = 154$ cm zabilježen 23.05.2015. Zabilježeni ekstremi protoka u razdoblju mjerenja 1980. - 2015. iznose: minimum $Q = 0,030$ m³/s zabilježen 09.08.1982. te maksimum $Q = 20,61$ m³/s zabilježen 23. 5. 2015. (DHMZ, 2018).

Limnografska postaja Svinjarići (šifra postaje 3252) nalazi se na vodotoku Breganica započela je s radom 23.05.1980. Kota nule postaje nalazi se na 235,240 m n.m. Zabilježeni ekstremi vodostaja u razdoblju mjerenja 1980. - 2015. iznose: minimum $H = 6$ cm zabilježen 28.08.2012. te maksimum $H = 96$ cm zabilježen 23. 5. 2015. Zabilježeni ekstremi protoka u razdoblju mjerenja 1980. - 2015. iznose: minimum $Q = 0,015$ m³/s zabilježen 21.08.1989., te maksimum $Q = 9,05$ m³/s zabilježen 23.05.2015. (DHMZ, 2018).

3. METODOLOGIJA

Za statističke i hidrološke analize, rezultati kojih su prikazani u ovom radu, korištene su poznate statističke metode i nastavno se daje pregled odabranih za analize u ovom radu. Njima se utvrđuju temeljni uvjeti i pretpostavke za podatke i analize.

Da bi se za vremenski niz podataka, vodostaja i protoka, mogle primijeniti statističke metode i proračun vjerojatnosti, članovi niza te niz moraju zadovoljiti sljedeće uvjete: članovi niza moraju biti slučajne varijable, članovi niza moraju biti međusobno neovisni, članovi niza moraju biti stacionarni, nadalje niz mora biti homogen (istovrstan) te dovoljno dug.

Provjera homogenosti nizova velikih voda (vodostaja i protoka) vršena je sa svrhom izdvajanja prirodnih poremećaja od umjetno uzrokovanih promjena. Za ispitivanje homogenosti nizova korišten je Wilcoxon-Mann-Whitney U test (Wilcoxon, 1945). U test je neparametarski test, odnosno test rangiranja gdje su oblici razdioba skupova nepoznati. Za niz koji se testira pretpostavke su da su članovi osnovnih skupova međusobno neovisni te da su osnovni skupovi neprekinuti. Nulta hipoteza testa je da nema značajnih promjena u podacima. U slučaju da se nulta hipoteza odbacuje, alternativna hipoteza je da postoje značajne promjene uzrokovane prirodnim ili umjetnim uzorcima. Mjerilo za prihvaćanje ili odbacivanje nulte hipoteze je standardno jedinično odstupanje U_0 . Uz razinu povjerenja $\alpha = 0.05$ (vjerojatnost 95 % da je niz homogen) nulta hipoteza se prihvaća ako je $-1.96 < U_0 < 1.96$.

Provjera duljine niza vršena je na osnovu veličine pogreške koeficijenta varijacije σ_{cv} prema metodama koje preporuča UNESCO (McMahon, 1982), odnosno prema Kricky-Menkelovoj jednadžbi (Srebrenović, 1970). Kod obje metode koeficijent varijacije (C_v) je relativna mjera disperzije izražena u postocima. Veći koeficijent varijacije pokazuje veću raspršenost, odnosno manju reprezentativnost aritmetičke sredine. Standardna devijacija (σ) je prosječno odstupanje pojedinačnih vrijednosti numeričkog obilježja od aritmetičke sredine. Slijedi da je niz dovoljno dug ukoliko je pogreška koeficijenta varijacije $\sigma_{cv} \leq 0.1$. Vrijednosti maksimalnih vodostaja i protoka za različite vjerojatnosti pojavljivanja proračunate su prema sljedećim teorijskim funkcijama raspodjele: Gauss (Normalna), Galton (Logaritamsko -normalna), Gumbel, Pearson III i Log Pearson III (Ožanić, 2004). Odabir mjerodavne teorijske funkcije raspodjele za proračunate vjerojatnosti ekstremnih događaja provodi se korištenjem testova dobrote prilagodbe.

Testovi dobrote prilagodbe govore kolika je povezanost mjerenog uzorka s teoretskom vjerojatnošću distribucijske funkcije. Odnosno, koliko teoretska distribucija odgovara mjerenim podacima. Primijenjeni testovi prilagodbe su: Kolmogorov-Smirnovljevi test (Stephens, 1973) i Anderson - Darlingov test (Anderson i Darling, 1954).

Linearni trendovi procijenjeni su za godišnje vrijednosti maksimalnih protoka, a signifikantnost njihovih promjena testirana je neparametarskim Mann-Kendallovim testom (Gajić-Čapka i Cesarec, 2010).

4. REZULTATI

S obzirom na uočene promjene u nizovima vodostaja i protoka na slivu provedene su analize za tri različita razdoblja: a) do 1999 – HS Bregana remont 1970. – 1999., HS Koretići i HS Svinjarići 1980. – 1999.; b) do 2015. – Bregana remont 1970. – 2015., HS Koretići i HS Svinjarići 1980. – 2015.; c) razdoblje 2000. – 2015. (sve tri postaje).

Provjera homogenosti (Tablica 1) pokazuje da su svi analizirani nizovi na svim hidrološkim postajama homogeni.

Provjera duljine nizova (Tablica 2) pokazuje da su svi analizirani nizovi vodostaja na svim hidrološkim postajama dovoljno dugi. No, istovremeno obje metode pokazuju da su analizirani nizovi protoka za razdoblje 1970.(1980.) – 1999. na svim hidrološkim postajama dovoljno dugi, dok za kraća razdoblja 1970.(1980.) – 2015. i 2000. – 2015. nisu dovoljno dugi. Slijedno, daljnjom analizom, metode pokazuju da 46-godišnji niz (1970. – 2015.) nije dovoljno dug, dok iste metode za 30-godišnji niz (1970. – 1999.) pokazuju da je dovoljno dug. Primjećuje se zanimljivim da su zbog ekstremnih protoka koji su se javili u periodu 2000. – 2015. zaključci testova duljine niza suprotni pretpostavljenoj i uobičajenoj hidrološkoj praksi kojom se očekuje da su nizovi maksimalnih protoka duljine 30 ili više godina, prema različitim autorima, dovoljno dugi za donošenje pouzdanih zaključaka (Žugaj, 2000).

Tablica 1. Provjera homogenosti nizova

HS Bregana remont			HS Koretići			HS Svinjarići		
Razdoblje	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]	Razdoblje	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]	Razdoblje	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]
1970-1999	+	+	1980-1999	+	+	1980-1999	+	+
1970-2015	+	+	1980-2015	+	+	1980-2015	+	+
2000-2015	+	+	2000-2015	+	+	2000-2015	+	+

Tablica 2. Provjera duljine nizova

HS Bregana remont			HS Koretići			HS Svinjarići		
Razdoblje	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]	Razdoblje	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]	Razdoblje	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]
Unesco								
1970-1999	+	+	1980-1999	+	+	1980-1999	+	-
1970-2015	+	-	1980-2015	+	-	1980-2015	-	-
2000-2015	+	-	2000-2015	+	-	2000-2015	-	-
Kicky Menkel								
1970-1999	+	+	1980-1999	+	+	1980-1999	+	-
1970-2015	+	-	1980-2015	+	-	1980-2015	-	-
2000-2015	+	-	2000-2015	+	-	2000-2015	-	-

Tablica 3. Testovi dobrote prilagodbe

HS Bregana remont			HS Koretići			HS Svinjarići		
Razdoblje	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]	Razdoblje	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]	Razdoblje	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]
Kolmogorov Smirnov								
1970-1999	Log P III	Gumbel	1980-1999	Log P III	Log P III	1980-1999	Gumbel	Log P III
1970-2015	Gumbel	Galton	1980-2015	Log P III	Log P III	1980-2015	Galton	Log P III
2000-2015	Gumbel	Galton	2000-2015	Log P III	Galton	2000-2015	Galton	Log P III
Anderson Darling								
1970-1999	Log P III	Log P III	1980-1999	Log P III	Log P III	1980-1999	Gumbel	Log P III
1970-2015	Gumbel	Galton	1980-2015	Log P III	Log P III	1980-2015	Log P III	Log P III
2000-2015	Log P III	Log P III	2000-2015	Log P III	Log P III	2000-2015	Log P III	Log P III

Testovi dobrote prilagodbe su pokazali koja od analiziranih teorijskih funkcija raspodjele (Gauss, Galton, Gumbel, Pearson III ili Log Pearson III) najbolje odgovara mjerenim podacima (Tablica 3). Može se vidjeti da u većini slučajeva oba testa ukazuju na iste teorijske

Tablica 4. Proračunati maksimalni vodostaji i protoci za različite vjerojatnosti pojavljivanja

HS Bregana remont						
Povratno raz. [god]	1970-1999		1970-2015		2000-2015	
	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]
1000	280.93	47.94	327.86	119.74	450.81	260.89
100	224.30	36.98	256.18	75.73	324.54	151.53
25	192.03	30.59	212.64	53.62	252.70	97.55
10	170.69	26.32	183.18	40.47	205.75	66.76
5	153.89	22.92	159.87	31.09	169.46	45.99
2	128.49	17.75	124.66	18.77	116.49	21.50
HS Koretići						
Povratno raz. [god]	1980-1999		1980-2015		2000-2015	
	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]
1000	137.57	29.55	210.01	43.54	291.34	52.15
100	115.61	15.22	153.84	23.10	193.33	30.48
25	102.62	10.06	124.66	14.95	146.28	20.34
10	93.79	7.54	106.58	10.75	118.70	14.63
5	86.70	5.98	93.07	8.06	98.98	10.74
2	75.68	4.20	73.95	4.89	72.55	5.94
HS Svinjarići						
Povratno raz. [god]	1980-1999		1980-2015		2000-2015	
	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]	Vodostaj [cm]	Protok [m ³ /s]
1000	80.49	8.08	165.07	44.00	207.29	53.98
100	64.10	3.92	107.56	13.42	139.83	21.38
25	54.15	2.44	79.88	6.17	103.93	10.85
10	47.41	1.73	63.65	3.51	81.61	6.32
5	42.08	1.30	52.07	2.18	65.05	3.85
2	34.03	0.81	36.61	1.01	42.16	1.53

vrijednosti maksimalnih vodostaja i protoka za različite vjerojatnosti pojavljivanja za sve tri hidrološke postaje i tri različita perioda mjerenja: 1970. (1980.) – 1999., 1970. (1980.) – 2015. i 2000. – 2015., prikazane su u tablici 4. Primjetno je značajno povećanje

mjerodavnih vodostaja i protoka za period 1970. (1980.) – 2015. u odnosu na period 1970. (1980.) - 1999. To povećanje mjerodavnih vodostaja i protoka je još značajnije kada se promatra period 2000. – 2015. u odnosu na period 1970. (1980.) - 1999.

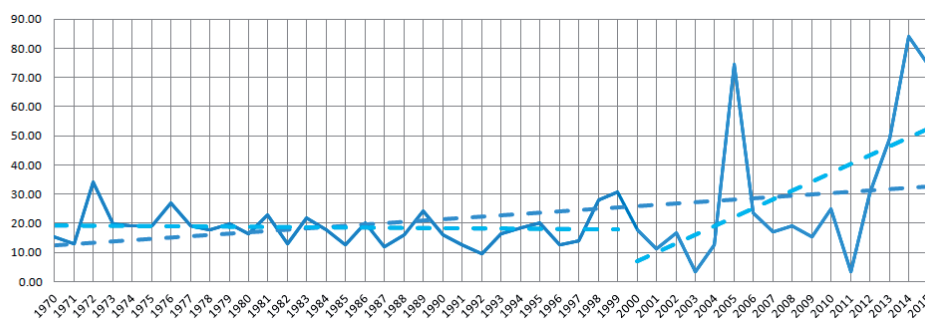
Signifikantnost linearnih trendova nizova pokazuje značajne razlike s obzirom na promatrana razdoblja. Prikazana je tablično u nastavku (Tablica 5).

Tablica 5. Signifikantnost trendova

HS Bregana remont		HS Koretići		HS Svinjarići	
Razdoblje	Mann Kendall	Razdoblje	Mann Kendall	Razdoblje	Mann Kendall
1970-1999	-0.5 m ³ /s /10godina	1980-1999	2.1 m ³ /s /10godina	1980-1999	0.2 m ³ /s /10godina
1970-2015	4.4 m ³ /s /10godina	1980-2015	1.9 m ³ /s /10godina	1980-2015	0.9 m ³ /s /10godina
2000-2015	30.3 m ³ /s /10godina	2000-2015	5.4 m ³ /s /10godina	2000-2015	2.5 m ³ /s /10godina

5. DISKUSIJA

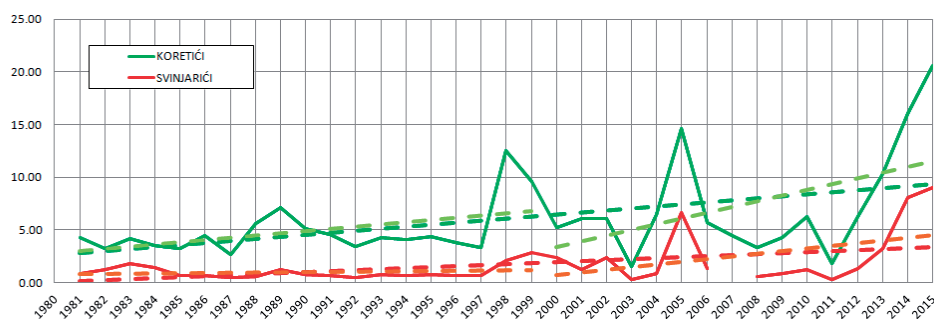
Na temelju provedene statističke analize izmjerenih vodostaja i protoka na slivu rijeke Bregane uočljiv je trend povećanja maksimalnih godišnjih vodostaja i protoka na sve tri analizirane hidrološke postaje. Prikazani su dijagrami maksimalnih godišnjih protoka za hidrološku postaju Bregana remont (Slika 3) i za hidrološke postaje Koretići i Svinjarići (Slika 4) s linearnim trendova u odnosu na tri analizirana razdoblja. Može se uočiti da vrijednosti maksimalnih godišnjih protoka ne ukazuju na signifikantan trend za razdoblje do 2000. godine, za razdoblje do 2015. godine ukazuju na pozitivan trend rasta, dok za razdoblje nakon 2000. godine ukazuju na značajan pozitivan trend rasta, i to za sve tri analizirane hidrološke postaje (Tablica 5).



Slika 3. Maksimalni godišnji protok za HS Bregana remont

Također, budući da su apsolutno najveći zabilježeni protoci na svim postajama očitani 2005., 2014. i 2015. godine, to je značajno utjecalo na određivanje maksimalnih protoka različitih vjerojatnosti pojavljivanja prema statističkoj analizi. Ovi protoci su bili i skoro 3 puta veći od najvećih zabilježenih u prethodnom 30-godišnjem razdoblju (1970. – 1999.). Tako su se vrijednosti maksimalnih protoka za hidrološku postaju Bregana remont za povratna razdoblja od 10 do 100 godina za analizirano razdoblje 1970. – 2015. u odnosu na razdoblje 1970. – 1999. uvećale za 150 % do 200 %. Istovremeno su se vrijednosti

maksimalnih protoka za povratna razdoblja od 10 do 100 godina za razdoblje 2000. – 2015. u odnosu na razdoblje 1970. – 2015. uvećale za 160 % do 200 %. Te konačno, vrijednosti maksimalnih protoka za povratna razdoblja od 10 do 100 godina za razdoblje 2000. – 2015. su se u odnosu na razdoblje 1970. – 1999. uvećale za 250 % do 400 % (Tablica 6).



Slika 4. Maksimalni godišnji protoci za HS Koretići i HS Svinjarići

Tablica 6. Usporedba vjerojatnosti protoka na HS Bregana remont

Povratno raz. [god]	Protok [m ³ /s]			Razlika [%]		
	(1) 1970-1999	(2) 1970-2015	(3) 2000-2015	(2) / (1)	(3) / (2)	(3) / (1)
1000	47.94	119.74	260.89	250%	218%	544%
100	36.98	75.73	151.53	205%	200%	410%
25	30.59	53.62	97.55	175%	182%	319%
10	26.32	40.47	66.76	154%	165%	254%
5	22.92	31.09	45.99	136%	148%	201%
2	17.75	18.77	21.5	106%	115%	121%

Provedene analize upućuju da se može govoriti o izmijenjenim hidrološkim prilikama na slivu Bregane. Na umu treba imati da će tek daljnja mjerenja dati potvrdu analiziranih vrijednosti, budući da se pokazalo da niz recentnih zabilježenih maksimalnih protoka nije dovoljno dug za pouzdane zaključke. Ako se zabilježeni trend nastavi za očekivati je učestaliju potrebu za interventnim mjerama na samom vodotoku nakon svakog velikovodnog događaja kao i značajne štete na imovini. Korito koje je do 2000. godine bilo u stanju propustiti velike vode koje su se do tada pojavljivale, to nije u stanju za velike vode koje su zabilježene nakon 2000. godine. U perspektivi uočen hidrološki trend zahtijeva odgovarajući odgovor smanjenja rizika od poplava u planskom pristupu.

ZAKLJUČAK

Statistička obrada vodomjerenja na slivu rijeke Bregane uključila je podatke izmjerenih maksimalnih vodostaja i protoka s vodomjernih postaja: HS Bregana Remont, HS Koretići i HS Svinjarići. Na temelju provedene statističke analize uočen je trend povećanja maksimalnih godišnjih vodostaja i protoka na sve tri analizirane hidrološke postaje. Izražen trend povećanja primjetan je za razdoblje nakon 2000. godine i to identično sve

tri analizirane hidrološke postaje. Također, apsolutno najveći zabilježeni protoci na svim postajama su očitani 2005., 2014. i 2015. godine, što je značajno utjecalo na određivanje mjerodavnih vodostaja i protoka velikih voda prema teorijskim funkcijama raspodjele. Za očekivati je da je do ovako značajnih razlika u izmjerenim protocima posljednjih godina došlo zbog kombinacije više nepovoljnih čimbenika. Pronalazak uzroka izmijenjenih hidroloških prilika na slivu kao i njihovo potvrđivanje pripada budućnosti, kroz nastavak hidroloških mjerenja i uspostavu kišomjerenja na slivu za koje je potrebno instalirati adekvatne stanice. Može se pretpostaviti da dio uzroka leži u izmijenjenim klimatskim čimbenicima koji rezultiraju ekstremnim oborinama dok dio uzroka treba potražiti i na samom slivu (ekspozicija prirodnih dobara). Uzimajući u obzir procjene klimatskih varijacija u budućnosti, za očekivati je nastavak sličnih trendova na slivu rijeke Bregane.

LITERATURA

- [1] Anderson, T.W.; Darling, D.A. (1954): *A Test of Goodness-of-Fit*, Journal of the American Statistical Association, 49, pp. 765–769
- [2] DHMZ (Državni hidrometeorološki zavod) (2017): *Hidrografski atlas rijeke Bregane*
- [3] DHMZ (Državni hidrometeorološki zavod) (2018): *Baza hidroloških podataka – HIS2000*
- [4] Gajić-Čapka, M., Cesarec, K. (2010): *Trend i varijabilnost protoka i klimatskih veličina u slivu rijeke Drave*, Hrvatske vode, 18(71), pp. 19-30
- [5] Hidrokonzalt projektiranje (2018): *Studija o prekogranično usklađenom upravljanju rizicima od poplava na slivu rijeke Bregane*, Zagreb
- [6] McMahon, T.A. (1982): *Hydrological Characteristics of Selected Rivers in the World*, International Hydrological Programme, UNESCO, Paris
- [7] Ožanić, N. (2004): *Seminar Velike i male vode: zbornik radova*, Hrvatsko hidrološko društvo
- [8] Srebrenović, D. (1970): *Problemi velikih voda*, Tehnička knjiga, Zagreb
- [9] Stephens, M. A. (1974): *EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons*, Journal of the American Statistical Association, 69(347), pp. 730–737
- [10] UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2014): *Šesto nacionalno izvješće RH prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime*, DHMZ, Ministarstvo okoliša i zaštite prirode
- [11] Wilcoxon, F. (1945): *Individual comparisons by ranking method*, Biometrics Bulletin, 1(6), pp. 80–83
- [12] Žugaj, R. (2000): *Hidrologija*, Rudarsko-geološko naftni fakultet Zagreb, Zagreb

AUTORI

dr.sc. Vedran Ivezić ^a

Sanja Filipan, mag.ing. ^b

Vlatko Kadić, dipl.ing. ^a

^a HidroKonzalt projektiranje d.o.o., Hvarska 11, 10000 Zagreb, Hrvatska, vedran.ivezic@hidroKonzalt.hr, vlatko.kadic@hidroKonzalt.hr

^b Hrvatske vode, VGO za gornju Savu, Ulica grada Vukovara 271, 10000 Zagreb, Hrvatska, sanja.filipan@voda.hr



R 1.19.

PROCJENA BILANCE VODA NA SLIVU RIJEKE KRAPINE KORIŠTENJEM SUVREMENIH TEHNIKA

Vedran Ivezić, Damir Bekić, Tomislav Suton

SAŽETAK: U radu se prikazuje primjena suvremenih tehnologija i postupaka pri određivanju komponenata bilance voda na slivu. Uz tradicionalna mjerenja na lokacijama mjernih postaja integrirani su prostorni podaci izvedeni iz daljinskih istraživanja. Obrada prostorno raščlanjenih podataka provedena je korištenjem novih originalnih rješenja (izrada Python skripti). Kombinacija novih tehnologija i pristupa primijenjena je na slivu rijeke Krapine te je omogućila pouzdanije određivanje komponenata bilance voda na slivu. Rezultati provedenih analiza na slivu rijeke Krapine pokazuju da od prosječne godišnje količine oborine, prosječne godišnje vrijednosti evapotranspiracije, evaporacije intercepcije, direktnog otjecanja i baznog otjecanja iznose 56 %, 17 %, 6 % i 21 %.

KLJUČNE RIJEČI: bilanca voda, komponente bilance voda, prostorno raščlanjeni podaci, daljinska istraživanja

WATER BALANCE ASSESSMENT IN THE KRAPINA RIVER BASIN USING CURRENT TECHNIQUES

ABSTRACT: The paper presents the use of current technologies and procedures for determining water balance components in a river basin. In addition to traditional measurements at the gauging stations, spatial data derived from remote sensing were integrated as well. The processing of spatially disaggregated data was conducted by using recently developed solutions (Python scripting). A combination of new technologies and procedures was applied in the Krapina river basin, which enabled a more reliable determination of its water balance components. The results of analyses conducted in the Krapina river basin show that the average annual precipitation quantities, average annual evapotranspiration values, evaporation from intercepted water and direct and base runoff equal 56 %, 17 %, 6 % and 21 % respectively.

KEYWORDS: water balance, water balance components, spatially disaggregated data, remote sensing

1. UVOD

Kretanje vode i vlage kroz kontinuum tla, vegetaciju i atmosferu važni su za čovjeka, biljni i životinjski svijet. Poznavanje svih ulaza i izlaza vode s nekog slivnog područja može dati uvid u trenutačne i buduće raspoložive vodne zalihe (Alemaw i Chaoka, 2003; Todini 2007).

Iako su danas na raspolaganju razni empirijski postupci i metode, glavni nedostatak pouzdane procjene bilance voda leži u nedostatnosti dužih kontinuiranih hidrometeoroloških mjerenja te nepotpunih saznanja o značajkama sliva (od geodetskih, geoloških i pedoloških podloga do podataka o vegetaciji, albedu, temperaturi površine, vlažnosti tla itd.) (Horvat, 2013). Satelitska tehnologija, koja može imati visoku prostornu i vremensku rezoluciju, postaje sve značajniji izvor podataka kod monitoringa hidroloških parametara na većim područjima. Procjena evapotranspiracije i vlažnosti tla daljinskim istraživanjima su područja ubrzanog razvoja (Immerzeel i Droogers, 2008).

Sustavna istraživanja bilance voda na nivou Republike Hrvatske su relativno novijeg datuma a uglavnom su vezana za određivanje bilance za pojedine slivove kroz razvojne projekte. Također su započete aktivnosti na prikupljanju i podataka i znanja u pogledu utjecaja i prilagodbe klimatskim promjenama (npr. CroAdapt projekt). Bilanca voda za područje cjelokupne Hrvatske izrađena je za površinske komponente u 30-godišnjem razdoblju (Bonacci i Horvat, 2003), a jedna od kompleksnijih istraživanja komponenata bilance dana je za istarski poluotok temeljem daljinskih istraživanja (Horvat, 2013, Horvat i Rubinić, 2008). Može se zaključiti da se realni rezultati bilance voda mogu dobiti primarno samo uz korištenje pouzdanih ulaznih podataka.

U radu se prikazuje primjena suvremenih tehnologija i postupaka pri određivanju komponenata bilance voda na slivu. Uz prikupljanje i analizu tradicionalna mjerenja na lokacijama mjernih postaja, analizirani su i prostorni podaci prikupljeni daljinskim istraživanjima. Obrada prostorno raščlanjenih podataka provedena je programiranjem u Python programskom jeziku. Kombinacija novih tehnologija i pristupa omogućila je pouzdanije određivanje komponenata bilance voda na slivu.

2. PREDMETNO PODRUČJE I ULAZNI PODACI

Rijeka Krapina izvire na padinama Ivanšćice (~1000 m n.m.) te se kao lijeva pritoka ulijeva u rijeku Savu (~130 m n.m.). Sliv rijeke Krapine (Slika 1) površine je 1.236 km², srcolikog je oblika i zauzima 75 % područja Hrvatskog Zagorja. Cjelokupno slivno područje je brežuljkasto-brdovito s gustom mrežom brdskih pritoka. Sliv karakterizira kontinentalno-humidni tip klime, umjereno toplih ljeta te dosta kišovite i hladne zime.

Prikupljeni su podaci s glavnih i običnih meteoroloških postaja kao i kišomjernih postaja na i oko sliva rijeke Krapine za razdoblje od 2000. do 2013. godine koji su ustupljeni od strane DHMZ-a. Od glavnih i običnih meteoroloških postaja u Republici Hrvatskoj su tako prikupljeni podaci sa postaja u Krapini, Pregradi, Puntijarki, Stubičkim Toplicama, Svetom Ivanu Zelini i Varaždinu. Dok su od postaj u Republici Sloveniji prikupljeni podaci s postaja u Bizeljskom, Cerklju ob Krki, Metliki i Slovenskim Konjicama. Od kišomjernih postaja prikupljeni su podaci s postaja Desinić, Donji Macelj, Donja Pušća, Donja Stubica, Klanjec, Klenovnik, Krapinske Toplice, Kumrovec, Laz, Marija Bistrica, Veliko Trgovišće i Zlatar. Lokacije svih postaja s kojih su prikupljeni podaci su prikazane

na slici (Slika 1).

Podaci prikupljeni daljinskim istraživanjima odnose se na podatke s Landsat 7 satelita u orbiti od 1999. godine, a najznačajniji od instrumenata na satelitu je Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) (NASA, 2011). Iz razdoblja od 1999. do 2003. godine prikupljeno je 26 upotrebljivih snimki na slivu rijeke Krapine (mala prekrivenost oblacima te da su nastale danju). Korektor linije snimanja na ETM+ instrumentu zakazao je 31. svibnja 2003. godine, a što je rezultiralo da 22 % piksela po snimci ne bude snimljeno te je time uvelike ograničio daljnju znanstvenu primjenu ETM+ podataka (Chen i drugi, 2011).

Podaci o satnim i dnevnim vodostajima i protocima za 15 hidroloških postaja prikupljene su iz HIS 2000 baze podataka (Slika 1). S obzirom na dostupnost podataka o protocima na hidrološkim postajama za promatrano razdoblje od 2000. do 2013. godine, obrađeni su podaci sa sljedećih 9 postaja: Kupljenovo, Zlatar Bistrica, Bračak, Zabok, Krapina, Jakovlje, Đurmanec (Ravninšćica), Stubičke Toplice, Lobar i Gubaševo.



Slika 1. Situacija sliva rijeke Krapine s hidrološkim, meteorološkim i kišomjernim postajama

3. METODOLOGIJA

Opća vodna bilanca na slivnom području definira se promjenom ukupne zalihe vode, dS/dt , koja je jednaka razlici svih ulaza, I , i izlaza vode, O , kroz promatrani vremenski period. Ako se opća jednadžba bilance raspiše po komponentama dobiva se izraz:

$$P = \left(\frac{dS_I}{dt} + E_I \right) + \left(\frac{dS_O}{dt} + E_O + Q_O \right) + \left(\frac{dS_{PP}}{dt} + E_T + E_{PP} + Q_{PP} \right) + \left(\frac{dS_P}{dt} + Q_P \right) \quad (1)$$

gdje su: P – količina oborina, a u obliku zagrada izdvojeni su procesi: na vegetaciji (S_I – zapremina intercepcije, E_I – evaporacija intercepcije), površinski procesi (S_O – zapremina stajaćica i tekućica, E_O – evaporacija s vodenih površina, Q_O – površinsko otjecanje), podpovršinski procesi (S_{PP} – zapremina vode i vlage u tlu, E_T – transpiracija, E_{PP} – evaporacija iz tla, Q_{PP} – podpovršinsko otjecanje) te podzemni procesi (S_P – zapremina podzemne vode, Q_P – podzemno otjecanje). Za potpuno definiranje bilance vode potrebno je uz prethodno navedene podpovršinske procese dodatno odrediti i pronos vode infiltracijom, perkolacijom i kapilarnim uzdizanjem.

Osnovna jednačba bilance voda (1) se može napisati na sljedeće načine (u kojima se svaka od komponenata može prikazati u milimetrima po jedinici površine):

$$P = E_I + E_O + Q_O + E_T + E_{PP} + Q_{PP} + Q_P \quad (2)$$

$$P = E_I + ET + Q_D + Q_B \quad (3)$$

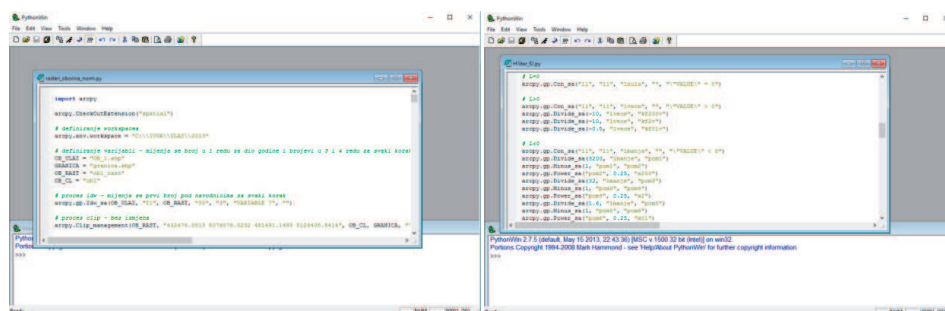
$$P = E_I + ET + Q \quad (4)$$

$$P = E + Q \quad (5)$$

gdje je: E – evaporacija ($E = E_I + E_O + ET$), ET – evapotranspiracija ($ET = E_T + E_{PP}$); E_O – evaporacija s vodenih površina zanemariva na slivu rijeke Krapine; Q_D – direktno otjecanje ($Q_D = Q_O + Q_{PPB}$); Q_B – bazno otjecanje ($Q_B = Q_{PPS} + Q_P$); Q – ukupno otjecanje ($Q = Q_D + Q_B$).

3.1 Programiranje u Python programskom jeziku

Za prikaz prostorno raščlanjenih podataka, geografski informacijski sustav (GIS) je pogodnije rješenje. GIS je sustav za upravljanje prostornim podacima i osobinama pridruženih njima.



Slika 2. Primjer skripte proračuna dnevnih prostorno raščlanjenih vrijednosti oborina (lijevo) i dnevne stvarne evapotranspiracije (desno)

Python je programski jezik koji je 1990. godine razvio Guido van Rossum na Centrum voor Wiskunde en Informatica u Nizozemskoj. Radi se o objektno orijentiranom, interaktivnom i interpreterskom programskom jeziku (Zandbergen, 2013). Prednosti Pythona su mnogostruke. Python je programski jezik otvorenog koda čiji je razvoj vrlo intenzivan. Prvi i osnovni razlog za upotrebu Python programskog jezika pri izradi ovog rada je što je Python „odabrani“ jezik za rad s ArcGIS-om (Esri, 2012). Pythona skripte su osnovno sredstvo za GIS stručnjake pri proširivanju funkcionalnosti ArcGIS-a i automatiziranju radnih procesa. Iako Python nije jedini jezik za pisanje skripti koji se može koristiti s ArcGIS-om, zasigurno je postao najviše korišten (Zandbergen, 2013). Za podatke s meteoroloških i kišomjernih postaja za svaki dan iz razdoblja od 2000. do 2013. godine generirani su rasteri koji opisuju prostornu razdiobu oborina na slivu rijeke Krapine. Korištenjem Python uređivača PythonWin izrađena je originalna skripta koja automatizira cijeli proces, a što je bilo vrlo učinkovito s obzirom na veliku količinu prostorno raščlanjenih podataka (5114 raster s ukupnom veličinom većom od 50 GB).

3.2 Separacija direktnog i baznog otjecanja

Provedena je separacija direktnog i baznog otjecanja budući da su bili dostupni satni podaci o protocima. Direktno otjecanje je komponenta ukupnog otjecanja, a sastoji se od oborina koje su pale direktno na površinu vodotoka, površinskog otjecanja te brzog podpovršinskog otjecanja. Jednostavnije rečeno, direktno otjecanje je onaj dio otjecanja koje dopiše u vodotok sliva ubrzo nakon početka oborina. Bazno otjecanje obuhvaća komponentu sporog (zakašnjelog) podpovršinskog otjecanja i podzemnog otjecanja. Za potrebe separacije direktnog i baznog otjecanja korištena je RDF (Recursive Digital Filter) metoda. Razvijena je pod pretpostavkom da je otjecanje iz vodonosnika linearno proporcionalno njegovom skladištenju (Eckhardt, 2005). Jednadžba ove metode glasi:

$$b_i = \frac{(1 - BFI_{max})ab_{i-1} + (1 - a)BFI_{max}y_i}{1 - aBFI_{max}} \quad (6)$$

gdje je: b_i - bazno otjecanje u trenutku i (m^3/s); b_{i-1} - bazno otjecanje u trenutku $i-1$ (m^3/s); y_i - ukupan protok u trenutku i (m^3/s); BFI_{max} - maksimalni indeks baznog otjecanja; a - parametar (0,980).

Kako bi se smanjio subjektivni utjecaj koji korisnik metode ima na rezultate zbog slobodnog izbora BFI_{max} , potrebno je pronaći tipične BFI_{max} vrijednosti za različite slivove koji se mogu razlikovati po svojim hidrološkim i hidrogeološkim karakteristikama.

3.3 Stvarna evapotranspiracija

Kao pristup pri definiranju stvarne dnevne evapotranspiracije na temelju daljinskih mjerenja odabran je SEBAL model (Bastiaanssen i drugi, 1998; SEBAL, 2002; Horvat, 2013). SEBAL model se ističe minimalnom potrebom za podacima „s tla“ pri proračunu. Radi se o modelu koji je u upotrebi već dva desetljeća te se potvrdio u mnogobrojnim studijama i istraživanjima.

Dnevna stvarna evapotranspiracija (ET_{24h}) se proračunava kao (SEBAL, 2002):

$$ET_{24h} = \Lambda \cdot ET_r \quad (7)$$

gdje je: ET_r – referentna evapotranspiracija na dan snimke (mm/dan); Λ – evaporativna frakcija.

Evaporativna frakcija jednaka je omjeru latentne energije evapotranspiracije λET i dostupne energije ($R_n - G$):

$$\Lambda = \frac{\lambda ET}{R_n - G} = \frac{\lambda ET}{\lambda ET + H} \quad (8)$$

gdje je: λET - latentni fluks topline (W/m^2).

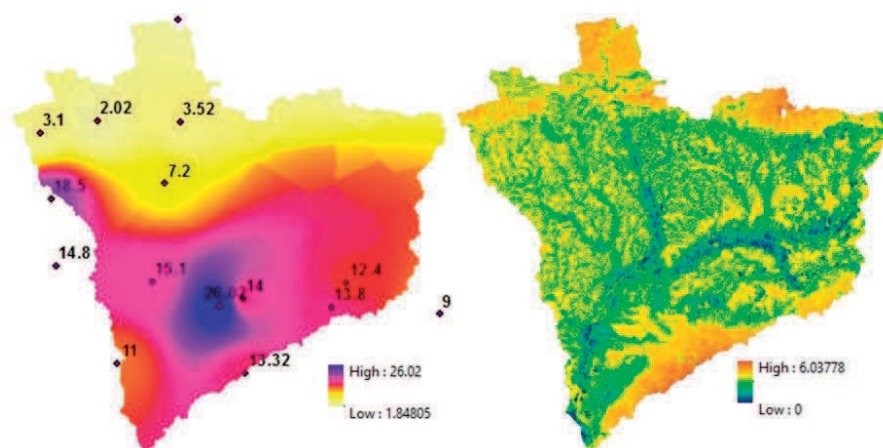
Više studija je pokazalo da su vrijednosti evaporativne frakcije gotovo konstantne tokom cijelog dana, što omogućuje njenu upotrebu kao parametra vremenske integracije.

4. REZULTATI

Dnevne, mjesečne i godišnje količine oborina podsliva svake od analiziranih hidroloških postaja na slivu proračunate su na temelju dnevnih prostorno raščlanjenih vrijednosti oborina putem originalne Python skripte (Slika 3, lijevo). Nakon osrednjavanja oborina sa svih hidroloških postaja i za cijelo promatrano razdoblje definirane su prosječne godišnje količine oborine na slivu rijeke Krapine koja iznosi $P=928$ mm.

Dnevne, mjesečne i godišnje količine ukupnog površinskog otjecanja (mm) proračunate su iz izmjerenih dnevnih protoka na hidrološkim postajama. Nakon osrednjavanja ukupnog površinskog otjecanja sa svih hidroloških postaja i za cijelo promatrano razdoblje, definirano je prosječno godišnje ukupno površinsko otjecanje na slivu rijeke Krapine koje iznosi $Q=251$ mm.

Dnevne, mjesečne i godišnje količine direktnog površinskog otjecanja (mm) proračunate su iz izmjerenih dnevnih protoka na hidrološkim postajama te provedene separacije (6). Nakon osrednjavanja direktnog površinskog otjecanja sa svih hidroloških postaja i za cijelo promatrano razdoblje, definirano je prosječno godišnje direktno površinsko otjecanje na slivu rijeke Krapine koje iznosi $Q_o=57$ mm.



Slika 3. Primjeri rastera dnevne količine oborine (mm/dan) (lijevo) i dnevne stvarne ET (mm/dan) (desno)

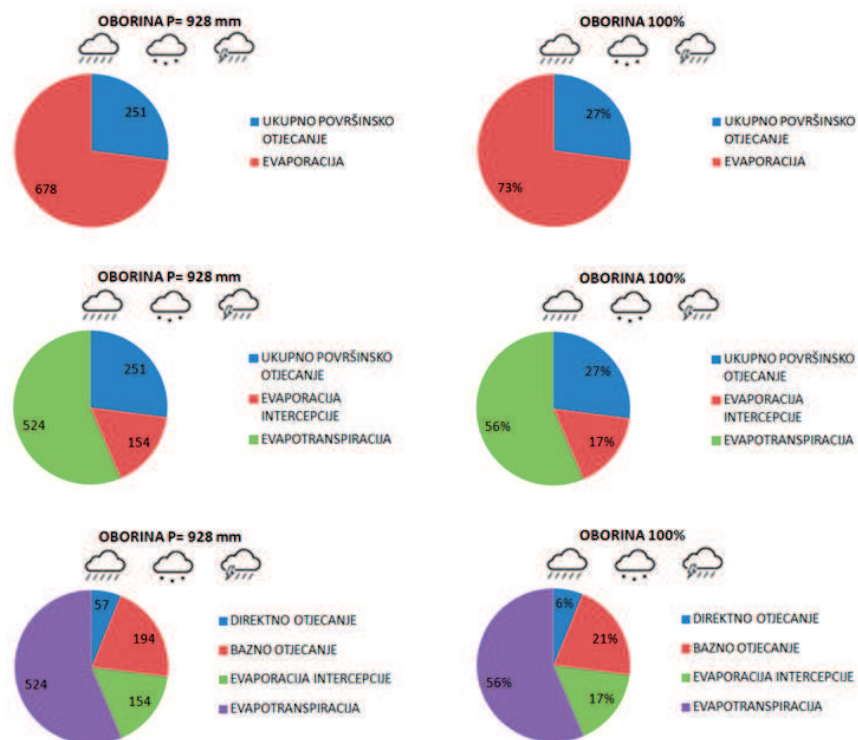
Dnevne, mjesečne i godišnje količine baznog površinskog otjecanja (mm) proračunate su iz izmjerenih dnevnih protoka na hidrološkim postajama te provedene separacije (6). Nakon osrednjavanja baznog površinskog otjecanja sa svih hidroloških postaja i za cijelo promatrano razdoblje, definirano je prosječno godišnje bazno površinsko otjecanje na slivu rijeke Krapine koje iznosi $Q_B=194$ mm.

Prosječna stvarna evapotranspiracija definirana je s obzirom na vrijednosti neizravno izmjerene stvarne evapotranspiracije za 26 satelitskih snimki korištenjem SEBAL modela (Ivezić i drugi, 2018.a; Ivezić i drugi, 2018.b). Prosječna razlika izmjerenih vrijednosti (izravno i neizravno putem satelita) na lokacijama lizimetara iznosi $\Delta h=0,3$ mm, za što je ocijenjeno da je prihvatljivo (Slika 3, desno). Definiranjem linije trenda s obzirom na dostupne snimke, moguće je bilo definirati dnevne vrijednosti stvarne evapotranspiracije za prosječnu godinu. Nakon toga osrednjavanjem za cijelu godinu, definirana je prosječna godišnja stvarna evapotranspiracija na slivu rijeke Krapine koja iznosi $ET=524$ mm.

Prosječne godišnje vrijednosti bilance voda na slivu rijeke Krapine dobivene su prema sljedećim komponentama: oborina, ukupno površinsko otjecanje, direktno površinsko otjecanje, bazno površinsko otjecanje i evapotranspiracija. Računske vrijednosti komponenata dobivene su prema izrazima (3)-(5). Uz pretpostavku da je, s obzirom na duljinu promatranog razdoblja (2000. - 2013.), promjena ukupne zalihe vode na slivu, dS/dt , zanemariva (1), evaporacija intercepcije je proračunata kao razlika svih ostalih komponenti.

Prosječne godišnje vrijednosti (mm) i udjeli (%) komponenata bilance voda na slivu rijeke Krapine prikazani su na slici 3. Prosječne godišnje vrijednosti površinskog otjecanja i evaporacije od $Q=251$ mm i $ET=678$ mm imaju udjele od 27 % odnosno 73 % (Slika 4, gore). Prosječne godišnje vrijednosti evapotranspiracije i evaporacija intercepcije od $ET=524$ mm i $E_I=154$ mm imaju udjele od 56 % odnosno 17 % (Slika 4, u sredini). Prosječno godišnje direktno površinsko otjecanje i bazno površinsko otjecanje od $Q_o=57$ mm i $Q_B=194$ mm imaju udjele od 6 % odnosno 21 % (Slika 4, dolje).

Dobiveni rezultati prosječnih godišnjih komponenata bilance voda na slivu Krapine u skladu su s procjenama udjela u literaturi za slivove ovakvog položaja i tipa klime (WMO, 2008). Tako se navodi, da je u godišnjoj bilanci voda udio evaporacije intercepcije od 10 % do 20 % (17 % za sliv rijeke Krapine), a udio ukupne evaporacije od 70 % do 75 % (73 % za sliv rijeke Krapine).



Slika 4. Prosječne godišnje vrijednosti i udjeli komponenata bilance voda na slivu Krapine

ZAKLJUČAK

Pouzdanost definiranja kompletnog hidrološkog ciklusa i svih komponenata bilance voda na slivu je otežano u slučaju manjka ulaznih podataka. Pri određivanju komponenata bilance na slivovima s oskudnim setom ulaznih podataka od velike je pomoći korištenje suvremenih tehnologija poput daljinskih istraživanja. Također, za obradu podataka i dobivanje detaljnih prostorno raščlanjenih podataka u dužem vremenskom periodu uvelike pomaže automatizacija postupka preko računalnih skripti. Korištenjem suvremenih tehnika moguće je dobiti pouzdanije vrijednosti i odnose pojedinih komponenata bilance voda na slivu. Na primjeru sliva rijeke Krapine rezultati pokazuju da s obzirom na prosječnu godišnju količinu oborina prosječni godišnji udio evapotranspiracije iznosi 56 %, direktnog otjecanja 6 %, baznog otjecanja 21 % te evaporacije intercepcije 17 %. Odnosno pojednostavljeno, udio evaporacije na slivu iznosi 63 % a ukupnog površinskog otjecanja 27 %.

ZAHVALA

Autori se zahvaljuju DHMZ-u na ustupljenim podacima s hidroloških, meteoroloških i kišomjernih postaja.

LITERATURA

- [1] Alemaw, B.F., Chaoka, T.R. (2003): *A continental scale water balance model: a GIS-approach for Southern Africa*, Physics and Chemistry of the Earth, 28, pp. 957–966
- [2] Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M. (1998): *A remote sensing surface balance algorithm for land (SEBAL)*, Journal of Hydrology, 212-213, pp. 198-212
- [3] Bonacci, O., Horvat, B. (2003): *Bilanca voda Hrvatske: dostignuća i potrebe*, Zbornik radova 3. hrvatske konferencije o vodama, pp. 33-43
- [4] Chen, J., Zhu, X., Vogelmann, J.E., Gao, F., Jin, S. (2011): *A simple and effective method for filling gaps in Landsat SLC-off images*, Remote Sensing of Environment, 115, pp. 1053-1064
- [5] Eckhardt, K. (2005): *How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation*, Hydrological Processes, 19(2), pp. 507-515
- [6] Esri (Environmental Systems Research Institute) (2012): *ArcGIS 10.1 Help*, Esri, Redlands, USA
- [7] Horvat, B. (2013): *Prostorna dinamika efektivne dnevne evapotranspiracije*, Građevinar, 65 8, pp. 693-705
- [8] Horvat, B., Rubinić, J. (2008): *Kvantifikacija komponenata bilance voda integracijom daljinskih istraživanja i hidrometrijskih mjerenja*, Zbornik radova znanstvenog savjetovanja: Hidrološka mjerenja i obrada podataka, pp 269-280
- [9] Immerzeel, W.W., Droogers, P. (2008): *Calibration of a distributed model based on satellite evapotranspiration*, Journal of Hydrology, 349, pp. 411–424
- [10] Ivezic, V., Bekic, D., Kerin, I. (2018a): *Estimating basin-wide Air Temperature by Partial Integration of Remote Sensing Data*, Canadian Journal of Earth Sciences, 55(10), pp. 1196-1206
- [11] Ivezic, V., Bekic, D., Horvat, B. (2018b): *Modelling of Basin Wide Daily Evapotranspiration with a Partial Integration of Remote Sensing Data*, Atmosphere, 9(4), 120
- [12] NASA (National Aeronautics and Space Administration) (2011): *Landsat 7 Science Data Users Handbook*, Washington, SAD
- [13] SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) (2002): *Idaho Implementation, Advanced Training and Users manual*, Waters Consulting, British Columbia, University of Idaho, SAD, WaterWatch Inc., Netherlands
- [14] Todini, E. (2007): *Hydrological catchment modelling: past, present and future*, Hydrology & Earth System Sciences, 11, pp. 468-482
- [15] Zandbergen, P. A. (2013): *Python Scripting for ArcGIS*, First Edition, Esri press, Redlands, USA
- [16] WMO (World Meteorological Organisation) (2008): *Guide to Hydrological Practices, Volume I, Hydrology – From Measurement to Hydrological Information*, WMO-No. 168, Sixth edition

AUTORI

dr. sc. Vedran Ivezić ^a

doc. dr. sc. Damir Bekić ^b

Tomislav Suton, mag. ing. ^c

^a Hidrokonzalt projektiranje d.o.o., Hvarska 11, 10000 Zagreb, Hrvatska, vedran.ivezic@hidrokonzalt.hr

^b Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Hrvatska damir.bekic@grad.hr

^c Hrvatske vode, VGO za gornju Savu, Ulica grada Vukovara 271, 10000 Zagreb, Hrvatska, tomlav.suton@voda.hr



R 1.20.

INTEGRIRANI RAŠČLANJENI MODEL BILANCE VODA „IVOR“

Vedran Ivezić, Damir Bekić, Filip Ferenčak

SAŽETAK: U radu se prikazuju osnovni elementi originalnog integriranog raščlanjenog hidrološkog modela „IVOR“ za učinkovit proračun komponenata bilance voda na temelju GIS tehnologije i daljinskih istraživanja unutar platforme otvorenog koda. Model koristi originalne postupke integracije daljinskih istraživanja i standardnih hidrometeoroloških mjerenja za dobivanje potpune prostorne raspodjele površinskih komponenata bilance voda. Integracija daljinskih istraživanja omogućuje pouzdaniji proračun prostornih i vremenskih varijacija površinskih komponenata bilance vode na slivu uz standardna hidrometeorološka mjerenja. Model je primijenjen na slivu rijeke Krapine na kojem su temeljem dnevnog računskog koraka proračunate komponente bilance voda u periodu 2000. - 2013. Rezultati kalibracije/validacije modela na svim hidrološkim postajama pokazuju prosječnu razliku mjesečnog otjecanja od 0,77 mm/1,98 mm dok su vrijednosti Nash-Sutcliffe koeficijenta osjetljivosti 0,22/0,20. Razvijeni model omogućava srednjoročne i dugoročne prognoze bilance voda kao i analize utjecaja različitih promjena (klima, pokrov zemljišta, gradnje) na vodne količine na slivu. Model stoga nalazi primjenu u različitim područjima vodnog gospodarstva poput hidroloških prognoza, istraživanja utjecaja promjena stanja na slivu i varijantnih projektnih mjera prilagodbe i slično.

KLJUČNE RIJEČI: model bilance voda, raščlanjeni model, daljinska istraživanja

INTEGRATED DISTRIBUTED WATER BALANCE MODEL IVOR

ABSTRACT: The paper presents the basic elements of an original integrated distributed hydrological model (IVOR) for efficient calculation of water balance components based on the GIS technology and remote sensing using an open-source platform. The model implements original procedures for integration of remote sensing and standard hydrometeorological measurements for obtaining a full spatial distribution of surface water balance components. The integration of remote sensing enables a more accurate calculation of spatial and temporal variations of surface water balance components in a basin along with standard hydrometeorological measurements. The model was implemented in the Krapina river basin, in which the values of the water balance components for period 2000-2013 were computed using daily time step. The results of the model calibration/valida-

tion indicate an average difference of monthly runoff at all hydrological stations of 0.77 mm/1.98 mm and the values of the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient of 0.22/0.20. The developed model enables mid-term and long-term forecasting of water balance as well as analyses of the impact of various changes (climate, land cover, construction) on the water availability in a basin. For these reasons, there is a range of water management areas that would benefit from the application of the model, such as hydrological forecasting, assessment of the impact of changes in the basin status, design variants for mitigation measures, etc.

KEYWORDS: water balance model, distributed model, remote sensing

1. UVOD

Primjena modela bilance voda je vrlo široka pa ih je tako moguće koristiti za proračun regionalne bilance voda, za određivanje utjecaja ljudskog djelovanja i klimatskih varijacija na hidrologiju sliva, za planiranje i optimalnu raspodjelu zaliha svježe vode, itd. Razumijevanje bilance voda u odnosu na klimatske i morfološke značajke sliva također daje uvid u složene procese koji se odvijaju s obzirom na različite prostorne i vremenske odnose (Alemaw et al., 2003). Predviđanja učestalijih i dužih sušnih razdoblja te većih intenziteta velikovodnih događaja sasvim jasno definiraju potrebu za poznavanje sadašnjih zaliha vode na slivu i za predviđanje budućih stanja (European Parliament, 2008; UN-Water, 2012), a u čemu modeli bilance vode mogu imati presudnu ulogu i biti izvor vrlo vrijednih i pouzdanih informacija.

Do danas su razvijeni različiti matematički hidrološki modeli koji se razlikuju po općenitom pristupu modeliranju, po metodama proračuna pojedinih komponenata bilance voda, po složenosti računске strukture modela, po primjenjivosti modela različitim prostornim i vremenskim domenama, itd. Složenost cjelokupnog procesa promjene zapremine vode na slivu kao i složenost međusobnih veza između pojedinih komponenata hidrološkog ciklusa zahtijevaju i složene matematičke pristupe a time i poznavanje niza hidrometeoroloških podataka i ostalih geofizičkih parametara sliva. Budući da ti ulazni parametri često nisu dostupni ili su nepouzđani, za proračun bilance vode potrebno je pronaći ravnotežu između detaljnosti opisa hidroloških procesa i složenosti modela, s jedne strane te dostupnosti izmjerenih podataka i ulaznih parametara, s druge strane.

Objedinjeni hidrološki modeli promatraju sliv kao jednu jedinicu opisanu s nekoliko desetaka parametara i varijabli, dok s druge strane, raščlanjeni modeli opisuju sliv skupovima proračunskih mrežnih točaka, a svaka mrežna točka sadrži nekoliko hidroloških varijabli. Prostorne i vremenske varijacije komponenata hidroloških procesa predstavljaju poseban problem, pa je osnovna prednost raščlanjenih modela mogućnost opisivanja prostornih varijacija unutar modela. Ovakvi modeli, posljedično, omogućuju njihovu primjenu u smislu hidroloških prognoza, istraživanjima utjecaja promjene stanja na slivu (klima, pokrov, gradnje) ili varijantnih projektnih mjera prilagodbe.

Kako bi se osigurale zadovoljavajuće podloge za ovu vrstu modela korištena su daljinska mjerenja, koja pružaju dodatni izvor ulaznih podataka visoke prostorne i vremenske rezolucije. Satelitske snimke su postale ultimativni izvor najrazličitijih geofizičkih parametara širokih područja: nadmorske visine, pokrova zemljišta temperature površine, snježnog pokrova, evapotranspiracije, kakvoće vode itd. Razvijeni su originalni postupci

integracije daljinskih istraživanja i standardnih hidrometeoroloških mjerenja, što je bio preduvjet mogućnosti izrade modela.

Jedna od njih se odnosi na temperaturu zraka, koja je jedna od ključnih parametara za opis površinskih komponenata hidrološkog ciklusa i važna je u mnogim procesima poput evapotranspiracije, neto radijacije, rasprostranjenosti živih organizama itd. (Cristobal i drugi, 2005). Tako je razvijena metoda proračuna temperature zraka na slivu gdje ne postoji dovoljna gustoća meteoroloških postaja koja koristi kombinaciju daljinskih istraživanja i mjerenja temperature zraka na meteorološkim postajama, a omogućava vremenski neprekinut proračun temperature zraka na cjelokupnom slivu (Ivezić i drugi, 2018b).

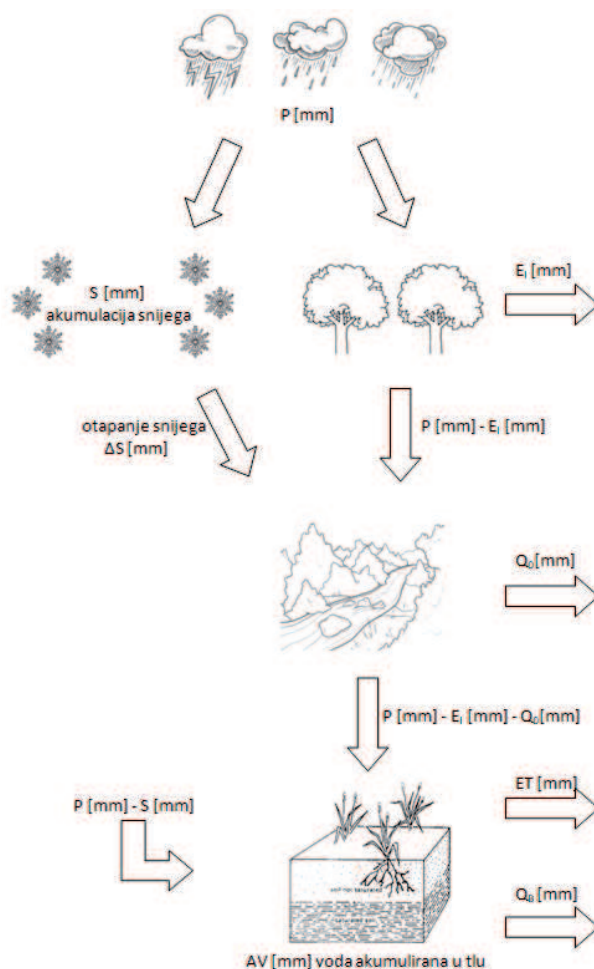
Evapotranspiracija je pak, glavna komponenta bilance voda na riječnom slivu te znatno utječe na hidrološki ciklus i bilancu energije Zemljine površine (Senay i drugi, 2011). Na evapotranspiraciju utječu mnogi fizički faktori te je ujedno i komponenta bilance voda koju je nateže izmjeriti ili procijeniti. Razvijena je metoda primjene dostupnih satelitskih snimaka snimljenih korištenjem termalnih infracrvenih kanala tijekom perioda s dostupnim satelitskim snimkama, za procjenu dnevne evapotranspiracije u periodima kada satelitske snimke nisu dostupne (Ivezić i drugi, 2018a).

Integracija daljinskih istraživanja u razvijeni model bilance voda je omogućila pouzdaniji proračun prostornih i vremenskih varijacija površinskih komponenata bilance voda na slivu iz standardnih hidrometeoroloških mjerenja. Model je primijenjen na slivu rijeke Krapine gdje su temeljem dnevnog računskog koraka proračunate komponente bilance voda za period 2000. - 2013. Kalibracija (2000. - 2006.) i validacija (2007. - 2013.) modela su provedene usporedbom modeliranih vrijednosti s onima izmjerenim na lokacijama hidroloških postaja na slivu.

2. PREDMETNO PODRUČJE

Cjelokupno slivno područje rijeke Krapine je brežuljkasto-brdovito, s gustom mrežom brdskih pritoka, ukupne površine 1.236 km² (Slika 1). Hidrografska mreža je vrlo razvijena, a gustoća se kreće oko 1 km/km². Sliv je asimetričan u odnosu na glavni vodotok, rijeku Krapinu, pri čemu su desni pritoci dulji i imaju veće površine sliva, a lijevi pritoci s obronaka Medvednice su kraći i izrazitijeg bujičnog karaktera.

Za potrebe izrade modela su prikupljeni podaci s hidroloških postaja na slivu (Slika 1), kao i podaci s meteoroloških (njih 10) i kišomjernih postaja (njih 12) na i oko sliva, za razdoblje 2000. - 2013. Podaci prikupljeni daljinskim mjerenjima odnose se na podatke koji su prikupljeni pomoću Landsat 7 satelita u razdoblju od njegovog lansiranja 15. travnja 1999. do kvara koji se 31. svibnja 2003. dogodio na ugrađenom senzoru Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+).



Slika 2. Shematski dijagram procesa modela bilance voda

U prvom koraku razvijene su nove, originalne metode te su korištenjem Python uređivača PythonWin napisane originalne skripte za svaku od analiziranih komponenti bilance voda na slivu. Tako je razvijena originalna metoda procjene prostorne raspodjele temperature zraka na slivu uz integraciju podataka daljinskog mjerenja s izmjerenim hidrometeorološkim podacima (Ivezić i drugi, 2018a). Ona je korištena i za razvoj originalne metode procjene evapotranspiracije, ET (mm) na slivu uz parcijalnu integraciju podataka daljinskog mjerenja (Ivezić i drugi, 2018b), na temelju koje je izrađena originalna skripta komponente evapotranspiracije na slivu. Modeliranje evaporacije intercepcije EI (mm) na slivu provedeno je temeljem originalne metode procjena evaporacije intercepcije na slivu uz parcijalnu integraciju podataka daljinskog mjerenja. Evaporacija intercepcije modelirana je korištenjem Astonovog intercepcijskog modela (Aston, 1979). Modeliranje direktnog otjecanja, QD (mm) je provedeno primjenom SCS metode (NRCS, 1997). Budući da se modelom bilance voda definira prostorna raspodjela vode (volumno),

korišten je samo dio metode koji se na to odnosi. Za korektan kontinuirani izračun vrijednosti direktnog otjecanja, bilo je potrebno poznavati prethodne uvjete vlažnosti tla. Otapanje snijega ΔS (mm) modelirano je s obzirom na razlike mjerenja snijega u odnosu na prethodni dan. Pri tome se vodilo računa da postoji razlika zapremine snijega s obzirom na zapreminu vode te da prilikom otapanja snijega, zbog vrlo često još uvijek zaleđenog površinskog sloja tla, dio otopljenog snijega sudjeluje u direktnom otjecanju. Promjena količine vode akumulirane u tlu.

Nakon modeliranja površinskih komponenata bilance voda izrađen je sam model bilance voda IVOR, odnosno pojedinačne skripte za procjenu komponenti bilance voda su povezane u jedinstvenu skriptu modela. Dijagram modelskih procesa prikazan je shematski na priloženoj slici 2. Osim prikazanog tijeka proračuna modela, valja imati na umu da postoje dodatne zavisne veze pojedinih komponenata bilance voda. Tako je definira zavisnost direktnog otjecanja Q_D (mm) u odnosu na vlažnost tla, odnosno količinu vode akumulirane u tlu. Evapotranspiracija ET (mm) također zavisi o dostupnosti vode u tlu, kao i bazno otjecanje Q_B (mm) koje je također zavisno o količini akumulirane vode u tlu. U to svrhu je napravljena originalna Python skripta modela bilance voda koja je u stanju automatizirati cijeli proces što je bilo apsolutno neophodno s obzirom na ogromne količine ovako definiranih prostorno raščlanjenih podataka, s obzirom na dnevni vremenski korak modela i prostornu rezoluciju modela od 30 m. Kako bi se dobio dojam o količini ovako definiranih podataka, treba reći da se za svaku godinu za koju se provodi modeliranje definira 1460 (1464 za prijestupne godine) novih rastera (direktno otjecanje, bazno otjecanje, evapotranspiracija i količini akumulirane vode u tlu, dok se inicijalno proračunate vrijednosti evaporacije intercepcije usvajaju budući da ne ovise o ostalim komponentama bilance voda), čija je pak ukupna veličina zauzeća na tvrdom disku oko 16 GB podatkovnog prostora (po godini). Ukupno zauzeće novih rastera na tvrdom disku dakle iznosi oko 220 GB (po 110 GB za period kalibracije i validacije). Inicijalna kalibracija i definiranje inicijalnih zavisnosti modela provedeni su na temelju dijela mjerenih vrijednosti na hidrološkim postajama te procjene vrijednosti pojedinih komponenata bilance voda na slivu (2000. godina je poslužila kao svojevrsni period „zagrijavanja“ modela). Kalibracija modela je provedena za razdoblje 1.1.2000. - 31.12.2006. na lokacijama hidroloških postaja.

Nakon provedene kalibracije modela, provedena je validacija modela, za razdoblje 1.1.2007. - 31.12.2013. Jednako kao i kalibracija, validacija je provedena s obzirom na mjerene protoke zabilježene na lokacijama hidroloških postaja.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Tablično u nastavku, prikazane su prosječne vrijednosti razlike otjecanja i Nash-Sutcliffe (NSE) koeficijent osjetljivosti za sve hidrološke postaje na slivu Krapine, za period kalibracije i validacije modela (Tablica 1). Izdvojene su i vrijednosti za HS Kupljenovo, kao postaje s najvećom slivnom površinom (92 % površine sliva), najreprezentativnijom za cijeli sliv rijeke Krapine (Tablica 2).

Tablica 1. Usporedba rezultata kalibracije i validacije modela za sve hidrološke postaje

TIP OTJECANJA	PROSJEČNA RAZLIKA (mm)		PROSJEČNI NSE	
	KALIBRACIJA	VALIDACIJA	KALIBRACIJA	VALIDACIJA
UKUPNO	0,77	1,98	0,22	0,20
DIREKTNO	0,63	0,81	-0,56	-0,35
BAZNO	0,39	1,88	0,25	0,05

Tablica 2. Usporedba rezultata kalibracije i validacije modela za HS Kupljenovo

TIP OTJECANJA	PROSJEČNA RAZLIKA (mm)		PROSJEČNI NSE	
	KALIBRACIJA	VALIDACIJA	KALIBRACIJA	VALIDACIJA
UKUPNO	0,45	-0,13	0,57	0,66
DIREKTNO	-0,2	0,11	0,08	0,19
BAZNO	0,44	-0,03	0,56	0,56

Prosječne mjesečne vrijednosti ukupnog otjecanja na slivu kreću se od $Q=12,01$ (mm) u 2011. godini (ekstremno sušna), do $Q=49,22$ (mm) u 2013. godini. Minimalna vrijednost mjesečnog ukupnog otjecanja modelirana je u kolovozu 2003. godine $Q=1,24$ (mm). Maksimalna vrijednost mjesečnog ukupnog otjecanja modelirana je u ožujku 2013. godine $Q=157,8$ (mm).

Prosječne mjesečne vrijednosti direktnog otjecanja na slivu kreću se od $Q_D=0,80$ (mm) u 2011. godini (ekstremno sušna), do $Q_D=17,0$ (mm) u 2013. godini. Minimalna vrijednost mjesečnog direktnog otjecanja modelirana je u studenom 2011. godine $Q_D=0,0$ (mm). Maksimalna vrijednost mjesečnog direktnog otjecanja modelirana je u ožujku 2013. godine $Q_D=69,34$ (mm).

Prosječne mjesečne vrijednosti baznog otjecanja na slivu kreću se od $Q_B=11,21$ (mm) u 2011. godini (ekstremno sušna), do $Q_B=32,22$ (mm) u 2013. godini. Minimalna vrijednost mjesečnog baznog otjecanja modelirana je u kolovozu 2003. godine $Q_B=1,19$ (mm). Maksimalna vrijednost mjesečnog baznog otjecanja modelirana je u ožujku 2013. godine $Q_B=88,48$ (mm).

Prosječne mjesečne vrijednosti evapotranspiracije na slivu kreću se od $ET=36,50$ (mm) u 2003. godini, do $ET=46,76$ (mm) u 2006. godini. Minimalna vrijednost mjesečne evapotranspiracije modelirana je u prosincu 2011. godine $ET=6,09$ (mm). Maksimalna vrijednost mjesečne evapotranspiracije modelirana je u lipnju 2006. godine $ET=100,8$ (mm).

Prosječne mjesečne vrijednosti evaporacije intercepcije na slivu kreću se od $E_I=10,90$ (mm) u 2011. godini (ekstremno sušna), do $E_I=19,54$ (mm) u 2004. godini. Minimalna vrijednost mjesečne evaporacije intercepcije modelirana je u studenom 2011. godine $E_I=0,22$ (mm). Maksimalna vrijednost mjesečne evaporacije intercepcije modelirana je u rujnu 2001. godine $E_I=35,02$ (mm).

Jedna od značajnijih mogućnosti primjene modela bilance voda IVOR je prognostička, odnosno za procjenu budućih stanja komponenata bilance voda na slivu. Primjena u kombinaciji sa srednjoročnim klimatskim prognostičkim modelima (nekoliko tjedana, npr. ECMWF, GFS i AccuWeather) bi omogućila pravovremenu spoznaju i pripremu u slučaju

nadolazeće suše, dok bi primjena u kombinaciji s dugoročnim klimatskim prognostičkim modelima (godine i desetljeća unaprijed, npr. RegCM) omogućila planiranje dugoročnih mjera za prilagodbu budućim devijacijama u bilanci voda.

Od srednjoročnih klimatskih prognostičkim modelima valja istaknuti model ECMWF koji je razvio Europski centar za srednjoročnu prognozu vremena (Owens i Hevson, 2018), rezolucije 9 km, koji nudi srednjoročne prognoze do 32 dana unaprijed. Nadalje, američki prognostički model GFS (Global Forecast System) je razvila Nacionalna oceanografska i atmosferska služba (NOAA), rezolucije je 13/27 km te nudi srednjoročne prognoze do 16 dana unaprijed. Te konačno, prognostički model AccuWeather, koji je razvila istoimena tvrtka, ističe se među srednjoročnim prognozama jer nudi prognozu za do 90 dana, iako ga mnogi renomirani prognostičari osporavaju.

Dugoročni klimatski prognostički model RegCM uključuje klimatske projekcije na Zemlji izrađene za dva vremenska razdoblja (do 2040. godine i do 2070. godine) uz pretpostavku scenarija razvoja koncentracije stakleničkih plinova RCP4.5 i RCP8.5 (RH, 2018). Projekcije ukazuju da će se pogoršanjem hidroloških prilika uslijed djelovanja klimatskih promjena s jedne strane povećati učestalost i trajanje sušnih razdoblja, a s druge strane i učestalost i intenzitet poplavnih situacija. Projicirano povećanje temperature zraka, kao i minorno iskazani trendovi promjena u ukupnim količinama oborina, imat će za posljedicu povećanje evapotranspiracije, smanjenje površinskih i podzemnih otjecanja, a time i još naglašenije smanjenje vodnih zaliha.

Daljnje mogućnosti primjene modela bilance voda IVOR se odnose na skoro sva područja vodnog gospodarstva. Tako je modelom moguće ispitati promjene na slivu uzrokovane promjenama pokrova zemljišta na slivu (promjene u kvantiteti i kvaliteti šumske vegetacije), utjecaj različitih vrsta ljudskog utjecaja (urbanizacija sliva, promjena uzgajanih poljoprivrednih kultura) te utjecaj varijantnih projektnih mjera prilagodbe budućim devijacijama u bilanci voda na slivu.

ZAKLJUČAK

Na slivovima s manjkom standardnih mjerenja na mreži hidroloških i meteoroloških postaja integracija daljinskih mjerenja u hidrološke modele omogućava pouzdaniju procjenu različitih komponenata bilance voda. Razvijeni su originalni postupci integracije daljinskih istraživanja i standardnih hidrometeoroloških mjerenja koji omogućuju modeliranje potpune prostorne raspodjele površinskih komponenata bilance voda. Postupci se odnose na parcijalnu integraciju daljinskih mjerenja za procjenu prostorne raspodjele temperature zraka na slivu, procjenu prostorne raspodjele evapotranspiracije na slivu i procjenu evaporacije intercepcije na slivu. Razvijen je originalni integrirani raščlanjeni model IVOR koji na učinkovit način integrira daljinska istraživanja za proračun bilance voda. Model je ispitan na slivu rijeke Krapine gdje su temeljem dnevnog računskog koraka proračunate komponente bilance voda u periodu 2000. - 2013. koristeći dnevni proračunski korak i prostornu rezoluciju modela od 30 m. Rezultati modela ukazuju na visoku pouzdanost modela a prosječna razlika modeliranog i izmjenog mjesečnog otjecanja ne prelazi 2,0 mm u periodu kalibracije (2000. - 2006.) i validacije (2007. - 2013.).

Model omogućava srednjoročne i dugoročne prognoze bilance voda kao i analize utjecaja različitih promjena (klima, pokrov zemljišta, korištenja zemljišta) na vodne količine

na slivu. Jedna o važnijih posljedica povećanja solarne radijacije i smanjenja oborina u ljetnim mjesecima u Hrvatskoj jest povećanje isparavanja i evapotranspiracije, a posljedično i vjerojatnosti hidroloških suša do 2040. i 2070. Predviđanja pokazuju će se zbog klimatskih promjena do 2050. godine prinos poljoprivrednih kultura u Republici Hrvatskoj smanjiti za 3 % do 8 %. Manjak vode u tlu (suša) i povišene temperature zraka u nadolazećem vremenskom periodu bit će dva ključna problema u borbi poljoprivrede s klimatskim primjenama (RH, 2018). U takvim uvjetima dugoročne hidrološke prognoze omogućavaju kvantificiranje utjecaja klimatskih promjena na stanje voda na slivu kao i analizu utjecaja različitih mjera prilagodbe.

ZAHVALA

Autori se zahvaljuju DHMZ-u na ustupljenim podacima s hidroloških, meteoroloških i kišomjernih postaja.

DOPRINOS AUTORA

Integrirani raščlanjeni model bilance voda IVOR je rezultat suradnje Vedrana Ivezića i Damira Bekića na izradi doktorske disertacije. Filip Ferenčak je analizirao mogućnosti primjene modela IVOR u kombinaciji s dostupnim prognostičkim modelima.

LITERATURA

- [1] Alemaw, B.F., Chaoka, T.R. (2003): *A continental scale water balance model: a GIS-approach for Southern Africa*, Physics and Chemistry of the Earth, 28, pp. 957–966
- [2] Aston, A.R. (1979): *Rainfall interception by eight small trees*, Journal of Hydrology, 42, pp. 383-396
- [3] Cristobal, J., Pons, X., Ninyerola, M. (2005): *Modelling Actual Evapotranspiration in Catalonia (Spain) by means of Remote Sensing and Geographical Information Systems*, Göttinger Geographische Abhandlungen, 113, pp. 144-150
- [4] European Parliament (2008): *Policy Department, Economic and Scientific Policy, Water Scarcity and Droughts*; European Parliament's Committee on the Environment, Public Health and Food Safety, London, UK
- [5] Ivezic, V., Bekic, D., Horvat, B. (2018a): *Modelling of Basin Wide Daily Evapotranspiration with a Partial Integration of Remote Sensing Data*, Atmosphere, 9(4), 120
- [6] Ivezic, V., Bekic, D., Kerin, I. (2018b): *Estimating basin-wide Air Temperature by Partial Integration of Remote Sensing Data*, Canadian Journal of Earth Sciences, 55(10), pp. 1196-1206
- [7] NRCS (Natural Resources Conservation Service) (1997): *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*, United States Department of Agriculture, SAD
- [8] Owens, R.G., Hewson, T. (2018): *ECMWF Forecast User Guide*, User manual
- [9] RH (Republika Hrvatska) (2018): *Sedmo nacionalno izvješće i treće dvogodišnje*

izvješće Republike Hrvatske prema okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC), Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Zagreb

- [10] Senay, G.B., Leake, S., Nagler, P.L., Artan, G., Dickinson, J., Cordova, J.T., Glenn, E.P. (2011): *Estimating basin scale evapotranspiration (ET) by water balance and remote sensing methods*. Hydrological Processes, 25, pp. 4037–4049
- [11] UN-Water (2012): *Managing Water under Uncertainty and Risk*; Report 4; The United Nations World Water Development, Paris, France

AUTORI

dr. sc. Vedran Ivezić ^a

doc. dr. sc. Damir Bekić ^b

Filip Ferenčak, mag. ing. aedif. ^a

^a Hidrokonzalt projektiranje d.o.o., Hvarska 11, 10000 Zagreb, Hrvatska, vedran.ivezic@hidrokonzalt.hr, filip.ferencak@hidrokonzalt.hr

^b Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Hrvatska, damir.bekic@grad.hr



R 1.21.

UTJECAJ PRAGA KOD TE-TO ZAGREB NA VODOSTAJE RIJEKE SAVE I PODZEMNE VODE ZAOTALJA

Filip Kalinić, Ivana Ivanković, Ivana Bartolić, Mladen Petrićec

SAŽETAK: Uslijed aktivnosti na vodotoku i riječnom slivu, režim voda i nanosa rijeke Save značajno je promijenjen. Na području grada Zagreba korito Save ima tendenciju produblivanja. Produblivanjem korita na utjecajnom području zaotalja dolazi do snižavanja razina podzemnih voda. Takvi trendovi predstavljaju višestruki problem za vodoopskrbu grada Zagreba, osobito u sušnim razdobljima.

Snižavanje vodostaja kod malih i srednjih voda i razina podzemnih voda u zagrebačkom vodonosniku značajno je od druge polovice prošlog stoljeća. Do produbljenja korita Save došlo je zbog dominantnog antropogenog djelovanja poput prekomjernog vađenja šljunka, izgradnje regulacijskih i protuerozijskih građevina na uzvodnom dijelu sliva, osobito izgrađenog lanca hidroelektrana na rijeci Savi u Sloveniji. Početkom osamdesetih godina zabilježeni su ekstremno niski vodostaji Save te su se tada pojavili problemi u opskrbi Termoelektrane-toplane (TE-TO Zagreb) rashladnom vodom. U razdoblju od nekoliko godina podizanje vodostaja rijeke Save na profilu TE-TO Zagreb osigurano je izgradnjom potopljenog praga na pokretnom dnu. Osim pozitivnog utjecaja praga na rad TE-TO Zagreb, uočen je pozitivan utjecaj i podizanje razina podzemnih voda na utjecajnom području zaotalja.

Između vodostaja rijeke Save i razina podzemnih voda uz pojedina crpilišta zagrebačkog vodonosnika uočena je određena korelacija. U okviru rada analizirani su režimi vodostaja rijeke Save u razdobljima prije i nakon izgradnje praga. Također je istražen utjecaj izgradnje praga na razine podzemnih voda u zaotalju rijeke Save.

KLJUČNE RIJEČI: prag TE-TO Zagreb, vodostaji, razine podzemne vode, rijeka Sava, zagrebački vodonosnik

IMPACT OF THE TE-TO ZAGREB SILL ON THE SAVA WATER LEVELS AND GROUNDWATER LEVELS

ABSTRACT: Due to activities in the riverbed and river basin, the water and sediment regimes of the Sava River have significantly changed. In the area of the City of Zagreb, the Sava riverbed shows a deepening tendency. Riverbed deepening in an impactful hinterland area causes a decline in groundwater levels. Such trends create multiple problems

for water supply of the City of Zagreb, particularly in the drought periods.

A decline in water levels during low and medium water level periods as well as in groundwater levels in the Zagreb aquifer has been significant from the 1950s. The deepening of the Sava riverbed is a result of predominantly anthropogenic impacts, such as excessive gravel excavation, construction of regulation and anti-erosion water facilities in the upstream section of the basin, in particular the chain of HPPs built on the Sava River in Slovenia. At the beginning of 1980s, extremely low water levels of the Sava were observed, causing problems with cooling water supply for the cogeneration plant (TE-TO Zagreb). In the following several years, an increase in the Sava water levels on the TE-TO Zagreb profile was achieved by the construction of a submerged sill downstream of the plant.

In addition to the positive impact on the TE-TO Zagreb operation, a positive impact on the increase in of groundwater levels in the impactful hinterland was also perceived.

A certain correlation between the Sava water levels and groundwater levels at some abstraction sites of the Zagreb aquifer was noticed. In the paper, the regimes of the Sava water levels in the periods prior and after the construction of the sill are analysed. The impact of the sill construction on groundwater levels in the Sava hinterland was explored as well.

KEYWORDS: TE-TO Zagreb sill, water levels, groundwater levels, Sava River, Zagreb aquifer

1. UVOD

Rijeka Sava primjer je aluvijalnog vodotoka s izraženim trendom produbljenja svog korita, kao posljedice značajnih antropogenih aktivnosti na slivu i u samom vodotoku. Uslijed produbljenja dna korita dolazi do promjene dotadašnjeg režima voda i nanosa.

Negativni trendovi najizraženiji su na dionici rijeke Save od granice s Republikom Slovenijom do Rugvice. Budući da su vodostaji rijeke Save i razine podzemnih voda u zagrebačkom vodonosniku izravno povezani, snižavanje vodostaja rijeke Save uzrokovalo je i snižavanje razina podzemnih voda (Vujević et al., 2018.).

Antropogenim utjecajima i regulacijskim radovima na rijeci Savi i u zaobalju uvelike se utjecalo na režim voda i nanosa te je nanosena trajna šteta zagrebačkom vodonosniku. Kao jedan od najbitnijih čimbenika u procesu degradacije korita navodi se prekomjerno vađenje šljunka iz korita rijeke Save tijekom 70-ih godina prošlog stoljeća. Time se smanjuje potrošnja energije rijeke na oblikovanje vlastitog korita na mjestima iskopa te dolazi do pojačanog djelovanja rijeke to jest erodiranja obala i korita nizvodno od mjesta iskopa (Beraković, 2009.). Reguliranjem rijeke Save kroz Zagreb te skraćivanjem njezinog toka povećao se uzdužni pad rijeke čime je posljedično uzrokovano povećanje vučne sile rijeke te je potpomognut proces degradacije korita (Kuspilić et al., 2016.). Nadalje, izgradnjom niza brana i pragova u Sloveniji poremećena je dinamika donosa nanosa što je također značajno utjecalo na produbljenje korita u nizvodnom toku rijeke Save (Petričec, 2012.).

Snižavanje vodostaja rijeke Save predstavljalo je problem radu Termoelektrane-toplane Zagreb (TE-TO) u uvjetima niskih vodostaja, s obzirom da se rashladna voda zahvaća iz rijeke Save. Kao privremeno i interventno rješenje do realizacije planiranog cjelovitog višenamjenskog hidroenergetskog sustava, neposredno nizvodno od zahvata za rashladnu vodu izgrađen je potopljeni prag. Odmah su uočeni problemi sa stabilnošću praga te su

uslijedile višestruke obnove primarnog, a zatim i izgradnja sekundarnog praga.

U okviru rada analizirani su vodostaji rijeke Save u razdoblju prije i nakon izgradnje praga TE-TO. Također je analiziran utjecaj izgradnje praga na razine podzemnih voda u zaobalju rijeke Save.

2. UTJECAJ PRAGA TE-TO NA VODOSTAJE RIJEKE SAVE

Potopljeni prag izgrađen je 1983. godine te je do 1993. bio više puta rekonstruiran i nadograđivan. Sanacijom praga 1989. godine kota krune praga bila je postavljena na kotu 106,75 m n.m. dok je rekonstrukcijom praga 1993. godine kota krune postavljena na 107,00 m n.m. Formiranjem uspora neposredno uzvodno od praga TE-TO, uzvodno je lokalno zaustavljeno opadanje minimalnih i srednjih vodostaja u rijeci Savi, ali se nizvodno od praga javlja značajna erozija koja ugrožava stabilnost praga i kontinuirano zahtijeva sanaciju.

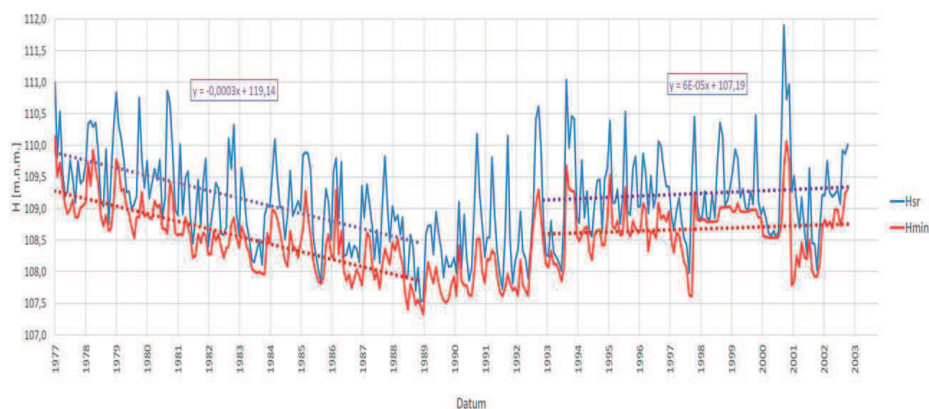
Vodostaji rijeke Save opažaju se na području grada Zagreba na nekoliko hidroloških stanica. Za potrebe ovog rada korišteni su podaci h.s. Zagreb i h.s. Bundek u razdoblju veljača 1977. - siječanj 2003. godine. Obje stanice smještene su uzvodno od praga TE-TO kao što je prikazano na slici 1. Analizom su obuhvaćene srednje i minimalne mjesečne vrijednosti vodostaja kako bi se mogla provesti usporedba s raspoloživim podacima o razinama podzemnih voda.



Slika 1. Situacijski prikaz h.s. Zagreb i h. s. Bundek u odnosu na prag TE-TO

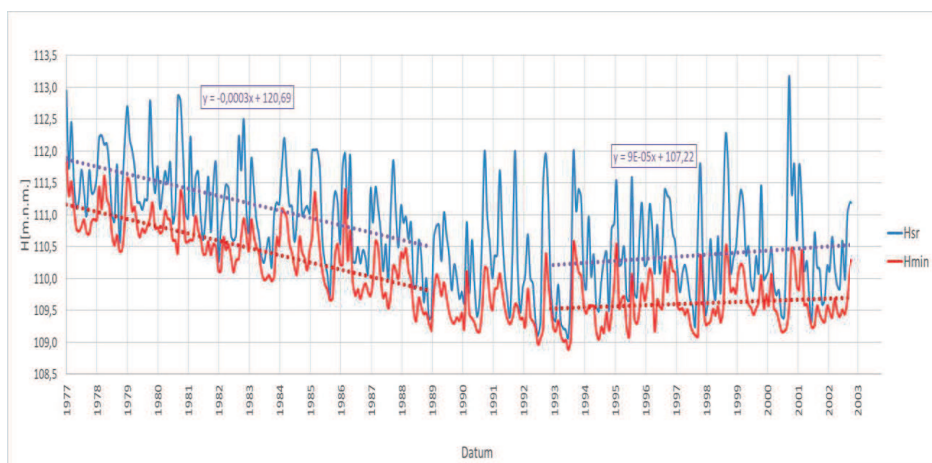
Vodostaji na obje hidrološke stanice analizirani su za razdoblje prije izgradnje praga, tj. do 1989. godine kada je kota krune praga značajnije podignuta i kada je izgrađen sekundarni prag te u razdoblju 1993. - 2003. godina nakon posljednje veće rekonstrukcije praga. Na slici 2. prikazan je nivogram srednjih i minimalnih mjesečnih vodostaja za h.s. Bundek. U razdoblju 1977. - 1989. godina, jasno je vidljiv negativan trend srednjih i minimalnih mjesečnih vodostaja koji su se snizili za otprilike 1,5 m. Taj je trend zaustavljen tek 1989. godine kada je napravljena spomenuta sanacija praga. U razdoblju 1989. - 1993. godina vidljivo je zaustavljanje negativnog trenda te stabilizacija vodostaja na razine iz 1989.

godine. Posljednjom sanacijom praga 1993. godine podignuti su vodostaji za oko 0,5 metara u odnosu na vodostaje iz 1989. godine te je uspostavljen blagi pozitivan trend srednjih i minimalnih mjesečnih vodostaja.



Slika 2. Nivogram srednjih i minimalnih mjesečnih vodostaja na h.s. Bundek u razdoblju 1977. - 2003. godina

Na slici 3. prikazani su srednji i minimalni mjesečni vodostaji na h.s. Zagreb u istom razdoblju. Također, kao i na h.s. Bundek, negativan trend vodostaja zaustavljen je 1989. godine. Prema obrađenim podacima s h.s. Zagreb, sanacija praga 1993. godine nije ostvarila toliko značajan utjecaj kao na vodostaje na h.s. Bundek te vodostaji imaju blagi pozitivni trend od 1989. godine do 2003. godine. Razlog tomu je veća udaljenost h.s. Zagreb od praga TE-TO.



Slika 3. Nivogram srednjih i minimalnih mjesečnih vodostaja na h.s. Zagreb u razdoblju 1977. - 2003. godina

Analiza vodostaja na hidrološkim stanicama uzvodno od praga TE-TO ukazuje na pozitivan utjecaj praga na srednje i minimalne mjesečne vodostaje, tj. zaustavljanje negativnog trenda te pojavu blagog pozitivnog trenda vodostaja.

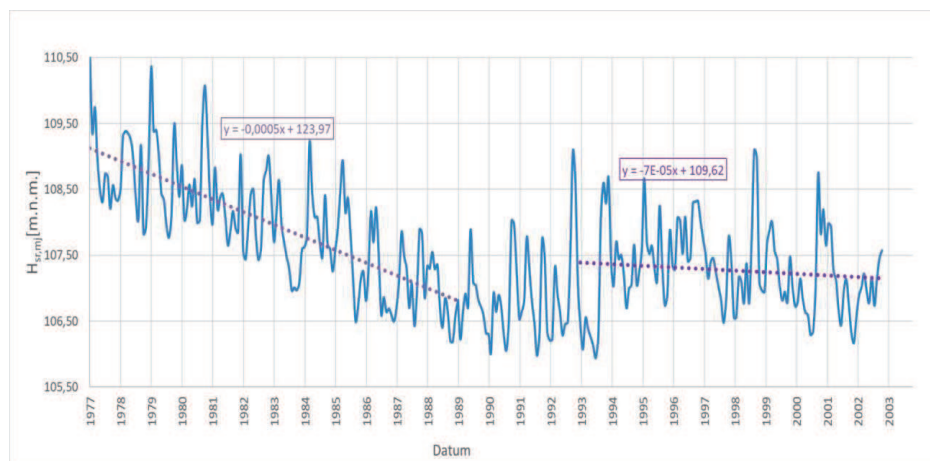
3. UTJECAJ PRAGA NA RAZINE PODZEMNE VODE

U nastavku su analizirani trendovi srednjih mjesečnih razina podzemne vode za piezometre 121 i 122 koji se nalaze u blizini jezera Bundek i crpilišta Zaprude (slika 4).



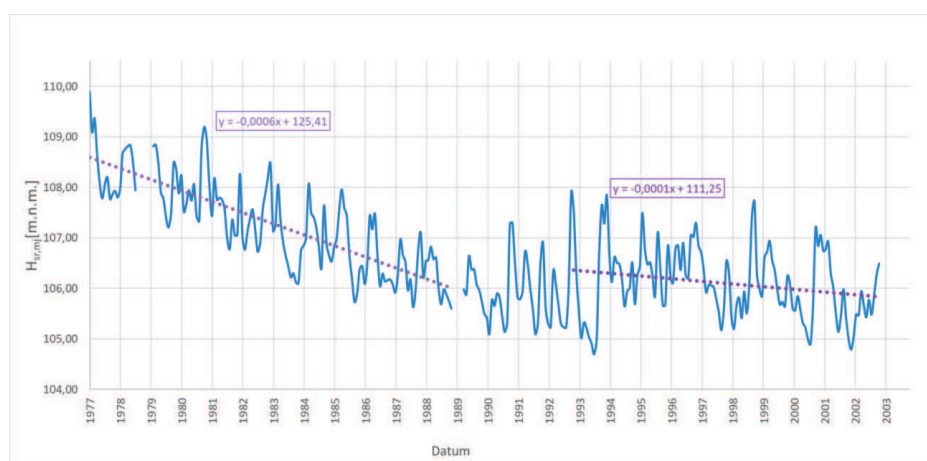
Slika 4. Položaj piezometara u blizini vodocrpilišta Zaprude

Na slici 5. prikazan je nivogram srednjih mjesečnih razina podzemne vode zabilježenih na piezometru 121. Od 1977. do 1989. godine vidljiv je negativan trend razina podzemnih voda koje u spomenutom razdoblju opadaju za oko 2,0 m. Nakon 1989. godine dolazi do usporavanja negativnog trenda, koji je ujednačen do 1993. godine kada dolazi do podizanja od oko 0,5 m. U razdoblju od 1993. do 2003. godine nastavlja se negativan trend razina podzemnih voda, ali manjim intenzitetom nego u razdoblju prije izgradnje praga pa se može zaključiti da učinak praga opada.



Slika 5. Nivogram razine podzemne vode piezometra 121 u blizini jezera Bundeck u razdoblju 1977. - 2003. godina

Nivogram za podatke s piezometra 122 prikazan je na slici 6. Unutar razdoblja 1977.-2003. godina, za dva kraća vremenska razdoblja nisu bili dostupni podaci o razinama podzemnih voda (rujan 1978.- veljača 1979. i siječanj 1989.- travanj 1989.), ali se, unatoč tome, jasno mogu odrediti trendovi razina podzemnih voda. Oni su u korelaciji s podacima dobivenima analizom podataka s piezometra 121. Smanjenje intenziteta negativnog trenda opaža se nakon 1989. godine dok se povišenje razina podzemne vode za oko 0,5 m opaža 1993. godine, kao rezultat rekonstrukcije praga. Negativan trend je nakon 1993. godine ublažen, ali se nastavlja i time ugrožava zalihe podzemne vode.



Slika 6. Nivogram razine podzemne vode piezometra 122 u blizini jezera Bundeck u razdoblju 1977. - 2003. godina

Analizom podataka utvrđeno je da je negativan trend izraženiji kod piezometra 122 koji je udaljeniji od rijeke Save u odnosu na piezometar 121.

ZAKLJUČAK

Jedna od najznačajnijih posljedica morfoloških promjena u koritu rijeke Save bilo je obustavljanje rada TE-TO Zagreb zbog problema sa zahvaćanjem rashladne vode. Kao privremeno i interventno rješenje izgrađen je potopljeni prag neposredno nizvodno od zahvata rashladne vode. Problemi sa stabilnošću praga zahtijevali su da se prag kontinuirano obnavlja što iziskuje znatna financijska sredstva. Najznačajnije rekonstrukcije napravljene su 1989. i 1993. godine. Budući da rijeka Sava prihranjuje zagrebački vodonosnik za vrijeme velikih voda te ga drenira za vrijeme malih voda, izgradnjom praga utjecalo se na vodostaje i razine podzemnih voda u vodonosniku uzvodno od praga. Od sedamdesetih godina prošlog stoljeća do 1989. godine vidljivi su izraženi negativni trendovi vodostaja i razine podzemnih voda. Nakon obnove i nadvišenja praga 1989. godine, negativan trend malih i srednjih vodostaja uzvodno od praga zaustavljen je te je nakon 1993. ostvaren blagi pozitivni trend. Negativan trend razina podzemne vode ublažen je 1989. te se nakon 1993. nastavlja manjim intenzitetom. Međutim, razine podzemnih voda potrebno je u potpunosti stabilizirati kako bi se osigurala strateške zalihe podzemnih voda i opskrba pitkom vodom budućih generacija. Postojeći prag ima karakter privremene građevine i kontinuirano ga je potrebno sanirati. Iz tog razloga je potrebno ovaj gorući problem, sa stajališta dugoročnog i pouzdanog osiguranja Zagreba i okolice pitkom vodom i električnom i toplinskom energijom, rješavati integralno, multidisciplinarno i višenamjenski, na način da se snaga vodnog toka iskoristi, umjesto da se ulaže u njenu disipaciju.

LITERATURA

- [1] Beraković, M., (2009.) - *Radovi na rijeci Savi*, Hrvatska vodoprivreda, 190-191, str. 16-20.
- [2] Kuspilić, N., Gilja, G., (2016.) - *Potencijalan učinak morfoloških promjena rijeke Save na zagrebački vodonosnik*, Strategija razvoja vodopskrbe i odvodnje grada Zagreba, ur. Andročec, V., Društvo građevinskih inženjera, Zagreb, str. 13-22
- [3] Petrićec, M., (2012.) – *Elaborat procjene utjecaja lanca slovenskih HE na režim rada HE na Savi*, Tehničko Veleučilište Zagreb, Zagreb
- [4] Vujević M., Posavec K., (2018.): *Identification of Groundwater Level Decline in the Zagreb and Samobor-Zaprešić Aquifers since the Sixties of the Twentieth Century*, The Mining-Geological-Petroleum Bulletin, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, str. 55-64

AUTORI

Filip Kalinić, mag.ing.aedif. ^a

mr. sc. Ivana Ivanković, dipl.ing.građ. ^b

Ivana Bartolić, mag.ing.aedif. ^a

dr.sc. Mladen Petrićec, dipl.ing.građ. ^a

^a Tehničko Veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, Zagreb, 10000, Hrvatska, filip.kalinic@tvz.hr, ivana.bartolic@tvz.hr, mladen.petricec@tvz.hr

^b Hrvatska elektroprivreda, Ulica grada Vukovara 37, Zagreb, 10000, Hrvatska, ivana.ivankovic@hep.hr



R 1.22.

MORFOLOŠKE PROMJENE I PROMJENE USLUGA EKOSUSTAVA SAVE U BLIZINI ZAGREBA

**Neven Trenc, Aljoša Duplić, Ramona Topić, Bojan Matoš, Josipa Velić,
Marko Čaleta, Ian C. Fuller**

SAŽETAK: Usporedbom povijesnih habsburških karata s kraja 19. stoljeća dostupnih na portalu MAPIRE i suvremenih podataka, za dionicu rijeke Save zapadno od Zagreba uočava se da je prirodni hidromorfološki sustav rijeke koji se razvijao tijekom holocena, od početka 20. stoljeća izložen značajnim morfološkim promjenama. Primjerice, prostor između slovenske granice i prirodne morfološke stepenice u terenu, ali i u koritu rijeke, kod Podsuseda predstavlja prijelaz između uzvodnog brdskog tipa prepletene rijeke i nizinskog meandrirajućeg tipa, koji je vidljiv na kartama iz 19. stoljeća kao anastomozirajuća rijeka, što je danas potpuno nezamjetljivo. Ovako velike antropogene promjene prirodnih hidromorfoloških procesa nužno se odražavaju i na biološku raznolikost. Usluge ekosustava obuhvaćaju sve neposredne i posredne doprinose ekosustava dobrobiti čovjeka, a možemo ih definirati i kao uvjete i procese pomoću kojih prirodni sustavi i vrste koje ih održavaju ispunjavaju ljudski život. Rad razmatra vezu između morfoloških promjena i promjena bioraznolikosti na dionici rijeke Save od slovenske granice do Podsuseda na primjeru utjecaja na riblje vrste te utjecaja na promjenu podupirućih usluga ekosustava.

KLJUČNE RIJEČI: Sava, usluge ekosustava, povijesne karte, hidromorfologija, riblje zajednice

MORPHOLOGICAL CHANGES AND CHANGES IN ECOSYSTEM SERVICES OF THE SAVA RIVER IN THE VICINITY OF ZAGREB

ABSTRACT: A comparison of historical Habsburg maps published in the late 19th century (available on the portal MAPIRE) with contemporary data for the section of the Sava River west of Zagreb reveals that the natural hydromorphological system of the Sava River, which formed during the Holocene, has been exposed to significant changes since the beginning of the 20th century. As an example, the area between the border with Slovenia and a natural knickpoint both in the relief and in the Sava riverbed at Podsused, which represents a transition between an upstream mountain braided river type and a lowland meandering river, is visible on the 19th century maps as an anastomosing river but almost unnoticeable today. Such huge anthropogenic changes in natural hydromor-

phological processes necessarily reflect on biodiversity. Ecosystem services include all direct and indirect ecosystem contributions to human well-being that can be defined as conditions and processes by means of which natural systems and species sustaining them support human life. The paper is analysing the impacts of the morphological changes and changes in biodiversity on the fish species and the supporting ecosystem services in the section of the Sava River from the border with Slovenia to Podsused.

KEYWORDS: Sava, ecosystem services, historical maps, hydromorphology, fish communities

1. UVOD

1.1. Usluge ekosustava

Usluge ekosustava obuhvaćaju sve neposredne i posredne doprinose ekosustava dobrobiti čovjeka (de Groot i sur., 2010). Daily (1997) određuje usluge ekosustava kao uvjete i procese pomoću kojih prirodni sustavi i vrste koje ih održavaju ispunjavaju ljudski život. Sam pojam „usluga ekosustava“ vezan je uz osamdesete godine prošlog stoljeća i razmatranja nestanka vrsta i nenadoknadle posljedicе za čovjeka (Ehrlich i Mooney, 1983) dok je za razvoj samog koncepta posebno važan utjecajni tematski zbornik radova Nature's Services (Daily, 1997). Osnove ekonomskog vrednovanja postavili su Costanza i sur. (1997) koji izrađuju monetarnu procjenu ukupne vrijednosti odabranih usluga ekosustava za cijelu biosferu. Suvremeni okvir za istraživanje usluga ekosustava daje UNEP (United Nations Environment Programme) i Konvencija o biološkoj raznolikosti, u sklopu izvješća Tisućljetna procjena ekosustava (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) te studija Ekonomija ekosustava i bioraznolikosti (The Economics of Ecosystems and Biodiversity – TEEB) (de Groot i sur., 2010). Iz ovih razloga su danas usluge ekosustava element nacionalnih i europskih strategija razvoja. Detaljnu kategorizaciju usluga ekosustava daje Jedinstvena međunarodna klasifikacija usluga ekosustava CICES (The Common International Classification of Ecosystem Services) čija je najnovija verzija 5.1 dostupna na webu (Haines-Young i Potschin, 2018). Standardna tipologija dijeli usluge ekosustava u četiri skupine (Millennium Ecosystem Assessment 2005; Radović, 2015): 1. podupiruće usluge koje obuhvaćaju procese nužne za održavanje, integritet i funkcioniranje ekosustava i njihov kapacitet za pružanje drugih neposrednih usluga ekosustava, 2. regulatorne usluge koje se odnose na one usluge koje reguliraju klimu, zrak, kakvoću vode i druge elemente prirodnog okoliša, 3. kulturalne usluge koje podrazumijevaju rekreacijske, estetske i duhovne koristi ekosustava, 4. usluge opskrbe koje se odnose na materijale i energiju koju proizvode ekosustavi.

1.2. Obilježja razmatrane dionice

Današnje korito Save na području grada Zagreba posljedica je radikalne regulacije izvedene između 1908. i 1918. godine (Slukan Altić, 2010). U spomenutom razdoblju konstruirano je sadašnje blago vijugavo korito, odsječeni i isušeni sporedni kanali, rukavci i mrtvice te izbrisane hidromorfološke razlike između pojedinih dionica. Promjene korita zapadno od Zagreba odvale su se kasnije, oko sredine 20. stoljeća, no sa sličnim ishodom. Prirodna morfološka obilježja rijeka su posljedica niza prilagodbi riječnog sustava promjenama

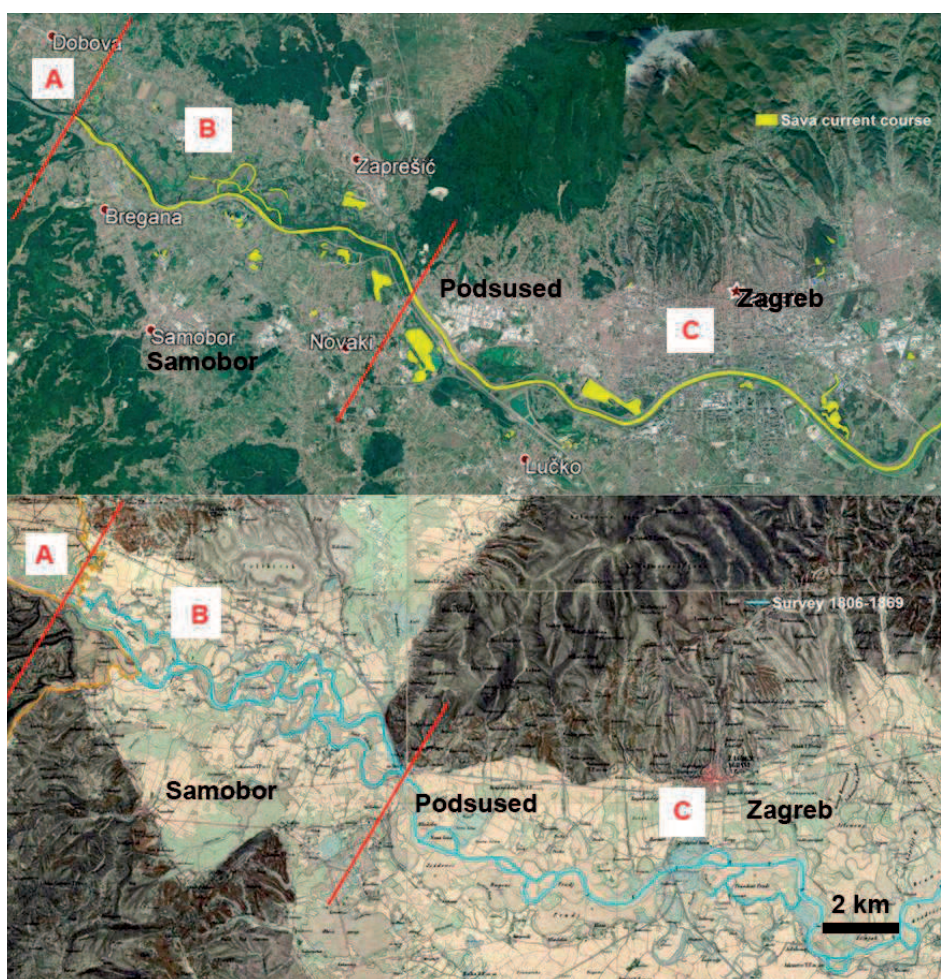
kroz geološka razdoblja koje mogu biti povezane s tektonskim pokretima, eustatskim promjenama, oscilacijama klime, ali i dugotrajnim i/ili kratkotrajnim varijacijama protoka i transporta sedimenata. S obzirom da su oblikovani djelovanjem ovih procesa u dugom vremenskom razdoblju, nepromijenjeni sustavi su u načelu otporniji na prirodne oscilacije i poremećaje (Wohl, 2016, Fuller 2019) te se brže vraćaju u početno stanje. Sadašnji tok rijeke Save formiran je na početku holocena tektonskim spuštanjem savske doline duž rasjeda dinaridskog pružanja i dezintegracije starijih struktura uz formiranje klisure Krškog koja je omogućila stvaranje sadašnjeg toka u smjeru jugoistoka (Šikić i sur., 1972; Velić i Saftić, 1991; Velić i Durn, 1993; Velić i sur., 1999) .

Kvartarne naslage se sastoje od šljunka te u manjoj mjeri pjeskovitih i siltnih glina, a debljina naslaga raste od zapada prema istoku od oko desetak do više od stotinu metara. U pleistocenskim šljuncima prevladavaju siliciklastični sedimenti porijeklom s obližnjih planina, a u holocenskim naslagama prevladavaju karbonatne valutice (Velić i sur., 1999; Velić i Durn, 1993). Ova promjena sastava uvjetovana je formiranjem toka Save krajem pleistocena i početkom holocena pri čemu je donos materijala iz obližnjih uzvisina koji je obilježavao pleistocen u holocenu zamijenjen donosom vapnenačkog materijala iz Alpa iz smjera sjeverozapada (Šikić i sur., 1972; Velić i sur., 1999). U današnjim uvjetima pronos recentnog vučenog nanosa Savom zaustavljen je branama uzvodnih hidrocentrala što zajedno s drugim regulacijskim zahvatima ima za posljedicu produbljivanje korita.

Unutar ove dionice, kod Podsuseda smještena je glavna lomna točka uzdužnog profila rijeke Save tj. Podsusedski prag, koji razdvaja 950 km dugi tok Save (Babić-Mladenović i sur., 2013) na strmiji planinski dio s obilježjima prepletene rijeke (dionica A izvan obuhvata karte, Slika 1) od blažeg, gotovo nizinskog toka s prevladavajućim obilježjima meandrirajuće rijeke (dionica C, Slika 1). Na povijesnim kartama je vidljivo da dionica rijeke Save od slovenske granice do Podsuseda (dionica B, Slika 1) ima prijelazne hidromorfološke karakteristike tipične za anastomozirajuću rijeku (Nanson and Knighton 1996, Schwarz 2016; Trenc i sur. 2018). Jasno se može uočiti više karakterističnih, danas nezamjetljivih, paralelnih tokova razdvojenih prostranim relativno stabilnim otocima obraslim vegetacijom, kao i prostrano područje odlaganja šljunkovitog nanosa nastalo lateralnim pomicanjem korita u poplavnoj ravnici.

Crvena knjiga slatkovodnih riba Hrvatske (Mrakovčić i sur., 2006) navodi hidromorfološke promjene i gubitak staništa kao glavne prijetnje za faunu riba. Čaleta (2007) istražuje značajke ihtiofaune nizinskog dijela rijeke Save, nizvodno od Siska, i opisuje promjene riblje zajednice uvjetovane posrednim i neposrednim antropogenim utjecajima. Freyhof i sur. (2015) i Piria i sur. (2019) razmatraju posljedice industrijskog onečišćenja, izgradnje nasipa, te hidroelektrana i nuklearne elektrane Krško na sastav i promjene ribljih zajednica. Usprkos svim promjenama, u Savi je još uvijek prisutna značajna fauna riba i paklara. Mnoge vrste od nacionalnog i EU značenja prisutne su u Savi uzvodno od Zagreba, primjerice mali vretenac (*Zingel streber*), plotica (*Rutilus virgo*), veliki vijun (*Cobitis elongata*), potočna mrena (*Barbus balcanicus*), tankorepa krkuš (*Romanogobio uranoscopus*), zlatni vijun (*Sabanejewia balcanica*), Dunavska paklara (*Eudontomyzon vladykovi*) i dr. Bilješke o brojnim ulovima mladice (*Hucho hucho*) iz Save u Zagrebu tijekom prve polovine 20. stoljeća potvrđuju da je ovaj dio toka bio važno stanište za ovu vrstu. U gornjem toku Save i Krke (Slovenija) prisutna je i danas te je moguće da se iz Krke povremeno spusti Savom do Zagreba, osobito u zimskim mjesecima. Degradacija

staništa je glavna prijetnja za riblje vrste, a izgradnja hidrocentrala u Sloveniji predstavlja značajan gubitak staništa u novijem razdoblju koji je rezultirao i prekidom migracijskih putova, odnosno onemogućavanjem izmjene genetskog materijala unutar populacija. Iako je utjecaj zagađenja minimaliziran, za obnovu populacija mladice kao karizmatične, kišobran vrste trebalo bi osigurati i očuvati uzdužni kontinuitet riječnog toka, povećati raznolikost mikrostaništa kroz obnovu hidromorfologije te smanjiti utjecaj termalnog zagađenja Save, kako bi se umanjio utjecaj porasta prosječne godišnje temperature vode. Bio bi to doprinos očuvanju zajednice riba u cjelini.



Slika 1. Gore: Suvremeni tok rijeke Save (podloga digitalni ortofoto DGU),
Dolje: tok rijeke Save na povijesnoj karti (dionica A zapadno izvan obuhvata karte ima
obilježja prepletene rijeke, dionica B obilježja anastomozirajuće rijeke; dionica C:
obilježja meandrirajuće rijeke) (Druga vojna izmjera Habsburške monarhije
(1865-1869), MAPIRE, 2011)

2. RASPRAVA

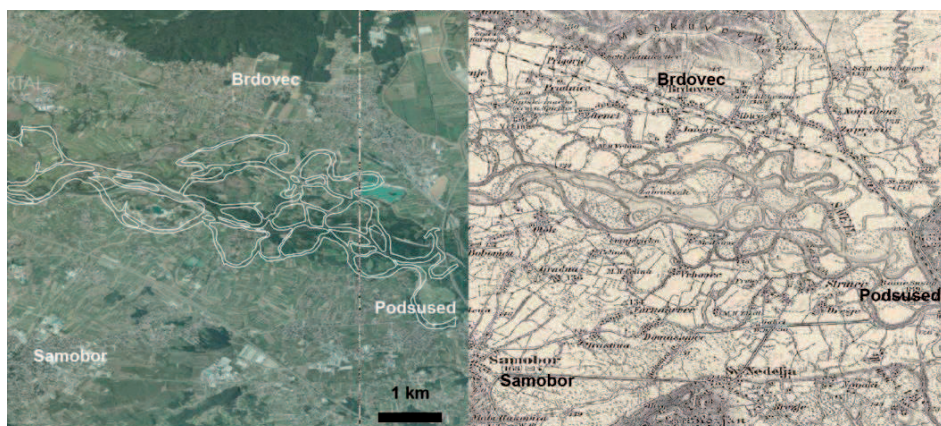
Iako je suštinski predmet razmatranja usluga ekosustava doprinos živog svijeta boljitku čovjeka, brojni autori ističu važnost geoloških i geomorfoloških procesa u njihovom formiranju (Gordon i Barron, 2013; Alahuhta i sur., 2018; Everard i Quinn, 2015) te smatraju da je izvorište usluge ekosustava interakcija njegovih živih (bioraznolikost) i neživih (georaznolikost) dijelova. Thorp (2010) smatra da usluge ekosustava riječnih okoliša ovise o morfološkoj kompleksnosti određene dionice te da je ova pretpostavka valjana za većinu usluga ekosustava, osim onih koje ovise o antropogeno izmijenjenim riječnim tokovima (riječni transport i slično) te povezuje hidromorfološku tipizaciju određene dionice s razinom usluga ekosustava (Tablica 1). Ukoliko se razmatra promjena usluga ekosustava, vidljivo je da po svim parametrima iz Tablice 1 bitnim za ostvarivanje usluga ekosustava sadašnji nasipima regulirani tok Save ima nisku razinu vrijednosti usluga ekosustava u usporedbi s nekadašnjim prirodnim tokom (Slika 1, Slika 2) koji ima pretežito visoke vrijednosti tipične za anastomozirajuću rijeku (Tablica 1).

Tablica 1. Veza između hidromorfoloških obilježja i usluga ekosustava (L- niska, M-srednja, H- visoka.) (izmijenjeno prema Thorp i sur., 2010)

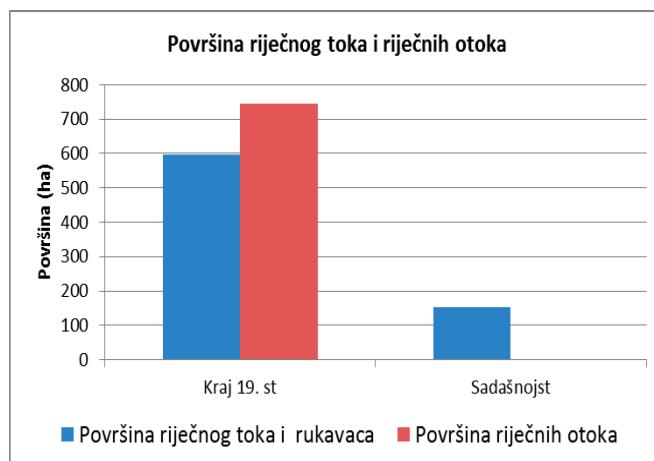
Ekosistemska usluga	Uska dolina	Meandrirajuća	Prepletana	Anastomozirajuća	Ograničena nasipima	Akumulacija
Odabrani hidromorfološki atributi						
Kompleksnost obale	L	LM	H	H	L	M
Broj kanala	L	L	H	HM	L	L
Staništa unutar kanala	L	LM	M	H	L	LM
Stalnost kanala i otoka	M	M	L	H	M	H
Veličina poplavne ravnice i povezanost kanala	L	MH	M	H	L	L
Prirodne ekosistemske usluge						
Biološka raznolikost	L	M	L	H	L	M
Udio autohtonih vrsti	H	H	H	H	L	L
Prim. i seku. produkcija	L	M	M	H	L	H
Kruženje nutrijenata i pohrana ugljika	L	LM	LM	H	L	H
Pohrana vode	L	LM	L	H	L	H
Nanos	L	M	M	H	L	H
Antropocentrične usluge						
Produkcija hrane	L	M	L	H	L	M
Rekreacija	LM	LM	L	H	L	H
Ublažavanje prirodnih nepogoda	L	M	L	H	H	H
Prijevoz	H	M	L	M	H	H

Najuočljivija je razlika u ukupnoj procijenjenoj površini glavnog toka i povezanih rukavaca koja se za nekadašnji anastomozirajući tok (Slika 2, Slika 3) može procijeniti na oko 600 ha u odnosu na reguliranu rijeku za koju procijenjena površina iznosi 150 ha,

što predstavlja razliku od 4 puta. Na sličan način na povijesnoj karti je moguće izbrojati oko 30 riječnih otoka s površinom od oko 750 ha od kojih danas ne postoji gotovo ni jedan (Slika 3). Ove informacije upućuju na znatno veće populacije riba koje su nekad obitavale na ovom području. Broj i površina otoka posredno govori i o varijabilnosti dubina i postojanju plićih i dubljih dijelova koji imaju važnu ulogu u životnom ciklusu ribljih vrsta, kao i o živosti i dinamičnosti riječnog toka koja danas više ne postoji. U ovom slučaju riblje zajednice se navode kao primjer gubitka nekadašnjeg bogatstva bioraznolikosti koja je uključivala različita, danas rijetka i ugrožena, vlažna i močvarna staništa, riječne prudove i dr. koji su podržavali brojne biljne i životinjske vrste, a koje danas možemo naći na prirodnijim i nereguliranim dijelovima naših rijeka. Gubitak i degradacija staništa riba vidljiv je i iz procjene stanja područja u standardnom EU obrascu Natura 2000 (tzv. SDF) za područje ekološke mreže HR2001506 Sava uzvodno od Zagreba, koje se prostorno preklapa s razmatranim dijelom Save. U ovom su obrascu staništa svih ribljih vrsta ocijenjena kao staništa prosječne ili smanjene očuvanosti koja zahtijevaju provođenje aktivnih (uključujući restauracijskih) mjera za postizanje ciljeva očuvanja.



Slika 2. Rijeka Sava zapadno od Zagreba na MAPIRE - Treća vojna izmjera Habsburške monarhije (desno) (1869-1887, 1:75000) te nekadašnji tok preklopljen na ortofoto snimci (lijevo) (izvor: DGU)



Slika 3. Površina riječnog toka i riječnog korita na povijesnim kartama i danas za promatranu dionicu

ZAKLJUČAK

Usporedba karata iz 19. stoljeća i suvremenih karata ukazuje na drastičan gubitak bioraznolikosti i podupirućih vrijednosti ekosustava na razmatranoj dionici Save. Spoznaje o izvornim prirodnim obilježjima riječnog sustava mogu naći svoju primjenu u upravljanju zaštićenim područjima i područjima Natura 2000 te posebice u definiranju revitalizacijskih rješenja koja će potaknuti postupni oporavak ribljih zajednica i možda u budućnosti povratiti izgubljena vrste kao što je mladica. Analiza promjena morfologije omogućava nam da procijenimo gubitke bioraznolikosti, kao i gubitke usluga ekosustava u odnosu na prirodno stanje rijeke što može pomoći pri razmatranju različitih upravljačkih i razvojnih scenarija. Na taj način bi buduće restauracije mogle uz obnovu bioraznolikosti doprinijeti i obnovi izgubljenih usluga ekosustava, od kojih su posebno bitne one koje se odnose na ublažavanje ekstremnih hidroloških događaja poput poplava te osiguranje pitke vode.

LITERATURA

- [1] Alahuhta, J., Ala-Hulkko, T., Tukiainen, H., Purola, L., Akujärvi, A., Lampinen, R.; Hjort, J. (2018) *The role of geodiversity in providing ecosystem services at broad scales*. Ecological Indicators, 91(February), pp.47–56.
- [2] Babić-Mladenović, M., Bekić D., Grošelj. S., Kupusović, T., Mikloš, M., Oskoruša, D., (2013): *Towards Practical Guidance for Sustainable Sediment Management using the Sava River Basin as a Showcase*, International Sava River Basin Commission (ISRBC), 87 str.
- [3] Costanza, R. i sur., (1997) *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature, 387(May), pp.253–260.

- [4] Čaleta, M., (2007) *Ekološke značajke ihtiofaune nizinskog dijela rijeke Save*, Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [5] Daily, G. C., (1997.) *Nature's services* G. C. Daily, ed., Island Press., 392 pp
- [6] Ehrlich, P.R. i Mooney, H. A., (1983.) *Extinction, Substitution, Ecosystem Services*. *BioScience*, 33(4), pp.248–254.
- [7] Everard, M. i Quinn, N., (2015) *Realizing the value of fluvial geomorphology*. *International Journal of River Basin Management*, 13(4), pp. 487–500.
- [8] Freyhof, J., Weiss S., Adrović, A., Čaleta M, Duplić, A., Hrašovec, B., Kalamujić, Z., Marčić, D., Milošević, Mrakovčić, M., Mrdak, D., Piria M., Schwarz U., Simonović P., Šljuka S., Tomljanović. T, (2015): “*The Huchen Hucho Hucho in the Balkan Region: Distribution and Future Impacts by Hydropower Development*. *RiverWatch i EuroNatur*, 30 pp.
- [9] Fuller, I.C., Gilvear, D.J., Thoms, M.C., Death, R.G., (2019) Framing resilience for river geomorphology: Reinventing the wheel? *River Res Applic.*; 35: 91– 106.
- [10] Gordon, J.E., Barron, H.F., (2013): *The role of geodiversity in delivering ecosystem services and benefits in Scotland*. *Scottish Journal of Geology*, 49(1), pp.41–58.
- [11] De Groot, De Groot R.S., Fisher B., Christie M., Aronson J., Braat L.R., Haines-Young, J., Gowdy, E., Maltby, A. Neuville, Polasky S., Portela R., Ring I, (2010): *Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation* U: P. Kumar (Ed.), *TEEB Foundations, The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*, Earthscan, London (2010)
- [12] Haines-Young, R., Potschin, M., (2018) *CICES (Common International Classification of Ecosystem Services) Guidance on the Application of the Revised Structure*, (January).
- [13] MAPIRE, (2011): *MAPIRE The Historical Map Portal*. Available at: <http://mapire.eu/en/> (15.3.2019.)
- [14] Mrakovčić, M., Brigić, A., Buj, I., Čaleta, M., Mustafić, P. & Zanella, D. (2006): *Crvena knjiga slatkovodnih riba Hrvatske*. Zagreb, Državni zavod za zaštitu prirode.
- [15] Nanson, G.C., Knighton, A.D., (1996): *Anabranching rivers: Their cause, character and classification*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21(3), pp.217–239.
- [16] Piria, M., Simonović, P., Zanella, D., Čaleta, M., Šprem, N., Paunović, M., Tomljanović, T., Gavrilović A., Pecina M., Špelić I., Matulić D., Rezić A., Aničić I., Safner R., Treer T., (2019): “*Long-Term Analysis of Fish Assemblage Structure in the Middle Section of the Sava River – The Impact of Pollution, Flood Protection and Dam Construction*.” *Science of the Total Environment* 651: 143–53.
- [17] Radović, J., (2015): *Kartiranje i procjena ekosustava i njihovih usluga u Hrvatskoj*, HAOP. pp. 33
- [18] Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*.

- [19] Island Press, Washington,DC, 155 pp
- [20] Schwarz, U., (2016): *Sava White Book. The River Sava: Threats and Restoration Potential*, Radolfzell/Wien, EuroNatur/Riverwatch, pp 152.
- [21] Šikić, K., Basch, O. i Šimunić, A., (1972): OGK *Tumač za list Zagreb.*, p.70.
- [22] Slukan Altić, M., (2010): *Povijest regulacije rijeke Save kod Zagreba i njezine posljedice na izgradnju grada*. Hrvatske Vode, 18(73), pp. 205–212.
- [23] Thorp, J. H., Flotemersch, J.E., Delong, M.D., Casper, A.F., Thoms, M.C., Ballantyne F., Williams, B.S., O'Neill, B.J., Haase, C.S., (2010): *Linking Ecosystem Services, Rehabilitation, and River Hydrogeomorphology*. *BioScience*, 60(1), pp.67–74. Available at: <https://academic.oup.com/bioscience/article-lookup/doi/10.1525/bio.2010.60.1.11>. (15.3.2018)
- [24] Trenc, N., Duplic, A., Topić, R., Matoš, B., Velić, J., Čaleta, M. (2018): *Human Induced Change of the Natural Geomorphological System and Its Consequences for the Biodiversity of the Sava River West of Zagreb*, U: Integrative Sciences and Sustainable Development of Rivers, Marmonier P., Piégay H., Cottet M., and Lamouroux, N., (ur.), GRAIE, Groupe de recherche, animation technique et information sur l'eau, I.S.Rivers Secretariat, <https://www.graie.org/ISRivers/docs/papers/2018/11A11-189TRE.pdf>, 1-3
- [25] Velić, J., Durn, G., (1993): *Alternating Lacustrine-Marsh and Subaerial Exposure Phases During Quaternary: Prečko, Zagreb, Croatia*. *Geologia Croatica*, 79, pp.71–90.
- [26] Velić, J., Saftić, B., (1991): Subsurface spreading and facies characterisation of middle pleistocene deposits between Zaprešić and Samobor. *Geološki vijesnik*, 44, pp.69–82.
- [27] Velić, J., Saftić, B., Malvić, T. (1999): Lithologic Composition and Stratigraphy of Quaternary Sediments in the Area of the Jakuševac Waste Depository (Zagreb, Northern Croatia), 119–130.
- [28] Wohl, E., (2018): *Messy rivers are healthy rivers, The implications of physical complexity for river ecosystem*, *Global Water Forum*, <http://www.globalwaterforum.org/2016/10/31/>
- [29] messy-rivers-are-healthy-rivers-the-implications-of-physical-complexity-for-river-ecosystems/.

AUTORI

mr. sc. Neven Trenc, dipl. ing. geol. ^a

dr. sc. Aljoša Duplić ^a

Ramona Topić, dipl. ing. biol. ^a

doc. dr. sc. Bojan Matoš ^b

prof. emer. dr. sc. Josipa Velić ^b

izv. prof. dr. sc. Marko Čaleta ^c

prof. Ian C. Fuller, Ph.D. ^d

^a Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Radnička cesta 80/7, 10000, Zagreb, Hrvatska, neven.trenc@mzoe.hr, aljosa.duplic@mzoe.hr, ramona.topic@mzoe.hr

^b Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, Pietrottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska, josipa.velic@rgn.hr, bojan.matos@rgn.hr

^c Učiteljski fakultet, Savska cesta 77, 10000 Zagreb, marko@biol.pmf.hr

^d Massey University, Palmerston North, 4442, New Zealand, I.C.Fuller@massey.ac.nz



R 1.23.

POJAVNOST RAZLIČITIH SKUPINA FARMACEUTIKA U RIJECI SAVI

Draženka Stipaničev, Siniša Repec

SAŽETAK: Farmaceutski proizvodi i sredstva za osobnu njegu su zbog inherentne sposobnosti induciranja fizioloških učinaka kod ljudi u niskim dozama jedinstvena skupina okolišnih kontaminanata. Velik broj znanstvenih studija potvrdio je prisutnost različitih skupina farmaceutika u različitim okolišnim uvjetima što izaziva zabrinutost zbog mogućih štetnih utjecaja na ljude i vodene organizme. U ovome radu je prikazana zastupljenost različitih skupina farmaceutskih proizvoda u vodi rijeke Save koja je uzorkovana na mjernim postajama Jesenice, Jankomir, Rugvica, Lukavec, Jasenovac, Davor, Pričac, Slavonski Brod uzvodno, Slavonski Brod nizvodno, utok Bosne uzvodno, utok Bosne nizvodno, Županja nizvodno i Račinovci. Uzorkovanje je provedeno u razdoblju od siječnja do lipnja 2018. godine. Različite skupine farmaceutskih proizvoda određene su tekućinskom kromatografijom ultra visoke djelotvornosti sa spregnutom spektrometrijom masa (UHPLC MS/MS). Dobiveni rezultati ukazuju na prisutnost farmaceutika duž cijelog toka rijeke Save kroz Republiku Hrvatsku.

KLJUČNE RIJEČI: UHPLC-MS-MS, ciljna analiza, rijeka Sava, farmaceutici

OCCURRENCE OF DIFFERENT GROUPS OF PHARMACEUTICALS IN THE SAVA RIVER

ABSTRACT: Pharmaceutical products and personal care products are inherent in their ability to induce physiological effects in humans at low doses and are a unique group of environmental contaminants. Numerous scientific studies have confirmed the presence of different pharmaceutical groups in varied environmental conditions, causing concern about possible adverse effects on humans and aquatic organisms. This paper reviews the representation of different groups of pharmaceutical products in the waters of the Sava River sampled at the hydrological stations Jesenice, Jankomir, Rugvica, Lukavec, Jasenovac, Davor, Pričac, Slavonski Brod (upstream and downstream), the Bosna confluence (upstream and downstream), Županja (downstream) and Račinovci. The sampling was carried out in the period from January to June 2018. Different groups of pharmaceutical products were determined by ultra high performance liquid chromatography with tandem mass spectrometry (UHPLC MS/MS). The obtained results point to the presence of pharmaceuticals along the whole Sava River flow in the Republic of Croatia.

KEYWORDS: UHPLC-MS-MS, target analysis, Sava River, pharmaceuticals

1. UVOD

Spojevi u nastajanju zbirni je naziv za heterogene skupine spojeva koji uključuju pesticide, farmaceutike i sredstva za osobnu njegu (Monteiro i Boxall, 2010). Većina tih spojeva je polarna i postojana te se ne uklanja na klasičnim uređajima za obradu otpadnih voda (Petrović i drugi, 2003). Okolišni kontaminanti potječu iz antropogenih izvora (Diamond i Hodge, 2007), a zbog njihove sustavne upotrebe posljednjih godina te povećane detekcije istih u različitim dijelovima okoliša, sustavno raste i broj znanstvenih radova i studija diljem svijeta. Glavni izvori farmaceutika su industrija (većinom proizvodnja farmaceutika), domaćinstva, bolnice i vode s uređaja za obradu otpadnih voda (Phillips i drugi, 2010, Nagarnaik i drugi, 2012). Također, povećanom interesu za ovaj ozbiljan ekološki problem doprinio je i razvoj naprednijih i osjetljivijih kemijskih analitičkih metoda, poput tekućinske kromatografije vezane s masenom detekcijom, koja omogućava određivanje polarnih organskih spojeva prisutnih u izuzetno niskim koncentracijama u vodi, sedimentu, hrani i biološkim uzorcima (Kolpin i drugi, 2002, Hernández i drugi, 2005). U ovom su istraživanju na odabranim lokacijama duž cijelog toka rijeke Save kroz Republiku Hrvatsku provedena kvantitativna određivanja različitih skupina farmaceutičkih spojeva sa svrhom procjene njihove pojavnosti i to primjenom tehnike LC MS/MS.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Uzorci i priprema uzoraka

Uzorci površinskih voda uzorkovani su cijelim tokom rijeke Save u sklopu redovitog programa praćenja od siječnja do lipnja 2018. godine na sljedećim mjernim postajama Jesenice, Jankomir, Rugvica, Lukavec, Jasenovac, Davor, Pričac, Slavonski Brod uzvodno i nizvodno, utok Bosne uzvodno i nizvodno, Županja nizvodno i Račinovci. Uzorci su uzorkovani u polikarbonatne boce i pohranjeni na hladno u prijenosni hladnjak (4 °C). Po dolasku u laboratorij uzorci su filtrirani kroz 0,2 µm PTFE filter čime su uklonjene čestice suspendirane tvari, a filtrirani uzorci su čuvani u hladnoj komori te analizirani unutar 48 sati.

2.2. Metoda

Za određivanje farmaceutika u vodi rijeke Save primijenjeno je direktno injektiranje 100 µL realnog uzorka u UHPLC-MS/MS, a separacija analita provedena je na RP koloni. Za analize farmaceutika korištene su kemikalije najviše dostupne čistoće pogodne za LC-MS analize. Kalibracijska krivulja dobivena je direktnim injektiranjem standardnih otopina 240 farmaceutika, u triplikatu na 7 koncentracijskih razina od 0,001-1 µg/L. Korelacijski koeficijent veći od 0,995 primijenjen je kao kriterij linearne prihvatljivosti.

3. REZULTATI I RASPRAVA

3.1. Farmaceutici u okolišu

Farmaceutici su svi terapijski lijekovi namijenjeni za liječenje i prevenciju bolesti kod ljudi te veterinarski lijekovi i dodaci prehrani. Prema terapijskoj aktivnosti kategoriziraju se u nekoliko grupa: antibiotici, analgetici/antipiretici, lijekovi za središnji živčani sustav, kardiovaskularni lijekovi, endokrinološki lijekovi, lijekovi koji se koriste kao dijagnostička pomoć – kontrastni mediji (Gašo-Sokač i drugi, 2017).

Zbog porasta stanovništva, produljenja životnog vijeka, ubrzanog razvoja tehnologije, medicine i kemijske industrije, porasla je potrošnja farmaceutika. Farmaceutici u okolišu pretežno završavaju putem komunalnih otpadnih voda, neadekvatnog zbrinjavanja, a u višim koncentracijama nalazimo ih u otpadnim vodama iz bolnica i farmaceutskih tvrtki. Nakon unošenja u organizam (oralno, parenteralno ili lokalno), lijekovi se izlučuju ekskrecijom iz organizma te oslobađaju u okoliš ili u neizmijenjenoj formi ili kao metaboliti koji mogu imati sličnu ili čak i veću toksičnost od ishodišnog originalnog spoja (Lishman i drugi, 2006). Osim ishodišnih farmaceutika u okolišu su prisutni i njihovi produkti razgradnje nastali kao rezultat različitih biotskih (djelovanje mikroorganizama: bakterije i gljivice) i abiotskih procesa (hidroliza i fotokatalitika degradacije) (Periša i Babić, 2016). Lijekove i sredstva za osobnu njegu zbog njihovog stalnog korištenja i ispuštanja u okoliš nazivamo "pseudo-postojanim" jer neovisno o činjenici da je stabilnost farmaceutika niska stopa oslobađanja lijekova u okoliš viša je od stope njihove transformacije i degradacije (Mompelat i Tomas, 2009).

Farmaceutici u površinskoj vodi mogu djelovati toksično na svim razinama biološke organizacije od stanice, organa, organizma, populacije i ekosustava, i imati štetan učinak na floru i faunu (Gelsleicher i Szabo, 2013). Toksičnost farmaceutika varira ovisno o izloženom organizmu, razvojnoj fazi u kojoj se organizam nalazi, trajanju izloženosti i koncentraciji lijekova. Efekt kronične izloženosti niskim koncentracijama farmaceutika, posebice u osjetljivoj razvojnoj fazi izloženih organizama, daleko vjerojatnije može objasniti nastale abnormalnosti nego akutna izloženost visokim koncentracijama (Wilkinson i drugi, 2016).

Antibiotici mogu uzrokovati dugotrajne i nepovratne promjene u genomu mikroorganizma koji postaju rezistentni na antibiotike, što je postala prijetnja učinkovitoj prevenciji i liječenju raznih zaraznih bolesti koje uzrokuju patogene bakterije otporne na antibiotike. Iako prisutni u malim koncentracijama, farmaceutici mogu utjecati na kvalitetu vode, potencijalno ugroziti izvore pitke vode, ekosustav i ljudsko zdravlje s obzirom na to da se kontinuirano unose u okoliš (Periša i Babić, 2016).

Zbog niskih koncentracija farmaceutika u uzorcima iz okoliša velik problem predstavlja njihova identifikacija i kvantitativno određivanje. Za određivanje farmaceutika i njihovih razgradnih produkata u okolišu uglavnom se primjenjuje tekućinska kromatografija visoke djelotvornosti (HPLC) vezana sa spektrometrijom masa (MS).

3.2. Farmaceutici u rijeci Savi i pregled znanstvenih radova o farmaceuticima u rijekama

U ovom je radu provedeno kvantitativno određivanje 240 različitih farmaceutika na 13 mjernih postaja na rijeci Savi koje su uzorkovane jednom mjesečno u periodu od siječnja do lipnja 2018. godine. Temeljem dobivenih rezultata analiza realnih uzoraka vode rijeke Save u Tablici 1. prikazani su farmaceutici koji su tijekom perioda monitoringa detektirani s frekvencijom pojavnosti većom od 20 %.

Od 50 farmaceutika u rijeci Savi (Tablica 1.) najbrojniji su antibiotici (34 %), dok su analgetici, antiepileptici, kortikosteroidi te opiodi zastupljeni u jednakom postotku (10 %). Antiparazitici su zastupljeni s 8 %, nesteroidni protuupalni lijekovi i antidepresivi svaki sa 6 %, te ostalih 6 % detektiranih skupina čine po jedan spoj iz tri skupine kako slijedi antidementiv, kontrastno sredstvo i stimulans.

Iz farmaceutske skupine analgetika od ukupno detektiranih pet spojeva najveću frekvenciju detekcije u vodi rijeke Save (85,9 %) kao i najvišu izmjerenu koncentraciju imao je ibuprofen (1,58 µg/L).

Od odabranih kiselih farmaceutika: ibuprofena, naproksena, ketoprofena i diklofenaka mjenjenih u vodi rijeke Dunav u Budimpešti (Varga i drugi, 2010), ibuprofen, naproksen i diklofenak su bili kvantificirani u rasponu 8-50, 2-30, 7-90 ng/L, dok je ketoprofen uvijek bio ispod granica kvantifikacije.

Paracetamol, ibuprofen, 2- hidroksi-ibuprofen i karbamazepin-diol su klasificirani (Loffler i drugi, 2005) prema vremenu njihovog poluraspada (DT50) kao nisko postojani (DT50, 3.1-7 dana), oksazepam, iopromid i ivermektin umjereno postojani (DT50, 15-54 dana) dok su klofibrinska kiselina, diazepam, karbamazepin visoko postojani spojevi (DT50, 119-328 dana) u uzorcima vode i sedimenta.

Najveću frekvenciju pojavnosti od antiepileptika je u uzorcima vode rijeke Save imao gabapentin, za koji je ujedno izmjerena i najviša koncentracija unutar navedene skupine. Najveći medijan izmjerenih koncentracija unutar skupine antiepileptika imao je 10-hidroksikarbamazepin, metabolit karbamazepina.

Iz skupine antidepresiva najveću je frekvenciju, izmjerenu koncentraciju i medijan koncentracija u rijeci Savi imao spoj kotinin. Pojava kotinina (metabolit nikotina), u uzorcima površinskih voda je najvjerojatnije povezana s izloženošću dimu cigareta. Uzorci urina pušača imaju povišene razine kotinina u usporedbi s urinom nepušača (koji su dimu cigarete izloženi pasivnim pušenjem), a kotinin iz urina preko uređaja za obradu otpadnih voda završava u površinskim vodama (Levine i drugi, 2013).

Sulfaklorpiridazin je od antibiotika imao najveću frekvenciju detekcije u rijeci Savi, dok je najviša izmjerena koncentracija kao i medijan izmjerenih koncentracija izmjeren za antibiotik amoksicilin.

Istraživanje u Engleskoj (Kasprzyk-Hordern i drugi, 2008) je pokazalo da su u vodama rijeka Taff i Ely najčešće zastupljene sljedeće skupine farmaceutika: analgetici (tramadol, kodein, paracetamol, naproksen, ibuprofen i diklofenak), antibiotici (eritromicin, trimetoprim i amoksicilin) i antiepileptici (gabapentin i karbamazepin). Za spojeve poput kodeina, eritromicina, valsartana, gabapentina i karbamazepina je u istom radu utvrđeno da su sveprisutni i postojani u vodenoj sredini.

Stimulans kofein je u 6 mjeseci praćenja u vodama rijeke Save imao frekvenciju detekcije od 78,2 %, a najviša izmjerena koncentracija iznosila je 2,268 µg/L. U opsežnom

istraživanju (Loos i drugi, 2009) u 100 europskih rijeka iz 27 europskih zemalja, u više od 100 pojedinačnih uzoraka vode najčešće su detektirani lijekovi poput benzotriazola, kofeina i karbamazepina za koje su izmjerene i najviše razine koncentracija. Karprofen je najdetektiraniji spoj iz skupine nesterodinih protuupalnih lijekova, s najvećom izmjerenom koncentracijom kao i najvećim medijanom koncentracije. Iz skupine opioida najviša koncentracija izmjerena je za spoj normeperidin. Antiparazitik dimetridazol je izmjeren u najvećoj koncentraciji, iako je imao najnižu frekvenciju pojavnosti (28,2 %), a najveću izmjerenu koncentraciju i frekvenciju detekcije je iz iste skupine imao metronidazol. Od pet kortikosteroida najvišu izmjerenu koncentraciju imao je metilprednisolon, a najčešće je iz iste skupine detektiran hidrokortizon. Metilprednisolon se u površinskim vodama SAD-a (Ferrey i drugi, 2015) učestalo detektira u površinskoj vodi uzvodno od uređaja za obradu otpadnih voda.

ZAKLJUČAK

Prepoznavanje pritisaka onečišćujućih tvari ovisno o njihovim potencijalnim ekotoksikološkim i toksikološkim učincima te o njihovim razinama zastupljenosti u vodenom okolišu i utjecaju na vodene ekosustave prvi je korak u uspješnom upravljanju ekosustavima. Rezultati kvantifikacije šireg spektra farmaceutika koji nisu obuhvaćeni važećom regulativom, ukazuju na njihovu prisutnost u vodi rijeke Save uzorkovane na 13 mjernih postaja u prvih šest mjeseci 2018. godine. Budući se radi o spojevima koji se svakodnevno koriste, isti predstavljaju potencijalnu opasnost za okoliš, posebice ako se uzme u obzir da spojevi koji su ovim istraživanjem kvantificirani nisu jedini koji su realno prisutni u površinskim vodama.

Ovo istraživanje ukazuje na važnost sustavnog praćenja ne samo zakonski reguliranih nego i zakonski nereguliranih spojeva s ciljem utvrđivanja stvarnog stanja voda, pravovremene detekcije promjena u okolišu, definiranja baze specifičnih zagađivala za riječne bazene i razvoja novih pristupa za karakterizaciju složenih okolišnih smjesa. Potrebno je provesti daljnja istraživanja kako bi se mogle detaljnije definirati sezonske varijacije farmaceutika u raznim dijelovima okoliša, kao i problematika bioakumulacije istih u vodenim organizmima poput algi, rakova i riba.

Tablica 1. Farmaceutici detektirani s frekvencijom pojavnosti iznad 20 % u uzorcima vode rijeke Save tijekom perioda uzorkovanja od siječnja do lipnja 2018. godine, njihove osnovne karakteristike te njihove koncentracije

FARMACEUTIK	CAS BROJ	FARMACEUTSKA SKUPINA	GR.KVANT. (µg/l)	N	D	FD (%)	PV (µg/L)	MEDIAN (µg/L)
Ibuprofen	15687-27-1	Analgetik	0,0102	78	67	85,9	1,584	0,137
Tramadol	27203-92-5	Analgetik	0,0032	78	53	67,9	0,131	0,007
Paracetamol	103-90-2	Analgetik	0,0082	78	41	52,6	0,724	0,014
Acetilsalicilna kiselina	50-78-2	Analgetik	0,0127	78	61	78,2	0,641	0,099
Aminofenazon	58-15-1	Analgetik	0,0109	78	39	50,0	0,203	0,014
Sulfaklorpidazin	80-32-0	Antibiotik	0,0037	78	64	82,1	0,182	0,012
Klortetraciklin	57-62-5	Antibiotik	0,0066	78	61	78,2	0,222	0,025
Amoksicilin	26787-78-0	Antibiotik	0,0215	78	60	76,9	1,923	0,455
Nafcilin natrij monohidrat	7177-50-6	Antibiotik	0,0100	78	52	66,7	0,523	0,050
Oksacilin natrij monohidrat	7240-38-2	Antibiotik	0,0140	78	46	59,0	0,528	0,075
Oksitetracilin	79-57-2	Antibiotik	0,0138	78	43	55,1	0,222	0,021
Tetraciklin HCl	64-75-5	Antibiotik	0,0103	78	42	53,8	0,927	0,014
Kloksacilin natrij monohidrat	7081-44-9	Antibiotik	0,0033	78	42	53,8	0,177	0,026
Doksiciklin Hklat	24390-14-5	Antibiotik	0,0026	78	42	53,8	0,142	0,035
Norfloksacin	70458-96-7	Antibiotik	0,0032	78	41	52,6	0,459	0,005
Pipemidična kiselina	51940-44-4	Antibiotik	0,0094	78	40	51,3	0,208	0,013
Eritromicin	114-07-8	Antibiotik	0,0135	78	38	48,7	0,051	0,009
Sulfametoksazol	723-46-6	Antibiotik	0,0095	78	36	46,2	0,131	0,011
Sulfafiazol	72-14-0	Antibiotik	0,0053	78	35	44,9	0,366	0,034
Sulfapiridin	144-83-2	Antibiotik	0,0101	78	32	41,0	1,179	0,015
Dikloksacilin natrij monohidrat	13412-64-1	Antibiotik	0,0034	78	31	39,7	0,871	0,035
Azitromicin	83905-01-5	Antibiotik	0,0062	78	17	21,8	0,458	0,030
Memantin	19982-08-2	Antidementiv	0,0094	78	46	59,0	0,113	0,027
Citalopram	59729-33-8	Antidepresiv	0,0049	78	24	30,8	1,334	0,092
O-desmetilvenlafaksin*	93413-62-8	Antidepresiv	0,0058	78	38	48,7	0,078	0,007
Kotinin#	486-56-6	Antidepresiv	0,0106	78	61	78,2	1,506	0,087
Gabapentin	60142-96-3	Antiepileptik	0,0042	78	66	84,6	0,392	0,056
Lamotrigin	84057-84-1	Antiepileptik	0,0061	78	42	53,8	0,150	0,011
Felbamate	25451-15-4	Antiepileptik	0,0040	78	40	51,3	0,099	0,013
Karbamazepin	298-46-4	Antiepileptik	0,0052	78	38	48,7	0,017	0,006
10-Hidroksikarbamazepin**	29331-92-8	Antiepileptik	0,0378	78	34	43,6	0,189	0,072
Metronidazol	443-48-1	Antiparazitik	0,0170	78	55	70,5	0,319	0,050
Ivermektin	70288-86-7	Antiparazitik	0,0075	78	42	53,8	0,091	0,011
Ipronidazol	35175-14-5	Antiparazitik	0,0048	78	31	39,7	0,056	0,009
Dimetridazole	551-92-8	Antiparazitik	0,0052	78	22	28,2	1,318	0,010
Iopromid	73334-07-3	Kontrastno sredstvo	0,0154	78	49	62,8	0,907	0,028
Hidrokortizon	50-23-7	Kortikosteroid	0,0091	78	63	80,8	0,139	0,013
Flumetazon	2135-17-3	Kortikosteroid	0,0148	78	59	75,6	0,588	0,030
Fludrokortizon-Acetat	127-31-1	Kortikosteroid	0,0063	78	47	60,3	0,787	0,020
Metilprednisolon	83-43-2	Kortikosteroid	0,0048	78	44	56,4	2,958	0,012
Monetazon Furoat	105102-22-5	Kortikosteroid	0,0118	78	43	55,1	0,094	0,014
Karprofen	53716-49-7	Nesteroidni protuupalni lijek	0,0052	78	55	70,5	0,509	0,044
Ketoprofen	22071-15-4	Nesteroidni protuupalni lijek	0,0104	78	54	69,2	0,355	0,022
Diklofenak	15307-86-5	Nesteroidni protuupalni lijek	0,0195	78	48	61,5	0,244	0,023
Norbuprenorfin	78715-23-8	Opioid	0,0103	78	43	55,1	0,080	0,013
Buprenorfin	52485-79-7	Opioid	0,0086	78	31	39,7	0,196	0,011
Normeperidin	77-17-8	Opioid	0,0102	78	27	34,6	0,712	0,017
O-desmetiltramadol***	73986-53-5	Opioid	0,0036	78	53	67,9	0,042	0,007
THC-COOH****	56354-06-4	Opioid	0,0086	78	25	32,1	0,208	0,012
Kofein	58-08-2	Stimulans	0,0174	78	61	78,2	2,268	0,387

CAS - Chemical Abstracts Service, Referentna arhiva za kemiju i primijenjenu kemiju

GR.KVANT. - Granica kvantifikacije

N - Broj uzoraka

D - Broj uzoraka kod kojih je izmjerena koncentracija viša od granice kvantifikacije

FD - Frekvencija detekcije

PV - Maksimalna koncentracija u površinskoj vodi

*Metabolit Venlafaksina, ** Metabolit Karbamazepina, *** Metabolit Tramadola, **** Metabolit THC, # Metabolit Nikotina

LITERATURA

- [1] Diamond, M.L., Hodge, E., (2007): *Urban contaminant dynamics: from source to effect*. Environ. Sci. Technol. 41: 3796-3800.
- [2] Ferrey M., (2013, 2015): *Pharmaceuticals, Personal Care Products and Endocrine Active Chemical Monitoring in Lakes and Rivers*: (Minnesota). M.P.C. Agency (Ed.)
- [3] Gašo-Sokač D., Habuda-Stanić M., Bušić V., Zobundžija D., (2017) : *Occurrence of pharmaceuticals in surface water*, Croat. J. Food Sci. Technol. 9 (2) 204 -210.
- [4] Gelsleichter J., Szabo N.J., (2013): *Uptake of human pharmaceuticals in bull sharks (Carcharhinus leucas) inhabiting a wastewater-impacted river*. Sci Total Environ.;456:196–201.
- [5] Hernández, F., Pozo, O.J., Sancho, J.V., López, F.J., Marín, J.M., Ibáñez, M., (2005): *Strategies for quantification and confirmation of multi-class polar pesticides and transformation products in water by LC-MS2 using triple quadrupole and hybrid quadrupole time-of-flight analyzers*. Trac-Trends in Analytical Chemistry ;24, 596-612.
- [6] Kasprzyk-Hordern B., Dinsdale R.M., Guwy A.J., (2008): *The occurrence of pharmaceuticals, personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs in surface water in South Wales*, UK, Water Res. ;42, 3498-3518.
- [7] Kolpin D.W., Furlong E.T., Meyer M.T., Thurman E.M., Zaugg S.D., Barber L.B., Buxton H.T., (2002): *Pharmaceuticals, hormones and other organic wastewater contaminants. In U.S. streams 1999–2000: a national reconnaissance*. Environ. Sci. Technol. 36 (6) 1202–1211.
- [8] Levine H., Berman T., Goldsmith R., Goen T., Spungen J., Novack L., (2013): *Exposure to tobacco smoke based on urinary cotinine levels among Israeli smoking and nonsmoking adults: a cross-sectional analysis of the first Israeli human bio-monitoring study*. BMC Public Health. ,13:1241.
- [9] Lishman L., Smyth S.A., Sarafin K., Kleywegt S., Toito J., Peart T., Lee B., Servos M., Beland M., Seto P., (2006): *Occurrence and reductions of pharmaceuticals and personal care products and estrogens by municipal wastewater treatment plants in Ontario, Canada*. Sci. Total Environ. 367 (2–3), 544–558.
- [10] Löffler D., Reombke J., Meller M., Ternes T.A., (2005): *Environmental fate of Pharmaceuticals in water/sediment systems*, Environ. Sci. Technol., 39; 5209-5218.
- [11] Loos R., Gawlik B.M., Locoro G., Rimaviciute E., Contini S., Bidoglio G., (2009): *EUwide survey of polar organic persistent pollutants in European river waters*, Environ. Pollut. 157, 561-568.
- [12] Mompelat S., Le Bot B., Thomas O., (2009): *Occurrence and fate of pharmaceutical products and by-products, from resource to drinking water*. Environ. Int. 35, 803–814.
- [13] Monteiro, S., Boxall, A., (2010): *Occurrence and Fate of Human Pharmaceuticals in the Environment*. Rev Environ Contam Toxicol 202, 53-154.

- [14] Nagarnaik P.M., Batt A.L., Boulanger B., (2012): *Healthcare facility effluents as point sources of select pharmaceuticals to municipal wastewater*. Water Environ Res.; 84:339–45.
- [15] Periša M., Babić S., (2016): *Farmaceutici u okolišu*, Kem. Ind. 65 (9-10), 471–482.
- [16] Phillips P.J., Smith S.G., Kolpin D.W., Zaugg S.D., Buxton H.T., Furlong E.T., (2010): *Pharmaceutical formulation facilities as sources of opioids and other pharmaceuticals to wastewater treatment plant effluents*. Environ Sci Technol.,44:4910–6.
- [17] Petrović, M., Gonzalez, S., Barceló, D., (2003): *Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water*. Trac-Trends in Analytical Chemistry 22, 12.
- [18] Varga M., Dobor J., Helenkar A., Jurecska L., Yao J., Zaray G., (2010) :*Investigation of acidic pharmaceuticals in river water and sediment by microwave-assisted extraction and gas chromatography-mass spectrometry*, Microchem. J. 95 353-358.
- [19] Wilkinson J.L., Hooda P.S., Barker J., Barton S., Swinden J., (2016): *Ecotoxic pharmaceuticals, personal care products, and other emerging contaminants: a review of environmental, receptor-mediated, developmental, and epigenetic toxicity with discussion of proposed toxicity to humans*, Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 46, 336-381.

AUTORI

dr.sc. Draženka Stipaničev ^a

Siniša Repec ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska,
drazenka.stipanicev@voda.hr, sinisa.repec@voda.hr



R 1.24.

RAZINE ORGANSKOG UGLJIKA U GLAVNOM MELIORACIJSKOM KANALU (LONJSKO POLJE)

Palma Orlović-Leko, Irena Ciglenečki, Ivan Šimunić, Jelena Dautović

SAŽETAK: U melioracijskom kanalu i površinskim vodama na području Lonjskog polja (Savi i Lonji) određene su koncentracije topljivog i čestičnog organskog ugljika (Dissolved Organic Carbon, DOC; Particulate Organic Carbon, POC), površinska aktivnost (PA) organske tvari, biološka potrošnja kisika (BPK) i koncentracija topljivog kisika. Uzorci vode sakupljeni su sezonski od 2017. do 2018. god. Razine DOC u drenažnom kanalu (do 13,35 mg dm⁻³) bile su značajno više od onih izmjerenih u rijeci Savi (oko 6 puta). Sadržaj POC u drenažnom kanalu dosegno je maksimum u sušnoj sezoni od 6,53 mg dm⁻³, dok je u rijeci Savi najviša izmjerena vrijednost POC bila 0,39 mg dm⁻³. Gruba karakterizacija organske tvari u ispitivanim uzorcima izvršena je elektrokemijskom metodom a.c. voltametrije. Dominantan tip organske tvari u odvodnom kanalu prema svojoj reaktivnosti (hidrofilni-hidrofobni) sličan je mikrobiološkom polisaharidu ksantanu i masnim kiselinama.

KLJUČNE RIJEČI: DOC, POC, površinska aktivnost, vodeni sustavi, agrarno područje

LEVELS OF ORGANIC CARBON (OC) IN THE MAIN AMELIORATION DRAINAGE CANAL (LONJA FIELD)

ABSTRACT: The concentrations of dissolved organic carbon (DOC), particulate organic carbon (POC), reactive part of OC i.e. surface active substances (SAS), biochemical oxygen demand (BOD) and dissolved oxygen were determined in the main amelioration drainage canal and surface waters of the area of Lonja field (Sava and Lonja Rivers). The water samples were collected seasonally from 2016 to 2018. The DOC concentrations in the main canal (up to 13.35 mg dm⁻³) were significantly higher than those measured in the Sava River (by about 6 times). The POC content in the canal reached a maximum of 6.53 mg dm⁻³ in the dry season while the highest measured POC value in the Sava River was 0.39 mg dm⁻³. A rough characterization of organic matter in the tested samples was performed by implementing the electrochemical method of AC Voltammetry. According to its reactivity (hydrophilic - hydrophobic), the dominant type of organic matter found in the canal is similar to the microbial polysaccharide xanthan and fatty acids.

KEYWORDS: DOC, POC, surface activity, water systems, agricultural area

1. UVOD

Produkcija i ispiranje organske tvari u kopnenim ekosustavima utječe na koncentraciju i sastav topljivog organskog ugljika (DOC) u vodenim sustavima. Posebice su poljoprivredna tla relevantna za kakvoću površinskih i podzemnih voda. Na poljoprivrednim površinama, gnojidbom se povećava količina u vodi ekstrabilnog organskog ugljika za cca. tri puta ovisno o vrsti dodanog gnojiva (Kalbitz i drugi, 2000) koji procijeđivanjem kroz tlo ili površinskim otjecanjem dospjeva u melioracijski kanal (površinsku odvodnju). Pri tome važnu ulogu imaju fizičko/kemijska svojstva tla te okolišni parametri kao što su temperatura i količina oborina (Orlović-Leko i drugi, 2016).

U prirodnim vodama, organska tvar značajan je čimbenik biogeokemijskog sustava a utječe na stanje, raspodjelu i sudbinu tragova metala i organskih onečišćivala. Visoke koncentracije topljivog organskog ugljika (DOC) dovode do pokretljivosti toksičnih tvari i rasta mikroorganizama, a vodena tijela poprimaju žutu do smeđu boju (Löfgren i drugi, 2003) što utječe na raspon fotičke zone (Dunalska i drugi, 2004 i reference u njemu). Svi ti procesi mogu izazvati poremećaj ravnoteže vodenog ekosustava te dovesti do onečišćenja izvora pitke vode.

Čestični organski ugljik (POC), uslijed raspršenja svijetla utječe na fotokemiju površinske vode, mijenja turbiditet vodenog sloja, a zbog adsorpcije toksičnih tvari na čestice, može reducirati bioraspoloživost onečišćivala (Miller i Zepp, 1979). Sedimentirani POC kemijski je labilan te pri re-suspenziji i razgradnji generira labilne oblike organske tvari (Kieber i drugi, 2006).

Površinski aktivne (PA) organske tvari imaju važnu ulogu u prirodnim vodenim sustavima jer adsorpcijom na prirodne granice faza (voda-zrak, voda-sediment/suspendirana tvar) modificiraju transportne procese (Orlović-Leko i drugi, 2009; 2010; 2016).

Cilj rada je bio procijeniti mogući utjecaj poljoprivrednih djelatnosti na kvantitet i kvalitet organske tvari u površinskoj vodi a istraživanje je provedeno mjerenjem DOC, POC, PA, koncentracije kisika te biološke potrošnje kisika (BPK).

2. METODE

Uzorci vode sakupljani su sezonski od 2017. do 2018. u glavnom odvodnom kanalu (slika 1) i rijekama, Savi i Lonji na području Lonjskog polja.



Slika 1. Melioracijski kanal u Lonjskom polju u različitim sezonama: 1.2.2018. (lijevo) i 18.6.2018. (desno)

Otopljeni i čestični organski ugljik (DOC i POC) mjereni su metodom visokotemperaturne katalitičke oksidacije.

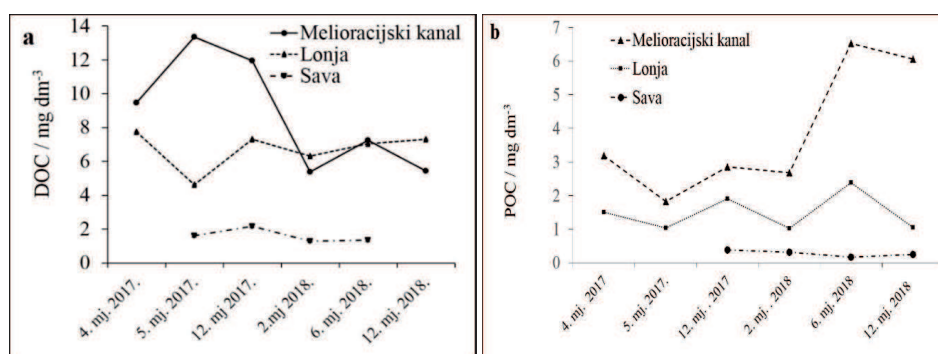
Površinsko aktivne tvari (PAT) određene su elektrokemijskom tehnikom a.c. voltametrije u svrhu grube karakterizacije reaktivnosti DOC. Relativna koncentracija PAT nepoznate smjese izražena je u ekvivalentima (mg dm^{-3}) modelne površinski aktivne tvari Tritona-X-100 (Orlović-Leko i drugi, 2016), koja se pokazala kao dobar predstavnik najreaktivnijeg dijela PAT u prirodnim vodama.

Biokemijska potrošnja kisika (BPK) i koncentracija kisika mjereni su standardnim metodama.

3. REZULTATI I RASPRAVA

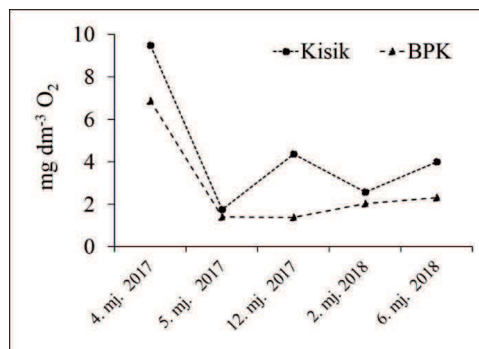
Koncentracije DOC ($5,38 - 13,35 \text{ mg dm}^{-3}$) u melioracijskom kanalu bile su znatno više od onih izmjerenih u rijeci Lonji ($4,62 - 7,75 \text{ mg dm}^{-3}$) i rijeci Savi ($1,29 - 2,15 \text{ mg dm}^{-3}$). U prirodnim slatkovodnim sustavima, DOC je većinom prisutan od $1 - 5 \text{ mg dm}^{-3}$ (McDonald i drugi, 2004). Prema tome, i rijeka Lonja sadrži znatnu količinu topljivog organskog ugljika uz napomenu da je uzorkovanje izvršeno na području na kojem je Lonja već primila vodu iz odvodnog kanala.

U kanalu, koncentracije POC kretale su se od $1,83 - 6,53 \text{ mg dm}^{-3}$ (s maksimumom u lipnju tj. u sušnoj sezoni), u Lonji od $1,03 - 2,39 \text{ mg dm}^{-3}$ te u Savi od $0,17 - 0,39 \text{ mg dm}^{-3}$, slika 2.



Slika 2. Sezonska raspodjela: a) DOC i b) POC koncentracija u glavnom odvodnom kanalu, rijeci Lonji i rijeci Savi u razdoblju od 2017. – 2018. god.

Sadržaj organske tvari u kanalu, izražen kao biološka potrošnja kisika (BPK) u mg dm^{-3} O_2 , izmjeren je u rasponu vrijednosti od $1,38 - 6,87 \text{ mg dm}^{-3} \text{O}_2$. Maksimalne koncentracije BPK i kisika ($9,49 \text{ mg dm}^{-3}$) u travnju, indikator su intenzivne primarne produkcije (slika 3). U svibnju, koncentracija kisika kao i BPK postižu minimalnu vrijednost, što ukazuje na značajnu razgradnju organskog materijala nastalog povećanom primarnom produkcijom. Snižena koncentracija kisika nije znatno varirala tijekom ostalih sezona.



Slika 3. Raspodjela koncentracija kisika i BPK u glavnom odvodnom kanalu na području Lonjskog polja u razdoblju od 2017. – 2018. god.

Relativno niske koncentracije otopljene organske tvari u prirodnim vodama te raznovrsnost spojeva koji doprinose DOC i PAT frakciji, predstavljaju problem pri karakterizaciji organskih tvari. Gruba karakterizacija DOC prema tipu reaktivnosti, hidrofilno-hidrofobno, provedena je na temelju razvijenog modelnog sustava s odabranim organskim spojevima koji se nalaze u tlu i u prirodnim vodama kao produkti biološke aktivnosti i razgradnje mjerenjem adsorpcijskog efeta na Hg elektrodi (Orlović-Leko i drugi, 2016. te radovi unutar). Postignuti rezultati za vodu iz kanala ukazuju na dominaciju PAT tipa mikrobiološkog visokomolekularnog i relativno hidrofilnog polisaharida ksantana te zasićenih masnih kiselina, kaprilne i dekanske. U rijeci Savi, reaktivniji hidrofobniji materijal tipa fulvinske kiseline predstavlja dominantnu klasu površinski aktivnih tvari, a u rijeci Lonji manje reaktivniji hidrofilni materijal tipa huminske kiseline i ksantana.

ZAKLJUČAK

Voda iz glavnog melioracijskog kanala karakterizirana je visokim DOC vrijednostima (do 13,35 mg dm⁻³) u odnosu na one izmjerene u slatkovodnim sustavima na području Lonjskog polja (do 6 puta). Važno je naglasiti kako DOC kontrolira transport i sudbinu mnogih organskih onečišćivala i teških metala te potencijalno može uzrokovati kontaminaciju tla i dalje prehrambenog lanca u poplavnom području kao što je Lonjsko polje.

Razina POC koncentracija u glavnom drenažnom kanalu povećana je kroz sve sezone (s maksimumom od 6,53 mg dm⁻³ u sušnoj sezoni) u usporedbi sa sadržajem POC u površinskim vodama promatranog područja.

U svim ispitivanim uzorcima vode, DOC pokazuje površinsku aktivnost. Organske PAT u glavnom odvodnom kanalu razlikuju se od onih detektiranih u rijeci Savi. Sličnog su adsorpcijskog ponašanja kao visokomolekularan mikrobiološki polisaharid i zasićene masne kiseline.

ZAHVALA

Istraživanje je omogućeno potporom Hrvatske zaklade za znanost, IP-11-2013-1205, SPHERE i IP-2018-01-1717, MARRES.

LITERATURA

- [1] Dunalska, J., Górniak, D., Teodorowicz, M., Gąsecka, K., (2004): *Seasonal distribution of dissolved and particulate organic carbon in the water column of a meromictic lake*. Polish Journal of Environmental Studies, 13, str. 375-379.
- [2] Kalbitz, K., Solinger, S., Park, J. H., Michalzik, B., Matzner, E., (2000): *Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review*. Soil Science, 165, str. 277-304.
- [3] Kieber, R. J., Whitehead, R. F., Skrabal, S. A., (2006): *Photochemical production of dissolved organic carbon from resuspended sediments*. Limnology and Oceanography, 51, (5), str. 2187–2195.
- [4] Löfgren, S., Forsius, M., Andersen, T., (2003): *The color of water. Project: Climate induced water color increase in Nordic lakes and streams due to humus (In Norwegian)*. Nordic Council of Ministers, str. 0-12.
- [5] McDonald, S., Bishop, A.G., Prenzler, P.D., Robards, K., (2004): *Analytical Chemistry of fresh water humic substances*. Analytica Chimica Acta, 527, str. 105-124.
- [6] Miller, G.C., Zepp, R.G., (1979): *Photo reactivity of aquatic pollutants sorbed on suspended sediments*. Environmental Sciences & Technology, 13, str. 860 – 863.
- [7] Orlović-Leko, P., Plavšić, M., Bura-Nakić, E., Kozarac, Z., Čosović, B., (2009): *Organic matter in the bulk precipitations in Zagreb and Šibenik, Croatia*. Atmospheric Environment, 43, (4), str. 805-811.
- [8] Orlović-Leko, P., Kozarac, Z., Čosović, B., Strmečki, S., Plavšić, M., (2010): *Characterization of atmospheric surfactants in the bulk precipitation by electrochemical tools*. Journal of Atmospheric Chemistry, 66, str. 11-26.
- [9] Orlović-Leko, P., Vidović, K., Plavšić, M., Ciglencečki, I., Šimunić, I., Minkina, T., (2016): *Voltammetry as a tool for rough and rapid characterization of dissolved organic matter in the drainage water of hydroameliorated agricultural areas in Croatia*. Journal of Solid State Electrochemistry, 20, (11), str. 3097-3105.

AUTORI

prof. dr. sc. Palma Orlović-Leko ^a

izv. prof. dr. sc. Irena Ciglenečki ^b

prof. dr. sc. Ivan Šimunić ^c

dr. sc. Jelena Dautović ^b

^a Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zavod za kemiju, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska, paorleko@rgn.hr

^b Institut "Ruđer Bošković", Zavod za istraživanje mora i okoliša, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Hrvatska, Irena.Ciglencecki-Jusic@irb.hr; Jelena.Dautovic@irb.hr

^c Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zavod za melioracije, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, simunic@agr.hr



R 1.25.

STATISTIČKA ZNAČAJNOST ISTORIJSKIH POPLAVA SAVE U PROFILU ŽUPANJA

Stevan Prohaska, Vladislava Bartoš Divac, Milena Jelovac, Aleksandra Ilić

SAŽETAK: U radu je izložena procedura za ocenu statističke značajnosti registrovanih istorijskih poplava korišćenjem sveobuhvatnog postupka definisanja teorijskih hidrograma velikih voda na hidrološkim stanicama. Primenjena procedura bazira se na korelacionoj analizi dva osnovna parametra hidrograma velikih voda – maksimalne ordinate hidrograma (pika) i zapremine poplavnog talasa. Za definisanje verovatnoće istovremene pojave navedenih parametara hidrograma velikih voda korišćen je model PROIL koji definiše verovatnoće prevazilaženja dve slučajne promenljive, u konkretnom slučaju dva razmatrana parametra hidrograma u vidu:

$$P \{Q_{\max} \geq q_{\max,p}\} \cap (W_{\max} \geq w_{\max,p}) = P \quad (1)$$

gde su:

- Q_{\max} - maksimalna ordinata hidrograma
- $q_{\max,p}$ - maksimalni protok verovatnoće pojave p
- W_{\max} - maksimalna zapremina hidrograma
- $w_{\max,p}$ - maksimalna zapremina talasa verovatnoće pojave p
- P - verovatnoća prevazilaženja.

Prostorni položaji linija prevazilaženja dva parametra hidrograma velikih voda i empirijske tačke odgovarajućih parametara razmatrane istorijske poplave na korelacionom polju $Q_{\max} - W_{\max}$, omogućuju direktno sagledavanje verovatnoće prevazilaženja istorijske poplave, odnosno njene statističke značajnosti.

U radu je procedura primenjena za ocenu statističke značajnosti do sada najvećih registrovanih poplava na Savi u profilu h.s. Županja.

KLJUČNE REČI: statistička značajnost, poplava, korelacija, verovatnoća prevazilaženja, maksimalna ordinata hidrograma, zapremina poplavnog talasa

STATISTICAL SIGNIFICANCE OF HISTORICAL FLOODS OF THE SAVA RIVER AT THE ŽUPANJA PROFILE

ABSTRACT: The paper presents a procedure for assessing the statistical significance of the registered historical floods by using a comprehensive procedure for the determination

of theoretical flood hydrographs at hydrological stations. The applied procedure is based on the correlation analysis of two basic parameters of flood hydrographs – maximum hydrograph ordinate (peak) and flood wave volume. In order to determine the probability of a simultaneous occurrence of the mentioned flood hydrograph parameters, we used the model PROIL which defines the probability of the exceedance of two random variables, i.e. two observed hydrograph parameters in the specific case:

$$P \{Q_{\max} \geq q_{\max,p}\} \cap (W_{\max} \geq w_{\max,p})\} = P \quad (1)$$

wheras:

- Q_{\max} - maximum ordinate of the hydrograph
- $q_{\max,p}$ - maximum discharge of the occurrence probability p
- W_{\max} - maximum volume of the hydrograph
- $w_{\max,p}$ - maximum wave volume of the occurrence probability p
- P - exceedance probability.

The spatial positions of the exceedance lines for the two flood hydrograph parameters and the empirical point of the relevant parameters of the studied historical flood in the correlation field $Q_{\max} - W_{\max}$ facilitate a direct insight in the exceedance probability of the historical flood, i.e. its statistical significance.

In the paper, the procedure for assessing the statistical significance of the largest observed floods to date on the Sava profile at the hydrological station Županja was implemented.

KEYWORDS: statistical significance, flood, correlation, exceedance probability, maximum ordinate of the hydrograph, flood wave volume

1. UVOD

Pod pojmom velika voda podrazumeva se stanje vodnog režima kada se vodostaj, odnosno protok reke poveća i kada, skoro po pravilu, usled toga dolazi do izlivanja vode iz osnovnog korita i plavljenja priobalnog terena. Porast nivoa, odnosno protoka relativno je brz, da bi nakon dostignutog maksimuma došlo do postepenog opadanja vodostaja, odnosno protoka. Stanje kada se voda izliva naziva se poplava, a protoci koji se realizuju u tom periodu predstavljaju poplavni talas. U svakodnevnoj praksi se često umesto termina poplavni talas koristi termin velike vode, a u ovom radu pod pojmom velika voda podrazumeva se nailazak, kulminacija i opadanje poplavnog talasa.

Poznavanje velike vode veoma je bitno za dimenzionisanje hidrotehničkih objekata i od presudne je važnosti sa gledišta stanovišta sigurnosti i ekonomičnosti izgradnje. Dimenzionisanje hidrotehničkih objekata izvršeno na računski potcunjene velike vode dovodi do povećanog rizika od plavljenja i rušenja objekata sa svim drugim nepovoljnim posledicama. Precenjene velike vode smanjuju rizike, ali imaju za posledicu predimenzionisane objekte, što nije u skladu sa realnim potrebama sigurnosti, već predstavljaju nepotrebno rasipanje investicionih sredstava.

Za dimenzionisanje brojnih objekata, odnosno za definisanje njihove propusne moći, merodavni su vrh poplavnog talasa (maksimalni protok), trajanje i zapremina talasa.

Pri analizi uticaja akumulacija ili rečnih korita na transformaciju poplavnih talasa, pored maksimalnog protoka merodavne su i zapremine poplavnih talasa, kao i oblici hidrograma.

Kako se hidrotehnički objekti dimenzionišu sa ciljem da obezbede unapred traženi stepen zaštite, određivanje merodavne vrednosti velike vode svodi se na definisanje teorijskih vrednosti osnovnih parametara hidrograma poplavnog talasa: maksimalne ordinate hidrograma i zapremine poplavnog talasa, koje odgovaraju nekoj verovatnoći pojave, odnosno povratnom periodu. Prilikom određivanja računskih vrednosti parametara hidrograma poplavnog talasa (protoka i zapremine), polazi se od pretpostavke da su oni slučajne veličine X , koje se pokoravaju nekom zakonu raspodele verovatnoća u vidu:

$$P(X_{max} > x) = 1 - F(x) \quad (2)$$

gde su:

$P(X_{max} > x)$ - verovatnoća da će slučajno promenljiva X_{max} biti veća od vrednosti x

X_{max} - maksimalna vrednost razmatrane slučajno promenljive (protok ili zapremina)

x - vrednost slučajno promenljive X tražene verovatnoće pojave

$F(x)$ - teorijska raspodela slučajno promenljive X .

U prirodnim uslovima poplavni talasi na rekama pojavljuju se periodično i sa različitim kombinacijama osnovnih parametara: maksimalne ordinate i zapremine talasa. Skoro po pravilu verovatnoće pojave tih parametara, iako su slučajne veličine, ne koincidiraju. Zato je neophodno da se pri definisanju njihovih verovatnoća, one razmatraju spregnuto, kao dvodimenzionalna slučajna promenljiva $(X; Y)$, gdje je X – maksimalna ordinata hidrograma, a Y – zapremina poplavnog talasa. U tom slučaju verovatnoća dvodimenzionalne slučajne promenljive $(X; Y)$ definiše se u vidu:

$$P \{X \geq x\} \cap \{Y \geq y\} = p. \quad (3)$$

Za definisanje ove verovatnoće koriste se teorijske dvodimenzionalne slučajno promenljive $(X; Y)$, a u konkretnom slučaju korišćen je model PROIL (Ilić i drugi, 2017).

2. KRATAK PRIKAZ MODELA PROIL

Model PROIL bazira se na praktičnoj primeni dvodimenzionalne normalne funkcije raspodele dve slučajno promenljive X i Y . Dvodimenzionalna normalna raspodela je raspodela sa gustinom verovatnoće koja se definiše na sledeći način (Prohaska i drugi, 1978):

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sqrt{1-\rho^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2 \cdot (1-\rho^2)} \left[\frac{(x-\mu_x)^2}{\sigma_x^2} - \frac{2\rho \cdot (x-\mu_x) \cdot (y-\mu_y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} + \frac{(y-\mu_y)^2}{\sigma_y^2} \right]} \quad (4)$$

gdje

su:

x, y - istovremene realizacije slučajnih promenljivih X i Y , respektivno

μ_x, μ_y - matematička očekivanja

σ_x, σ_y - standardne devijacije X i Y

ρ - koeficijent korelacije X i Y .

Da bi se odredila gustina raspodele, $f(x,y)$, prvi korak je određivanje marginalnih

verovatnoća $f(x, \bullet)$ i $f(\bullet, y)$ kao:

$$f(x, \bullet) = \int_{y=-\infty}^{y=+\infty} f(x, y) dy \quad (5)$$

$$f(\bullet, y) = \int_{x=-\infty}^{x=+\infty} f(x, y) dx \quad (6)$$

Njihove kumulativne verovatnoće su onda:

$$F(x, \bullet) = \int_{t=-\infty}^{t=x} f(t, \bullet) dt \quad (7)$$

$$F(\bullet, y) = \int_{z=-\infty}^{z=y} f(\bullet, z) dz \quad (8)$$

Kumulativna raspodela verovatnoće, $F(x, y)$ se definiše:

$$F(x, y) = P[X \leq x \cap Y \leq y] = \int_{t=-\infty}^{t=x} \int_{z=-\infty}^{z=y} f(t, z) dt dz \quad (9)$$

Sledeći korak je određivanje verovatnoće prevazilaženja $\Phi(x, y)$ u dvodimenzionalnom prostoru verovatnoća (Prohaska, Marjanović, Čabrić 1978):

$$\Phi(x, y) = \int_{t=x}^{t=+\infty} \int_{z=y}^{z=+\infty} f(t, z) dt dz = P[X > x \cap Y > y] = \quad (10)$$

$$P[X < x \cup Y < y] = 1 - F(x, \bullet) - F(\bullet, y) + F(x, y)$$

Primena dvodimenzionalne raspodele verovatnoća pri statističkoj analizi različitih parametara hidrograma velikih voda zahteva uprošćenja da bi opisana procedura proračuna bila primenljiva.

Osnovno uprošćenje se odnosi na pretpostavku da se svaka od razmatranih karakteristika hidrograma pokorava normalnom (log-normalnom) zakonu raspodele, što ne mora biti slučaj. Detaljnija teorijska osnova definisanja dvodimenzionalne funkcije raspodele sa primenom grafo-analitičke procedure (Abramowitz, Stegun, 1972) u rešavanju iste može se naći u literaturi (Prohaska, 1999).

3. IZBOR KONSTELACIJA PROMENLJIVIH

Osnovne karakteristike poplava koje su predmet ocene statističke značajnosti su maksimalna ordinata hidrograma Q_{max} i zapremina poplavnog talasa W_{max} . Na osnovu višegodišnje serije osmotrenih (empirijskih) podataka maksimalnih godišnjih protoka i maksimalnih godišnjih zapremina talasa, koristeći sinhrono nizove podataka (iste godine), formirane su dvodimenzionalne serije $Q_{max,i}$ i $W_{max,i}$ gde je $i=1,2,3, \dots, N$, a N je ukupan broj godina. Sve empirijske tačke dvodimenzionalnih slučajno promenljivih $Q_{max,i}$ i $W_{max,i}$ nanose se na dijagram ($Q_{max} - W_{max}$) primenom modela PROIL definišu se:

- Funkcije gustina (linije istih dvodimenzionalnih verovatnoća pojave):
 $F(Q_{max} - W_{max}) = p$ za verovatnoće $p = 0.1, 1.0, 5.0$ i 50% ,
- Funkcije raspodele (linije prevazilaženja dvodimenzionalnih verovatnoća):

$$P\{(Q_{max} \geq q_{max,p}) \cap (W_{max} \geq w_{max,p})\}$$

za verovatnoće prevazilaženja $P = 0.1, 1.0, 2.0$ i 5.0% .

Empirijske tačke $Q_{max,i}$ i $W_{max,i}$ koje se na korelacionom polju nalaze iznad linije verovatnoće prevazilaženja, $P\{(Q_{max} \geq q_{max,p}) \cap (W_{max} \geq w_{max,p})\} = 1\%$,

predstavljaju istorijske tačke, a poplava u kojoj su realizovane istorijska poplava.

Za ocenu kvaliteta uspostavljenih veza koriste se kvantitativni pokazatelji čvrstine definisane korelacione zavisnosti razmatranih parametara hidrograma velikih voda i to:

Koeficijent linearne korelacije $R_{Q,W}$

Standardna greška ocene koeficijenta korelacije σ_R .

Ovi pokazatelji ukazuju da li je uspostavljena dvodimenzionalna korelaciona zavisnost osnovnih parametara hidrograma velikih voda statistički značajna ili ne. Uspostavljena korelaciona zavisnost je statistički značajna ako je zadovoljena nejednakost (Yevjevich, 1972):

$$|R_{Q,W}| \geq 3 \cdot \sigma_R \quad (11)$$

4. OCENA STATISTIČKE ZNAČAJNOSTI ISTORIJSKIH POPLAVA SAVE U PROFILU HIDROLOŠKE STANICE ŽUPANJA

Analiza statističke značajnosti izvršena je na osnovu zvaničnih podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske, registrovanih na hidrološkoj stanici Županja. Korišćene su serije maksimalnih godišnjih protoka i serije srednjih dnevnih ili terminskih (dnevnih) protoka za period 1929. - 2014. godina.

Razmatrani su osnovni parametri hidrograma velikih voda - maksimalni godišnji protok (vršna ordinata hidrograma) i maksimalna zapremina poplavnog talasa u godini.

Vremenske serije maksimalnih godišnjih protoka preuzete su direktno iz oficijelne baze. Serije maksimalnih godišnjih zapremina hidrograma formirane su na osnovu serija srednjih dnevnih ili dnevnih protoka.

Maksimalna godišnja zapremina $W_{max,j}$ poplavnog talasa u j -toj godini određena je prema jednačini:

$$W_{max,j} = \sum_{i=T_0}^{i^k=T_0+T_b} Q_{i,j} \cdot 86400 \quad (12)$$

gde su:

$Q_{i,j}$ - srednji dnevni protok u i -tom danu j -te godine

T_0 - prvi dan kada je registrovan hidrogram u j -toj godini

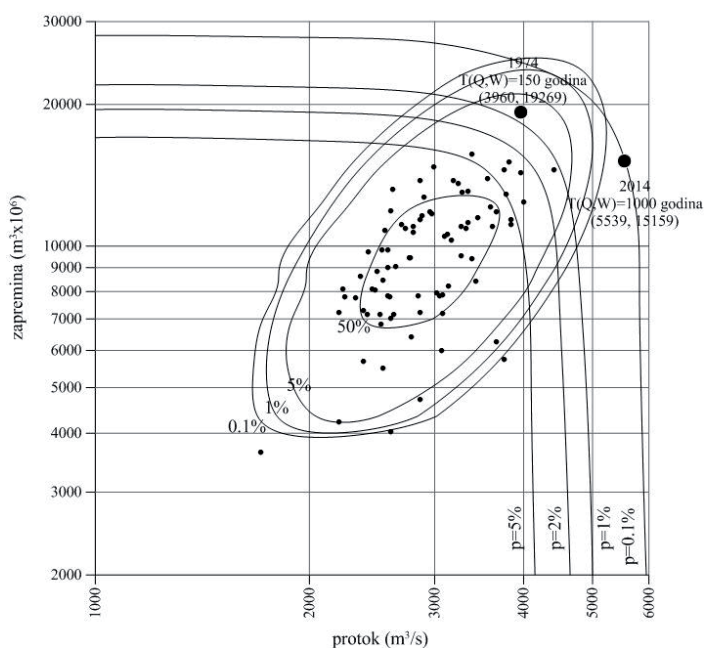
T_b - baza maksimalnog hidrograma u j -toj godini

Na taj način formira se serija maksimalnih godišnjih zapremina poplavnih talasa $W_{max,j}$. Treba napomenuti da je izdvajanje hidrograma sa najvećom zapreminom veoma delikatno, naročito u slučaju složenih hidrograma (superpozicija iz više prostih), pa je ocena zapremine u prvoj iteraciji podložna subjektivnosti obrađivača. U sledećoj iteraciji, tokom formiranja dijagrama koincidencija maksimalnih protoka i zapremina poplavnih talasa, kao i proračuna teorijskih hidrograma velikih voda primenom metode graničnog

intenziteta oticaja (GIO), izvršeno je korigovanje zapremina poplavnih talasa. Ova procedura korigovanja je objašnjena u literaturi (Prohaska i Ilić, 2017).

Za razmatrani profil hidrološke stanice Županja, na osnovu maksimalnih protoka (Q_{max}) i maksimalne zapremine poplavnih talasa (W_{max}) iz sinhronog perioda, uspostavljena je korelaciona zavisnost, odnosno definisane su linije koincidencije (dvodimenzionalni zakoni raspodele verovatnoća) navedenih parametara, korišćenjem modela PROIL. Uspostavljena dvodimenzionalna raspodela prikazana je grafički (slika 1). Na slici su prikazane:

- Empirijske tačke svih parova vrednosti ($Q_{max,i} - W_{max,i}$) (koje su korišćene za definisanje dvodimenzionalne raspodele, pri čemu su za tačke realizovanih istorijskih poplava koje imaju verovatnoću prevazilaženja $P\{(Q_{max} \geq q_{max,p}) \cap (W_{max} \geq w_{max,p})\} \geq 1.0\%$ date i numeričke vrednosti parametara. Same tačke istorijskih poplava prikazane su većim simbolom,
- Funkcije gustina (linije istih dvodimenzionalnih verovatnoća pojave): $F(Q_{max}; W_{max}) = p$, za verovatnoće $p = 0.1, 1.0, 5.0$ i 50% ,
- Funkcije raspodele (linije prevazilaženja dvodimenzionalnih verovatnoća) $P\{(Q_{max} \geq q_{max,p}) \cap (W_{max} \geq w_{max,p})\} = P$, za verovatnoće prevazilaženja $P = 0.1, 1.0, 2.0$ i 5.0%



Slika 1. Dvodimenzionalna raspodela maksimalnih godišnjih protoka Save Q_{max} i zapremina talasa W_{max} u profilu hidrološke stanice Županja

Vrednost koeficijenta korelacije između razmatranih parametara hidrograma velikih voda reke Save u profilu h.s. Županja (Q_{max} i W_{max}) je $R_{Q,W} = 0,615$, a $\sigma_R = 0,068$, je $R_{Q,W} = 0,615$, odnosno $|R_{Q,W}| = 0.615 \geq 3 \cdot \sigma_R = 3 \cdot 0.068 = 0.204$, što znači da je zadovoljen uslov (11) da je korelaciona zavisnost statistički značajna.

Sa slike 1 se vidi da dve poplave zadovoljavaju kriterijum da je

$P\{(Q_{max} \geq q_{max,P}) \cap (W_{max} \geq w_{max,P})\} \geq 1.0\%$, pa se mogu nazvati istorijskim poplavama. To su poplave iz 1974. i 2014. godine. Za ove poplavne talase ocenjeni su povratni periodi:

Poplava iz 2014. godine - povratni period $T(Q_{max} \cap W) \cong 1000$ godina,

Poplava iz 1974. godine - povratni period $T(Q_{max} \cap W) \cong 150$ godina.

Svi ostali talasi Save u profilu hidrološke stanice Županja iz razmatranog perioda imaju povratne periode znatno manje od 100 godina.

ZAKLJUČAK

U toku perioda osmatranja vodostaja i protoka reke Save u profilu h.s. Županja pojavile su se samo dve istorijske poplave sa povratnim periodom većim ili jednakim od 100 godina. Do sada je statistički najznačajnija poplava registrovana tokom maja 2014. godine, čiji je povratni period ocenjen na oko 1000 godina. Druga po značajnosti je poplava iz novembra meseca 1974. godine koja je imala povratni period od 200 godina. Sve ostale registrovane poplave imale su povratne periode manje od sto godina.

ZAHVALNOST

Predstavljeni rezultati i analize su predmet istraživanja naučnog projekta *Ocena uticaja klimatskih promena na vodne resurse Srbije* (TR-37005) za period 2011-2018. godina koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Autori se zahvaljuju Ministarstvu na pruženoj finansijskoj pomoći i podršci.

LITERATURA

- [1] Abramowitz, M., Stegun, A., I., (1972): *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs and Mathematical Tables*, Dover Publications, INC., New York, 1-1046.
- [2] Ilić A., Prohaska S., Pokorni B., (2017), *Different approaches to design flood assessment at the Danube and the Drava confluence*, Electronic book with full papers from XXVII Conference on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Plamen Ninov i Elena Bojilova, Bulgarian National Committee for the International Hydrological Programme of UNESCO, Golden Sands, Bulgaria, 201-214
- [3] Prohaska, S., Marjanović, N., Čabrić, M., (1978): *Dvoparametarsko definiranje velikih voda*, Vode Vojvodine, Novi Sad, 201-210
- [4] Prohaska, S., (1999): *Coincidence of flood flow of the Danube river and its tributaries*, The Danube and its Basin. A Hydrological Monograph, Follow – up volume IV, Bratislava, 1-187.

- [5] Prohaska S., Ilić A., (2017): *Sveobuhvatni pristup određivanju hidrograma velikih voda rijeke Drave mjerodavnih za projektiranje u hidrotehnici*, Časopis za vodno gospodarstvo, Josip Marušić, Hrvatske vode - Zavod za vodno gospodarstvo, Zagreb, 159-168
- [6] Yevjevich, V., (1972): *Probability and Statistics in Hydrology*; Water Resources Publications, Fort Collins, Colo. U.S.A

AUTORI

prof.dr sci. Stevan Prohaska ^a

Vladislava Bartoš Divac, dipl.ing. ^a

Milena Jelovac, dipl.ing. ^a

Aleksandra Ilić, dipl.ing. ^b

^a Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, 11226 Beograd, stevan.prohaska@jcerni.rs, vladislava.bartos@jcerni.rs, milena.jelovac@jcerni.rs

^b Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, aleksandra.ilic@gaf.ni.ac.rs



R 1.26.

KRIPTODEPRESIJE JEZERSKIH SUSTAVA NA PODRUČJU HRVATSKOG PRIOBALJA - HIDROLOŠKO STANJE I RIZICI OD NEŽELJENIH PROMJENA

Josip Rubinić, Maja Radišić, Gordana Bušelić, Maja Čuže Denona

SAŽETAK: Kriptodepresije jezerskih sustava u priobalju posebno su osjetljivi vodni resursi čija hidrološka stabilnost ovisi kako o hidrogeološkim značajkama vodonosnika unutar kojih funkcioniraju, tako i o klimatskim prilikama i antropogenim utjecajima - hidrotehničkim zahvatima i korištenju voda. U radu je provedena usporedba hidrološkog stanja triju najvećih jezera/kriptodepresija na području priobalja u Hrvatskoj - jezera Vrana na Cresu, Vranskog jezera kod Biograda na Moru te Baćinskih jezera, kao i mogućih rizika od neželjenih promjena uslijed klimatskih promjena/varijacija, kao i antropogenih utjecaja. Spomenuta jezera imaju različit obim hidrotehničkih zahvata kojima je promijenjen njihov prirodni režim dotoka i otjecanja. Baćinska jezera imaju izvedene hidrotehničke tunele za odvod i dovod voda iz jezerskog sustava pri čemu je vrlo značajna komponenta dotoka voda izvan njegova neposrednog sliva. Vransko jezero ima izveden odvodni kanal iz jezera te dovodni tunel kojim se unutar istoga sliva preusmjerava dio voda koje čine njegove dotoke. Jezero Vrana na Cresu nema pak hidrotehničke zahvate tipa tunelskih prokopa, ali su korištenjem njegovih voda za vodoopskrbu bitno promijenjeni hidrološki uvjeti u njegovu hidrološkom sustavu. Kod sva tri jezera prisutan je rizik intenziviranja prodora zaslanjene morske vode u njihov slatkovodni sustav te su u radu prodiskutirani mogući rizici od takvih neželjenih promjena uvjetovani klimatskim promjenama/varijacijama te povećanim korištenjem voda.

KLJUČNE RIJEČI: jezera u kršu, hidrotehnički zahvati, klimatske promjene, antropogeni utjecaji

CRYPTODEPRESSIONS OF THE LAKE SYSTEMS IN THE CROATIAN COASTAL REGION - HYDROLOGICAL STATUS AND RISK OF UNDESIRABLE CHANGES

ABSTRACT: Cryptodepressions of the lake systems in the coastal region are particularly sensitive water resources whose hydrological stability depends both on the hydrogeological characteristics of the aquifers within which they function and on the climate conditions and anthropogenic impacts, such as hydrotechnical interventions and water use. The

paper compares the hydrological status of three largest lakes/cryptodepressions in Croatia's coastal region - Vrana Lake on the island of Cres, Vransko Lake near Biograd na Moru and Baćina Lakes as well as potential risks of undesirable changes due to climate change/variations and anthropogenic impacts. These lakes comprise a different scope of hydrotechnical interventions that have modified their natural inflow/discharge regimes. Baćina Lakes contain hydrotechnical tunnels built for transferring water to and from the lake system, including a very significant water inflow component from beyond its immediate basin. Vransko Lake contains a drainage channel built from the lake and a supply tunnel rerouting part of its inflowing water within the same basin. Vrana Lake on the island of Cres contains no similar hydrotechnical interventions but the use of its water resources for water supply has significantly modified the hydrological conditions within its hydrological system. All three lakes are faced with a risk of intensified saltwater intrusion into their freshwater systems. The paper discusses the potential risks of such undesirable changes caused by climate change/variations and increased water use.

KEYWORDS: Karst lakes, hydrotechnical interventions, climate change, anthropogenic impacts

1. UVOD

Priobalna jezera u kršu, a posebno kriptodepresije, su specifični vodni sustavi čije je hidrološko stanje, kao i rizici od negativnih promjena toga stanja, uvjetovano kako prirodnim, tako i antropogenim utjecajima. Na području priobalnog dijela Hrvatske postoji niz kriptodepresija, od kojih su najveće jezero Vrana na Cresu, Vransko jezero kod Biograda na Moru te Baćinska jezera kod Ploča. Radi se o vodom iznimno bogatim sustavima na inače površinskim vodnim pojavama siromašnom priobalnom krškom području, koji zbog svojih iznimnih prirodnih vrijednosti imaju i karakter zaštićenih područja. Vransko jezero kod Biograda je park prirode i ramsarski lokalitet te se, kao i Baćinska jezera, nalazi i unutar ekološke mreže, odnosno unutar Područja očuvanja značajnog za ptice te Područja očuvanja značajnog za vrste i stanišne tipove. Cjelokupna površina jezera Vrana na otoku Cresu je pak unutar prve zaštitne zone sanitarne zaštite zahvata pitke vode iz samoga jezera, a iz kojega se kao jedinog izvorišta vodoopskrbe vodom opskrbljuju otoci Cres i Lošinj.

Analizirana jezera aktivno komuniciraju sa svojim površinskim vodotocima, krškim vodonosnikom i morem, a spomenuti međusobni utjecaji jezera i njihova okruženja nisu ograničeni samo na jezerski prostor, nego i puno šire okolno područje. Zbog toga su još u osamnaestom stoljeću započeli prvi uređajni radovi s početnim prioritarnim ciljem - ciljem zaštite okolnog područja od velikih voda u cilju smanjenja zamočvarenog područja i osiguranja više poljoprivrednih površina. Tako je 1770. godine Vransko jezero kanalom Prosika spojeno s morem, a čija duljina iznosi 890 m (Rubinić i Katalinić, 2014). Na Baćinskim jezerima (sustavu od sedam jezera od kojih samo jedno od njih nije neposredno povezano s ostalima) takav je proboj izveden 1913. godine sa 124 m dugim tunelom Baćina te 576 m kanala, a 1938. godine u jezera su 2.192 m dugim tunelom Krotuša preusmjerene vode s Vrgoračkog polja. Kasnijih godina su sukcesivno povećavani kapaciteti spomenutih tunela i kanala radi zaštite utjecajnog područja od poplava. Obzirom na klimatskim promjenama/varijacijama uvjetovan porast razine mora tijekom posljednjih tridesetak godina te periodične pojave iznimno sušnih hidroloških prilika, počele su se

javljati i negativne posljedice izvedenih zahvata - intenziviranje povratne komunikacija mora prema jezerima. Stoga je na odvodnom tunelu iz Baćinskih jezera, 1974. godine izveden prag radi zaštite od povratnog prodora mora, koji je srušen 1981. godine, a rekonstruiran 1994. godine s ugrađenom ribljom stazom (Smirčić i drugi, 1995). Na Vranskom jezeru kod Biograda na Moru 2003. godine započele su aktivnosti na planiranju izgradnje zapornice na kanalu Prosika radi usporavanja otjecanja voda iz jezera prema moru (Pintur, 2003), a nakon iznimno sušne 2008. godine izveden je fiksni betonski prag s kotom preljeva od 0,88 m n.m., ali zbog toga što to nije bilo praćeno i otješnjenjem i samoga dna kanala te zbog nemogućnosti usporavanja istjecanja iz jezera značajnijih količina voda, s minornim učinkom.

Tablica 1. Prikaz osnovnih hidroloških i morfoloških značajki analiziranih jezera

Pokazatelj:	Jezero/ra	Vrana na Cresu	Vransko jezero kod Biograda na Moru	Baćinska jezera
Najniža kota dna (m n.m.)		-61,3	-3,47	39 ¹
Srednja razina (m n.m.)		11,61	0,82	1,37
Maksimalna razina (m n.m.)		14,43	2,29	3,90
Minimalna razina (m n.m.)		9,05	-0,16	0,38
Raspon kolebanja razina vode (m)		5,38	2,45	3,52
Srednja površina (km ²)		5,59	31,1	1,5
Maksimalna površina (km ²)		5,84	38,0	1,9
Minimalna površina (km ²)		5,28	29,3	1,2
Srednji volumen (mil. m ³)		211,1	74,9	18,0
Maksimalni volumen (mil. m ³)		227,2	121,5	22,0
Minimalni volumen (mil. m ³)		197,2	44,9	16,5
Raspon kolebanja volumena (mil. m ³)		30,0	76,6	5,5
Sudjelujući protok u izmjeni voda (m ³ s ⁻¹)		0,217	1,12	10,7
Srednje vrijeme izmjene vode		30,8 god.	2,1 god.	19,5 dana
Srednji sadržaj klorida (mg/L)		58,7	1.326	462
Maksimalni sadržaj klorida (mg/L)		70,2	6.027 ²	841
Minimalni sadržaj klorida (mg/L)		22,7	161,7	6

¹ - odnosi se na relativnu dubinu (Ilijanić i drugi, 2015)

² - na postaji Prosika zabilježeni maksimum iznosi 8.525 mg/l

Osnovne hidrološke i morfološke značajke analiziranih jezera dane su u Tablici 1. Analizirani hidrološki podaci odnose se na razdoblje 1974. - 2017., dok se podaci o sadržaju klorida odnose na puno kraći niz raspoloživih podataka 2011. - 2018. Tu je

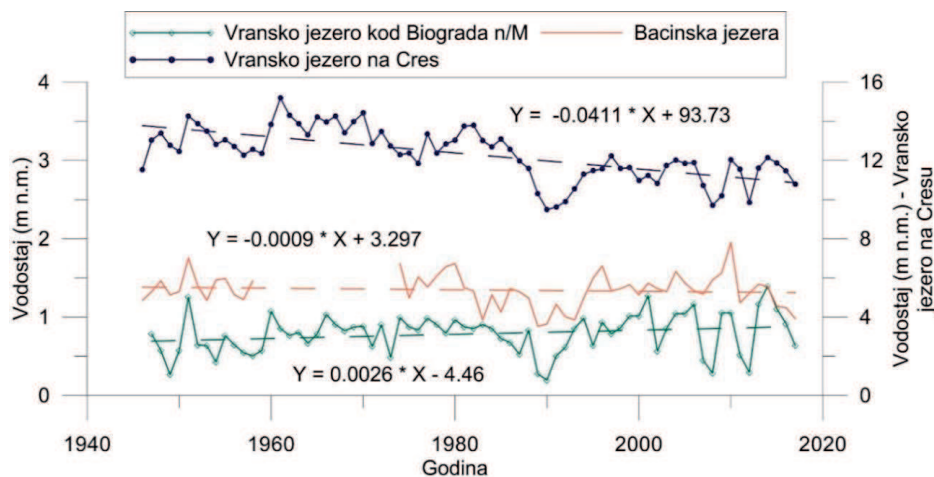
kao reprezent stanja zaslanjenosti sustava - sadržaja klorida na Vranskom jezeru odabrana postaja Crkvine. Kod Baćinskih jezera dani podaci o sadržajima klorida odnose na jezero Crniševo koje, iako nije u neposrednom kontaktu s kanalom i odvodnim tunelom Baćinskih jezera prema moru, najintenzivnije zaslanjuje putem nekoliko priobalnih izvora (Bonacci i Švonja, 1984; Ilijanić i drugi, 2015), dok je to kod ostalih jezera puno manje izraženo ili pak uopće nisu u neposrednom kontaktu s morem. Zbog promjene načina uzorkovanja tijekom promatranog razdoblja (pojedinačni i kompozitni uzorci po dubini), kao i promjenama praćenih parametara, za dio analiziranih uzoraka vode sadržaji klorida određeni su na temelju regresijskih ovisnosti sadržaja klorida i električne vodljivosti tijekom zajedničkog razdoblja njihova uzorkovanja. Informacije o površini i volumenu Baćinskih jezera odnose se na njihove skupne vrijednosti, a ekstrapolirani su iz rada Bonaccija i Švonje (1984).

Iz Tablice 1 je vidljivo da se analizirana jezera jako razlikuju u pogledu dinamike kolebanja svojih razina i međuodnosa s morem. Najveću amplitudu kolebanja razina ima jezero Vrana na Cresu, koje pokazuje da ga karakterizira vrlo ujednačeni sadržaj klorida, dok Vransko jezero kod Biograda na Moru pokazuje najveće oscilacije u sadržaju klorida. Sadržaj klorida u Baćinskim jezerima uvelike ovisi o stanju dotoka kroz tunel Krotušu kao i o lokaciji / jezeru na kome se uzorkuje. Interesantan je pokazatelj srednje vrijeme izmjene voda, prema kojemu Vransko jezero na Cresu ima najdulje razdoblje izmjene (čak 30,8 godina), Vransko jezero kod Biograda na Moru oko 2 godine, dok se kod Baćinskih jezera ono mjeri u danima (oko 20 dana). No, pojedinačna jezera imaju sigurno puno dulje vrijeme izmjene iz razloga što su relativno slabo povezana s drugima kroz koje se odvija brzi transport vodnih masa iz tunela Krotuša prema moru.

Sva tri jezerska sustava koriste se i za potrebe vodoopskrbe. Kod Vrane na Cresu je to neposrednim zahvatom iz samoga jezera Vrana s prosjekom od 70 - 75 l/s, kod Vranskog jezera se s izvorištima iz njegova sliva (Kakma, Biba, Begovača, Turjansko jezero i Begovača) za potrebe vodoopskrbe crpi prosječno oko 120 l/s, dok se iz izvora Klokot koji je uz rub Baćinskih jezera godišnje prosječno crpi oko 100 l/s. Sezonski, u vrijeme vršnih potrošnja, najveća srednja dnevna crpljenja su uglavnom i do trostruko veća. Potrošnja vode za potrebe vodoopskrbe ima trend porasta, pogotovo tijekom ljetne sezone. Za očekivati je da će, ukoliko se ostvari planirani razvoj navodnjavanja, porasti količinski pritisci na jezerske sustave do mjere u kojoj to predstavlja rizik za održavanje njihove hidrološke stabilnosti i stabilnosti njihovih ekosustava. Klimatske promjene daju dodatne razloge za iznimnu zabrinutost jer najnovije procjene mogućih promjena za razdoblje do 2070. godine, provedene u okviru izrade Nacrta strategije prilagodbe Republike Hrvatske klimatskim promjenama (2017) govore o mogućim značajnijim negativnim promjenama temperaturnih prilika, količina otjecanja i podizanja razina mora. Pri tome je ocijenjeno da su u najvećem riziku od neželjenih promjena izloženi upravo priobalni krški vodonosnici i ostale vodne pojave u priobalju - jezera, vodotoci, izvori. Razlog tome je taj što se kod njih javlja kumulativni efekt mogućih promjena sa smanjenim protocima i razinama podzemnih voda te intenzivnijim prodorima mora u krške priobalne vodonosnike i jezera. Te su promjene dijelom već prisutne i u recentno doba, a ogledaju se u pojavama sve učestalijih i dugotrajnijih sušnih hidrološkim prilika, sa sve intenzivnijim pojavama zaslanjenja voda jezerskih sustava, pri čemu je posebno kritična bila ekstremno sušna 2012. godina koja se nastavila na prethodno također iznimno sušnu 2011. godinu.

2. KOLEBANJA RAZINA, ZASLANJENOST, RIZICI I RJEŠENJA

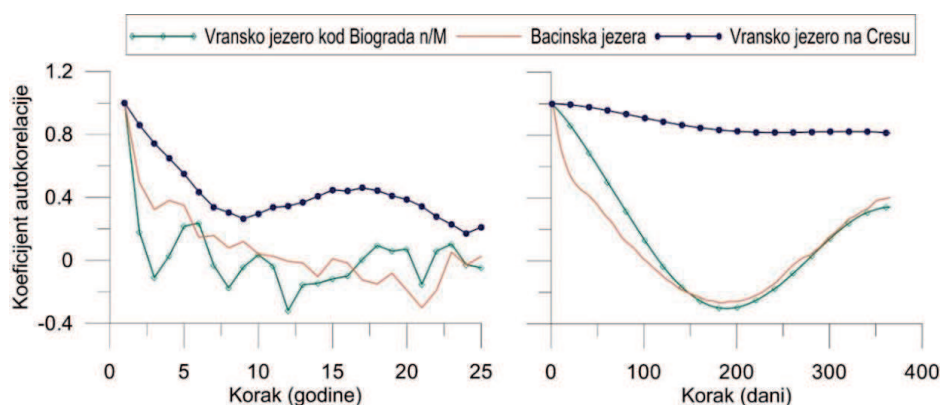
Unutar godišnja i višegodišnja kolebanja dotoka i razine vode u jezerima uvjetuju i dinamiku cirkulacije jezerske vode i mora, a time i količinu klorida u analiziranim jezerima. Na slici 1 dan je usporedni prikaz hoda srednjih godišnjih razina vode na spomenutim jezerima za razdoblje nakon obnove motrenja nakon Drugoga svjetskog rata. Iako nizovi nisu jednake duljine, i s različitim stupnjem korištenja voda i različitim hidrotehničkim zahvatima, koji su dijelom mijenjali uvjete otjecanja u jezerima, pa tako i utjecali na dinamiku kolebanja njihovih razina, dani je prikaz ipak znakovit. Na Vranskome jezeru na otoku Cresu vidljiv je najizraženiji trend snižavanja srednjih godišnjih vodostaja (4,1 m/100 god), praktički stagnirajući trend kolebanja razine vode uočljiv je na Bačinskim jezerima, odnosno blago opadanje od 0,10 m/100 godina, dok na Vranskome jezeru kod Biograda n/M postoji blagi trend porasta razine vode (0,26 m/100 god). Uz spomenute različite antropogene razloge koji sigurno imaju utjecaj na veličinu iskazanoga trenda, na širem regionalnom prostoru prisutan je opći trend smanjivanja godišnjih količina oborina i porasta temperature zraka, što uvjetuje i smanjenje godišnjih protoka. Neobičajeni trend kolebanja srednjih godišnjih razina na Vranskome jezeru kod Biograda na Moru posljedica je prisutnoga trenda povećanja hoda srednjih godišnjih razina mora. Tijekom sušnih razdoblja, u uvjetima smanjenih dotoka u Vransko jezero, pojačani prodori morske vode smanjuju deficit vode u samom jezeru, koje se hidrostatski uravnotežuje s morskom razinom koja se postupno podiže. Iako su sva tri analizirana jezera kriptodepresije, stupanj međudjelovanja s morem im je različit. To se ogleda kako u veličini nadvišenja razine vode u odnosu na morsku razinu, tako i u stupnju zaslanjenosti njihovih voda. Vransko jezero na otoku Cresu najmanje je izloženo utjecaju dinamike kolebanja mora, a Vransko jezero kod Biograda na Moru najvećem takvom utjecaju, što se ogleda i u iskazanome trendu.



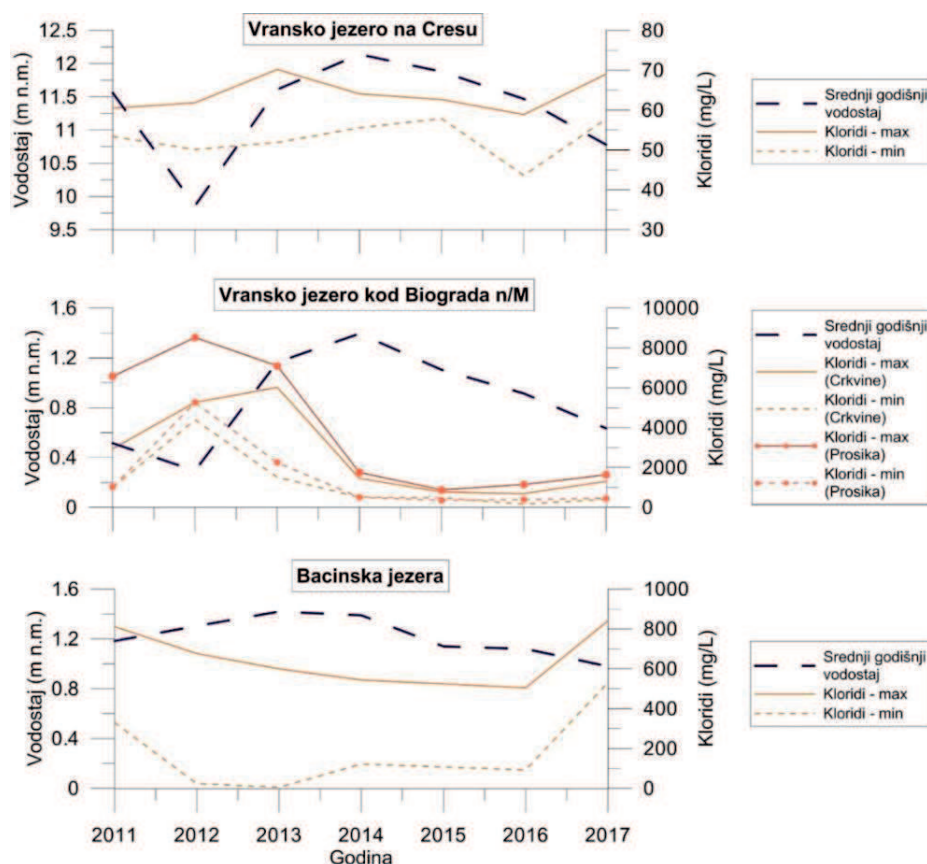
Slika 1. Usporedni prikaz kolebanja srednjih godišnjih razina vode u analiziranim priobalnim krškim jezerima istočne obale Jadranskoga mora

Provedena je i usporedna analiza autokorelacijskih funkcija tih jezera, i to srednjih godišnjih i srednjih dnevnih razina vode (slika 2). Iz njih je vidljivo da Vransko jezero na Cresu na razini godišnjih, pa i dnevnih podataka ima vrlo stabilnu i sporu padajuću autokorelacijsku funkciju (akf). Ona ukazuje na iznimno dugu međuovisnost hidroloških stanja u njegovu sustavu. Na razini godišnjih podataka, po Manginovu (1984) kriteriju granične vrijednosti 0,2, ta međuzavisnost iznosi čak dvadesetčetiri godine, a na razini dnevnih podataka, uveliko premašuje 365 dana, do koliko se u danom primjeru iskazivala vrijednost autokorelacijske funkcije. Kod Baćinskih jezera godišnja autokorelacijska funkcija pokazuje međuzavisnost do petoga koraka, a kod Vranskoga jezera kod Biograda na Moru praktički se već u prvome koraku gubi značajna povezanost srednjih godišnjih podataka o razinama vode u jezeru. Rezultati analize autokorelacijskih funkcija srednjih dnevnih razina vode pokazuju da je kod Baćinskih jezera ta međuzavisnost duga 92 koraka (dana), a kod Vranskoga jezera kod Biograda na Moru još i kraća - samo 70 dana. To znači veliku osjetljivost jezerskoga sustava Vranskoga jezera kod Biograda na Moru na pojave iznimnih hidroloških prilika, posebno suša te da se iznimno niske razine vode u jezeru mogu javiti i u prilikama nakon pojedinih situacija s prethodno povoljnih sezonskih vodnih razdoblja.

Na slici 3 dan je pak prikaz hoda srednjih godišnjih razina vode u jezerima i usporednog hoda ekstremnih vrijednosti sadržaja klorida. Iz nje je vidljivo da više razine vode u jezerima uvjetuju povoljnije hidrološke prilike u jezerima, odnosno stanja s manjim stupnjem zasljenjenosti njihovih jezerskih voda.



Slika 2. Usporedni prikaz autokorelacijskih funkcija srednjih godišnjih i dnevnih razina vode



Slika 3. Hod godišnjih vrijednosti kolebanja srednjih razina vode u jezerima te maksimalnih i minimalnih vrijednosti sadržaja klorida (2011. - 2017.)

ZAKLJUČCI I PREPORUKE

S obzirom na prisutne trendove, očekivano povećanje antropogenih pritisaka u smislu zahtjeva za povećanim korištenjem voda samih jezera ili vodnih resursa koji ih prihranjuju te očekivanim intenziviranjem negativnih trendova uslijed klimatskih promjena, očito je da će porasti rizici od povećanog zasljanjavanja analiziranih jezerskih sustava, kao i njima izazvanih neželjenih ekoloških problema te mogućih sukcesija. Vrlo jednostavna Breznikova (1973) misao/koncept zaštite priobalnih vodnih sustava od zasljanjavanja sublimirana u rečenici „nadvišenje je rješenje“ je i dalje aktualan teorijski i praktični okvir djelovanja na njihovoj zaštiti. Osnovna mjera prilagodbe klimatskim promjenama trebala bi biti smanjenje antropogenih pritisaka, unaprjeđenje monitoringa jezera i njihova okruženja te uspostava sustava operativnog modeliranja stanja i mogućih promjena. Polazište svih tih aktivnosti je razumijevanje konceptualnog modela funkcioniranja analiziranih jezera i njihova načina prihranjivanja, otjecanja, povezanosti s morem i reagiranja na promjene.

Vransko jezero na Cresu je specifično u odnosu na ostala dva analizirana jezera - nema koncentriranih dotoka ni otjecanja, a u odnosu na njih ima najmanje izraženih problema s povećanim zasljanjivanjem njegovih voda. No, iskazani trend sniženja njegove razine koji je povezan s crpljenjima iz jezera je evidentan, a promjena tog trenda nije moguća nikakvim hidrotehničkim zahvatima već samo prilagodbom režima korištenja voda iz jezera. Crpiti se iz jezera može samo onoliko za koliko se smanji gradijent gubitaka vode na poniranje iz jezerskog sustava prema moru - svako veće povećanje crpljenja dovodi do smanjenja njegove razine i uspostave ravnoteže između dotoka, crpljenja i gubitaka vode na još nižoj razini. Iskazana tromost sustava te velika amplituda kolebanja razina voda te nemogućnost prirodnog odslanjivanja jezera (osim na geološkoj vremenskoj skali) traži da se moguća negativna stanja uslijed već prisutnih klimatskih promjena / varijacija prepoznaju puno ranije nego li je to slučaj kod ostalih analiziranih kriptodepresija. Rezultati provedenih modeliranja dotoka pod utjecajem klimatskih promjena (Rubinić i drugi, 2011) pokazuju na mogućnost značajnijih smanjenja dotoka u jezerski sustav. Stoga je nužna izvedba planiranih dubokih pijezometarskih bušotina za kontrolu stupnja zasljanjenosti podzemnih voda po obodu jezera, ali duboko ispod njegova dna.

Vransko jezero kod Biograda na Moru je vrlo zoran primjer negativnih učinaka dosadašnjih antropogenih zahvata na odvodnji jezera, korištenja voda iz njegova sliva te već prisutnih manifestacija klimatskih promjena na jezerski sustav. Jezero ima iznimno malu tromost sustava i na promjene hidroloških prilika reagira već u istoj godini kad su one zapažene, a iznimno velika zasljanjivanja jezerske vode događaju se kad se dogodi koincidencija uzastopne pojave dvije vrlo sušne godine. S povećanjem zahtjeva za vodom iz sliva koji prihranjuje jezero (za vrlo ambiciozne planove navodnjavanja i izgradnje niza golf igrališta), i to u uvjetima očekivanog nastavka pa i intenziviranja negativnih trendova utjecajnih parametara vezanih uz klimatske promjene, za očekivati je daljnje pogoršanje stanja u jezerskom sustavu. Procjene o raspoloživim mogućnostima korištenja površinskih dotoka u jezero za planirana navodnjavanja sve dok ono prelijeva iz kanala Prosike u more nisu prihvatljive jer je upravo miješanje slatkovodnih dotoka iz sliva i zasljanjenih jezerskih voda te njihovo istjecanje Prosikom nužan mehanizam za njegovo odslanjivanje. U protivnom, doći će do efekta kumulativnog povećanja zasljanjivanja jezerskog sustava. Na jezeru je moguće primijeniti rješenje, odnosno koncept stvaranja uspora u cilju osiguranja nadvišenja vode u jezeru za barem sezonsko prolongiranje kritičnih niskih razina vode u jezeru izgradnjom zapornice na kanalu Prosika te otješnjenjem dna kanala. Postavke da se time neće moći osigurati zaštita jezera od zasljanjivanja te da treba tražiti rješenja prihranjivanja jezera su rizične, jer jezero vrlo brzo reagira na negativne klimatske prilike, i do realizacije takvih nekih rješenja koja su razmatrana samo za osiguranje voda za navodnjavanje sigurno će proći dugi niz godina unutar kojih se stanje u jezeru može drastično pogoršati. Provedene procjene utjecaja klimatskih promjena na dotoke u jezero do kraja ovoga stoljeća (Rubinić i Katalinić, 2014) govore u prilog potrebi osiguranja brzih adaptivnih rješenja.

Baćinska jezera su sustav koji se, u odnosu na razmatrane prethodne primjere, može najlakše prilagoditi negativnim klimatskim promjenama iz razloga što postoji izgrađen hidrotehnički sustav za osiguranje dotoka i istjecanja vode iz jezera, a ima i vrlo malu tromost sustava što je uvjetovano prisutnošću vanjskih kontroliranih dotoka. Dopunom sustava u vidu ugradnje regulacijskih elemenata, moglo bi se upravljati razinama vode u

jezerima, a time i stupnjem njihove zaslanjenosti. Pri tome je za očekivati je da će se podizanjem razine mora i usporavanjem istjecanja vode iz jezera smanjiti kapaciteti dijelova sustava koji evakuiraju suvišne vode te će ga biti nužno nadograditi i optimizirati. Kao početni element nužno je osigurati primjereni model dotoka i istjecanja iz jezera, i provesti procjene utjecaja klimatskih promjena na jezera.

ZAHVALA

Ovaj rad je rezultat istraživanja provedenih u okviru projekta Hidrološki radovi na Vranskom jezeru i utjecajnom prostoru Parka prirode Vransko jezero tijekom 2018. godine financiranog od strane JU PP Vransko jezero. Rad je sufinanciralo i Sveučilište u Rijeci projektom uniri-tehnic-18-298.

LITERATURA

- [1] Bonacci O., Švonja, M. (1984): *Promjene vodnog režima Baćinskih jezera*. Građevinar 36/2, 53-58.
- [2] Breznik, M., (1973): *Nastanek zaslanjenih kraških izvirov in njihova sanacija*. Geologija - Rasprave in poročila, 16, str. 183-186.
- [3] Ilijanić, N., Miko, S., Hasan, O., Čupić, D., Mesić, S., Širac, S., Marković, T., Šparica Miko, M., Vlašić, A (2015): *Paleolimnološka istraživanja Baćinskih jezera - jezero Crniševo*. Zbornik radova 6.HKV (ur. Biondić, D., Holjević, D., Vizner, M.) Zagreb: Hrvatske vode, 437-446.
- [4] Mangin, A., (1984): *Pour une meilleure connaissance des systemes hydrologiques a partir des analyses correlative et spectrale*. Journal of Hydrology, 67(1-4), str. 25-43.
- [5] Nacrt strategije prilagodbe Republike Hrvatske klimatskim promjenama (2017) (<http://prilagodba-klimi.hr/wp-content/uploads/docs/Nacrt%20Strategije%20prilagodbe.pdf>).
- [6] Pintur, G. (2003): *Prijedlog projekta za unaprjeđenje zaštite i očuvanje bioraznolikosti na širem području parka prirode „Vransko jezero“*. U: Zbornik radova Hidrološka stabilizacija i očuvanje biološke raznolikosti slivnog područja parka prirode. Park prirode Vransko jezero, Biograd na Moru, 3-7.
- [7] Rubinić, J.; Katalinić, A., (2014): *Water regime of Vrana Lake in Dalmatia (Croatia): changes, risks and problems*. Hydrological Sciences Journal, 59/10, 1908-1924.
- [8] Rubinić J, Kuhta M, Brkić Ž (2011): *Test Area Lake Vrana - Cres Island (Croatia)*. EU Project CCWaterS, Hrvatski geološki institut, Zagreb, 2011.
- [9] Smirčić, A., Glavaš, B., Švonja, M. (1995): *Neke hidrološke i batimetrijske značajke Baćinskih jezera*. U: Zbornik radova 1.HKV (ur. Gereš, D.), Hrvatske vode, Zagreb, 471-482.

AUTORI

dr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ. ^a

Maja Radišić, mag. ing. aedif. ^a,

Gordana Bušelić, dip. ing. mat. ^b

Maja Čuže Denona, dip. ing. biol. ^c

^a Građevinski fakultet u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, jrubicic@uniri.hr, maja.radisic@uniri.hr

^b Državni Hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10000, Hrvatska, buselic@cirus.dhz.hr

^c PP Vransko jezero, Kralja Petra Svačića 2, Biograd na Moru, 23210, Hrvatska, maja.cuze.denona@pp-vransko-jezero.hr



R 1.27.

HIDROLOŠKA ANALIZA VARIJACIJA RAZINE VODE JEZERA VRANA NA OTOKU CRESU

Nevenka Ožanić, Ivana Sušanj Čule, Goran Volf, Nino Krvavica, Elvis Žic

SAŽETAK: Otok Cres je jedan od naših najkrševitijih otoka, a pojava jezera Vrana na otoku uistinu je jedinstven prirodno-geografski fenomen i vrlo složeni hidrološko-hidrogeološki sustav koji je pod snažnim antropogenim utjecajima uzrokovanim crpljenjem vode iz jezera za potrebe vodoopskrbe otoka Cresa i Lošinja. Jezero sa svojom srednjom površinom od gotovo 6 km² i srednjom zapreminom od oko 220 milijuna m³ vode visoke kakvoće jedini je izvor za vodoopskrbu stanovništva spomenutih otoka.

Kako je tijekom osamdesetih godina do danas došlo do zabrinjavajućeg trenda opadanja razine vode u jezeru, u ovom će se radu prvenstveno primjenom hidroloških analiza pokušati potvrditi utjecaj promjena hidroloških i meteoroloških parametara (klimatskih promjena) i crpljenja koje su vidljive na njegovom funkcioniranju.

U radu su prikazani hidrološki aspekti funkcioniranja jezerskog sustava kao dijela otočkog krškog akvifera, izvršena je analiza karakterističnih razina vode izmjerenih na jezeru Vrana na otoku Cresu u razdoblju od 1929. do 2017. godine. Prikazani su također i problemi zaštite jezera od pretjeranog crpljenja, odnosno poremećaja njegovog izrazito osjetljivog eko-sustava. U radu je naznačena i neophodnost uspostave aktivnog modela odnosa između zaštite prirodnog krškog fenomena i održivog razvoja socio-ekonomske zajednice koja ga okružuje, jer je jezero pridonosenjem razvoju (pogotovo u turističkom smislu) lokalnog otočkog područja postalo i samo ugroženo.

KLJUČNE RIJEČI: Vransko jezero, krški akvifer, hidrološka analiza, klimatske promjene, zaštita jezera

HYDROLOGIC ANALYSIS OF WATER LEVEL VARIATIONS IN LAKE VRANA ON THE ISLAND CRES

ABSTRACT: The Cres island is one of our most karstic islands, and the appearance of Vrana Lake on the island is truly a unique natural and geographic phenomenon. It is a very complex hydrological and hydrogeological system, which is under strong anthropogenic influences due to water abstraction from the lake for water supply of the islands Cres and Lošinj. The lake, with its medium surface of nearly 6 km² and medium volume of approximately 220 million m³ of exceptionally high quality water, is the only source of water supply for the mentioned islands.

Since the 1980s there has been a worrying decline in water levels in the lake, so this paper will attempt to verify the impact of the changes in hydrological and meteorological parameters (climate change) and abstraction that is visible in its functioning by applying primarily hydrological analyses.

This paper presents the hydrological aspects of the functioning of the lake system as part of the island karst aquifer based on an analysis of the typical water levels measured at Vrana Lake on the island of Cres in the period from 1929 to 2017. Additionally, the paper presents the problems of the lake protection from excessive abstraction, i.e. the disturbance of its highly sensitive eco-system. The paper further identifies a need for establishing an active model between the protection of this natural karst phenomenon and sustainable development of the socio-economic community surrounding it, since the lake contributing to the development of the local island area (tourism in particular) has become endangered itself.

KEYWORDS: Lake Vrana, karst aquifer, hydrological analysis, climate change, lake protection

1. UVOD

Otok Cres je jedan od naših najkrševitijih kvarnerskih otoka. U litološkom sastavu otoka prevladavaju slabo propusni dolomiti. Za formiranje jezera - stalnog vodnog tijela slatke vode „zaslužne“ su vodonepropusne strukture fliša. Na samom lokalitetu jezera Vrana prisutni su sitnozrnasti jezerski sedimenti pliocensko-pleistocenske starosti, a samo je jezero formirano prije oko 1,8 milijuna godina na prijelazu iz pliocena u pleistocen (Biondić et al., 1993.). Vransko jezero na otoku Cresu uistinu je jedinstven prirodno-geografski fenomen i predstavlja jedini veći izvor pitke vode na kvarnerskim otocima. Ima izdužen oblik (maksimalna duljina 71 km, maksimalna širina 12 km) i površinu 405.78 km². Od toga samo Vransko jezero, najveća kriptodepresija u Hrvatskoj, pri srednjoj razini vode (12.92 mn.m.) zauzima površinu od 5.74 km². Posebnost je i to da je od mora udaljeno svega 3 do 5 km. Dugačko je 5,5 km, a široko 1,5 km (slika 1.). Najveća dubina mu je oko 61 m ispod srednje razine mora, a obujam dijela jezera ispod razine mora iznosi 159 mil. m³ (Rubinić, 1990.). Vransko se jezero ubraja u oligotrofna jezera, što znači da je siromašno hranjivim tvarima i ima malu organsku proizvodnju, te da su mu obale uglavnom strme i krševite (Brdar 2007.).

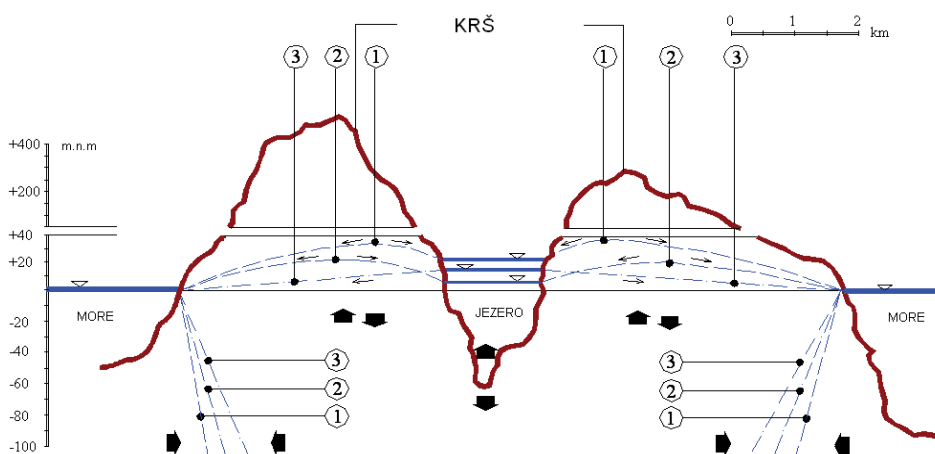
Najveća specifičnost jezera jest postojanje veće količine slatke vode koja pri srednjoj razini (vodostaju od 12,92 mn.m.) iznosi oko 220 milijuna kubičnih metara. Jezero je jedini izvor pitke vode otoka Cresa i Lošinja, gdje uz domicilnih 10.995 stanovnika, boravi i izuzetno velik broj turista, te se tijekom posljednjih pet godina ostvarilo oko 4 milijuna noćenja godišnje.

Do tada nezabilježeni trend opadanja srednje razine jezera tijekom razdoblja 1985.-1990. godine od 3,53 m, izazvao je veliku zabrinutost stanovnika ali i stručnjaka za budućnost jezera pogotovo u pogledu daljnjih mogućnosti crpljenja (Petrik, 1961; Petrik, 1969). Zbog toga su Hrvatske vode inicirale i započele višegodišnja multidisciplinarna istraživanja u okviru “Programa istražnih radova u svrhu donošenja odluke za optimalno korištenje i očuvanje vode Vranskog jezera na otoku Cresu” 1990. u sklopu kojeg su

vršena hidrološka, hidrogeološka, limnološka, hidrokemijska i biološka istraživanja. Ona su omogućila da se temeljitije istraže mehanizmi dinamike kretanja podzemnih voda, te kemizam i biologija Vranskog jezera. Krajnji cilj istraživanja bio je upoznavanje prirode mehanizma njegovog funkcioniranja i svojstava Vranskog jezera u cilju analize mogućnosti korištenja, optimalnog upravljanja i ostvarenja pune zaštite tog neprocjenjivog fenomena na otočkom kršu. U sklopu programa hidroloških istraživanja izrađen je veći broj studija, elaborata, godišnjih izvještaja i znanstveno-stručnih radova objavljenih kod nas i u inozemstvu, kao i disertacija Ožanić (1996.) pod naslovom „Hidrološki model funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu“ u kojoj je Vransko jezero razmatrano kao vodna pojava u dinamičkom međuodosu s ostalim dijelovima otočkog krškog vodonosnika (slika 2).



Slika 1. Pogled na Vransko jezero na otoku Cresu dana 20.04.2007.



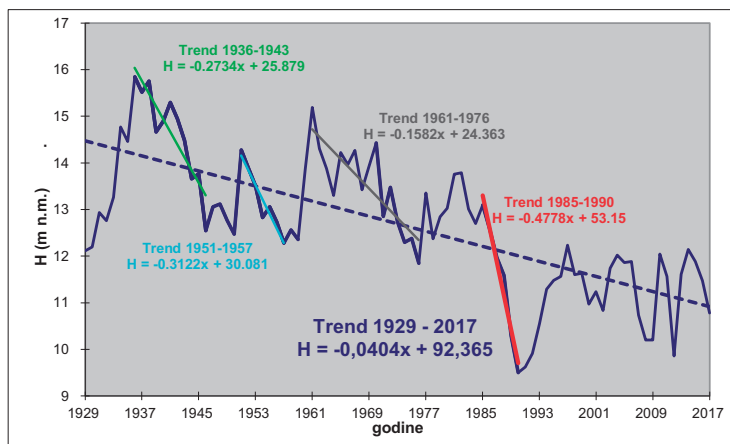
Slika 2. Hipotetski shematski presjek otoka Cresa kroz Vransko jezero (Ožanić, 1996.)

Utvrđeno je da je spomenuto izrazito i naglo opadanje razine jezera posljedica koincidencije pojave izuzetno sušnih i nepovoljnih hidroloških prilika i dotad najizraženijih crpljenja iz jezera. Zadnjih je dvadesetak godina taj trend ublažen, ali je i dalje prisutna potreba zaštite jezera, kako u smislu definiranja režima crpljenja, tako i u smislu zaštite jezera od onečišćenja. Jednako tako, dokazano je da jezero nije povezano sa izvorima vode na kopnu, kao što se nekoć mislilo, već da je voda u jezeru lokalnog porijekla, odnosno da je Vransko jezero dio otočkog krškog vodonosnika. Naime, porijeklo vode u jezeru Vrana dugo je intrigiralo znanstvenike, ali osobito laike i stanovništvo. Tako je Lorenz (1859.) iznio hipotezu da se jezero pretežno prihranjuje vodom s kopna, dok je Mayer (1873.) tvrdio da voda u jezero dotječe isključivo sa sliva koji se nalazi na samom otoku Cresu. Ova je druga hipoteza potvrđena detaljnim hidrološkim analizama u radovima Bonacci (1993., 1995.), Ožanić (1996.) i Hertelendi i dr. (1995.). Prva dva spomenuta autora drugu su hipotezu dokazala različitim postupcima korištenjem metode hidrološkog bilanciranja voda, dok je skupina autora istu potvrdila analizom starosti vode u jezeru primjenom izotopa, te dokazala da vrijeme izmjene vode u jezeru iznosi približno tridesetak godina. Kako se radi o svjetskom prirodnom krškom fenomenu, potreba sveobuhvatne zaštite jezera prelazi okvire lokalne zajednice. Međutim, posebnu odgovornost za zaštitu jezera ima sama otočka zajednica Cresa i Lošinja čiji razvoj neposredno ovisi o stanju jezera. Stoga, za budućnost izuzetno osjetljivog ekosustava Vranskog jezera, odgovornost pri odabiru i provođenju načina gospodarenja jezerom i njegovim utjecajnim prostorom podjednako imaju i lokalna otočka i šira društvena zajednica.

2. HIDROLOŠKE ZNAČAJKE SUSTAVA VRANSKOG JEZERA

Vransko jezero predstavlja vrlo osjetljiv hidrološki sustav koji funkcionira na principu održanja ravnoteže između formirane slatkovodne leće otočkog krškog akvifera i mora. Samo jezero zbog svojih dimenzija bitno utječe na cjelokupnu dinamiku "disanja" tog akvifera. Važno je napomenuti također da se i dotjecanje u jezerski prostor i otjecanje iz njega vrši se nelokaliziranim hidrogeološkim putovima. Zbog toga se rezultati dosadašnjih hidroloških istraživanja kvantificirani na temelju provedenih sustavnih analiza dinamike promjena razine vode u jezeru obzirom na lokalne otočke hidrološke prilike i količinu crpljenja iz jezera. Čvrstina utvrđenih međuovisnosti između elemenata vodnog bilanca lokalnog sliva i ponašanja jezera ukazuje na potrebu da se režim funkcioniranja Vranskog jezera treba razmatrati prvenstveno u domeni prostora njegovog otočkog krškog akvifera. Tijekom razdoblja prikupljanja podataka o razinama vode Vranskoga jezera od 1929. - 2017. godine, apsolutno najveći zabilježeni vodostaj iznosio je 16,70 mn.m. 1936., najniži 8,56 mn.m. 2012. s amplitudom od 8,14 m, a srednji godišnji vodostaj je iznosio 12,69 mn.m. Nešto vodnije hidrološke prilike posebno tijekom jesenskih i zimskih razdoblja nakon 1990. uzrokovale su prekid tog najizraženijeg zabilježenog trenda opadanja vodostaja, tako da je na kraju 2017. godine. srednji godišnji vodostaj Vranskog jezera iznosio 10,78 mn.m.

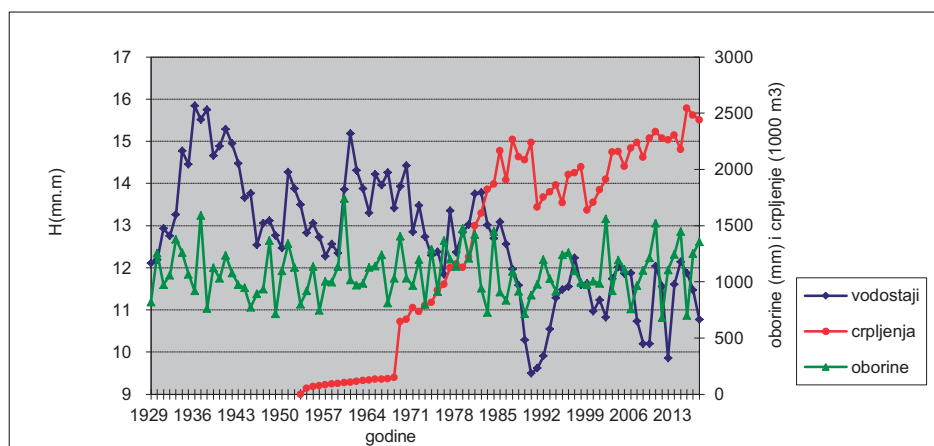
Na slici 3 vidljivo je postojanje izrazitijih trendova višegodišnjeg opadanja srednjih godišnjeg vodostaja jezera, od kojih se najizrazitiji gotovo - 48 cm godišnje - javio u razdoblju 1985. - 1990. U cjelokupnom promatranom razdoblju 1929. - 2017. trend opadanja srednjeg godišnjeg vodostaja iznosio je prosječno oko 4 cm godišnje.



Slika 3. Srednji godišnji vodostaji Vranskog jezera na otoku Cresu (1929. - 2017.)

Prosječni godišnji dotok u Vransko jezero je $0.582 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a prosječni gubici na otjecanje iz jezerske zone $0.368 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Za promatrano razdoblje prosječna količina palih oborina u lokalnom slivu, procijenjene srednje površine od 24 km^2 , iznosi $1.081,2 \text{ mm}$. Zbog veličine površine jezera značajan je gubitak vode na isparavanje sa jezerske površine prosječno godišnje $0.204 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a tolika je i komponenta dotoka kao posljedice palih oborina izravno na površinu jezera prosječno $0.192 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Promjena i variranje vodostaja jezera zahtijeva detaljniju analizu odnosa srednjih godišnjih vodostaja i klimatskih parametara (oborina i temperatura) te crpljenja vode iz jezera za potrebe vodoopskrbe Cresa i Lošinja, pa je na slici 4 dan je prikaz srednjih godišnjih vodostaja u razdoblju 1929. - 2017. godina, godišnjih količina crpljenja iz jezera i godišnjih oborina.



Slika 4. Hod godišnjih količina oborina, vodostaja i crpljenja iz Vranskog jezera na otoku Cresu (1929. - 2017.)

Iz slike 4 je vidljivo da u relativno dugom razdoblju opaĳanja oborina od 89 godina nije uoĳen gotovo nikakav trend godišnjih oborina. One osciliraju u širokom rasponu oko srednje vrijednosti od 1081 mm, s tim da je maksimalna vrijednost u iznosu od 1743 mm bila opaĳena 1960. godine, a minimalna od 682 mm 2011. godine. Uoĳljivo je takoĳer da crpljenja znaĳajnije rastu od 1978. godine kada su iznosila oko $1,50 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode godišnje, a maksimalna vrijednost zabiljeĳena je 2015. godine od $2,54 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode na godišnjoj razini.

3. PROBLEMI ŽAŠTITE JEZERA OD PRECRPLJIVANJA

Kako je Vransko jezero jedini izvor vodoopskrbe otoka Cresa i Lošinĳa, iz njega je do zakljuĳno 2017. godine iscrpljeno oko $88 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode. Prema dosegnutim potrebama posljednjih pet godina, iz jezera se iscrpi do cca $2.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode godišnje. Kako su matematiĳkim modelom proraĳunati prosjeĳni godišnji dotoci $18,2 \times 10^6 \text{ m}^3$, a pri srednjem vodostaju gubici na evaporaciju reda veliĳine $6,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ te gubici na poniranje iz jezerskog sustava $11,5 \text{ m}^3$, takva crpljenja, iako globalno najmanji element vodnog bilanca, unose neravnoteĳu u sustav Vranskog jezera i utjeĳu na sniĳenje srednje razine jezera. To sniĳenje srednje razine odvija se do mjere kada se pri novo uspostavljenoj srednjoj razini jezera smanje gubici na poniranje u veliĳini porasta koliĳine crpljenja. Utvrĳena je funkcionalna veza izmeĳu koliĳine gubitaka iz jezera (poniranja) i razine vode u jezeru, pri ĳemu njen gradijent u domeni zabiljeĳenih vodostaja po svakom metru pribliĳno iznosi $0.026 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Prema provedenim hidroloĳkim analizama, dosadašnja su crpljenja uzrokovala opadanje razine jezera za oko 2,3 m, te se njihovom eventualnom stabilizacijom na dosad maksimalnih godišnjih oko 80 ls^{-1} oĳekuje opadanje srednje razine jezera za još oko 0.71 m. U tim razmjerima i znaĳajnija daljnja sniĳenja srednje razine jezera nisu zabrinjavajuĳa. Formirana slatkovodna leĳa otoĳkog krĳkog akvifera svojim se natpritiskom, na principima Ghyben Hertzbergovog zakona, uravnoteĳava sa morem i spreĳava njegovo prodiranje u jezerski prostor.

Kako je samo dno Vranskog jezera oko 61 m ispod srednje razine mora, obzirom na teoretski ravnoteĳni omjer (1 m visine slatkovodne leĳe iznad razine mora odgovara debljini od 40 m slatke vode ispod razine mora), u tom bi sluĳaju kod razine jezera od 1.5 mn.m. došlo do prodora mora u jezero, odnosno do zaslanjenja ĳitavog jezera (Oĳaniĳ, 1996.). Zbog toga se ne smiju dozvoliti spomenuta teoretski moguĳa sniĳenja vodostaja, veĳ poveĳanje crpljenja iz jezera treba ograniĳiti na veliĳinu koja sigurno neĳe ugroziti ravnoteĳu jezerskog sustava. Naime, iz jezera se u posljednjih desetak godina crpi izmeĳu 5 % i 6 % koliĳina vode u odnosu na koliĳine promjene zapremine vode u jezeru (Bonacci, 2014.). Kolike su krajnje granice moguĳeg crpljenja iz Vranskog jezera, odnosno dozvoljenog sniĳenja razine vode u Vranskom jezeru, moĳi ĳe se procijeniti na osnovu rezultata neophodnog kontinuiranog i dugotrajnog praĳenja ponašanja jezera pri postupnom dugogodišnjem poveĳanju crpljenja.

ZAKLJUČAK

Svaki krški otok, a osobito otok Cres na kojem postoji tako veliki i vrijedni vodni potencijal kao što je slatkovodno Vransko jezero, predstavlja ekološki, ali i socijalno izrazito ranjivo područje koje zahtijeva posebnu pažnju cijele društvene zajednice. Naime, vodni potencijal Vranskog jezera uvjetovao je razvoj društveno ekonomskih prilika na otocima Cresu i Lošinju. Daljnji razvoj toga područja treba temeljiti na principima održivog razvitka u skladu s ukupnim prirodnim potencijalima tako da sa svojom razinom i načinom zadovoljenja svojih tehnoloških potreba ne ugrozi i prirodni fenomen kakvo je Vransko jezero. Takav razvoj, gledajući ga i dalje u perspektivi, uz neminovno povećanje potrošnje vode u skladu s razvojem standarda, neminovno donosi i nove zahtjeve za povećanjem količine crpljenja vode iz jezera, a donosi i nove rizike za narušavanje postojeće kvalitete vode iz Vranskog jezera, te raznolikosti jezerske flore i faune.

U pogledu zaštite jezera od precrcpljivanja neophodno je, uz postupno povećanje količine crpljenja iz jezera provoditi kontinuirano praćenje ponašanja jezera obzirom na hidrološke prilike, kao i promjene saliniteta vode u jezeru i u istražnim bušotinama. Naime, kontinuirano prikupljanje spomenutih podataka osnova je za neophodna multidisciplinarna istraživanja koja su prvenstveno usmjerena na problematiku utvrđivanja mehanizma jezerskog funkcioniranja, kvantificiranja elemenata vodne bilance, te prognoza utjecaja crpljenja na dinamiku funkcioniranja jezerskog sustava.

Rezultati dosadašnjih istraživanja ukazali su na svu složenost funkcioniranja tog sustava, ali ujedno dali i odgovore vezane uz utjecaj crpljenja na sniženje razine vode u jezeru. Zbog toga prekidi u promatranjima i prikupljanju pojedinih meteoroloških i hidroloških parametara zabrinjavaju poglavito uz sada već registrirane klimatske promjene. Za tako važan prirodan fenomen, koji uz to ima i neprocjenjivu vodnogospodarsku važnost, nedopustivo je da ne postoji praćenje isparavanja sa vodene površine i drugih spomenutih utjecajnih meteoroloških parametara.

Zbog toga se predlaže da se svakako osigura nastavak njihovih praćenja jer jezero je prevelika dragocjenost da bi zanemarila njegova zaštita i opstojnost kako za potrebe ovog, tako i budućih pokoljenja.

Rezultati hidroloških istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu u posljednjih dvadesetak godina (za razdoblje 1996. - 2017.), pokazali su da su se i oborine, vodostaji, crpljenja iz jezera, temperature površinskog sloja vode, razine mora na mareografu Martinščica, te kao posljedica toga i dotoci za spomenuto razdoblje, kretali unutar prosječnih vrijednosti višegodišnjeg razdoblja.

Iako problematika zaštite jezera od onečišćenja (Golubić, 1962) nije obrađivana u samom radu, moramo naglasiti da je otočka zajednica sedamdesetih godina znala sačuvati Vransko jezero od negativnih utjecaja tadašnje urbanizacije donošenjem i poštivanjem odgovarajućih prostornih planova kojima na utjecajnom području Vranskog jezera nije dozvoljena pojava novih sadržaja kojima bi bila ugrožena kvaliteta njegovih voda (Golubić, 1962). Zbog toga se vjeruje da će sadašnje rješenje pomicanja glavne otočne prometnice Cres-Lošinj, kao i eventualno nova rješenja koja će uz pomoć šire zajednice i mjerodavnih institucija biti donesena, a na temelju rezultata multidisciplinarnih istraživanja, moći na pravi način odgovoriti na nove probleme vezane za opstojnost Vranskog jezera, kvalitetu njegovih voda i živoga svijeta u njemu, koje donosi današnje doba i klimatske promjene.

ZAHVALA

Rad je napisan temeljem aktivnosti koje se provode u sklopu projekata koje je sufinanciralo je Sveučilište u Rijeci i to: *Hidrologija vodnih resursa i identifikacija rizika od poplava i blatnih tokova na krškim područjima (UNIRI-TEHNIC-18-54)* i *Održivo upravljanje riječnim slivom implementacijom inovativnih metodologija, pristupa i alata (UNIRI-TEHNIC-18-129)*.

Ovaj je članak nastao i kao rezultat rada u okviru projekta Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci (RC.2.2.06-0001) koji je sufinanciran iz Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR) i Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH.

LITERATURA

- [1] Biondić, B.; Ivičić, D.; Prelogović, E. (1993.): The hydrology of the Lake of Vrana the Cres Island. *Proceedings of the International Symposium "Geomorphology and Sea"*, 25-36.
- [2] Bonacci, O. (1993.) The Lake Vrana hydrology (Island of Cres-Croatia). *Water Resources Bulletin*, 29(3), 407-414.
- [3] Bonacci, O. (1995.): Investigations in karst hydrology of Croatia: The Vrana Lake on the Island of Cres. *Acta Geologica*, 25(1), 1-15.
- [4] Bonacci, Ognjen.: Analiza varijacija razine vode jezera Vra na otoku Cresu. *Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo*. 22 (2014), 90; 337-346.
- [5] Brdar, I.: Rezultati hidroloških istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu od 2001.-2006. godine, Diplomski rad; Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. 2007.
- [6] Golubić, S. (1962.): O problemima zagađenja i zaštite voda s osobitim osvrtom na jezero Vrana na otoku Cresu. *Obavještenja (Higijena, Epidemiologija, Zdravstveno prosvjećivanje)*, V(4), 273-282.
- [7] Hertelendi, E.; Svingor, E.; Rank, D.; Futo, I. (1995.): Isotope investigation of Lake Vrana and springs in the Kvarner bay.
- [8] Kuhta, M.: *Hidrogeološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu u razdoblju 2001.-2002. godina*, Fond stručne dokumentacije IGI. 2002.
- [9] Lorenz, R.: *Der Vrana See*. Petermans Georg, Mitt 1, Gotha. 1859.
- [10] Mayer, E.: *Der Vrana See auf der Insel Cherso*. Mitt. Geogr. Ges. 16, Wien. 1873.
- [11] Ožanić, N.: *Hidrologija jezera Vrana na otoku Cresu*. Magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. 1994.
- [12] Ožanić, N.: *Hidrološki model funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu*. Disertacija. Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu: 139 pp. 1996.
- [13] Ožanić, N., Rubinić, J.: *Analiza hidrološkog režima Vranskog jezera na otoku Cresu*. *Hrvatske vode* 8(2): 535-543. 1994.
- [14] Ožanić, N., Rubinić, J.: *Rezultati hidroloških istraživanja Vranskog jezera na otoku*

Cresu za razdoblje (1998.-2000.). Fond stručne dokumentacije Hrvatske vode VGO Rijeka, Rijeka. 2001.

- [15] Petrik, M.: *Raspoloživa količina vode u jezeru Vrani na Cresu*. Građevinar 4, Zagreb. 1961.
- [16] Petrik, M.: *Mišljenje o mogućnostima iskorišćavanja jezera Vrane na Cresu za opskrbu stanovništva vodom*. Fond stručne dokumentacije Rijekaprojekta, Rijeka. 1969.
- [17] Rubinić, J.: *Analiza hidroloških karakteristika Vranskog jezera na otoku Cresu*. Fond stručne dokumentacije Vodoprivreda, Rijeka. 1990.
- [18] Statistički godišnjak Istre, Primorja i Gorskog kotara 1991. Međuopćinski zavod za statistiku, Rijeka, 1991.
- [19] Statistički ljetopis 1994.g. Državni zavod za statistiku, Zagreb, 1994.
- [20] <https://zavod.pgz.hr/docs/zzpuHR/documents/449/2.1/Original.pdf>
- [21] <https://www.fiuman.hr/novi-rekordi-kvarner-je-u-2018-godini-posjetilo-tri-milijuna-turista-koji-su-ostvarili-19-milijuna-nocenja/>

AUTORI

Prof. dr. sc. Nevenka Ožanić^a

dr. sc. Ivana Sušanĳ Čule^b

doc. dr. sc. Goran Volf^c

doc. dr. sc. Nino Krvavica^d

doc. dr. sc. Elvis Žic^e

^a Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, nozanic@uniri.hr

^b Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, isusanj@uniri.hr

^c Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, goran.volf@gradri.uniri.hr;

^d Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, nino.krvavica@gradri.uniri.hr;

^e Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, elvis.zic@gradri.uniri.hr



R 1.28.

HIDROMORFOLOŠKO STANJE PRIRODNIH JEZERA U HRVATSKOJ

**Ivan Martinić, Ivan Čanjevac, Ivan Vučković,
Nenad Buzjak, Luka Valožić**

SAŽETAK: U razdoblju od 2017. do 2019. godine stručnjaci tvrtke Elektroprojekt d.d. i Geografskog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu provode projekt „Razvoj metodologije za ocjenu hidromorfološkog stanja u stajaćicama i provedba hidromorfološkog monitoringa” za naručitelja Hrvatske vode. Projektom je obuhvaćeno sedam prirodnih jezera u Hrvatskoj površine veće od 0,5 km²: Proščansko jezero, Kozjak, Vransko jezero (Cres), Vransko jezero (Dalmacija), Visovac te Crniševo i Oćuša (Baćinska jezera). U radu su prikazani prvi rezultati hidromorfološkog monitoringa sukladno europskoj normi (EN 16870:2017). Hidromorfološke ocjene za cijela jezera su vrlo dobre i dobre. Utvrđena je morfološka degradacija na pojedinim segmentima obalnih zona poput utvrđivanja obala te prisutnosti prometnica i poljoprivrednih površina. Također je analizirana pokrovnost i korištenje zemljišta u slijevu kao pritisak na hidromorfološko i ukupno ekološko stanje prirodnih jezera.

KLJUČNE RIJEČI: hidromorfologija, jezera, analiza jezerskih obala, analiza zemljišnog pokrova i korištenja zemljišta

HYDROMORPHOLOGICAL STATUS OF NATURAL LAKES IN CROATIA

ABSTRACT: In the period 2017-2019, experts from the company Elektroprojekt d.d. and the Department of Geography of the Faculty of Science, University of Zagreb, have been working on the project “Development of a methodology for hydrological status assessment in lakes and implementation of hydromorphological monitoring”. Seven natural lakes in Croatia with a surface area larger than 0.5 km²: Lake Proščan, Lake Kozjak (both part of Plitvice Lakes), Lake Vrana (Island of Cres), Lake Vrana (Dalmatia), Lake Visovac, Lake Crniševo and Lake Oćuša (both part of Baćina Lakes) were included in the project. The paper presents the first results of hydromorphological monitoring in compliance with the EU Guidance Standard EN 16870:2017. Hydromorphological assessments show the entire lakes as having very good or good status. Morphological degradation was determined for individual segments of the shore zones due to e.g. shore

stabilization or presence of roads and agricultural land. Additionally, land cover and land use in the basins were analysed as an important pressure on hydromorphological status and overall ecological status of natural lakes.

KEYWORDS: hydromorphology, lakes, analysis of lake shores, analyses of land use and land cover.

1. UVOD

Okvirna direktiva o vodama Europske unije pojmom hidromorfologija obuhvaća fizičke karakteristike oblika, granica i sadržaja vodnog tijela (*Okvirna direktiva o vodama*, 2000). Hidromorfološko stanje nekog vodnog tijela zajedno s fizikalno-kemijskim stanjem i biološkim stanjem čini ukupno ekološko stanje vodnog tijela (*Okvirna direktiva o vodama*, 2000). Sukladno Okvirnoj direktivi o vodama Europske unije (2000), Hrvatska treba razviti metodologiju i provesti hidromorfološki monitoring stajaćica koje su površinom veće od 0,5 km² što obuhvaća i sedam prirodnih jezera u Hrvatskoj: Prošćansko jezero, Kozjak, Vransko jezero (Cres), Vransko jezero (Dalmacija), Visovačko jezero te Crniševo i Oćuša (Baćinska jezera).

Tri od navedenih sedam jezera nalaze se na području nacionalnih parkova (jezero Kozjak i Prošćansko jezero u NP Plitvička jezera te Visovačko jezero u NP Krka) i jedno na području parka prirode (PP Vransko jezero u Dalmaciji). U ovom radu prikazani su rezultati monitoringa triju jezera, upravo iz zaštićenih područja: jezera Kozjak, Visovačkog jezera i Vranskog jezera (Dalmacija).

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Jezero Kozjak najveće je i najdublje od 16 jezera Nacionalnog parka Plitvička jezera. Jednu od ključnih uloga u postanku jezera imale su sedrene barijere koje su dovele do ujezeravanja na starom toku rijeke Korane (Bočić, 2009). Površina jezera Kozjak iznosi 0,815 km², maksimalna dubina 46,4 m (Riđanović, 1976), a ukupna duljina obala jezera oko 9 km. Površina topografskog slijeva iznosi 17,12 km². Jezero je smješteno je na rasjednom području na granici između sloja trijaskih dolomita i krednih vapnenaca (Polšak i drugi., 1967). Cijeli sustav jezera opskrbljuje se vodom površinski tekućicama (Bijela rijeka, Crna rijeka, Riječica i drugi), brojnim izvorima te iz podzemlja (Riđanović, 1989; Biondić i drugi, 2010; Meaški, 2011).

Visovačko jezero nalazi se u Nacionalnom parku Krka. Po postanku je riječno jezero, nastalo na izlasku rijeke Krke iz kanjonskog dijela doline, nakon kojeg se korito širi, obale su položenije, a brzina tečenja znatno usporena. Visovačko jezero također je nastalo zbog rasta sedrenih barijera i dodatnog usporavanja toka (Rubinić i drugi, 2016). Površina jezera iznosi oko 2,7 km², maksimalna dubina je 25 metara (Gligora Udovič i drugi, 2011), a ukupna duljina obale iznosi 10,7 km. Površina topografskog slijeva jezera iznosi 1.223 km². Jezero je smješteno na području eocenskih vapnenaca, lapora i konglomerata različite starosti, između čijih slojeva se pružaju brojni rasjedi (Mamužić, 1971). Glavni opskrbljivač jezera vodom jest rijeka Krka, no postoji nekoliko manjih povremenih tekućica te jedna stalna (Stara Voša), koje se ulijevaju u jezero.

Vransko jezero u Dalmaciji najveće je prirodno jezero u Hrvatskoj i danas je dio istoimenog parka prirode. Cijelo jezero dio je ekološke mreže Natura 2000, kao i

Ramsarskog područja, a njegov sjeverozapadni dio proglašen je posebnim (ornitološkim) rezervatom (Buzjak i drugi., 2018, Bioportal, 2019). Jezero ima dinarski smjer pružanja. Površina topografskog slijeva iznosi 447 km², a površina jezera 30,2 km² (PP Vransko jezero, n.d.). Ukupna duljina obale iznosi 37 km. Jezero je relativno plitko u usporedbi s prethodno opisanim jezerima. Dubina jezera na sjeverozapadnom dijelu je prosječno 0,5 do 1 metar dubine, dok se na jugoistočnom dijelu jezera dubine kreću između 2 i 3 metra (Šiljeg, 2013). Najveća izmjerena dubina jezera iznosi 6 metara (PP Vransko jezero, n.d.). Budući da je Vransko jezero ustvari krško polje ispunjeno vodom (PP Vransko jezero, n.d.), ono u stalnom obliku postoji tek od prije oko 2700 godina, kada se razina mora dovoljno podigla da stvori uvjete za njegov nastanak (Fritz, 1984). Vransko jezero nalazi se na području krednih i eocenskih vapnenaca koji su dijelom na području jezera zatrpani deluvijem te jezerskim i barskim sedimentima kvartarne starosti (Mamužić, 1971). Melioracijskim radovima započetim u 18. stoljeću, ponajprije prokopavanjem kanala Prosika, jezero poprima današnji oblik (Plan upravljanja Parkom prirode Vransko jezero, 2010).

3. METODOLOGIJA

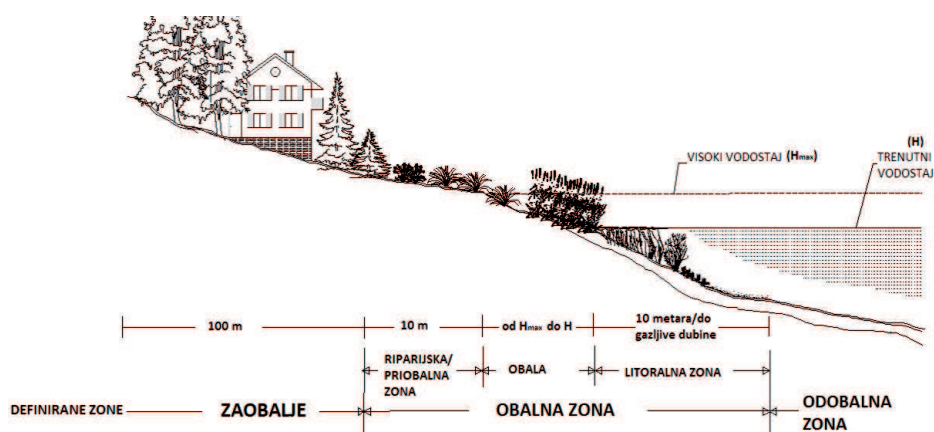
Elementi koji utječu na hidromorfološko stanje jezera definirani su Okvirnom direktivom o vodama (2000). Procjena i ocjena stanja pojedinih hidromorfoloških elemenata provedena je kabinetski i terenskim istraživanjem pri čemu je korištena europska norma – EN 16870:2017 prilagođena hrvatskim uvjetima. Prethodno terenskom radu odrađene su kabinetske pripreme terena, analize i preliminarne procjene stanja stajaćica. Metode hidromorfoloških te geokoloških istraživanja ranije su opisali Buzjak i drugi, (2018) na primjeru Vranskog jezera u Dalmaciji.

Slijevne površine jezera definirane su uz pomoć ArcGIS 10.1. programa, koristeći alate ekstenzije Spatial Analyst na digitalnom modelu reljefa preciznosti 10 x 10 metara (Buzjak i drugi, 2018). Koristeći CORINE bazu podataka o korištenju zemljišta (*CORINE Land Cover 2018*) i orotofoto snimke (Geoportal DGU, 2018) analizirano je korištenje zemljišta na slijevu i u samoj priobalnoj zoni.

Terensko istraživanje obuhvaćalo je detaljan obilazak jezera, ponajprije uz obale, i bilježenje potrebnih hidromorfoloških podataka i indikatora. Obavljena su mjerenja profila obalne zone, detaljno su fotografirani svi relevantni geoindikator i bioindikator stanja te morfološke značajke obala. Sve fotografije su georeferencirane što omogućava lakšu analizu trenutnog stanja, ali i buduće praćenje hidromorfoloških i drugih promjena. Nakon terenskih istraživanja slijedila je kabinetska obrada i analiza terenskih podataka i ocjena te usporedba s podacima analiziranim prije terenskog istraživanja. Pomoću podataka prikupljenih na terenu i ArcGIS 10.1. programa analizirana je prirodnost obala i priobalnih zona. Na temelju te analize i terenskog kartiranja izrađene su karte morfološkog stanja obala i priobalnih zona. Prostor obale definiran je kao prostor u obalnoj zoni između maksimalnog i minimalnog vodostaja. Priobalna zona definirana je kao pojas koji se proteže 10 metara od ruba obale prema unutrašnjosti ili do gazljive dubine (1 m) (Slika 1) (Peterlin i Urbanič, 2012).

Krajnji rezultat rada su ukupne hidromorfološke ocjene stanja (Tablica 1.) za svako od prirodnih jezera, prema prilagođenoj metodologiji sukladno europskoj normi (EN

16870:2017). Ocjene za svaki pokazatelj mogu biti kvalitativne ili kvantitativne. Ako se radi o kvalitativnoj ocjeni, ona može biti 1, 3 ili 5 dok u kvantitativnoj ocjeni, ona može biti 1, 2, 3, 4 ili 5. U obje kategorije ocjena, ocjena 1 odražava gotovo prirodno stanje, dok ocjena 5 odražava izrazito promijenjeno stanje, odnosno maksimalno odstupanje od prirodnog stanja. Ukupna hidromorfološka ocjena je aritmetička sredina svih ocjena hidromorfoloških pokazatelja.



Slika 1. Definirane zone jezera u poprečnom profilu
(Izvor: Peterlin i Urbanič, 2012)

Tablica 1. Kategorije ukupnog hidromorfološkog stanja za vodna tijela

Ocjene	Hidromorfološko stanje
1 do < 1,5	Gotovo prirodno
1,5 do < 2,5	Neznatno promijenjeno
2,5 do < 3,5	Umjerenno promijenjeno
3,5 do < 4,5	U velikoj mjeri promijenjeno
4,5 do 5	Izrazito promijenjeno

Izvor: EN 16870:2017

4. REZULTATI

Ukupno hidromorfološko stanje Visovačkog jezera je gotovo prirodno, dok je stanje jezera Kozjak i Vranskog jezera neznatno promijenjeno (Tablica 2). Ocjene, odnosno obilježja koja najviše narušavaju ukupno stanje jezera vezana su uz korištenje zemljišta u slijevnom području i priobalnoj zoni, ali i preoblikovanje padina obalnih zona (Tablica 2).

Tablica 2. Ukupne hidromorfološke ocjene prirodnih jezera i pojedine ocjene pokazatelja hidromorfološkog stanja

Ocjene	Jezero Kozjak	Visovačko jezero	Vransko jezero
Ukupna hidromorfološka ocjena	1,71 (Neznatno promijenjeno)	1,42 (Gotovo prirodno)	1,71 (Neznatno promijenjeno)
Profil padina obala	4	2	1
Profil padina priobalne/ riparijske zone	4	2	3
Utvrđenost obala i promjena strukture	3	2	1
Zemljišni pokrov u riparijskoj/priobalnoj zoni	2	2	3
Udio korištenja zemljišta u slijevu	2	4	5

Analiza obala i priobalne zone rezultirala je dužinskim udjelima prirodnih i modificiranih priobalnih pojaseva na svakom jezeru. Analiza korištenja zemljišta rezultirala je udjelima prirodnog pokrova na jezerskim slijevovima.

Jezero Kozjak je u neznatno promijenjenom hidromorfološkom stanju. Međutim, njegove obale su značajnije izmijenjene. Prirodnost stanja narušava utvrđenost obala i (ne)prirodnost profila obalne zone. U sklopu uređenja turističke infrastrukture oko cijelog jezera uređene su pješačke staze. Velik dužinski dio tih staza nalazi se uz samu obalu.

Nešto više od 36 % obalne linije uređeno je nabacanim kamenjem, koje služi kao potpora pješačkim stazama. Većina takvih staza nalazi se na istočnoj obali te manjim dijelom na sjevernoj i sjeverozapadnoj (Slika 2). Oko 7 % priobalne zone je utvrđeno umjetnim materijalima zbog prisutnosti prometnica uz samo jezero. Te zone smještene su na krajnjem jugu i sjeveru jezera. Većina istočne obale je prirodna. Obale su s te strane strmije, a pješačke staze su uže, slabije uređene i pomaknute dalje od same obale. Zbog toga na većem dijelu istočne obale nije bilo potreba za njenim mijenjanjem.

Zahvati na stazama utjecali su i na prirodnost profila padina obalne zone, s obzirom da je došlo do zaravnjavanja pojedinih dijelova padina. Time se utjecalo i na prirodnost padinskih procesa u zaobalju i obalnoj zoni jezera.

Riparijska vegetacija oko cijelog jezera je tek neznatno izmijenjena. Vegetacija oko jezera Kozjak je prirodna, a tek je na manjim dijelovima prorijeđena ili uklonjena, zbog uređenja infrastrukture.

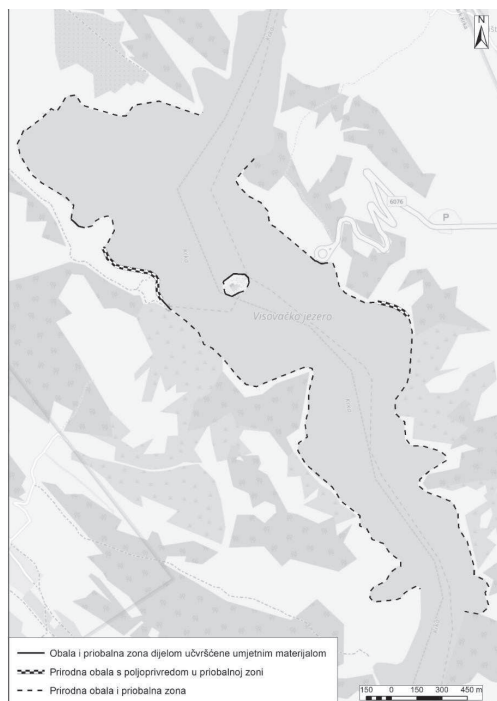
Korištenje zemljišta u slijevu Kozjaka odražava najbolje stanje u odnosu na ostala dva jezera (Tablica 3). Više od 95 % područja je prirodno ili gotovo prirodno, dok poljoprivredne površine i urbana/umjetna područja čine kombinirano manje od 5 % slijeva.



Slika 2. Tipovi obala i priobalnih zona jezera Kozjak

Visovačko jezero u najboljem je hidromorfološkom stanju od odabranih triju jezera. Obale i priobalne zone jezera tek su neznatno promijenjene. Za razliku od jezera Kozjak, staze oko jezera pružaju se dalje od obale jezera te s toga nisu utjecale na njegove obale. Utvrđeno je tek oko 5,5 % obala, pretežno uz pristaništa za čamce i izletničke brodove, kako na obali, tako i na otočiću Visovac (Slika 3). Uz nešto manje od 7 % obala nalaze se obrađivana poljoprivredna zemljišta u samoj priobalnoj zoni. Ostalih 87,5 % obala i priobalnih zona je gotovo prirodno. Profili padina obalne zone također odražavaju tek neznatno promijenjeno stanje na razini cijelog jezera. Vegetacija u riparijskoj zoni u većoj mjeri je promijenjena samo u zonama poljoprivrednih površina i utvrđenim priobalnim zonama. Na ostatku jezera ona je prirodna.

Najveći negativan utjecaj na ocjenu hidromorfološkog stanja ima korištenje zemljišta u slijevnom području. Oko 76 % slijevnog područja zauzimaju prirodna i gotovo prirodna područja. Gotovo 23 % slijevne površine čine površine intenzivne i ekstenzivne poljoprivrede, a 1 % urbana naselja i umjetne površine (Tablica 3).



Slika 3. Tipovi obala i priobalnih zona Visovačkog jezera

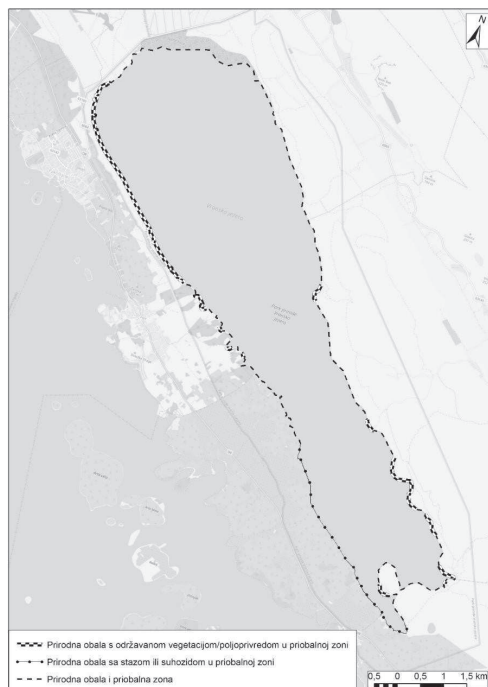
Tablica 3. Korištenje zemljišta na sljevovima jezera

Naziv stajačice	Prirodna i djelomično prirodna područja (%)	Poljoprivredne površine (%)	Urbana i umjetna područja (%)
Jezero Kozjak	95,3	2,2	2,4
Visovačko jezero	76,1	22,9	1,0
Vransko jezero (Dalmacija)	33,8	56,9	9,3

Izvor: prema podacima *CORINE Land Cover 2018*

Ukupno hidromorfološko stanje **Vranskog jezera** u Dalmaciji je neznatno promijenjeno. Za razliku od Visovačkog jezera i Kozjaka, čak 99,3 % obala Vranskog jezera je prirodno. Unatoč tome, ocjenu hidromorfološkog stanja narušava korištenje zemljišta, kako u samim priobalnim zonama, tako i na cijelom topografskom sljevu.

Duž sjeveroistočnog i jugoistočnog dijela jezera obale i priobalne zone su većinom prirodne, uz manju prisutnost poljoprivrednih površina u priobalnoj zoni (Slika 4). Uređenih staza na tom dijelu uz same obale jezera gotovo i nema. Makadamska staza koja prolazi tim dijelom parka prirode pruža se padinama pobrđa te s toga nema utjecaj na obale i priobalnu zonu.



Slika 4. Tipovi obala i priobalnih zona Vranskog jezera u Dalmaciji

Puno veći je antropogeni utjecaj u jugozapadnim i sjeverozapadnim obalnim zonama. Obalne zone i zaobalje su znatno položeni i manje vertikalno raščlanjeni od onih sa suprotne strane jezera. Duž njih se u većoj mjeri protežu suhozidi i staze, kao i poljoprivredne površine (maslinici i vinogradi). Na samom jugu jezera nalazi se kanal Prosika uz koji je i utvrđeni dio obale (ukupno 0,7 % ukupne duljine obala). Na te obale, prema sjeverozapadu, nastavljaju se obale s poljoprivredom unutar priobalne zone (Slika 4).

Ukupna duljina obala u čijoj se priobalnoj zoni obrađuju poljoprivredne površine iznosi 26,6 %. Prirodnost profila obalne zone najviše narušavaju suhozidi i staze. Takve obalne zone zauzimaju 14,6 % ukupnih obalnih zona jezera. Gotovo prirodnu obalu, obalnu zonu i riparijsku vegetaciju ima 58,1 % jezera.

Korištenje zemljišta u topografskom slijevu značajno utječe na ukupno hidromorfološko stanje Vranskog jezera. Na slijevu oko 34 % površine zauzimaju prirodna i gotovo prirodna područja. Gotovo 57 % površine slijeva pokriveno je poljoprivrednim površinama, i to pretežno površinama intenzivne poljoprivrede. Nešto više od 9 % površine zauzimaju urbana i umjetno izgrađena područja (Tablica 3).

ZAKLJUČAK

Hidromorfološko stanje prirodnih jezera obuhvaćenih hidromorfološkim monitoringom u Hrvatskoj je gotovo prirodno ili neznatno promijenjeno. Kao najveći hidromorfološki pritisci definirani su utjecaji na prirodnost obale i priobalne zone te korištenje zemljišta

na području slijeva.

Činjenica da su četiri od sedam monitoringom zahvaćenih prirodnih jezera u zaštićenim područjima pruža i prednosti i nedostatke u njihovom očuvanju. S jedne strane zakonski se štiti njihova prirodnost, dok s druge turistička valorizacija prostora parkova narušava njihovo stanje. Turizam je sve masovniji pogotovo u NP Plitvička jezera, ali i u NP Krka. Kako bi se privukao i održao velik broj gostiju potrebna je izgradnja i održavanje infrastrukture (prije svega pješačkih staza) koja direktno utječe na hidromorfološko stanje jezera. Utjecajem na hidromorfološko stanje direktno se utječe i na cjelokupno ekološko stanje jezera te bi se stoga trebalo razmatrati mjere njihova ublažavanja i pronalaženja ravnoteže između ekonomske eksploatacije i zaštite jezera.

LITERATURA

- [1] Biondić, B., Biondić, R., Meaški, H., (2010): The conceptual hydrogeological model of the Plitvice Lakes, *Geologia Croatica*, 63/2, 196-205.
- [2] Bioportal (2019): *GIS preglednik*, <http://www.bioportal.hr/gis/> (2.3.2019.)
- [3] Bočić, N., (2009): Plitvička jezera – tamo gdje voda prkosi kršu, <http://www.geografija.hr/hrvatska/plitvicka-jezera-tamo-gdje-voda-prkosi-krsu/> (22.1.2019.)
- [4] Buzjak, N., Čanjevac, I., Vučković, I., Martinić, I., Valozić, L. (2018): Geokološka analiza parka prirode i okolice Vranskog jezera u Dalmaciji, u Rubinić, J., Ivanković, I. & Bušelić, G. (ur.): *Hidrologija u službi zaštite i korištenja voda te smanjenja poplavnih rizika - suvremeni trendovi i pristupi*, Brela, Listopad 2018.
- [5] EN (2017): *Water quality-guidance standard on determining the hydromorphological conditions of lakes*, FprEN 16870
- [6] CORINE Land Cover, (2018): Copernicus – Europe's eyes on Earth, n.d., <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018> (20.1.2019.)
- [7] Fritz, F., (1984): Postanak i starost Vranskog jezera kod Biograda na moru, *Geološki vjesnik*, 37, 231-243.
- [8] Geoportal DGU, (2018): DOF, <https://geoportal.dgu.hr/#/menu/podaci-i-servisi> (2.1.2019.)
- [9] Gligora Udovič, M., Kralj Borojević, K., Žutinić, P., Šipoš, L. & Plenković-Moraj, A., (2011): Net-phytoplankton species dominance in a travertine riverine Lake Visovac, NP Krka, *Nat. Croat.*, Vol. 20, No. 2., 411–424, Zagreb
- [10] Mamužić, P., (1962-1965): OGK Šibenik, 1:100 000, list K 33-8, Redakcija i izdanje Saveznog geološkog zavoda Beograd, 1971. g.
- [11] Meaški, H., (2011): *Model zaštite krških vodnih resursa na primjeru Nacionalnog parka „Plitvička jezera“* (doktorski rad), RGN, Zagreb
- [12] *Okvirna direktiva o vodama 2000/60/EC*, Zagreb, 72.
- [13] Peterlin, M., Urbanič, G., (2012): A Lakeshore Modification Index and its association with benthic invertebrates in alpine lakes, u *Ecohydrology*, DOI: 10.1002/eco.1269

- [14] *Plan upravljanja Parkom prirode Vransko jezero*, Biograd, 2010.
- [15] Polšak, A., Juriša, M., Šparica, M., Šimunić, A., (1962-1967): OGK Bihać, 1:100 000, list K 33-116, Redakcija i izdanje Saveznog geološkog zavoda Beograd, 1976. g.
- [16] PP Vransko jezero, n.d., *Karakteristike jezera*, <http://www.pp-vransko-jezero.hr/hr/karakteristike-jezera/> (22.1.2019.)
- [17] Riđanović, J., (1976): Hidrogeografske značajke Nacionalnog parka Plitvička jezera, *Geografski glasnik* 38, 246-252.
- [18] Riđanović, J., (1989): Prvi rezultati suvremenih hidroloških mjerenja na Plitvičkim jezerima, *Geografski glasnik* 51, 129-135.
- [19] Rubinić, J., Radišić, M., Güttler, I., Cindrić Kalin, K., Baković, N., (2016): Hidrološka istraživanja voda rijeke Krke – trendovi i utjecaji klimatskih promjena/ varijacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka.
- [20] Šiljeg, A., (2013): *Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara: primjer PP Vransko jezero* (doktorski rad), PMF - Geografski odsjek, Zagreb.

AUTORI

Ivan Martinić, mag. geogr. ^a

doc. dr. sc. Ivan Čanjevac ^a

dr. sc. Ivan Vučković ^b

izv. prof. dr. sc. Nenad Buzjak ^a

doc. dr. sc. Luka Valozić ^a

^a Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Geografski odsjek, Marulićev trg 19/II, Zagreb, 10000, Hrvatska, imartini@geog.pmf.hr, canjevac@geog.pmf.hr, nbuzjak@geog.pmf.hr, lvalozi@geog.pmf.hr

^b Elektroprojekt d.d., Alexandera von Humboldta 4, Zagreb, 10000, Hrvatska, ivan.vuckovic@elektroprojekt.hr



R 1.29.

DUGOTRAJNE PROMJENE U SASTAVU ZAJEDNICE PLANKTONSKIH RAKOVA AKUMULACIJE BUTONIGA

Ivančica Ternjej, Zlatko Mihaljević

SAŽETAK: Dugotrajne promjene u sastavu zajednice planktonskih rakova u različitim limnološkim gradijentima akumulacije Butoniga (Hrvatska) istraživane su u razdoblju većem od 10 godina. Akumulacija je izgrađena kako bi služila brojnim namjenama: zaštita od poplava, opskrba vodom i navodnjavanje. Brojne fizikalne i kemijske varijable izmjerene tijekom istraživanja svrstavaju akumulaciju Butoniga u mezo-eutrofna vodna tijela. Međutim, u pojedinim razdobljima zabilježeno je smanjenje ukupnog fosfora, KPK i koncentracije klorofila. Te su promjene praćene pomacima u zajednici planktona rakova. Multivarijantna analiza omogućila je daljnji uvid u smjene zajednica planktonskih rakova. U prvom razdoblju dominiraju maleni rašljoticalci: *Bosmina longirostris*. (O.F. Müller, 1785) i *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin 1848) i svejedi veslonošci. Drugo razdoblje karakterizira zajednica vrste *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. Müller 1785). Najistaknutija promjena zabilježena je 2002. godine kada počinju dominirati vrste, poput *Daphnia* sp. i kalanoid *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars 1863).

KLJUČNE RIJEČI: zooplankton, akumulacija Butoniga

LONG-TERM CHANGES IN CRUSTACEAN PLANKTON ASSEMBLAGES OF THE BUTONIGA RESERVOIR

ABSTRACT: The long-term changes in crustacean plankton assemblages in the varying limnological gradients of the Butoniga reservoir (Croatia) were investigated in a time period over 10 years. The reservoir was built to serve a number of purposes: flood protection, water supply and irrigation. Numerous physical and chemical variables measured during the investigation classify the Butoniga reservoir as a meso-eutrophic water body. However, we observed a decrease in the total phosphorus, COD and chlorophyll concentration in certain periods. These changes were accompanied by shifts in the crustacean plankton community. A multivariate analysis provided a further insight into the partitioning of the temporally-distinct crustacean assemblages. The first period corresponds with predominant small bodied cladocerans: *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785) and *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848) and omnivorous cyclopoids. The second period corresponds with the cladoceran community dominated by *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. Müller 1785) appearing in higher numbers. The most prominent change was no-

ticed in 2002 when large herbivorous species, like *Daphnia* sp. and calanoid *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars 1863) took over the crustacean community of the Butoniga reservoir.

KEYWORDS: zooplankton, Butoniga reservoir

1. UVOD

Dugogodišnje promjene u brojnosti planktonskih rakova u slatkovodnim ekosustavima uglavnom su usmjerene na skupinu Cladocera (rašljoticalci) i to vrste roda *Daphnia*, kao ključne konzumente fitoplanktona. Manje pozornosti je usmjereno na slatkovodne planktonske rakove Copepoda (veslonošce), iako ova skupina ima također složenu ulogu u trofičkoj dinamici vodenih ekosustava. Veslonošci su glavna hrana ribama, a sami se hrane širokim rasponom organizama od fitoplanktona i protozoa do sitnog zooplanktona. Cyclopoida (ciklopoidni veslonošci) utječu na strukturu planktonskih zajednica putem selektivne predacije, (Chang i Hanazato, 2005), dok Calanoida (kalanoidni veslonošci) imaju biljojednu prehranu. Životni ciklus veslonožaca ima različite faze čija se ekologija i osjetljivost na pritiske u okolišu (hrana, predatori, hranjive tvari itd.) mijenja ovisno o vrsti. Kao posljedica toga, intenzitet odgovora na promjene u okolišu je specifičan za pojedine vrste, što rezultira različitim obrascima dominacije. Tako su Cyclopoida osjetljivi na dostupnost hrane i dominantni su u eutrofnim jezerima, dok se Calanoida čine manje osjetljivim na dostupnost hrane i obično su brojniji od prethodnih u oligotrofnim jezerima (Sommer i Stibor, 2002).

Uloga planktonskih veslonožaca u ekologiji jezera, kao i njihova osjetljivost na promjene u okolišu, čini ovu skupinu prikladnim biološkim modelom za istraživanje promjena u vodenim ekosustavima i interakcijama u hranidbenoj mreži.

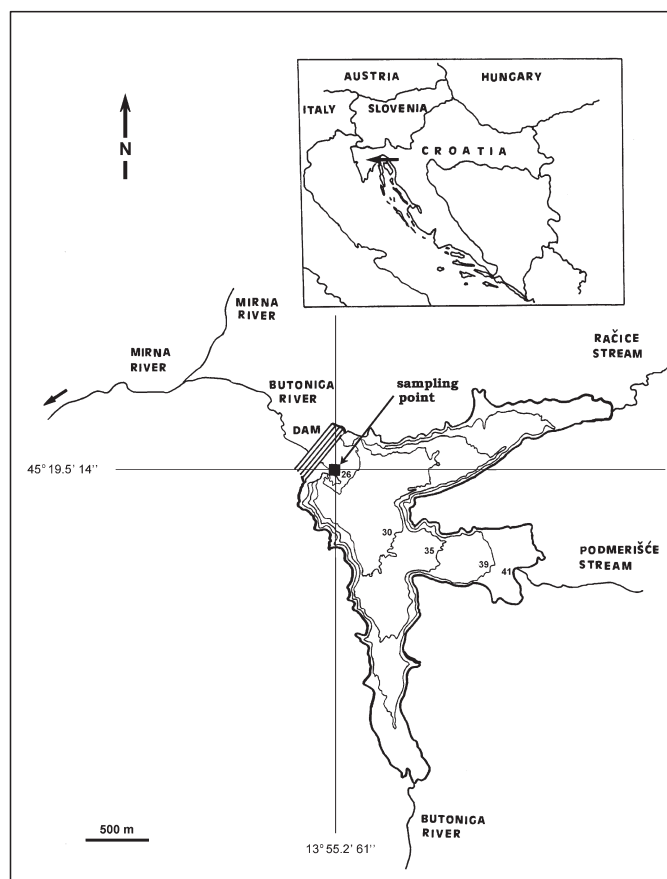
U ovom smo istraživanju pratili dugogodišnje promjene u zajednici planktonskih rakova u akumulaciji Butoniga u razdoblju od 1987. do 2007. Naš glavni cilj bio je analizirati dugoročne trendove u zajednici Copepoda i Cladocera.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I METODE RADA

2.1. Mjesto istraživanja

Akumulacija Butoniga ima površinu od 2 km² i nalazi se u središtu Istre, a izgrađena je 1987. godine i namijenjena je zaštiti od poplava, vodoopskrbi i navodnjavanju. Nakon probnog punjenja i pražnjenja, trajno je napunjena 1988. godine (Meštrović i sur. 1995). Tri male rječice (Račice, Podmeričće i Butoniga) napajaju akumulaciju (Tablica 1, slika 1). Razina vode u akumulaciji ovisi o dotoku iz slivnog područja i odljevu kojim upravlja Istarski vodovod. Srednja godišnja količina oborina na ovom području je oko 1130 mm, s maksimumom u proljeće i jesen i visokim dnevnim i satnim intenzitetima (dnevne količine padalina preko 100 mm). Tijekom proljeća akumulacija je ispunjena bujičnom vodom uzrokovanom kišama u slivnom području. Razina vode u akumulaciji tijekom tog razdoblja obično ne prelazi 41 m nadmorske visine: akumulacija Butoniga ima preljev na nadmorskoj visini od 41 m nadmorske visine. Povremeno, tijekom ljeta, određena količina vode se crpi i koristi za vodoopskrbu. Ovakvo korištenje mijenja razinu vode za oko 1 m (okolno područje ima i druge izvore pitke vode). Konačno, početkom

jeseni, obično u rujnu, razina vode u akumulaciji se smanjuje sve dok ne dostigne 37 m nadmorske visine: ispuštanjem vode iz hipolimnijskog sloja preko kontroliranog izljeva. Svrha ove operacije je priprema akumulaciju za prihvaćanje bujičnih voda uzrokovanih kišama u slivnom području tijekom ovog dijela godine.



Slika 1. Područje istraživanja

Tablica 1. Mofometrijski parametri akumulacije Butoniga

Varijabla		jedinice
Nadmorska visina	37	m
Slivno područje	73 x 10 ⁶	m ²
Površina	2.01 x 10 ⁶	m ²
Volumen (zapremina)	17.5 x 10 ⁶	m ³
Maksimalna dubina	12	m
Srednja dubina	7.04	m

2.2. Uzorkovanje zooplanktona

Uzorci su sakupljeni mjesečno na najdubljem dijelu akumulacije, u blizini brane (Slika 1), na dubinama od 1, 3, 6, 9 i 12 m. Uzorci su uzeti crpcem zapremine 5 L. Deset litara vode na svakoj dubini filtrirano je kroz zooplanktonsku mrežicu od promjera pora 40 μm . Uzorci su sačuvani u 4 % formaldehidu. Vrste u zooplanktonu identificirane su prema Einsle, 1993; Margaritora, 1985; i prebrojane uporabom invertnog mikroskopa. Veličina jedinki izmjerena je okularnim mikrometrom (po 20-tak jedinki svake vrste), a ovaj podatak korišten je u izračunu biomase upotrebom jednadžbi prema Bottrell i sur. (1976).

2.3. Kemija vode

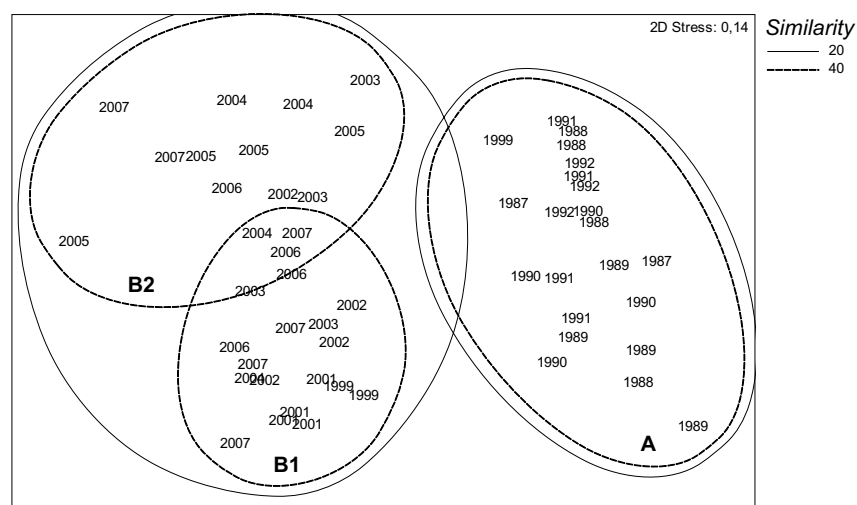
Kisik u vodi (O_2) i temperatura vode (Temp) mjereni su prijenosnom sondom (WTW Oxi 325 B), pH pomoću prijenosne sonde (WTW pH - Meter pH 340i), dok je prozirnost (Seci) određena Secchi diskom promjera 20 cm. Ostali kemijski parametri (ukupni fosfor - TP, topivi reaktivni fosfor - SRP, nitrit, nitrat, amonijak, kemijska potrošnja kisika - KPK, klorofil *a* - Chl *a*) mjereni su prema APHA (1985). Podaci o razini vodostaja (razina) dobiveni su od nadležnih tijela (Istarski vodovod d.o.o).

2.4. Statistička analiza

Sve statističke analize provedene su pomoću PRIMER 6 (Clarke i Warwick, 1994) statističkog paketa. Tehnike ne-metričkog višedimenzionalnog skaliranja (MDS) u kombinaciji s Bray-Curtisovom sličnošću podataka biomase vrsta primijenjene su na matricu vrsta kako bi se utvrdile sličnosti među skupinama planktonskih rakova tijekom godina. Doprinos različitih svojti pojedinim grupama koje su izdvojene ispitan je pomoću postupka SIMPER analize. Podaci o brojnosti i biomasi zooplanktona su *log*-transformirani prije multivarijantnih analiza kako bi se stabilizirala varijanca.

3. REZULTATI I RASPRAVA

MDS ordinacijska analiza (Slika 2) razdvojila je podatke u dvije skupine na razini sličnosti od 20 %. Prvu skupinu čine uzorci uzeti u razdoblju od 1987. do 1999. (skupina A); drugi od 1999. do 2007. (skupina B). Izuzetak je uzorak uzet u svibnju 1999. godine, smješten u prvoj skupini. Druga skupina je podijeljena u dvije podgrupe (razina sličnost od 40 %): B1 i B2.



Slika 2. Položaj istraživanih postaja na Muri, Dravi i Savi

Rezultati SIMPER analize prikazani su u tablici 2. U analizi su korištene samo one vrste koje doprinose 5 % ili više razlici između uzoraka. Skupina A odgovara razdoblju osamdesetih i devedesetih godina u kojem dominiraju *Bosmina longirostris* i *Cyclops* sp. ova grupa se razdvaja na razini prosječne sličnosti od 54,84 %. Skupina B podijeljena je u dvije podskupine: prva je karakterizirana vrstama *Ceriodaphnia quadrangula* i *Diaphanosoma brachyurum* s prosječnom sličnošću od 56,73 %; drugu karakteriziraju *Daphnia* sp. i *Eudiaptomus gracilis*, a sličnost iznosi 53,44 %.

Najveća razlika je između skupina A i B2, s prosječnom različitošću od 85,69 %. Razlici ovih skupina najviše doprinose vrste *B. longirostris* i *Daphnia* sp. Glavne vrste koje doprinose razlici između skupina A i B1 su: *C. quadrangula*, *B. longirostris* i *Cyclops* sp.; prosječna razlika među tim skupinama je 79,77 %. Najniža različitost (65,23 %) bila je između skupina B1 i B2, u ovom slučaju vrste koje su najvažnije u razdvajanju tih skupina su: *C. quadrangula*, *Daphnia* i *E. gracilis*.

Tablica 2. Rezultati SIMPER analize: doprinos vrsta (sličnost i različitost) unutar i između skupina uzoraka identificiranih temeljem MDS analize

Grupa	sličnost %			različitost %		
	A	B1	B2	AxB1	AxB2	B1xB2
Svojta	Doprinos %	Doprinos %	Doprinos %	Doprinos %	Doprinos %	Doprinos %
<i>Bosmina longirostris</i>	42.00			18.52	18.23	
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>		54.87		26.83	5.7	25.73
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>		7.10		5.74		6.31
<i>Daphnia</i> sp.			40.20	5.76	19.97	20.89
<i>Eudiaptomus gracilis</i>			28.81		15.72	17.05
<i>Cyclops</i> sp.	26.80	7.20		13.43	13.79	7.99
copepodites		12.79	12.82	9.03	8.52	9.49
nauplii	28.22	9.28	8.62	11.8	11.22	8.77

U posljednja dva desetljeća akumulacija Butoniga doživjela je značajne promjene. Naši rezultati otkrivaju promjene u brojnosti i biomasi te u trendu sastava zajednice planktonskih rakova.

Sastav zajednice može se mijenjati iz različitih razloga, kao što su promjene limnološkog gradijenta ili resursa hrane. Ove promjene imaju različite utjecaje na planktonske rakove. Comerma i sur. (2001) su uočili korelaciju broja veslonožaca i klorofila *a* (fitoplanktona), dok su Sommer i sur. (2001), Santer (1996) utvrdili da sastav algi određuje sastav i strukturu planktonskih Copepoda. Sukcesije u zajednici planktonskih rašljoticalaca mogu se objasniti i različitim načinima hranjenja vrsta rodova *Daphnia* i *Bosmina* (Horn i Horn, 1995; Sommer, 2001) i oscilacijama temperature (Horn, 2003). U slučaju akumulacije Butoniga MDS analizom razdvojile su se tri skupine (tri karakteristične zajednice) koje korespondiraju s tri razdoblja. Prvi period (skupina A) odijeljen od ostala dva, a sastoji se od uzoraka uzetih prije 1999. godine. Karakterizira ga viša trofička razina i zastupljenost modro-zelenih algi u akumulaciji (Mrakovčić i sur., 2005). Male vrste planktonskih rakova poput onih iz roda *Bosmina* i razvojni stadiji veslonožaca (naupliji) dominiraju u ovakvim uvjetima što je sukladno radu Whitman i sur. (2004). Doista, najveća korelaciju s grupom A ima vrsta *B. longirostris*. Također, u jezerima višeg stupnja trofije brojnija je skupina Cyclopoida u odnosu na skupinu Calanoida (Einsle, 1983). To je u skladu s dominacijom *Cyclops* sp.: ova svojta je izdvojena kao druga karakteristična vrsta razdoblja A.

Drugo razdoblje izdvojeno MDS analizom obuhvaća uzorke uzete od 2001. - 2007. godine (Slika 2). Ono se može podijeliti na dvije pod grupe (B1 i B2), koje se djelomično preklapaju, a u ovisnosti o dominaciji pojedinih skupina fitoplanktona. Prva je podgrupa (B1) karakterizirana je dominacijom algi kremenjašica u fitoplanktonu (Mrakovčić i sur., 2005), a tada se kao karakteristična vrsta u zajednici planktonskih rakova pojavljuje *Ceriodaphnia quadrangula*. Povećana brojnost ove vrste povezana je s velikom brojnošću algi kremenjašica (Davidson i sur., 1998; Leland i Berkas, 1998).

Druga podgrupa (B2), vezana je uz uzorke uzete tijekom 2002. i 2003. godine kada je u fitoplanktonu zabilježena veća brojnost Dinophyta i Chlorophyta (Mrakovčić i sur.,

2005). Ta je promjena vjerojatno izazvala još jednu promjenu u zajednici planktonskih rakova: početak dominacije vrsta roda *Daphnia* i vrste *Eudiaptomus gracilis*. Za svojite *Daphnia* postoje podaci da se hrane zelenim algama (Muck & Lampert, 1984; Horn, & Horn, 1995), dok se vrste roda *Eudiaptomus* obilno mogu hraniti dinoflagelatima (Santer, 1994; 1996). Stoga su ove svojite pronašle povoljno uvjete nakon transformacije sastava fitoplanktona i preuzele dominaciju u zajednici planktonskih rakova u ovom razdoblju.

ZAKLJUČAK

Promjena strukture zajednice rakova od malih detritivornih vrsta do velikih biljojeda koja se dogodila u akumulaciji Butoniga tijekom prikazanog istraživanog razdoblja može biti posljedica hidroloških i temperaturnih varijacija, raspoloživosti hrane, ili predatora, posebno riba. Predacija zooplanktivoarskim ribama može pridonijeti dominaciji malih oblika zooplanktona. Premda je sastav ihtiofaune ima značajnu ulogu u strukturiranju zajednice zooplanktona, „bottom-up“ učinak (izvori hrane) u akumulaciji Butoniga čini se ključnim čimbenikom u određivanju strukture zajednice.

LITERATURA

- [1] APHA (1985): *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 16th ed. Washington DC.
- [2] Bottrell H.H., Duncan A., Gliwicz Z.M., Grygierek E., Herzig A. and I. Hillbricht-Ilkowska, (1976): *A review of some problems in zooplankton production studies*. Norwegian Journal of Zoology 24: 419–456.
- [3] Chang, K.-H. and T. Hanazato, (2005): *Prey handling time and ingestion probability for Mesocyclops sp. predation on small cladoceran species Bosmina longirostris, Bosminopsis deitersi, and Scapholeberis mucronata*. Limnology 6: 39–44.
- [4] Clarke, K. R. & R. M. Warwick, (2001): *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth.
- [5] Comerma, M., García, J. C., Armengol, J., Romero, M. & K. Šimek, (2001): *Planktonic Food Web Structure along the Sau Reservoir (Spain) in Summer 1997*. International Review of Hydrobiology 86: 195–209.
- [6] Davidson, N. L., Kelso, W. E. & D. A. Rutherford, (1998): *Relationships between environmental variables and the abundance of cladocerans and copepods in the Atchafalaya River Basin*. Hydrobiologia 379: 175–181.
- [7] Einsle, U., (1993): *Crustacea Copepoda Calanoida und Cyclopoida. Süßwasserfauna von Mitteleuropa 8/4*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- [8] Einsle, U., (1983): *Long-term changes in planktonic associations of crustaceans in Lake Constance and adjacent waters and their effect on competitive situations*. Hydrobiologia 106: 127–134.
- [9] Horn, W., (2003): *Long-term development of the crustacean plankton in the Said-*

- enbach Reservoir (Germany) - changes, causes, consequences*. *Hydrobiologia* 504: 185–192.
- [10] Horn, W. & H. Horn, (1995): *Interrelationship between crustacean zooplankton and phytoplankton*. *Hydrobiologia* 301: 231–238.
- [11] Leland, H. V. & W. R. Berkas, (1998): *Temporal variation in plankton assemblages and physicochemistry of Devils Lake*. *North Dakota Hydrobiologia* 377: 57–71.
- [12] Margaritora, F., (1985): *Cladocera. Fauna d'Italia*. 23. Edizioni Calderini, Bologna.
- [13] Meštrov, M., Habdija, I., Stilinović, B., Belinić, I., Kerovec, M., Maloseja, Ž., Mihaljević, Z., Plenković-Moraj, A., Prinic-Habdija, B., Cindrić, Z. & V. Tavčar, (1995): *Biološka i ekološka istraživanja akumulacije Butoniga u 1992. godini*. PMF Zagreb.
- [14] Mrakovčić, M., Mustafić, P., Kerovec, M., Mišetić, S., Plenković-Moraj, A., Mihaljević, Z., Ternjej, I., Oraić, D., Zrnčić, S., Zanella, D., Čaleta, M., Buj, I., Brigić, A., Gligora, M., & K. Kralj, (2005): *Istraživanja i optimizacija ihtiocenoze u svrhu smanjenja trofije akumulacije Butoniga tijekom 2004. godine*, PMF Zagreb.
- [15] Muck, P., & W. Lampert, (1984): *An experimental study on the importance of food conditions for the relative abundance of Calanoid copepods and cladocerans*. 1. Comparative feeding studies with *Eudiaptomus gracilis* and *Daphnia longispina*. *Archiv für Hydrobiologie - Supplement* 66: 157-179.
- [16] Santer, B., (1996): *The nutritional suitability of the dinoflagellate Ceratium furcoides for four copepod species*. *Journal of Plankton Research* 18: 323–333.
- [17] Santer, B., (1994): *Influences of food type and concentration on the development of Eudiaptomus gracilis and implications for interactions between calanoid and cyclopoid copepods*. *Archiv für Hydrobiologie* 131: 141–159.
- [18] Sommer, U. & H. Stibor, (2002): *Copepoda – Cladocera – Tunicata: The role of three major mesozooplankton groups in pelagic food webs*. *Ecological Research* 17: 161-174.
- [19] Sommer, U., Sommer, F. Santer, B., Jamieson, C., Becker, C. & T. Hansen, (2001): *Complementary impact of copepods and cladocerans on phytoplankton*. *Ecology Letters*. 4: 545–550.
- [20] Van Nieuwerburgh L., Wanstrand I. & P. Snoeijs, (2004): *Growth and C : N : P ratios in copepods grazing on N- or Si - limited phytoplankton blooms*. *Hydrobiologia* 514: 57–72.
- [21] Whitman R. L., Nevers M. B., Goodrich M. L., Murphy P. C. & B. M. Davis, (2004): *Characterization of Lake Michigan coastal lakes using zooplankton assemblages*. *Ecological Indicators* 4: 277–286.

AUTORI

prof.dr.sc. Ivančica Ternjej ^a

prof.dr.sc. Zlatko Mihaljević ^a

^a Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska, ivancica.ternjej@biol.pmf.hr, zlatko.mihaljevic@biol.pmf.hr



R 1.30.

**USPOREDBA METODA EVALUACIJE EKOLOŠKOG
POTENCIJALA AKUMULACIJSKOG JEZERA BRILJAN
POMOĆU MAKROZOOBENTOSA PROFUNDALA I
LITORALA**

**Natalija Vučković, Ivana Pozojević, Mladen Kerovec, Marina Vilenica, Val-
entina Dorić, Ana Previšić, Ivančica Ternjej, Sanja Gottstein,
Zlatko Mihaljević**

SAŽETAK: Akumulacije su izmijenjena vodna tijela nastala potapanjem okolnog područja tekućice koje se nalazi uzvodno od brane. Na dnu se razvija zajednica makrozoobentosa koja je jedna od sastavnica za određivanje ekološkog potencijala vodnih tijela. U nacionalnim metodama evaluacije ekološkog potencijala u zemljama članicama EU, koristi se makrozoobentos profundala i litorala. Fauna profundala se smatra dobrim indikatorom trofije te ukazuje na pojave anoksije u pridnenim slojevima, dok fauna litorala ukazuje na hidromorfološke promjene. Cilj našeg istraživanja bio je usporediti metode evaluacije ekološkog potencijala temeljem makrozoobentosa profundala i litorala. Uzorkovanje makrozoobentosa profundala akumulacije Briljan provedeno je od 2010.-2011. pomoću Ekmanovog grabila, dok je uzorkovanje u litoralu provedeno u srpnju 2017. ručnom bentos mrežom. Profundal je očekivano pokazao manju raznolikost vrsta u odnosu na litoral, uz izrazitu dominaciju jedinki skupina Oligochaeta i Chironomidae. Akumulacija je svrstana u kategoriju dobrog ekološkog potencijala temeljem zajednice makrozoobentosa profundala (0,63) i litorala (0,78). Razlike u ocjeni ukazuju na različit intenzitet pritiska. Izvor organskog opterećenja protočne akumulacije potječe iz uzvodnih dijelova sljeva koji se akumulira u dubljim dijelovima, što u konačnici rezultira lošijom ocjenom ekološkog potencijala. Drift i veliki utjecaj rijeke Krke uzrokuje pojavu riječnih elemenata u fauni litorala, što rezultira većim bogatstvom svojti te većom konačnom ocjenom ekološkog potencijala.

KLJUČNE RIJEČI: makrozoobentos, profundal, litoral

COMPARISON OF METHODS FOR ASSESSING THE ECOLOGICAL POTENTIAL OF BRLJAN RESERVOIR BASED ON MACROZOOBENTHOS IN THE PROFUNDAL AND LITTORAL ZONES

ABSTRACT: Reservoirs are modified water bodies formed by submerging an area surrounding a watercourse and located upstream of a dam. Macrozoobenthos community, which is one of the fundamental components for determining the ecological potential of a water body, develops at a reservoir bottom. The national methods for assessment of the ecological potential in the EU member-states use macrozoobenthos in the profundal and littoral zones. Profundal fauna is considered a good trophy indicator signalling the occurrence of anoxia in the bottom layers whereas littoral fauna indicates hydromorphological changes. The aim of our research was to compare methods for assessing the ecological potential based on macrozoobenthos in the profundal and littoral zones. The sampling of macrozoobenthos in the profundal zone of Brljan Reservoir was conducted from 2010-2011 with the Ekman grab sampler while the sampling in its littoral zone took place in July 2017 with a hand net. As expected, the profundal zone contained a lower diversity of species in comparison to the littoral zone, with a marked predominance of Oligochaeta and Chironomidae specimens. Brljan Reservoir is classified as having good ecological potential based on both the profundal community (0.63) and the littoral community (0.78), with this difference reflecting different pressure intensities. The source of organic pressures in this run-of-river reservoir comes from the upstream parts of the basin and accumulates in its deeper parts, finally resulting in a lower ecological potential. The drift and a large impact of the Krka River causes the occurrence of river elements in the fauna of the littoral zone, resulting in a greater abundance of species and a higher final assessment of the ecological potential.

KEYWORDS: macrozoobenthos, profundal, littoral

1. UVOD

Akumulacije su izmijenjena vodna tijela nastala potapanjem okolnog područja tekućice koje se nalazi uzvodno od brane. Primarno se stvaraju za potrebe navodnjavanja, vodoopskrbe, prihvaćanja jesenskog i/ili zimskog vodnog vala te dobivanja električne energije. Mnoga istraživanja argumentiraju kako je ovaj tip umjetnih stajaćica također važan s aspekta očuvanja bioraznolikosti, jer one osiguravaju staništa za mnoge vrste životinja (ptica, riba, kukaca i sl.) te utječu na pojačan razvoj okolne vegetacije (Baxter, 1977; Irz, 2006, Vilenica i sur., 2016). Na dnu stajaćica razvija se zajednica makroskopskih beskraljeznjaka (tzv. makrozoobentos) koja je danas jedna od temeljnih sastavnica za određivanje ekološkog stanja i potencijala vodnih tijela (European Commission, 2014). Zajednice makrozoobentosa mijenjaju se na vertikalnom profilu dna stajaćica, stoga od najdubljeg do najplićeg dijela razlikujemo tri glavne zone: profundal, sublitoral i litoral. Biološke zajednice, a posebice zajednica makrozoobentosa, dobri su pokazatelji kakvoće vode jer je bogatstvo i raznolikost njihovih zajednica uvjetovana fizikalno-kemijskim te hidrološkim i morfološkim obilježja slatkovodnog ekosustava (Poikane i sur., 2016). Povećana koncentracija hranjivih tvari, kao što su fosfati i nitrati, u vodenom ekosustavu intenzivira procese primarne produkcije, mijenja ravnotežu bioloških zajednica te

dovodi do povećanja stupnja trofije (Scheffer, 1993). Povišeni stupanj trofije rezultira akumulacijom organskih tvari na dnu jezera, koja potom zbog intenzivnije mikrobiološke razgradnje može dovesti do potpunog nedostatka kisika (anoksije) na dnu jezera (Wilhmi i McClintock, 1978). Nedostatak kisika u pridnom sloju vode uzrokuje smanjenje i nestajanje osjetljivih vrsta (Ferraris i Wilhm, 1977). Vrste koje su tolerantnije na nedostatak kisika u takvim slučajevima obično dominiraju. Litoralno područje često obiluje vodenom vegetacijom te kisik uglavnom nije limitirajući faktor razvoja raznolike zajednice (Mihaljević i sur., 2018). Cilj ovog istraživanja bio je usporediti metode ocjene ekološkog potencijala temelju zajednice makroskopskih beskralježnjaka između dvije zone stajačice: profundal i litoral.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I METODE RADA

Akumulacijsko jezero Brljan nalazi se na rijeci Krki, 2 km nizvodno od Bilušić buka. Širina jezera je 400 m a dužina 1.300 m. Površina akumulacijskog jezera je 0,3 km², uz prosječnu dubinu od 10 m. Manjim dijelom je jezero nastalo rastom sedrene barijere slapa Brljana, a većim dijelom gradnjom betonske brane akumulacije Brljan za potrebe HE Miljacka. Namjena akumulacijskog jezera je energetska iskorištavanje. Iako je slivno područje rijeke Krke relativno rijetko naseljeno te je izvorišna voda čista, otpadne vode na području grada Knina kao i oduzimanje vode za potrebe hidroelektrana, ugrožavaju opstanak sedrenih barijera i imaju utjecaj na vodene zajednice Brljanskog jezera. Isto tako treba istaknuti sve veći pritisak turista koji na određenim mjestima premašuje mogućnosti prostora. Općenito, hidroelektrane imaju značajan utjecaj na hidrološki režim rijeke, posebno u sušnom razdoblju kada mogu uzrokovati presušivanje slapova, uništavanje sedre te nestanak živog svijeta na njima (Mihaljević i sur., 2013).

2.1. Profundal

Uzorkovanje makrozoobentosa odvijalo se na sredini jezera. Uzorak je uzet svaki put na istom mjestu. Od listopada do prosinca 2010. godine, od ožujka do svibnja 2011. te u kolovozu i listopadu 2011. godine. Sveukupno 8 puta.

Sabirana su po tri replikata uzorka dna pomoću Ekman-ovog grabila zahvatne površine 225 cm² (ukupno 0,0675 m²). Uzorci su na terenu prosijani kroz mrežicu od 500 μm, spremljeni u boce širokog grla te odmah konzervirani 70 % etanolom. U laboratoriju je iz konzerviranih uzoraka određivana brojnost pojedinih predstavnika vodenih beskralježnjaka uz determinaciju prema relevantnim ključevima do najniže moguće kategorije (roda ili vrste). Uzorci su bili analizirani i determinirani stereolupom te svjetlosnim mikroskopom prema vodećoj i recentnoj literaturi.

Indeksi koji su korišteni prilikom ocjene ekološkog potencijala temeljem analize makrozoobentosa profundala:

- **EI (Environmental Index)** koji se temelji na relativnoj brojnosti Oligochaeta (Howmiller & Scott, 1977).

$$EI = \frac{\Sigma n_1 + 2\Sigma n}{\Sigma n_0 + \Sigma n_1 + \Sigma n_2}$$

Vrijednosti EI se kreću u rasponu od 0 – 2. Ako su vrijednosti blizu 0 radi se o oligotrofiji, a ako su blizu 2 radi se o eutrofiji.

- **Modificirani EI indeks (mEI)**, također se izračunava temeljem skupine Chironomidae ili Oligochaeta ili temeljem obje skupine, a izračunava se po formuli:

$$mEI = \frac{c \cdot 0,5 \Sigma n_0 + \Sigma n_1 + 2 \Sigma n_2 + 3 \Sigma n_3}{\Sigma n_0 + \Sigma n_1 + \Sigma n_2 + \Sigma n_3}$$

c = koeficijent određen temeljem ukupne brojnosti Oligochaeta, Chironomidae ili Oligochaeta+Chironomidae $\Sigma n_0 \dots \Sigma n_3$ = ukupni broj Oligochaeta svrstanih u skupine 0, 1, 2 ili 3

- **Bentički trofički indeks (BTI)** se bazira na toleranciji (netoleranciji) pojedinih vrsta prema stupnjevima trofije. Indeks se bazira na odnosu brojnosti na visok stupanj trofije tolerantnih vrsta (eutrofne+eutrofno-mezotrofne), prema brojnosti na trofiju netolerantnih vrsta (oligotrofne+mesotrofne).

$$BTI = \frac{\Sigma n_{eu} + n_{eu-me}}{\Sigma n_{ol} + n_{ol-me}}$$

- n_{eu} = broj eutrofnih indikatora
- n_{eu-me} = broj eutro-mesotrofnih indikatora
- n_{ol} = broj oligotrofnih indikatora
- n_{ol-me} = broj oligotrofno-mesotrofnih indikatora

$$OEK = (EI + mEI_{-Oligochaeta} + mEI_{-Chironomidae} + mEI_{-Oligo+Chiro} + BTI) / 5$$

OEK = omjer ekološke kakvoće

2.2. Litoral

Uzorci makrozoobentosa prikupljeni su u srpnju 2017. Uzorkovalo se na dvije postaje (Brljan 1 i Brljan 2). Mjesto uzorkovanja obuhvaćao je transekt od 25 m širine obale jezera, sve do točke u kojoj dubina vode doseže 1 m. Definirana su četiri dubinska razreda: 0 - 0,25 m, 0,25 - 0,5 m, 0,5 - 0,75 m i 0,75 – 1,00 m. Na svakoj postaji se uzeto je deset poduzoraka ovisno o postotku zastupljenosti određene dubine i supstrata. Poduzorci s površine 25×25 cm (0,0625 m²) uzimani su standardnom ručnom bentos mrežom veličine oka 500 μm (AQEM CONSORTIUM 2002). Uzorci su spremljeni u boce širokog grla i konzervirani u 96 % etanolu. Postupak izolacije i determinacije je bio isti kao i za profundal.

Indeksi koji su korišteni prilikom ocjene ekološkog potencijala temeljem analize makrozoobentosa litorala:

- **Margalef indeks:** $d = (S - 1) / \ln N$
- **% Chironomini**
- **N porodica**

$$OEK = (OEK_{N\text{ porodica}} + OEK_{Margalef} + OEK_{\% \text{ Chironomini}}) / 3$$

Konačna ocjena potencijala ekološke kakvoće izračunana je kao srednja vrijednost OEK sve tri metrike (Mihaljević i sur, 2018).

3. REZULTATI I RASPRAVA

U litoralnom dijelu pronađeno je 79 svojti makroskopskih beskralješnjaka, dok je u profundalu zabilježeno 37 svojti. Po brojnosti najdominantnija skupina je Gastropoda, a slijedi ju Isopoda (Tablica 1.). Najbrojnija zabilježena vrsta je bila *Radomaniola curta germani* (Gastropoda), a potom ju slijedi po brojnosti vrsta *Asellus aquaticus* (Isopoda). U profundalu, skupina Oligochaeta je pokazala najveću brojnost (Tablica 2.). Najbrojnija vrsta je bila *Limnodrilus hoffmeisteri*.

Tablica 1. Brojnost pojedinih skupina makrozoobentosa u litoralu akumulacijskog jezera Brljan (broj jedinki/m²).

SKUPINA	Brljan 1	Brljan 2
ACARINAE	48	304
AMPHIPODA	9472	42720
BIVALVIA	1472	2432
COLEOPTERA	5312	10912
CERATOPOGONIDAE	1328	0
CHIRONOMIDAE	6432	8592
DOLICHOPODIDAE	16	0
TIPULIDAE	16	0
EPHEMEROPTERA	432	624
GASTROPODA	75456	153840
HIRUDINEA	624	832
ISOPODA	24896	29296
MEGALOPTERA	16	720
NEMATODA	304	816
NEUROPTERA	288	48
ODONATA	80	112
OLIGOCHAETA	4496	5408
TRICHOPTERA	304	560
TURBELLARIA	2272	5536
UKUPAN BROJ JEDINKI	133264	262752

Tablica 2. Brojnost pojedinih skupina u makrozoobentosu profundala akumulacijskog jezera Brljan (broj jedinki/m²).

SKUPINA	B P 10/10	B P11/10	B P 12/10	B P 03/11	B P 04/11	B P 05/11	B P 08/11	B P 10/11
NEMATODA	667	0	0	0	0	0	667	0
GASTROPODA	3333	9999	5333	1333	2666	2000	6000	6666
BIVALVIA	581275	532613	313302	268640	241976	155318	345965	377962
OLIGOCHAETA	4032930	1817152	1426524	2422424	3255674	2210446	5159484	3562310

Nastavak Tablica 2. Brojnost pojedinih skupina u makrozoobentosu profundala akumulacijskog jezera Brljan (broj jedinki/m²).

SKUPINA	B P 10/10	B P11/10	B P 12/10	B P 03/11	B P 04/11	B P 05/11	B P 08/11	B P 10/11
HIRUDINEA	667	2666	8666	4000	3333	2000	4000	667
HYDRACHNIDIA	0	0	667	0	0	0	0	0
OSTRACODA	2000	2000	0	13332	3333	2666	0	1333
ISOPODA	0	11332	73326	1333	0	667	11999	5333
AMPHIPODA	0	0	9999	0	0	0	0	0
EPHEMEROPTERA	0	0	1333	0	0	0	0	0
HETEROPTERA	667	0	0	0	0	0	0	0
COLEOPTERA	0	0	20665	0	0	0	0	667
MEGALOPTERA	0	1333	0	0	0	0	0	0
TRICHOPTERA	0	0	1333	0	0	0	0	0
CHIRONOMIDAE	72660	93324	93991	208646	189981	120655	267973	147319
CERATOPOGONIDAE	0	0	2000	0	667	2666	0	0
UKUPAN BROJ JEDINKI	4694199	2470419	1957139	2919708	3697630	2496418	5796088	4102257

U profundalu Brljana prevladava muljevito-pjeskoviti sediment što ima za posljedicu dominaciju predstavnika faune koji konzumiraju čestice finog i ultrafinog detritusa kao što su maločetinaši (Oligochaeta) i trzalci (Chironomidae). Maločetinaš *Limnodrilus hoffmeisteri* je bio prisutan u vrlo velikom broju s prosječnom brojnošću od 1.653.835 jedinki po kvadratnom metru. *Limnodrilus hoffmeisteri* preferira sediment bogat organskom tvari i tolerantan je na uvjete u kojima se javlja hipoksija (Uzunov, 1988). Guste populacije vrste *L. hoffmeisteri* posljedica su taloženja organske tvari iz gornjeg dijela vodotoka (prvenstveno kao posljedica ispuštanja komunalnih otpadnih voda grada Knina u rijeku Krku).

Metrike koje su korištene u ocjeni ekološkog potencijala profundala pretežito su bile temeljene na pripadnicima navedenih skupina (osim BTI). Konačna ocjena ekološkog potencijala temeljena na ovim metrikama je 0,63 što pripada kategoriji dobrog potencijala (Tablica 3.). Svi indeksi na temelju makroskopskih beskraljčnjaka profundala odnose se na procjenu stupnja trofije.

Multimetrički indeks korišten za procjenu ekološkog potencijala u litoralu odgovara na veći raspon stresora, pa tako uz odgovor na povećani stupanj trofije, vrijednosti indeksa također padaju ako su prisutne hidromorfološke degradacije staništa. Kao posljedica utjecaja rijeke Krke i drifta, u zajednici faune litorala javlja se veće bogatstvo svojiti koje

pak rezultira većom konačnom ocjenom ekološke kakvoće. Vrijednost OEK izmjerena u zoni litorala bila je 0,78 što je isto tako ukazivalo na kategoriju dobrog potencijala (Tablica 3.), no vidimo da su numeričke vrijednosti OEK na suprotnim krajevima unutar segmenta koji određuje ekološko stanje kao „dobro“ ($\geq 0,6$ i $< 0,8$). Mogući razlog niže ocjene u profundalu je intenzivnije zadržavanje i taloženje organskih tvari u ovoj zoni (Rabeni i Jacobson, 1993) koje na posljepku dovodi do povećanja stupnja trofije. Kao što je prethodno rečeno, Brljan je protočno jezero, izvor organskog opterećenja potječe iz uzvodnih dijelova toka te se akumulira u dubljim dijelovima Brljana (Mihaljević i sur., 2013). Akumulacija ovih tvari u konačnici rezultira lošijom ocjenom ekološke kakvoće u dijelu profundala.

Tablica 3. Ocjena ekološkog potencijala/ (OEK) akumulacije Brljan temeljem makrozoobentosa

Profundal		Litoral	
Environmental Indeks (EI)	0,36	Margalef indeks	1
modificirani EI- Oligochaeta	0,72	% chironomini	0,345
modificirani EI- Chironomidae	0,81	Ukupan br. porodica	1
modificirani EI- Oligo+ Chiro	0,73		
Bentički trofički indeks (BTI)	0,53		
OEK	0,63	OEK	0,78

ZAKLJUČAK

Makrozoobentos profundala pokazao se dobrim pokazateljem eutrofikacije. Korištenjem indeksa koji su temeljeni na zajednicama oligochaeta i hironomida ocjena ekološkog potencijala iznosi 0,63, dok je vrijednost OEK temeljem zajednice makrozoobentosa litorala veća i iznosi 0,78. Razlike u ocjeni ukazuju na različit intenzitet pritisaka. Izvor organskog opterećenja protočne akumulacije potječe iz uzvodnih dijelova slijeva koji se akumulira u dubljim dijelovima, što u konačnici rezultira lošijom ocjenom. U malim protočnim akumulacijama, radi velikog utjecaja riječnih faunističkih elemenata, zajednicu makrozoobentosa litorala prilikom ocjene ekološkog potencijala valja uzimati s dozom rezerve, posebice ako u litoralu nisu prisutne značajne hidromorfološke promjene. Na primjeru akumulacije Brljan jasno je da da korištenje obje metode u procjeni ekološkog potencijala pomoću makrozoobentosa daje bolji uvid u potencijal ekosustava jezera i umjetnih stajaćica.

LITERATURA

- [1] AQEM CONSORTIUM (2002): *Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive*, Version 1.0, Feb 2002.
- [2] Baxter, R. M. (1977): *Environmental Effects of Dams and Impoundments*, Annual Review of Ecology and Systematics, 8(1), 255–283.

- [3] European Commission. (2014): *Using benthic macroinvertebrates to assess ecological status of lakes*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- [4] Ferraris, C. i Wilhm, J. (1977): *Distribution of benthic macroinvertebrates in an artificially destratified reservoir*, Hydrobiologia vol. 54 (2): 169-176.
- [5] Irz, P., Odion, M., Argillier, C., i Pont, D. (2006): *Comparison between the fish communities of lakes, reservoirs and rivers: Can natural systems help define the ecological potential of reservoirs?*, Aquatic Sciences, 68(1): 109–116.
- [6] Mihaljević, Z., Plenković, A., Kerovec, M., Alegro, A. (2013): *Testiranje bioloških metoda ocjene ekološkog stanja u jezerima Dinarske ekoregije*, PMF, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, str.19.
- [7] Mihaljević Z., Alegro A., Kerovec M., Ternjej I., Gottstein S., Miliša M., Matoničkin Kepčija R., Lajtner J., Hršak V., Previšić A., Gligora Udovič M., Žutinić P., Vilenica M., Šegota V., Mičetić Stanković V., Vuković N., Koletić N., Vučković N., Pozojević I., Rimac A., Dorić V., Dimnjaković M., Bartovsky V. (2018): *Klasifikacijski sustav ekološkog potencijala za umjetna i znatno promijenjena tijela površinskih voda – 2. dio: Stajačice Dinaridske ekoregije*. Studija. Biološki odsjek PMF-a, Sveučilište u Zagrebu. 216 str.
- [8] Poikane, S., Johnson, R. K., Sandin, L., Schartau, A. K., Solimini, A. G., Urbanič, G., Böhmer, J. (2016): *Benthic macroinvertebrates in lake ecological assessment: A review of methods, intercalibration and practical recommendations*, Science of the Total Environment, 543, 123–134.
- [9] Rabeni, C.F. i Jacobson, R.B. (1993): *The importance of fluvial hydraulics to fish-habitat restoration in low gradient alluvial streams*, Freshwater Biology, 29:211–220.
- [10] Scheffer, M., Hosper S.H., Meijer M-L., Moss B., Jeppesen E. (1993): *Alternative equilibria in shallow lakes*, Trends Ecol Evol. 1993 Aug; 8(8):275-9.
- [11] Uzunov, J., Košel, V. i Sládeček, V. (1988): *Indicator value of freshwater Oligochaeta*, Acta Hydrochimica et Hydrobiologica, 16(2), 173– 186.
- [12] Vilenica M., Alegro A., Koletić N., i Mihaljević Z. 2016: *New evidence of Lindenia tetraphylla (Vander Linden, 1825) (Odonata, Gomphidae) reproduction at the north-western border of its distribution*, Nat Croat 25 (2): 287–294.
- [13] Wilhm, J. i McClintock, N. (1978): *Dissolved oxygen concentration and diversity of benthic macroinvertebrates in an artificially destratified lake*, Hydrobiologia vol. 57(2):. 163-166.

AUTORI:

Natalija Vučković, mag. oecol. et prot. nat. ^a

Ivana Pozojević, mag. oecol. et prot. nat. ^a

prof. dr. sc. Mladen Kerovec ^a

dr. sc. Marina Vilenica ^b

Valentina Dorić, mag. biol. exp. ^c

doc. dr. sc. Ana Previšić ^a

prof. dr. sc. Ivančica Ternjej ^a

izv. prof. dr. sc. Sanja Gottstein ^a

prof. dr. sc. Zlatko Mihaljević ^a

^a Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska; natalija.vuckovic@biol.pmf.hr, ivana.pozojevic@biol.pmf.hr, mladen.kerovec@biol.pmf.hr, ana.previsic@biol.pmf.hr, ivancica.ternjej@biol.pmf.hr, sanja.gottstein@biol.pmf.hr, zlatko.mihaljevic@biol.pmf.hr

^b Učiteljski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Trg Matice hrvatske 12, 44250 Petrinja, Hrvatska, marina.vilenica@ufzg.hr

^c Eko monitoring, Kučanska ul. 15, 42000 Varaždin, Hrvatska, doric.valentina@gmail.com



R 1.31.

KONCENTRACIJE METALA U VODI I ŠKOLJKAŠIMA BRLJANSKOG I VISOVAČKOG JEZERA

**Dušica Ivanković, Paula Dragičević, Zrinka Dragun, Jasna Lajtner,
Nesrete Krasnići, Vlatka Filipović Marijić, Tatjana Mijošek,
Zuzana Redžović, Marijana Erk**

SAŽETAK: Brljansko i Visovačko jezero nalaze se u zaštićenom dijelu ekosustava rijeke Krke. Jezerski dijelovi Krke posebno su izloženi riziku onečišćenja zbog sporije izmjene i duljeg vremenskog zadržavanja vode. U radu su proučavani sadržaji 30 metala/metaloida u vodi i probavnoj žlijezdi školjkaša *Anodonta* spp. iz Brljanskog i Visovačkog jezera, kao bioindikatorskih organizama za praćenje onečišćenja u jezerskim sustavima. Cilj je bio vidjeti postoji li razlika u izloženosti metalima između ovih jezera. Uzorci vode i školjkaša uzeti su na dubinama između 1 i 4 m u svibnju 2016. godine. Koncentracije metala određene su pomoću HR ICP-MS-a. Analiza uzoraka jezerske vode ukazala je na relativno niske razine otopljenih metala u vodi obaju jezera. Koncentracije Cd, Co, U, Mo, Mn, Li, Fe, Sr, Mg i Na bile su značajno više na Brljanu, a Se, Rb, Cr i V na Visovcu. Školjkaši iz Brljana akumulirali su više Mo, Sb, U, V, Al i Na, dok su Rb, Ag, Cd, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Tl i Ca bili značajno viši u školjkaša iz Visovca. Uočena je slaba povezanost sadržaja metala u probavnoj žlijezdi s otopljenim metalima u vodi. Dobiveni rezultati mogu poslužiti kao polazište za usporedbu u budućim studijama praćenja onečišćenja vodenog okoliša metalima.

KLJUČNE RIJEČI: metali/metaloidi, krška jezera, bioraspoloživost, slatkovodni školjkaši

METAL CONCENTRATIONS IN WATER AND BIVALVES FROM LAKES BRLJAN AND VISOVAC

ABSTRACT: Lakes Brljan and Visovac are located in the protected part of the Krka River ecosystem. These lakes along the Krka course are particularly exposed to the risk of pollution due to a slower water exchange and its longer retention time. In this paper, the content of 30 metals/metaloids in the water and the digestive gland of bivalves *Anodonta* spp. from Lakes Brljan and Visovac as bioindicator organisms for pollution monitoring in lake systems was studied. The goal of the study was to detect any potential differences in metal exposure between the lakes. Water and bivalve samples were taken at depths of 1-4 m in May 2016. Metal concentrations were determined by HR ICP-MS. The analysis of water samples indicated relatively low levels of dissolved metals in the water of both

lakes. The concentrations of Cd, Co, U, Mo, Mn, Li, Fe, Sr, Mg and Na were significantly higher in Lake Brljan while the concentrations of Se, Rb, Cr and V were higher in Lake Visovac. Bivalves from Lake Brljan accumulated more Mo, Sb, U, V, Al and Na while Rb, Ag, Cd, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Tl and Ca were significantly higher in bivalves from Lake Visovac. A weak correlation between the metal content in the digestive gland and dissolved metal concentrations in the water was observed. The obtained results can serve as a basis for comparison in the future studies of metal pollution monitoring in aquatic environments.

KEYWORDS: metals/metalloids, karst lakes, bioavailability, freshwater bivalves

1. UVOD

Brljansko i Visovačko jezero čine sastavni dio ekosustava zaštićenog dijela krške rijeke Krke. Voda se u ujezerenim dijelovima rijeke Krke zadržava znatno dulje i sporije izmjenjuje, zbog čega su upravo ovi dijelovi rijeke posebno izloženi riziku onečišćenja (Goreta, 2013, Ciglenečki-Jušić i drugi, 2015). Donosi slatkih voda rijekama Krkom i Čikolom predstavljaju glavni put unosa antropogenih zagađivala u ova jezera (Goreta, 2013, Ciglenečki-Jušić i drugi, 2015). Prethodna istraživanja sedimenata rijeke Krke, uključujući i sedimente Brljanskog i Visovačkog jezera, ukazala su na povećanje razine nekih ekotoksičnih metala kao posljedicu antropogenog djelovanja (Cukrov i drugi, 2008 i 2013, Ciglenečki-Jušić i drugi, 2017, Mikac i drugi, 2017). Najznačajniji izvori onečišćenja metalima nalaze se kod grada Knina, a vezani su uz ispuštanje komunalnih i industrijskih otpadnih voda u rijeku Krku te uz komunalne vode grada Drniša. S obzirom na smještaj, Brljansko se jezero nalazi uzvodnije od Visovačkog i stoga se nalazi pod jačim utjecajem onečišćenja koje dolazi rijekom Krkom iz smjera Knina. Cukrov i drugi (2011) su pokazali da se znatna količina ekotoksičnih metala koji dolaze iz smjera Knina taloži najvećim dijelom u Brljanskom jezeru te u jezeru ispod akumulacijske brane HE Miljacka.

U integriranoj procjeni stanja vode i njezinog onečišćenja metalima potrebno je uz analize koncentracije metala u vodi i/ili sedimentu odrediti i koncentracije metala akumuliranih u indikatorskim organizmima jer one ukazuju na količinu bioraspoloživih oblika metala i njihov potencijalni utjecaj na organizme (Zhou i drugi, 2008). Slatkovodni se školjkaši često koriste kao indikatorski organizmi za praćenje onečišćenja voda metalima. Zbog svog načina prehrane putem filtracije vode, dobro akumuliraju kako otopljen zagađivala tako i ona koja su vezana na raspršene čestice ili nataložena u sedimentu (Naimo, 1995). Ciljni organ školjkaša u akumulaciji metala, posebno kod dugotrajne izloženosti, je probavna žlijezda (Gupta i Singh, 2011). Kao predstavnik vodnih organizama u ovom istraživanju izabrani su školjkaši roda *Anodonta* zbog njihove relativno velike brojnosti u ovim jezerima.

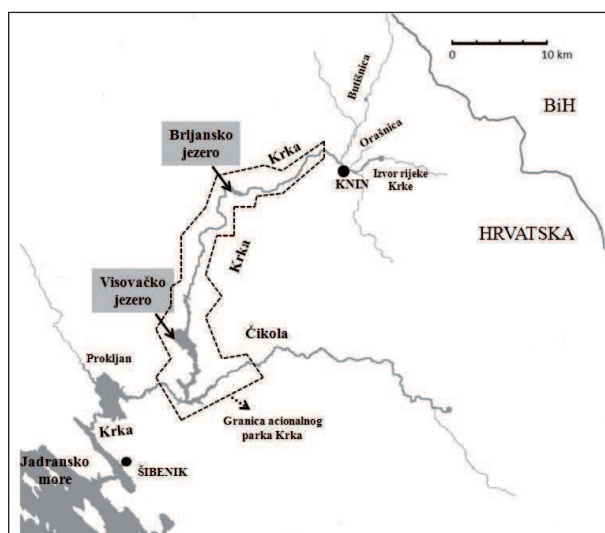
Dosadašnja istraživanja metala u Brljanskom i Visovačkom jezeru uglavnom su se odnosila na analizu sadržaja metala u vodi i sedimentima (Cukrov i drugi., 2008 i 2013, Ciglenečki-Jušić i drugi, 2015 i 2017, Mikac i drugi, 2017), te do sada ne postoje istraživanja o akumulaciji metala u organizmima koji obitavaju u ovim jezerima. U skladu s tim, glavni cilj ovog istraživanja bio je vidjeti postoje li razlike u izloženosti metalima između školjkaša Brljanskog i Visovačkog jezera. S obzirom na uzvodniju poziciju,

očekuje se značajniji utjecaj otpadnih voda grada Knina na količinu akumuliranih metala u probavnoj žlijezdi školjkaša iz Brljanskog jezera. Pored određivanja koncentracija metala u probavnoj žlijezdi školjkaša, analiziran je i sadržaj otopljenih metala u vodi kako bi se vidjelo u kojoj mjeri koncentracije metala u vodi mogu objasniti varijacije koncentracija metala u probavnoj žlijezdi školjkaša.

2. MATERIJAL I METODE

2.1. Uzorkovanje vode i školjkaša

Uzorkovanje je obavljeno na lokacijama na lijevoj obali Brljanskog i desnoj obali Visovačkog jezera u svibnju 2016. godine (Slika 1). Uzorci vode i školjkaša uzeti su na dubini 2-4 m u jezeru Brljan te na 1-3 m u Visovačkom jezeru.



Slika 1. Karta područja istraživanja s označenim lokacijama uzorkovanja na Brljanskom i Visovačkom jezeru (preuzeto i prilagođeno s URL 1)

Uzorci vode uzimani su u triplikatu u polietilenske boce prethodno oprane dušičnom kiselinom. Odmah nakon uzorkovanja, uzorci su profiltrirani (pore promjera 0,45 μm) kako bi se odijelila otopljena frakcija metala od partikularne. Dobiveni filtrati su zakiseljeni dodavanjem koncentrirane dušične kiseline (HNO_3 , Suprapur, Merck, konačna koncentracija u uzorku 1,3 % v/v) te potom pohranjeni na 4 °C do daljnje analize.

Uzorci školjkaša *Anodonta* spp. prikupljeni su ronjenjem autonomnom ronilačkom opremom s komprimiranim zrakom. Na svakoj lokaciji prikupljeno je 20 jedinki. Nakon 24-satnog pročišćavanja, školjkaši su secirani te su uzeti uzorci probavne žlijezde za analizu metala. Uzorci su zamrznuti u tekućem dušiku, a potom pohranjeni u hladnjaku na -80 °C do analize.

2.2. Određivanje koncentracija metala/metaloida

Mjerenje metala/metaloida provedeno je tehnikom masene spektrometrije visokog razlučivanja s induktivno spregnutom plazmom (HR ICP-MS). Koncentracije elemenata u tragovima u jezerskoj vodi mjerene su izravno u zakiseljenim filtratima uzoraka jezerske vode (HNO_3 , 1,3 % v/v), dok su koncentracije makroelemenata mjerene u 10 puta razrijeđenim filtratima. Koncentracije elemenata u probavnoj žlijezdi mjerene su u razgrađenim homogenatima tkiva probavnih žlijezdi. Postupak razgradnje i mjerenje metala/metaloida na HR ICP-MS opisani su detaljno u radu Dragun i ostali (2018).

3. REZULTATI I RASPRAVA

3.1. Koncentracije elemenata u jezerskoj vodi

Koncentracije otopljenih oblika svih elemenata izmjerene u uzorcima vode iz jezera Brljan i Visovac koji su uzeti u svibnju 2016. godine prikazane su u Tablici 1. Kao što se može vidjeti iz tablice, koncentracije elemenata u tragovima kretale su se u širokom rasponu, od subnanogramskih pa sve do nekoliko stotina $\mu\text{g/l}$. Od 25 mjerenih elemenata, sedam (Cs, Bi, Cu, Ni, Pb, Sn i Ti) ih je bilo ispod granice detekcije korištene metode na objema lokacijama. Vrijednosti ispod granice detekcije zabilježene su također i za Co i Ti na lokaciji Visovac. Cd i Tl bili su prisutni u koncentracijama $<10 \text{ ng/l}$. Koncentracije Sb također su bile vrlo niske u oba jezera, a u koncentracijama od 100 ng/l do $1 \mu\text{g/l}$ bili su prisutni As, Se, Rb, Cr, V, U i Mo. U koncentracijama do desetak $\mu\text{g/l}$ bili su prisutni Li, Al, Mn, Fe, Zn i Ba, dok je Sr bio element s najvišim izmjerenim koncentracijama od svih analiziranih elemenata u tragovima (nekoliko stotina $\mu\text{g/l}$).

S obzirom na lokaciju uzorkovanja, koncentracije otopljenih Cd, Co, U, Mo, Mn, Li, Fe, Sr, Mg i Na bile su značajno više u uzorcima vode s Brljana, a Se, Rb, Cr i V u uzorcima s Visovca (Tablica 1). Koncentracije preostalih elemenata nisu pokazale statistički značajne razlike između istraživanih jezera. Međutim, potrebno je naglasiti da se usporedba odnosi na samo jedno uzorkovanje te na temelju toga nije moguće izvoditi neke čvršće zaključke o razlikama između jezera s obzirom na koncentracije otopljenih elemenata u vodi. Među elementima koji su bili povišeni u uzorcima vode iz Brljanskog jezera, nalaze se većinom elementi koji su inače pretežno vezani na čestice suspendirane tvari (Fe, Al, Mn) te čije koncentracije, kako ukupne tako i otopljene, pokazuju značajnu ovisnost o brzini protoka, odnosno vodostaju rijeke Krke (Ciglenečki-Jušić i drugi, 2017).

U Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 89/2010), u listi prioritarnih tvari, kao jedan od pokazatelja kakvoće vode navedene su otopljene koncentracije sljedećih ekotoksičnih metala: Cd i njegovih spojeva, Pb i njegovih spojeva, Hg i njezinih spojeva te Ni i njegovih spojeva. S obzirom da se izmjerene koncentracije svih navedenih elemenata u uzorcima vode iz Brljanskog i Visovačkog jezera nalaze unutar graničnih vrijednosti definiranih ovom Uredbom, voda ovih jezera može se smatrati čistom i nezagađenom metalima.

Izmjerene vrijednosti otopljenih metala/metaloida u Brljanskom jezeru uglavnom su slične ili neznatno više u odnosu na koncentracije koje su dobivene u istraživanjima Cukrova i drugih (2008) te Ciglenečki-Jušić i drugih (2017). Koncentracije otopljenih metala/metaloida u vodi Visovačkog jezera usporedive su s prosječnim vrijednostima izmjerenim na ovom jezeru u razdoblju od 2012. do 2015. godine (Ciglenečki-Jušić i drugi, 2015).

Iz Tablice 1 vidljivo je također da je većina elemenata koji uglavnom potječu iz antropogenih izvora (Cd, Pb, Ni, Cr i Cu) bila prisutna u izuzetno niskim koncentracijama u oba jezera.

Tablica 1. Koncentracije otopljenih elemenata ($\mu\text{g/l}$ za elemente u tragovima, mg/l za makroelemente; srednja vrijednost \pm S.D.) u uzorcima vode iz jezera Brljan i Visovac. Vrijednosti označene zvjezdicom (*) razlikuju se statistički značajno na razini $p < 0,05$ (t -test za nezavisne uzorke).

Element	Brljan	Visovac
Cs	<0,001	<0,001
Bi	<0,005	<0,005
Sn	<0,012	<0,012
Co	0,049 \pm 0,002*	<0,019*
Ag	<0,064	<0,064
Pb	<0,071	<0,071
Ni	<0,095	<0,095
Ti	0,157 \pm 0,002	<0,120
Cu	<0,401	<0,401
Cd	0,006 \pm 0,000*	0,002 \pm 0,001*
Tl	0,006 \pm 0,000	0,005 \pm 0,000
Sb	0,028 \pm 0,001	0,029 \pm 0,005
As	0,150 \pm 0,013	0,131 \pm 0,040
Se	0,133 \pm 0,025*	0,291 \pm 0,024*
Rb	0,300 \pm 0,001*	0,309 \pm 0,005*
Cr	0,312 \pm 0,052*	0,467 \pm 0,060*
V	0,563 \pm 0,019*	0,797 \pm 0,032*
U	0,824 \pm 0,010*	0,762 \pm 0,019*
Mo	0,908 \pm 0,018*	0,712 \pm 0,023*
Li	1,240 \pm 0,009*	0,982 \pm 0,013*
Al	2,150 \pm 1,341	1,227 \pm 0,163
Mn	3,277 \pm 0,026*	0,558 \pm 0,049*
Fe	3,246 \pm 0,255*	1,555 \pm 0,150*
Ba	10,7 \pm 0,14	11,0 \pm 1,3
Sr	891 \pm 11*	589 \pm 7*
K	0,459 \pm 0,010	0,483 \pm 0,012
Na	3,000 \pm 0,079*	2,364 \pm 0,044*
Mg	13,71 \pm 0,40*	10,13 \pm 0,24*
Ca	100 \pm 3	96,1 \pm 0,3

3.2. Koncentracije elemenata u probavnoj žlijezdi školjkaša

Određivanje koncentracija metala u vodi može ukazati na postojanje onečišćenja metalima, ali ne može dati odgovor o količini bioraspoloživog metala, dok koncentracije metala u indikatorskim organizmima ukazuju upravo na količinu bioraspoloživog metala. U ovom je radu određen sadržaj 26 elemenata u tragovima i 4 makroelementa u probavnoj žlijezdi indikatorskog organizma, školjkaša *Anodonta* spp., sa svrhom usporedbe izloženosti školjkaša metalima u Brljanskom i Visovačkom jezeru.

Elementi su podijeljeni u tri skupine prema razlikama u njihovim koncentracijama u probavnoj žlijezdi. U prvu skupinu (Tablica 2A) svrstani su elementi čije su ukupne koncentracije u probavnoj žlijezdi bile značajno više u školjkaša s Brljanskog jezera (Mo, Sb, U, V, Al i Na). U drugu su skupini (Tablica 2B) svrstani elementi sa značajno većim koncentracijama u školjkaša s Visovačkog jezera (Rb, Ag, Cd, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Tl i Ca), a u treću (Tablica 2C) elementi čije su ukupne koncentracije bile usporedive u oba jezera (Se, Sn, Cs, Bi, Ti, As, Pb, Fe, Mg i K).

Od analiziranih elemenata u probavnoj žlijezdi, jedino su koncentracije Sn bile ispod granice detekcije korištene metode. Najniže koncentracije ukupnog metala izmjerene su za Cs, Sb i Bi, dok su najviše koncentracije očekivano imali makroelementi, pogotovo K i Ca (Tablice 2A-C). Među elementima koji su bili značajno povišeni na lokaciji Brljan (Tablica 2A), osim Al koji je imao ~ 40 % više vrijednosti u školjkaša s Brljana, vrijednosti preostalih elemenata uglavnom su bile umjereno povišene (15 - 25%) u odnosu na lokaciju Visovac. Razlike između lokacija bile su značajno više naglašene u slučaju elemenata koji su pokazali veći stupanj akumulacije u školjkaša s Visovačkog jezera (Tablica 2B). Koncentracije Rb, Co, Ni, Cr i Ca bile su više na Visovačkom jezeru 1,5 - 2 puta, koncentracije Cu, Zn, Mn, Sr, Ba i Ag 3-5 puta, a najveće razlike između Brljanskog i Visovačkog jezera dobivene su za Tl koji je bio viši u prosjeku 7,6 puta te za Cd koji je imao u prosjeku 16,5 puta više vrijednosti u školjkaša s Visovačkog jezera.

Tablica 2. Elementi značajno povišeni ($p < 0,05$; *t*-test za nezavisne uzorke) u:

(A) probavnoj žlijezdi školjkaša s Brljanskog jezera, (B) probavnoj žlijezdi školjkaša s Visovačkog jezera i C) elementi prisutni u podjednakim koncentracijama u probavnoj žlijezdi školjkaša s oba jezera (C). Koncentracije elemenata izražene su u $\mu\text{g/g}$ vlažne mase tkiva (srednja vrijednost \pm S.D).

A)

Elementi	Brljan	Visovac
Sb	0,005 \pm 0,001	0,004 \pm 0,001
U	0,045 \pm 0,012	0,035 \pm 0,001
V	0,141 \pm 0,037	0,107 \pm 0,019
Mo	0,225 \pm 0,040	0,168 \pm 0,039
Al	4,00 \pm 1,88	2,53 \pm 1,66
Na	209 \pm 33	178 \pm 24

B)

Element	Brljan	Visovac
Tl	0,005±0,002	0,039±0,038
Ag	0,013±0,004	0,068±0,076
Cd	0,040±0,009	0,660±0,500
Co	0,111±0,021	0,168±0,088
Cr	0,147±0,071	0,293±0,078
Ni	0,187±0,045	0,290±0,076
Rb	0,252±0,044	0,441±0,047
Cu	2,53±0,61	8,14±4,74
Ba	2,57±3,12	10,9±3,5
Sr	4,98±5,59	24,7±8,26
Zn	12,8±4,85	52,4±34,9
Mn	29,3±47,2	110,7±32,7
Ca	652±752	1242 ±398

C)

Element	Brljan	Visovac
Cs	0,001±0,000	0,001±0,000
Sn	< 0,003	< 0,003
Bi	0,006±0,001	0,005±0,002
Ti	0,125±0,047	0,140±0,057
Pb	0,182±0,029	0,215±0,111
Se	0,600±0,137	0,612±0,098
As	0,722±0,141	0,783±0,095
Fe	127,0±56,2	141,0±40,2
Mg	131±20,8	134±14,5
K	378±68,7	389±47,2

Usporedbom s koncentracijama otopljenih metala/metaloida u vodi (Tablica 1), isti trend porasta metala u vodi i probavnoj žlijezdi školjkaša nađen je na lokaciji Brljan za Mo, U i Na te za Rb i Cr na lokaciji Visovac. Izostanak povezanosti ukupnih koncentracija metala u probavnoj žlijezdi s koncentracijama otopljenih metala u vodi moguće je posljedica prilično čiste vode ovih jezera, kada su u pitanju metali. Pored toga, koncentracije metala u vodi odražavaju samo trenutnu situaciju tijekom uzorkovanja, dok koncentracije u školjkašima pokazuju prosječne vrijednosti u dužem periodu izloženosti. S obzirom da se školjkaši prehranjuju filtracijom te na taj način mogu unijeti ne samo otopljene metale već i metale vezane uz čestice suspendirane tvari i sedimenta, za pretpostaviti je da će akumulacija kod školjkaša korelirati bolje s koncentracijama metala u sedimentu (Gupta i Singh, 2011). Također, koncentracija metala u vodenim organizmima ne ovisi samo o koncentraciji metala u okolišu nego i o mnogim biološkim faktorima (npr. starost organizma, masa, brzina rasta, prehrana, spol itd.), kao i o sastavu i količini organskih tvari u vodi (Farris i Van Hassel, 2007). S obzirom na koncentraciju organske tvari, Brljansko jezero može se svrstati u oligotrofne (Ciglenečki-Jušić i drugi, 2017, Strmečki i drugi, 2018), a Visovačko u oligomezotrofne vodene sustave (Ciglenečki-Jušić i drugi, 2013 i 2015). Nadalje, školjkaši u određenoj mjeri mogu regulirati unos pojedinih esencijalnih elemenata (npr. Cu i Zn) te stoga koncentracije metala u vodi nisu izravno proporcionalne

opterećenju tkiva ovim metalima (Farris i Van Hassel, 2007).

ZAKLJUČAK

Provedeno istraživanje je dalo osnovnu sliku o razlikama u izloženosti metalima između jedinki školjkaša *Anodonta* spp. koji obitavaju u Brljanskom i Visovačkom jezeru. Analiza uzoraka vode ukazala je na relativno niske razine većine otopljenih metala u vodi obaju jezera. Analiza sadržaja ukupnih metala u probavnoj žlijezdi ukazala je na značajne razlike u bioraspoloživosti pojedinih metala u Brljanskom i Visovačkom jezeru. Međutim, s obzirom da se radi o podacima dobivenim u jednom uzorkovanju, za konačnu procjenu izloženosti metalima u ovim jezerima potrebno je provesti dodatna istraživanja koja će uključivati višekratno uzorkovanje školjkaša u različitim sezonama, kao i na više različitih lokacija u jezeru.

Rezultati ove studije predstavljaju prve podatke o sadržaju metala i metaloida u probavnoj žlijezdi školjkaša roda *Anodonta* iz Brljanskog i Visovačkog jezera te kao takvi mogu poslužiti kao polazište za usporedbu u budućim istraživanjima praćenja onečišćenja metalima kako u ovim jezerima tako i drugim sličnim krškim vodenim ekosustavima.

ZAHVALA

Autori se zahvaljuju Hrvatskoj zakladi za znanost za financijsku potporu projekta AQUAMAPMET (br. IP-2014-09-4255).

LITERATURA

- [1] Ciglencečki-Jušić, I, Ahel, M, Mikac, N, Omanović, D, Vdović, N, (2013): *Istraživanje prirodnih značajki i procjena antropogenog utjecaja na kvalitetu ekosustava rijeke Krke u području Visovačkog jezera*. Izvješće, Institut Ruđer Bošković, Zagreb.
- [2] Ciglencečki-Jušić, I, Ahel, M, Mikac, N, Omanović, D, Vdović, N, (2015): *Istraživanje prirodnih značajki i procjena antropogenog utjecaja na kvalitetu ekosustava rijeke Krke u području Visovačkog jezera: Faza II*, Izvješće, Institut Ruđer Bošković, Zagreb.
- [3] Ciglencečki-Jušić, I, Mikac, N, Ahel, M, Omanović, D, Cukrov, N, (2017): *Antropogeni unosi i eutrofikacijski procesi u kaskadnom sustavu Brljanskog jezera – stanje i utjecaj na kvalitetu nizvodnog dijela rijeke Krke*. Izvješće, Institut Ruđer Bošković, Zagreb.
- [4] Cukrov, N, Cmuk, P, Mlakar, M, Omanović, D, (2008): *Spatial distribution of trace metals in the Krka River, Croatia: An example of the self-purification*. Chemosphere, 72, 1559–1566.
- [5] Cukrov, N, Blatarić, A-, Cuculić, V, Grabar, I, Kwokal, Ž, Mlakar, M, Omanović, D, Pižeta, I, (2011): *Ispitivanje antropogenog utjecaja (ekotoksični metali) na sedimente Brljana i nizvodnih jezera*. Elaborat, Institut Ruđer Bošković, Zagreb.
- [6] Cukrov, N, Cuculić, V, Barišić, D, Lojen, S, Mikelić, IL, Oreščanin, V, Vdović, N, Fiket, Ž, Čermelj, B, Mlakar, M, (2013): *Elemental and isotopic records in recent fluvio-lacustrine sediments in karstic river Krka, Croatia*. Journal of Geochemical

- Exploration, 134, 51–60.
- [7] Dragun, Z, Filipović Marijić, V, Krasnići, N, Ivanković, D, Valić, D, Žunić, J, Kapetanović, D, Vardić Smrzlić, I, Redžović, Z, Grgić, I, Erk, M, (2018): *Total and cytosolic concentrations of twenty metals/metalloids in the liver of brown trout Salmo trutta (Linnaeus, 1758) from the karstic Croatian river Krka*. Ecotoxicology and environmental safety. 147: 537-549.
- [8] Farris, JL, Van Hassel, JH, (2007): *Freshwater Bivalve Ecotoxicology*. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Pensacola.
- [9] Goreta, G, (2013): *Procjena antropogenog utjecaja na kvalitetu rijeke Krke na području Visovačkog jezera*. BUK – Glasnik Javne ustanove „Nacionalni park Krka“, 8, 90–93.
- [10] Gupta, SK, Singh, J, (2011): *Evaluation of Mollusc as Sensitive Indicator of Heavy Metal Pollution in Aquatic system: a Review*. IIOAB Journal, 2, 49–57.
- [11] Mikac, N, Bačić, N, Lučić, M, Ivanić, M, Vdović, N, Barišić, D, (2017): *Raspodjela metala i metaloida u sedimentu i vodi ušća rijeke Krke*. U: Zbornik radova sa znanstveno-stručnog skupa Vizija i izazovi upravljanja zaštićenim područjima prirode u Republici Hrvatskoj: aktivna zaštita i održivo upravljanje u Nacionalnom parku Krka, (ur.) Marguš, D, Javna ustanova „Nacionalni park Krka“, Šibenik, 671–685.
- [12] Naimo, TJ, (1995): *A Review of the Effects of Heavy Metals on Freshwater Mussels*. Ecotoxicology, 4, 341–362.
- [13] NN (2010.): *Uredba o standardu kakvoće voda*. Narodne novine, 89.
- [14] Strmečki, S, Ciglencečki, I, Gligora Udovič, M, Marguš, M, Bura-Nakić, E, Dautović, J, Plavšić, M, (2018): *Voltammetric study of organic matter components in the upper reach of the Krka River, Croatia*. Croatica Chemica Acta. 91, 447-454.
- [15] URL 1: *Dinarsko gorje*, <https://www.dinarskogorje.com/dalmatinski-slivovi.html>, (20.02.2019.)
- [16] Zhou, Q, Zhang, J, Fu, J, Shi, J, Jiang, G, (2008): *Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem*. Analytica Chimica Acta, 606: 135–150.

AUTORI

dr.sc. Dušica Ivanković ^a
Paula Dragičević, mag.biol.exp. ^b
dr.sc. Zrinka Dragun ^a
izv.prof.dr.sc. Jasna Lajtner ^b
Nesrete Krasnići, dipl.ing. ^a
dr.sc. Vlatka Filipović Marijić ^a
Tatjana Mijošek, mag.biol.exp. ^a
Zuzana Redžović, mag.biol.exp. ^a
dr.sc. Marijana Erk ^a

^a Institut Ruđer Bošković, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Bijenička cesta 54, Zagreb, 10000, Hrvatska, dusica.ivankovic@irb.hr, zdragun@irb.hr, nkrasnic@irb.hr, vfilip@irb.hr, tmijosek@irb.hr, zredzovic@irb.hr, erk@irb.hr

^b Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, Zagreb, 10000, Hrvatska, paula.dragicevic@biol.pmf.hr, jasna.lajtner@biol.pmf.hr



R 1.32.

METODA PRORAČUNA DNEVNIH PROTOKA NERETVE U METKOVIĆU

Dijana Oskoruš, Nino Krvavica, Mirjana Švonja

SAŽETAK: U uvjetima izrazito nestacionarnog, složenog tečenja u zoni riječnih ušća u more nemoguće je proračunati dnevne i satne vrijednosti protoka na osnovi prethodno definiranih protočnih krivulja. Iz tog se razloga na krškim rijekama Jadranskog sliva poput: Zrmanje, Krke, Cetine, Neretve i drugih, nije raspolagalo podacima o dnevnim količinama slatke vode koja utječe u Jadransko more. Dolaskom na tržište nove generacije ultrazvučnih mjerača za kontinuirano mjerenje protoka u takvim slučajevima su se postigli uvjeti za poboljšanje. U ovom radu je dan prijedlog metode proračuna dnevnih protoka na osnovi analize podataka prikupljenih na hidrološkoj postaji Metković - Neretva, kao oglednom primjeru. Također, provedena je simulacija površinskog prodora morske vode numeričkim modelom kako bi se izračunale dubine i protoci slojeva slane i slatke vode duž korita Neretve. Budući da se očekuje unaprjeđenje i modernizacija sustava za hidrološko praćenje površinskih voda kroz buduće projekte, stekli bi se uvjeti za prikupljanjem istovjetnih podataka i na drugim hidrološkim postajama neposredno prije ušća u more.

KLJUČNE RIJEČI: riječna ušća, mjerači protoka, model dvoslojnog tečenja

METHOD FOR CALCULATING DAILY DISCHARGES OF THE NERETVA RIVER AT METKOVIĆ

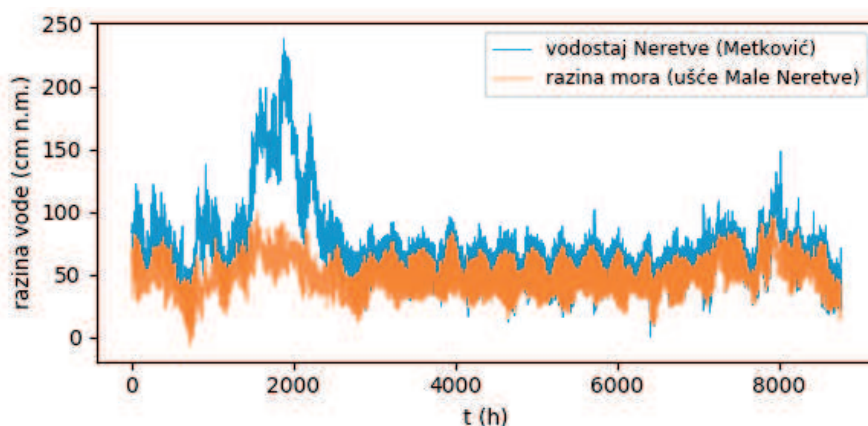
ABSTRACT: In extremely nonstationary, complex flow conditions of estuary zones, it is not possible to calculate daily and hourly discharge values based on previously defined discharge rating curves. For this reason, there was no available data on the daily quantities of freshwater flowing into the Adriatic Sea for karst rivers in the Adriatic basin, such as the Zrmanja, Krka, Cetina or Neretva Rivers. The appearance of a new generation of ultrasonic flow meters for continuous flow measurement on the market, these conditions have improved. The paper proposes a method for calculating daily discharges based on the analysis of data collected at the hydrological station Metković-Neretva as an example. Additionally, a simulation of surface saltwater intrusion using a numerical model was performed in order to calculate the depths and discharges of saltwater and freshwater layers along the Neretva riverbed. Since an upgrade and modernisation of the system for hydrological monitoring of surface waters within future projects is expected, conditions

have been met for the collection of such data at other hydrological stations as well immediately preceding the estuary mouth.

KEYWORDS: river mouth, flow meters, two-layer flow model

1. UVOD

Hidrološka postaja Metković na Neretvi osnovana je 1934. godine na lijevoobalnom zidu, nizvodno od cestovnog mosta, oko 21 km od ušća u Jadransko more. Od 1957. godine na postaji se bilježe satne vrijednosti vodostaja te se mogu pratiti dnevne oscilacije uslijed utjecaja morske plime i oseke koja se osjeća sve do uzvodno od Metkovića (slika 1). Od 1954. godine postoje i podaci o vodomjerenjima koja su se do 1972. godine vršila pomoću hidrometrijskog krila, a od 2004. godine mjerenja protoka se vrše ultrazvučnim mjerjačem trenutnih brzina (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP). Na slici 2 prikazani su rezultati vodomjerenja iz oba razdoblja na kojima se uočava veliko raspršenje rezultata naročito u području malih voda ($Q < 300 \text{ m}^3/\text{s}$). Odstupanja u rezultatima protoka se pojavljuju i kod srednjih protoka, što je vidljivo na rezultatima novijih mjerenja.

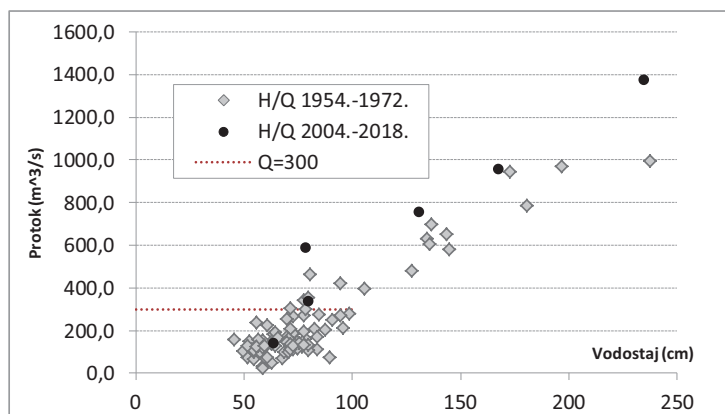


Slika 1. Prikaz izmjerenih apsolutnih razina Neretve u Metkoviću i mora na ušću Male Neretve tijekom 2018. godine

2. PRIKAZ STANJA

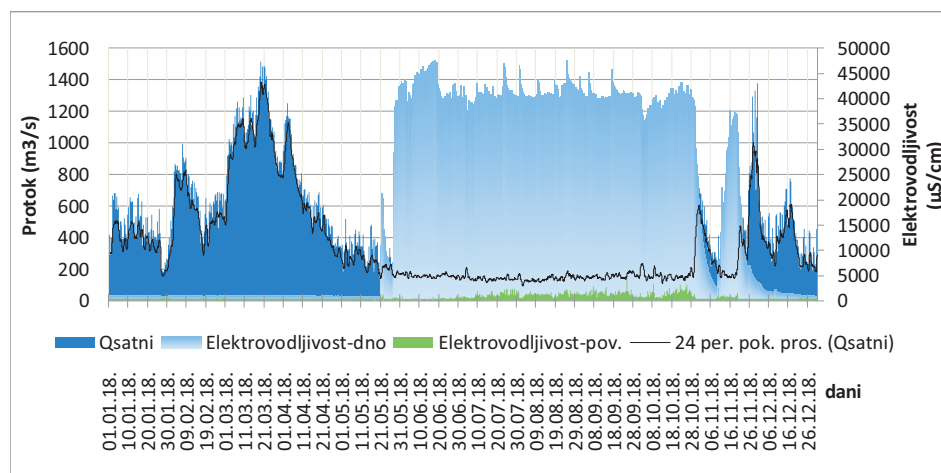
Prema grafičkom prikazu na slici 2, najveći protok u ovom profilu ($Q=1374,8 \text{ m}^3/\text{s}$) izmjeren je pri vodostaju $H=235 \text{ cm}$, dana 20.3.2018. godine. Uslijed snažne propagacije vodnog vala koji je bio posljedica naglog topljenja snijega s uzvodnog sliva u Bosni i Hercegovini, srednja profilna brzina toka Neretve iznosila je 1,54 m/s. U takvim uvjetima tečenje je bilo jednosmjerno prema moru. Prema grafičkom prikazu vidljivo je da vodomjerenja u domeni velikih voda ($Q > 600 \text{ m}^3/\text{s}$) pokazuju čvrsti korelacijski odnos te da bi se za taj segment mogao definirati jednoznačan konsumpcijski odnos. Međutim, za vrijednosti ispod srednjih protoka ($Q_{sr} = 325 \text{ m}^3/\text{s}$), to nije moguće. Iz prikaza se može zaključiti da je u slučajevima izrazito nestacionarnog, složenog tečenja za vrijeme malih

voda, nemoguće proračunati dnevne i satne vrijednosti protoka na osnovi prethodno definiranog jednoznačnog konsumpcijskog odnosa.



Slika 2. Rezultati vodomjerenja na HP Neretva-Metković, 1954. - 1972. i 2004. - 2018.

Kao što je već poznato, na ušćima priobalnih rijeka Jadranskog sliva javlja se uslojeno tečenje, gdje sloj slatke vode teče prema ušću iznad sloja morske vode koja prodire uzvodno (tzv. slani klin) (Krvavica, 2016). Stoga se od 2015. godine u profilu cestovnog mosta mjeri trenutni protok pomoću tri ugrađena horizontalna ADCP uređaja, elektrovodljivost, mutnoća i drugi fizički parametri.



Slika 3. Vrijednosti protoka i elektrovodljivosti za 2018. godinu u profilu mosta u Metkoviću

Položaj mjerača protoka, način njihove montaže te položaj sonde za mjerenje elektrovodljivosti, imao je za cilj definiranje minimalnog protoka vode pri kojem Neretva potisne more (slanu vodu) iz profila u Metkoviću te mjerenje većih protoka za analizu obrane od poplava. Mjerači protoka su postavljeni horizontalno, u svaki otvor mosta po jedan i nalaze se uvijek u slatkom sloju, a tvrtka Higma d.o.o. tri puta godišnje vrši kontrolna mjerenja pri protoku $Q > 200 \text{ m}^3/\text{s}$ radi provjere i kalibracije ugrađenih ADCP uređaja. Senzori za mjerenje elektrovodljivosti postavljeni su na dnu korita i pri površini. U režimu velikih voda postavljena oprema i metoda mjerenja zadovoljava potrebe. Na slici 3, dan je grafički prikaz ukupnih vrijednosti protoka dobivenih zbrajanjem protoka sva tri mjerača i elektrovodljivosti izmjerene na dnu i na površini tijekom 2018. godine. Na grafičkom prikazu je vidljivo da se vrijednosti elektrovodljivosti kreću od 0,74 do 2640 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na površini, a od 0,74 do čak 80100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na dnu korita. Prema Priručniku o temeljnoj kakvoći vode u Hrvatskoj (Dadić, 2003), kod boćatih voda elektrovodljivost je viša od 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a kod morske vode prelazi 50000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Švonja, 2018.). Na grafičkom prikazu je vidljivo da su se od svibnja do listopada vrijednosti elektrovodljivosti izmjerene na dnu kretale oko 40000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, što odgovara salinitetu 37 PSU (pri 10 °C) te ukazuje na prisutnost morske vode. Povećana elektrovodljivost na površini ukazuje na prisutnost boćate vode, što upućuje na činjenicu da se razdjelnica između slane i slatke vode nalazi vrlo blizu površine. U navedenom razdoblju, od svibnja do listopada 2018. godine, ukupna razina vode na postaji Metković vrlo jasno prati promjene razine mora zabilježene na ušću Male Neretve (od 2880 h do 6480 h na slici 1).

Velike vode se na Neretvi obično javljaju od studenog do travnja, a male vode od svibnja do listopada. Uzvodni dotok je ovisan o upravljanju postojećim hidro-energetskim sustavom s pet izgrađenih akumulacija u gornjem i srednjem toku Neretve na području BiH. Nakon izgradnje hidroelektrana, na Neretvi ne postoji više prirodni režim malih voda već se nizvodno ispušta kontrolirani minimalni protok iz HE Mostar. Kako je hidrološka postaja Metković-Neretva sastavni dio državne hidrološke mreže, motivacija ovog istraživanja bila je provesti proračun dnevnih protoka u svim režimima kao i definirati godišnje količine slatke vode koja Neretvom utječe u more. S tim u vezi posebna pažnja je usmjerena na analizu malih voda i proračun protoka u ljetnim mjesecima, budući da baš tada dolazi do značajnog prodiranje slane vode sve do Metkovića (slika 3). Metodom proračuna protoka za uslojeno tečenje dvaju fluida različite gustoće, moglo bi se utvrditi minimalni protok Neretve koji bi garantirao potiskivanje slane vode prema ušću, budući da je pitanje zaslanjivanja od velikog interesa za cijelu Neretvansku dolinu.

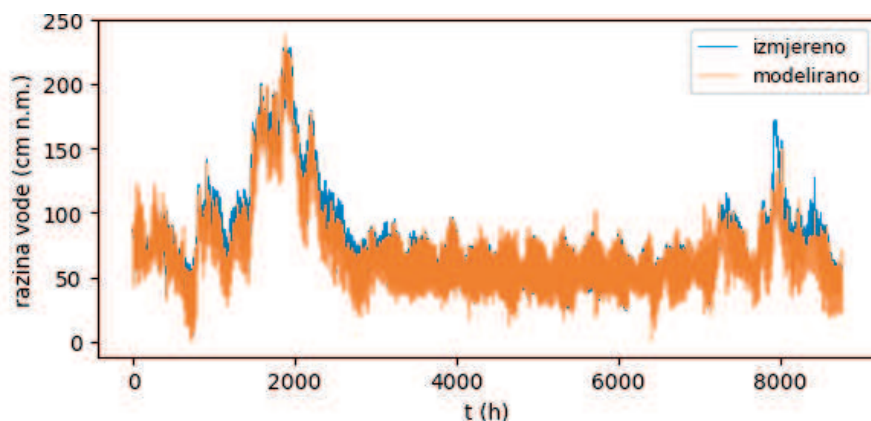
3. OPIS NUMERIČKOG MODELA

Kako bi se potvrdile pretpostavke o prisutnosti slane vode i njihovom utjecaju na ukupnu razinu vode na postaji Metković, provedene su preliminarne simulacije pomoću odgovarajućeg numeričkog modela. U tu svrhu, proračun debljine sloja slatke i slane vode te protoka u svakom od slojeva proveden je numeričkim modelom STREAM 1D kojim se definira dvoslojno tečenje fluida različite gustoće u uslojenim uvjetima karakterističnima za riječna ušća (Krvavica et al., 2016., 2017.). Model se temelji na metodi konačnih volumena te je prethodno detaljno validiran na ušću Rječine, za stacionarne i nestacionarne uvjete toka (Krvavica et al., 2016., 2017.).

Proračun je proveden za razdoblje od 1. siječnja do 31. prosinca 2018. godine. Prostorna

domena modela obuhvaća 30 km uzvodno od ušća u Jadransko more. Geometrija korita Neretve opisana je realnim nagibom dna korita te pravokutnim poprečnim presjekom korita konstantne širine 90 m. Domena je podijeljena na 150 ćelija, s prostornim korakom $\Delta x=200$ m, uz promjenjiv vremenski korak koji zadovoljava uobičajeni uvjet stabilnosti definiran s $CFL = 0.8$. Relativna gustoća zadana je s vrijednosti $r=0.975$ ($\rho_1=1000$ kg/m³, $\rho_2=1026$ kg/m³).

Sumarni protoci izmjereni fiksni horizontalnim ADCP uređajima u profilu mosta u Metkoviću (HP Metković – Neretva) korišteni su kao gornji rubni uvjet modela (slika 1). Razine mora izmjerene na HP Ustava ušće nizvodno - Mala Neretva zadane su na nizvodnom rubnom uvjetu (slika 1). Kako bi se odredili mjerodavni koeficijenti trenja između fluida i korita, provedena je kalibracija modela usporedbom ukupnih razine vode s izmjerenim vrijednostima na HP Metković – Neretva. Na temelju zabilježenih satnih vrijednosti protoka i vodostaja u razdoblju 2015. - 2018. godine, kao i rezultatima pojedinačnih vodomjerenja iz razdoblja 2004. - 2018. (slika 2), određen je dogovarajući Manningov koeficijent hrapavosti u iznosu od $n=0.03$ s/m^{1/3}. Posmično naprezanje između slojeva slane i slatke vode je opisano koeficijentom trenja f_i . Preliminarnom kalibracijom, s obzirom na prethodno poznate duljine prodora morske vode (slanog klina), određeno je da navedeni koeficijent ovisi o protoku Neretve te je zadan izrazom $f_i = 8e-7Q + 7e-4$. Rezultat kalibracije modela, odnosno usporedba izračunatih i izmjerenih razina vode na postaji HP Metković – Neretva za 2018. godinu prikazana je na slici 4.

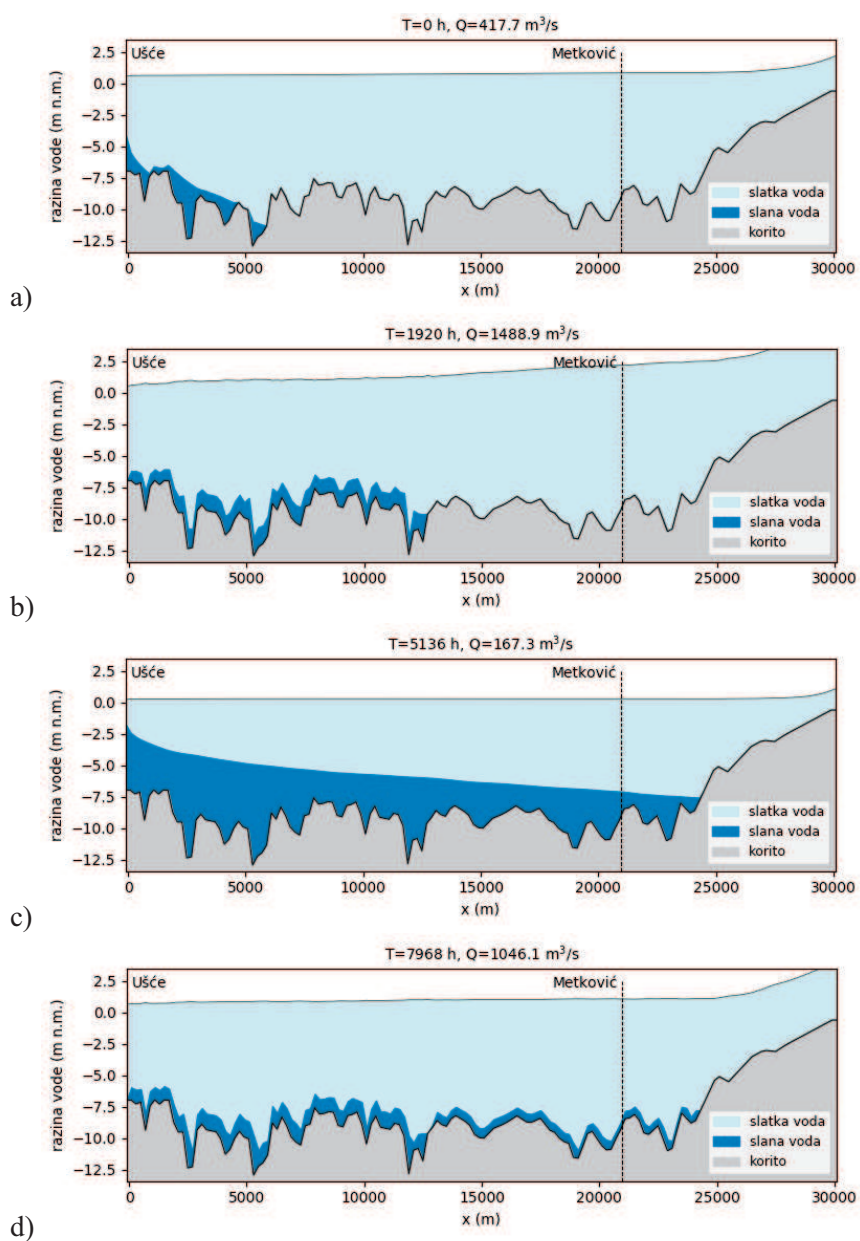


Slika 4. Usporedba izmjerene i simulirane razine vode na HP Metković – Neretva za 2018. godinu

3.1. Rezultati

Rezultati numeričkog modela omogućuju uvid u dinamiku slanog klina, odnosno u promjene debljine slojeva slane i slatke vode, kao i protoke u svakom od navedenih slojeva. Iako je vremenski korak modela svega nekoliko sekundi, rezultati su zabilježeni svakih sat vremena. Ispis rezultata dan je obliku excel datoteke koja sadrži: srednje dnevne, maksimalne i minimalne satne vrijednosti za odabranu lokaciju, u ovom slučaju

HP Metković – Neretva udaljenu 21 km od ušća. Na slici 5 prikazano je nekoliko karakterističnih rezultata u vidu uzdužnog presjeka korita Neretve s proračunatim oblikom slanog klina (debljinom sloja slane i slatke vode).

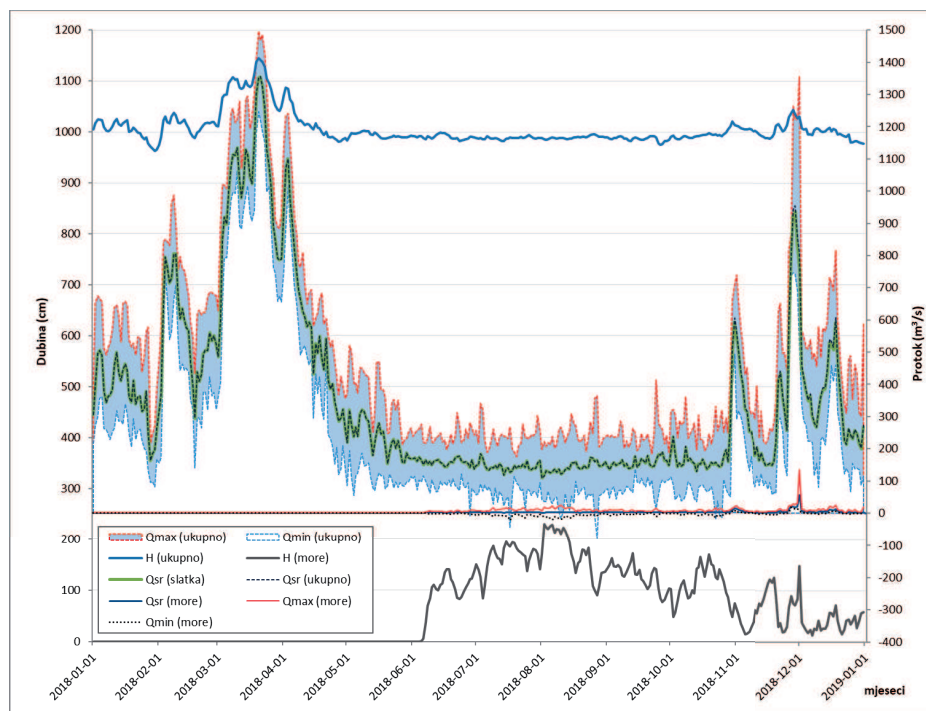


Slika 5. Rezultati numeričkog modela: Uzdužni presjek Neretve u različitim vremenima tijekom 2018. godine: a) $T_1=1.1.$, b) $T_2=21.3.$, c) $T_3=2.8.$, d) $T_4=28.11.$

Na slici 5 dani su uzdužni presjeci korita Neretve za četiri različita trenutka:

- T_1 - na dan 1.1.2018. ($T=0$ h) pri protoku $Q=417,7$ m³/s, gdje je vidljivo da slani klin prodire samo do udaljenosti od 5 km od ušća;
- T_2 - na dan 21.3.2018. ($T=1920$ h) pri vrhu vodnog vala sa maksimalnim protokom $Q=1488,9$ m³/s, gdje Neretva potiskuje slani klin te se morska voda nalazi samo u tankom sloju pri dnu korita, ali i do 13 km od ušća, što je posljedica prethodno duljeg prodora slanog klina;
- T_3 - na dan 2.8.2018. ($T=5136$ h) pri malom protoku od $Q=167,3$ m³/s, gdje slani klin prodire u korito sve do uzvodno od Metkovića;
- T_4 - na dan 28.11.2018. ($T=7968$ h) gdje ponovo povećani protok Neretve od $Q=1046,1,4$ m³/s istiskuje slani klin iz korita, ali je morska voda prisutna u tankom sloju pri dnu, sve do Metkovića.

Na slici 6 su prikazani preliminarni rezultati proračuna za 2018. godinu kako bi se prikazalo kakve se vrijednosti protoka i razina slane vode mogu očekivati. Primjećuje se kako je početkom prosinca zabilježen izraženiji pozitivni protok u donjem sloju ($Q>100$ m³/s), označen sa oznakom Q_{max} (more), a koji može imati znatan utjecaj na nepreciznost procjene protoka Neretve iz ADCP mjerenja. Naime, računalni algoritam implementiran u ADCP uređajima protoke računa iz raspodjele brzine vode izmjerenih po cijeloj površini poprečnog presjeka korita.



Slika 6. Prikaz debljine slojeva slane i slatke vode i pripadajućih protoka Neretve u profilu Metković za 2018. godinu (Q – protok, H – razina vode, sr – srednje, max – maksimalno, min – minimalno)

ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir da su brzine ispod mosta u Metkoviću pri malim dotocima izrazito male, a poprečni presjek dosta velik, vrlo se teško mjeračima protoka može definirati mala voda na takvim profilima. Također, na površinske brzine određeni utjecaj ima i vjetar, kojeg ne treba zanemariti pogotovo kod malih protoka.

Radarsko mjerenje površinskih brzina dalo bi možda bolje rezultate, ali je tu pitanje mjerodavnih vrijednosti. Naime, metoda određivanja protoka iz površinskih brzina temelji se na vertikalnom profilu brzina koji je lako predvidljiv za tečenje jednog sloja vode (uz poznat koeficijent trenja). Međutim, za dvoslojno tečenje, vertikalni profil brzina ovisi o posmičnom naprežanju na razdjelnici te intenzitetu miješanja između dva sloja slane i slatke vode te bi pretpostavke u tom slučaju išle u smjeru prevelikog pojednostavljenja.

Prvi korak u definiranju preciznijeg vertikalnog profila saliniteta svakako bi trebao biti ugradnja vertikalne letve sa CTD uređajima za mjerenje elektrovodljivosti, postavljenim na različite visine kako bi se dobio vertikalni profil saliniteta. To bi se nadalje moglo nadograditi s vertikalnim ADCP uređajem, koji bi se postavio na dno i na taj način izmjerio vertikalni profil brzina. U kombinaciji s horizontalnim ADCP uređajem, mogao bi se uz određeni trud izraditi jednostavni algoritam za proračun protoka.

Numerički modeli dvoslojnog tečenja dva fluida različitih gustoća, poput STREAM 1D prikazanog u ovom radu, također mogu biti koristan element metodologije izračuna malih voda na ušćima priobalnih rijeka. S time da se model obavezno mora kalibrirati nakon provedenih mjerenja dubine slanog klina pri nekoliko različitih protoka i razina mora. Nakon kalibracije, ovakvi modeli mogu poslužiti i za prognozu očekivanih događaja, posebno kod ekstremnih vrijednosti malih voda te izrazito visokih razina mora, koje se mogu sve češće očekivati u budućnosti.

LITERATURA

- [1] Dadić, Ž. (2003). *Priručnik o temeljnoj kakvoći vode u Hrvatskoj*. Zagreb, Hrvatski zavod za javno zdravstvo.
- [2] Krvavica, N., Travaš, V., & Ožanić, N. (2016). Salt-Wedge Response to Variable River Flow and Sea-Level Rise in the Microtidal Rječina River Estuary, Croatia. *Journal of Coastal Research*, 33(4), 802-814.
- [3] Krvavica, N. (2016). *One-dimensional numerical model for layered shallow water flow in highly stratified estuaries*, Doktorski rad. Rijeka: Građevinski fakultet, 2016.
- [4] Krvavica, N., Kožar, I., Travaš, V., i Ožanić, N. (2017). Numerical modelling of two-layer shallow water flow in microtidal salt-wedge estuaries: Finite volume solver and field validation. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 65(1), 49-59.
- [5] Švonja, M., (2018) Mjerač protoka na rijeci Neretvi u Metkoviću, Znanstveno-stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem „Hidrologija u službi zaštite i korištenja voda te smanjenja poplavnih rizika - Suvremeni trendovi i pristupi“, Brele, 18. - 20. listopada 2018., Zbornik radova str. 301-304.
- [6] Izvor podataka: *HIS 2000*, Baza hidroloških podataka, DHMZ, Hrvatske vode

AUTORI

dr. sc. Dijana Oskoruš ^a

doc. dr. sc. Nino Krvavica ^b

mr. sc. Mirjana Švonja ^c

^a Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10000, Hrvatska,
oskorus@cirus.dhz.hr

^b Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000,
Hrvatska, nino.krvavica@uniri.hr;

^c Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska,
smirjana@voda.hr



R 1.33.

SUSTAV OCJENE EKOLOŠKOG STANJA VELIKIH RIJEKA TEMELJEM MAKROZOOBENTOSA

Zlatko Mihaljević, Gorazd Urbanič, Ivančica Ternje

SAŽETAK: Sustav ocjene ekološkog stanja velikih rijeka Republike Hrvatske temeljem makrozoobentosa bazira se na dva modula: saprobnost (određivanje utjecaja opterećenja rijeka organskim tvarima) te opća degradacija. Modul opća degradacija uzima u obzir različita opterećenja (hidromorfološka degradacija, hranjive tvari, korištenje zemljišta u slivu – engl. *CORINE Land Cover* i dr.). Konačnu ocjena ekološkog stanja temeljem makrozoobentosa određuje onaj modul koji ukazuje na lošije stanje. Hidromorfološke promjene su prepoznate kao jedan od najznačajnijih opterećenja u velikim rijekama. Modul opće degradacije temeljem makrozoobentosa razvijen je na temelju baze podataka koja uključuje 44 postaje na vrlo velikim rijekama; Muri, Dravi i Savi. Istraživačke postaje uključuju one s minimalnim antropogenim utjecajem te one sa značajnim utjecajem (postaje unutar riječnih akumulacija). Budući da je jasno definiran hidromorfološki gradijent, bilo je moguće utvrditi vezu između bioloških i hidromorfoloških pokazatelja unutar gradijenta. Razvijen multimetrički indeks opće degradacije uključuje dvije metrike koje su pokazivale visoku Spearmanovu korelaciju s hidromorfološkim gradijentom: ALP (100 %) – udio svojti koje preferiraju akal+lital+psamal supstrat i RFI_{VR} – indeks riječne faune velikih rijeka. Sustav ocjene uspješno je interkalibriran tijekom postupka interkalibracije metoda razvijenih za velike rijeke u državama članicama EU.

KLJUČNE RIJEČI: velike rijeke, makrozoobentos, ekološko stanje

ECOLOGICAL STATUS ASSESMENT SYSTEM FOR LARGE RIVERS BASED ON MACROZOOBENTHOS

ABSTRACT: The Croatian ecological status assesment system for large rivers based on macrozoobenthos is based on two modules: saprobity (assessment of organic enrichment impact on rivers) and general degradation. The general degradation module covers different stressors (hydromorphological degradation, nutrients, land use in a river basin - *CORINE Land Cover*, etc.). The final ecological status assessment based on macrozoobenthos is determined by the module indicating a worse status. Hydromorphological changes have been recognized as one of the most significant pressures in large rivers. The general degradation module based on macrozoobenthos has been developed from a database that includes data from 44 stations on very large rivers – the Mura, Drava and Sava Rivers,

which comprise of those with a minimum anthropogenic impact and those with a significant one (stations within river reservoirs). Since the hydromorphological gradient was clearly defined, it was possible to establish a link between the biological and hydromorphological indices within the gradient. The multimetric index for assessing general degradation was developed, consisting of two metrics showing a high Spearman correlation with the hydromorphological gradient: the ALP (100 %) – a proportion of taxa preferring akal + lithal + psammal substrate and the RFI_{VR} – River fauna index for large rivers. The assessment system was successfully intercalibrated during the process of intercalibration of methods developed for large rivers in EU Member States.

KEYWORDS: large rivers, macrozoobenthos, ecological status

1. UVOD

Fizikalno-kemijska te hidrološka i morfološka obilježja slatkih voda imaju krucijalan utjecaj na biološka zajednice, te se krajem prošlog stoljeća u znanstvenim krugovima zagovara integralan pristup u ocjenjivanju kakvoće vode. Stoga u SAD-u u započinje ocjenjivanja tzv. ekološkog integriteta (Barbour i drugi, 1999), a u Europi se uvodi i primjenjuje Okvirna direktiva o vodama (ODV) Europske unije (EU, 2000) te se uvodi ocjena ekološkog stanja temeljem bioloških elemenata kakvoće: makrozoobentosa, fitobentosa, makrofita, riba i fitoplanktona. Za donošenje odluka u vodnom gospodarstvu od neobične je važnosti za svaki biološki element identificirati pojedine indekse (metrike) temeljem sastava i strukture zajednica te biološke indikatore koji odgovaraju na antropogene utjecaje na predvidljiv način. Klasifikacija ekološkog stanja treba se temeljiti na funkcionalnim vezama između opterećenja i odziva bioloških zajednica.

Klasifikacijski sustav ocjene ekološkog stanja u Hrvatskoj je propisan Uredbom o standardu kakvoće voda iz 2013. godine. Pema Uredbi za ocjenu ekološkog stanja vrlo velikih rijeka (tipovi 5b i 5c; Sava, Drava i Mura) na temelju makrozoobentosa potrebno je izračunati dva modula: saprobnost (određivanje utjecaja opterećenja rijeka organskim tvarima) te opća degradacija (određivanje utjecaja ukupnih antropogenih promjena). Konačnu ocjena ekološkog stanja temeljem makrozoobentosa određuje onaj modul koji ukazuje na lošije stanje. Modul opća degradacija uzima u obzir različita opterećenja (hidromorfološka degradacija, hranjive tvari, korištenje zemljišta u slivu – engl. *CORINE Land Cover* i dr.), te se primarno bazira se na statističkoj analizi utvrđivanja veze između zajednice makrozoobentosa i pritisaka. Modul saprobnost izračunava se temeljem slijedećih indeksa: hrvatski saprobni indeks (SIHR), ukupan broj svojti (UBS), udio oligosaprobnih indikatora (OSI %) i BMWP bodovni indeks (BMWP). Modul opća degradacija izračunava se temeljem slijedećih indeksa: Shannon-Wiener indeks raznolikosti (H), Udio svojti koje preferiraju šljunkoviti, valutičasti i pjeskoviti tip supstrata (ALP %), Udio pobirača/sakupljača (P/S %) i Indeks biocenotičkog područja (IBR). Navedeni indeksi nisu bili testirani na pojedine stresore te su se bazirali na ekspertnoj procjeni.

U ovom radu predlažu se metrike koje pokazuju direktnu vezu s pritiscima, a posebice hidromorfološkim gradijentom, jer su hidromorfološke promjene prepoznate kao jedan od najznačajnijih opterećenja u velikim rijekama.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I METODE RADA

Sustav ocjene ekološkog stanja velikih rijeka testiran je temeljem baze podataka o sastavu i strukturi makrozoobentosa s 44 postaje na vrlo velikim rijekama; Muri, Dravi i Savi (veličina sliva > 10000 km²) (Slika 1). Podatci su preuzeti iz slijedećih izvora: Urbanič, 2009; 2011; 2014, Urbanič i drugi, 2013 i Mihaljević i drugi, 2011. Uzorci su prikupljeni u razdoblju od 2006. – 2012., frekvencijom jednom godišnje, ali su neke postaje uzorkovane višekratno tijekom navedenog razdoblja. Uzorkovana su sva raspoloživa mikrostaništa (engl. *multi-habitat sampling*) na pojedinoj mjernoj postaji, pri čemu se prikupljalo 20 poduzoraka raspoređenih razmjerno udjelu mikrostanišnih tipova. Detaljni opisi uzorkovanja i obrade uzoraka opisani su u Mihaljević i drugi, 2011 i Urbanič, 2014.



Slika 1. Položaj istraživanih postaja na Muri, Dravi i Savi.

Temeljem terenske ocjene riječnih staništa RHS (engl. *River Habitat Survey*) za sve 44 postaje te podataka o utjecaju brana (veličina brana i udaljenost od postaja uzorkovanja), dobiveni su hidromorfološki podatci koji su kvantificirani kroz pet hidromorfoloških indeksa (Tavzes i Urbanič, 2009; Urbanič, 2014):

- indeks kakvoće riječnih staništa (RHQ),
- indeks promijenjenosti riječnih staništa (RHM),
- indeks hidrološke promijenjenosti (HLM),
- indeks hidromorfološke promijenjenosti (HMM),
- indeks hidromorfološke kakvoće i promijenjenosti (HQM).

Indeks riječne faune za velike rijeke bio je izrađen temeljem podataka o sastavu i strukturi makrozoobentosa velikih rijeka (veličina sliva > 1000 km²) (Urbanič, 2014), uključujući i podatke s 44 postaje koji su korišteni u ovom radu. Za izračun indeksa riječne faune za velike rijeke (RFI_{VR}) koristimo slijedeću formulu:

$$RFI_{VRj} = \frac{\sum_{i=1}^n ac_i \times Rf_i \times HW_i}{\sum_{i=1}^n ac_i \times HW_i} \quad (1)$$

gdje je:

ac_i – razred brojnosti svojte i

Rf_i – vrijednost riječne faune svojte i

HW_i – hidromorfološka indikatorska težina svojte i

Hidromorfološke indikatorske vrijednosti odnosno vrijednosti riječne faune (Rf_i) bile su određene korištenjem vrijednosti svojti (*species scores*) prve CCA osi (engl. *biplot scaling*):

$$Rf_i = \frac{SC_CCA1_i}{SC_CCA1_{max}} \quad (2)$$

gdje je:

SC_CCA1_i - vrijednosti prve CCA osi svojte i ,

SC_CCA1_{max} – apsolutna maksimalna vrijednost svojti prve CCA osi.

Hidromorfološke indikatorske težine (HM_i) bile su određene temeljem tolerantnih vrijednosti svojti (engl. *root mean squared deviation for species*) prve CCA osi prema tablici 1.

Tablica 1. Način određivanja hidromorfološke težine (HM_i) pojedinih svojti temeljem tolerantnih vrijednosti svojti (*root mean squared deviation for species*) prve CCA osi

Tolerantna vrijednost (t_i)	HM_i
$t_i < 0.2$	5
$0.2 < t_i < 0.4$	4
$0.4 < t_i < 0.6$	3
$0.6 < t_i < 0.8$	2
$t_i > 0.8$	1

Vrijednosti za odabrane fizikalno-kemijske pokazatelje vode za 44 istraživane postaje preuzeti iz baze Hrvatskih voda te iz slijedećih izvora: Urbanič (2009, 2011, 2014) i Urbanič i sur. (2013).

Za zemljišni pokrov koristili smo podatke iz baze *CORINE land cover data 2007* (CLC 2007; European Environmental Agency; www.eea.europa.eu/). Prikupili smo podatke za pet parametra zemljišnog pokrova: prirodna i djelomično prirodna područja (CLC kategorije 3, 4 i 5), urbana područja (CLC razred 1), ekstenzivna poljoprivreda (CLC kategorije 2.3.1, 2.4.3, 2.4.4) i intenzivna poljoprivreda (CLC kategorije 2.1, 2.2, 2.4.1 i 2.4.2).

Za statističke analize korišteni su statistički paketi SPSS 21.0 (SPSS Inc., 2012) i Canoco 5 (Ter Braak i Šmilauer, 2013).

3. REZULTATI I RASPRAVA

U analiziranim uzorcima makrozoobentosa u Muri, Dravi i Savi ukupno su zabilježene 263 svojte. Od svih zabilježenih svojti, deset pripada kategoriji stranih vrsta. U uzorcima su se najčešće pojavljivali predstavnici maločetinaša (*Oligochaeta*) iz porodice Tubificidae (bez nitastih četina), hironomidne ličinke iz porodice Orthocladiinae te plemena Chironomini i predstavnik rakušaca *Gammarus fossarum*. Temeljem podataka o sastavu i strukturi zajednice makrozoobentosa pomoću računalnog programa ASTERICS izračunat je niz metrika koje su korelirane (Spearmanove korelacije) s pojedinim pritiscima (korištenje zemljišta u slivu, odabrani fizikalno-kemijski pokazatelji, hidromorfološki indeksi). Dodatno je testirana je i metrika „Indeks riječne faune velikih rijeka“ (RFI_{VR}), koja je razvijena prema Urbanič, 2014. Metrike ALP (100 %) i RFI_{VR} pokazale su najbolje statistički značajne korelacije sa hidromorfološkim parametrima (Spearmanova korelacija > 0,6), te su navedene i ugrađene u novi multimetrički indeks opće degradacije koji se izračunava se prema sljedećoj formuli:

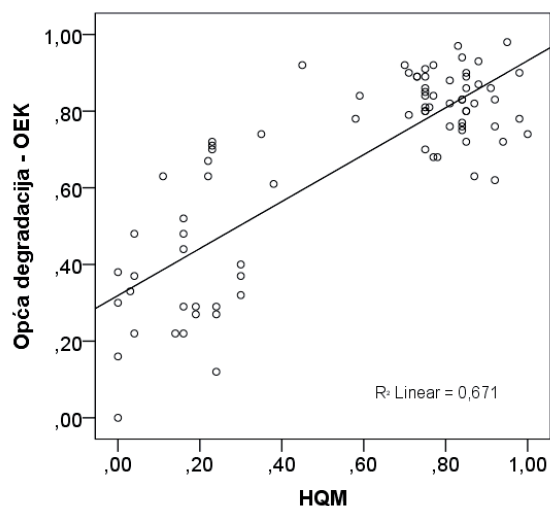
$$MMI_{OpDeg} = \frac{ALP(100\%) + RFI_{VR}}{2} \quad (3)$$

gdje je :

ALP(100%) – udio svojti koje preferiraju akal+lital+psamal supstrat

RFI_{VR} – indeks riječne faune velikih rijeka

Dobro objašnjen odnos ($R^2 = 0,67$) između indeksa HQM i MMI_{OpDeg} prikazan je na slici 2.



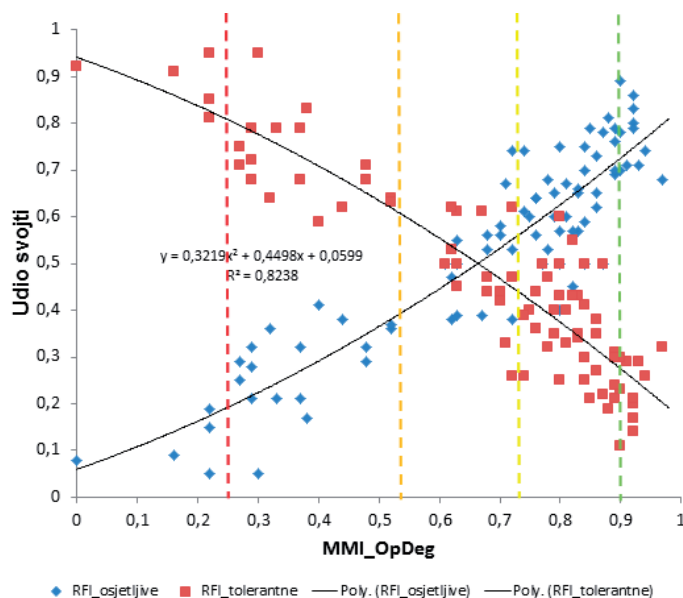
Slika 2. Odnos između indeksa hidromorfološke kakvoće i promijenjenosti (HQM) i omjera ekološke kakvoće (OEK) temeljem novog indeksa opće degradacije

Iako ODV preporuča korištenje i metrika iz skupine bogatstva/raznolikosti, za navedenu se nismo odlučili iz razloga što niti jedna metrika iz navedene skupine nije pokazivala zadovoljavajuću korelaciju s hidromorfološkin gradijentom. Sa sličnim problemom susreću se i drugi autori prilikom istraživanja veze između makrozoobentosa i pritisaka (Feld i drugi, 2014, Urbanič, 2014). Dobre i statistički značajne korelacije utvrđene su između metrika koje grade multimetrički indeks opće degradacije te pojedinih parametara zemljišnog pokrova i pojedinih fizikalno-kemijskih parametara. No, ipak su međusobni odnosi bili suprotni od očekivanih. Tako je npr. odnos između MMI_{OpDeg} i prirodnog zemljišnog pokrova negativan, što drugim riječima znači, da kod najboljeg ekološkog stanja bilježimo najmanji udio prirodnog zemljišnog pokrova. Slični odnos je utvrđen i između MMI_{OpDeg} i pojedinih fizikalno-kemijskih parametara (elektrovodljivost, KPK, ukupan dušik, ortofosfat; Spermanova korelacija $\geq 0,5$, $p < 0,01$). Navedeno ukazuje, da je od svih testiranih pritisaka, hidromorfološki pritisak dominantan. Gradijenti opterećenja ostalih grupa pritisaka su znatno manji od hidromorfološkog gradijenta, zbog čega je i njihov utjecaj na zajednicu očekivano manji. Za metrike uključene u MMI indeks određene su referentne i najlošije vrijednosti za dva tipa vrlo velikih rijeka (HR-R_5B i HR-R_5C) (Tablica 2). Za indeks riječne faune velikih rijeka određene su jednake referentne vrijednosti kao i jednake najlošije vrijednosti. Navedeni riječni tipovi međusobno se razlikuju u referentnoj vrijednosti indeksa ALP (100 %), koja je za tip HR-R_5B nešto veća.

Tablica 2. Referentne vrijednosti i najlošije vrijednosti za odabrane metrike novog indeksa opće degradacije za tipove HR-R_5B i HR-R_5C uz korištenu statističku metodu. (ALP_100% - udio svojti koje preferiraju akal+lital+psamal supstrat, RFIVR - indeks riječne faune za velike rijeke, HR-R_5B - nizinske vrlo velike tekućice – donji tok Mure i srednji tok Save i Drave, HR-R_5C - nizinske vrlo velike tekućice - donji tok Save i Drave, N – broj podataka

Granica	Tip rijeke	Metoda	N	Tip_ALP_100%	RFI _{VR}
Referentna vrijednost	HR-R_5B	95ti/5ti percentil – HM razred 1	24	99	-0,16
	HR-R_5C	maksimum – HM razred 1	5	81	-0,16
Najlošija vrijednost	HR-R_5B	minimum – svi podatci	86	8	0,46
	HR-R_5C	minimum – svi podatci	86	8	0,46

Granice između kategorija ekološkog stanja određene su na osnovu promjena u zajednici makrozoobentosa (odnosa osjetljivih i tolerantnih svojti) temeljem MMI_{OpDeg} (Slika 3). Granica vrlo dobro/dobro postavljena je na mjesto gdje se je počeo smanjivati udio osjetljivih svojti. Na mjesto gdje je udio osjetljivih i tolerantnih svojti izjednačen postavljena je granica dobro/umjereno.



Slika 3. Određivanje granica između kategorija ekološkog stanja na temelju raspodjele osjetljivih i tolerantnih svojiti uzduž gradijenata indeksa opće degradacije (MMI_OpDeg)

U tablici 3 prikazane su granične vrijednosti kategorija ekološkog stanja temeljem indeksa opće degradacije. Radi ujednačavanja raspona vrijednosti ekološkog stanja, načinjena je transformacija prema postupku opisanom u tablici 4.

Tablica 3. Granične vrijednosti kategorija ekološkog stanja temeljem indeksa opće degradacije (MMI_Opdeg) prije i poslije transformacije

Granica	Omjer ekološke kakvoće	Omjer ekološke kakvoće - transformiran
vrlo dobro/dobro	0.90	0.80
dobro/umjereno	0.71	0.60
umjereno/loše	0.53	0.40
loše/vrlo loše	0.23	0.20

Tablica 4. Formule za transformaciju vrijednosti novog indeksa opće degradacije ovisno od vrijednosti indeksa

Ekološko stanje	MMI _{OpDeg}	Transformiran MMI _{OpDeg}
vrlo dobro	≥0,90	$0,8 + 0,2 * (\text{MMI}_{\text{OpDeg}} - 0,90)/(1,00 - 0,90)$
dobro	0,71 - 0,89	$0,6 + 0,2 * (\text{MMI}_{\text{OpDeg}} - 0,71)/(0,90 - 0,71)$
umijeren	0,53 - 0,70	$0,4 + 0,2 * (\text{MMI}_{\text{OpDeg}} - 0,53)/(0,71 - 0,53)$
loše	0,23 - 0,53	$0,2 + 0,2 * (\text{MMI}_{\text{OpDeg}} - 0,23)/(0,53 - 0,23)$
vrlo loše	0,00 - 0,22	$0,2 * (\text{MMI}_{\text{OpDeg}})/(0,23)$

Također preporučamo za potrebe modula saprobnost korištenje isključivo indeksa saprobnosti (IS), jer su drugi indeksi koji se koriste u navedenom modulu (Uredba o standardu kakvoće voda, 2013) redundantni.

ZAKLJUČAK

Multimetrički indeks opće degradacije bazira se na dvije metrike ALP (100 %) i RFI_{VR}, te pokazuje dobar odnos s pojedinim fizikalno-kemijskim pokazateljima (elektrovodljivost, KPK, ukupan dušik, ortofosfat). No, najbolje i statistički značajne korelacije multimetrički indeks opće degradacije pokazuje sa hidromorfološkim parametrima (Spearmanova korelacija > 0,6), što ukazuje da je u vrlo velikim rijekama Republike Hrvatske hidromorfološki pritisak dominantan. Budući da je sustav ocjene, koji se bazira na prethodno navedenim metrikama uspješno interkalibriran tijekom postupka interkalibracije metoda razvijenih za velike rijeke u državama članicama EU, predlažemo da se novi multimetrički indeks za vrlo velike rijeke ugradi u Uredbu o standardu kakvoće voda.

LITERATURA

- [1] European Environment Agency, (2007): *CLC 2006 Technical Guidelines*, 66 str.
- [2] Europska komisija (Official Journal of European Communities), 2000. *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy—EU Water Framework Directive (WFD)*.
- [3] Feld, CK, de Bello, F, Doledec S, (2014): *Biodiversity of traits and species both show weak responses to hydromorphological alteration in lowland river macroinvertebrates*. *Freshwater Biology* 59: 233-248.
- [4] Mihaljević, Z, i drugi, (2011): *Testiranje bioloških metoda ocjene ekološkog stanja (Okvirna direktiva o vodama, 2000/60/EC) u reprezentativnim slivovima Panonske i Dinaridske ekoregije, (Knjiga I)*. Elaborat, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu Zagreb.
- [5] Tavzes, B, Urbanič, G, (2009): *New indices for assessment of hydromorphological alteration of rivers and their evaluation with benthic invertebrate communities; Alpine case study*. *Review of Hydrobiology*, 2:133–161.

- [6] Ter Braak, CJF, Smilauer, P, (2012): *Canoco Reference Manual and User's Guide: Software for Ordination, Version 5.0*. Microcomputer Power, Ithaca, USA, 496 str.
- [7] Urbanič, G, (2009): *Razvoj metodologij za vrednotenje hidromorfološke spremenjenosti »velikih rek« v Sloveniji na podlagi bentoških nevretenčarjev*. Eko-voda, Zgornja Ščavnica, 68 str.
- [8] Urbanič, G, (2011): *Ecological status assessment of the rivers in Slovenia – an overview*. *Natura Sloveniae*, 13:5–16.
- [9] Urbanič, G, (2014): *Hydromorphological degradation impact on benthic invertebrates in large rivers in Slovenia*. *Hydrobiologia*, 729:191-207.
- [10] Urbanič, G, Mihaljević, Z, Petkovska, V, Pavlin Urbanič, M, Ivković, M, (2013): *Ocjena ekološkog stanja velikih rijeka temeljem makrozoobentosa te upravljanje usmjereno na hidromorfološke promjene*. Bilateralni projekt Hrvatska - Slovenija.
- [11] Uredba o standardu kakvoće voda, (2013): Narodne novine broj 73/2013.

AUTORI

prof. dr. sc. Zlatko Mihaljević ^a

izv. prof. dr. sc. Gorazd Urbanič ^b

prof. dr. sc. Ivančica Ternjej ^a

^a Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska, zlatko.mihaljevic@biol.pmf.hr, ivancica.ternjej@biol.pmf.hr

^b Selo pri Mirni 17, 8233 Mirna, Slovenija, gorazd.urbanic@gmail.com



R 1.34.

UPOTREBA STROJNOG UČENJA U MODELIRANJU VODENIH EKOSUSTAVA

Goran Volf

SAŽETAK: Značenje vode, uz energiju i hranu kao jednog od tri glavna sigurnosna pitanja zaštite i očuvanja okoliša koja su međusobno povezana pružaju brojne mogućnosti za upotrebu strojnog učenja na raznim problemima povezanim uz vodu, konkretno u ovom slučaju modeliranju vodenih ekosustava. Značajni tehnološki napredak u raznim područjima povezanih sa vodom donosi sa sobom i velike količine dostupnih podataka te samim time zahtjevi za određenim rješenjima i alatima za rad na tim problemima postaju sve izraženiji.

Numerički modeli imaju široku primjenu u poboljšanju i razumijevanju upravljanja vodenim (eko)sustavima. Međutim, takvi modeli često zahtijevaju značajne resurse za proračun, a često i određene podatke kojima bi se ograničila struktura i parametri modela. Samim time, modeli pogonjeni podacima (engl. „Data-Driven Models“) temeljeni su na tehnikama strojnog učenja te nastoje pružiti korisniku „mapiranje“ između ulaza i izlaza danog sustava, s malo prethodnog znanja o procesima unutar tog sustava, a sami modeli pojavili su se kao privlačna opcija za predviđanje i klasifikaciju vodenih (eko)sustava. Glavna prednost takvih modela je brzo vrijeme izvršavanja što omogućuje korisniku više evaluacija modela, te samim time ti modeli imaju široku primjenu u rješavanju različitih problema povezanih sa vodom, a pogotovo kod modeliranja vodenih (eko)sustava.

U ovom radu prikazat će se primjena dvije tehnike strojnog učenja koje su korištene za izradu modela vodenih ekosustava.

KLJUČNE RIJEČI: strojno učenje, vodni ekosustavi, ekološko modeliranje

USE OF MACHINE LEARNING IN MODELLING AQUATIC ECOSYSTEMS

ABSTRACT: The importance of water, in addition to energy and food, as one of the three major, interconnected safety concerns with regard to environmental protection and conservation provides numerous opportunities to use machine learning techniques on various water-related issues, specifically modelling aquatic ecosystems. Significant technological advances in various water-related areas have generated large amounts of available data and created increasingly pronounced demands for certain solutions and tools to work on these issues.

Numerical models have a wide application in improving and understanding the management of water (eco)systems. However, such models often require significant calculation resources, frequently including certain data to limit the structure and parameters of the model. Data-Driven Models are based on machine learning techniques and attempt to provide the user with the “mapping” between the inputs and outputs of a given system, with little prior knowledge of the processes within that system, thus these models emerged as an attractive option for predicting and classifying aquatic (eco) systems. The main advantage of such models is a fast execution time, allowing the user more model evaluations. For these reasons, the models are widely used in solving various water-related issues, particularly in the modelling of water (eco)systems.

This paper will present the application of two machine learning techniques used in the creation of aquatic ecosystem models.

KEYWORDS: machine learning, aquatic ecosystems, ecological modelling

1. UVOD

Cilj izrade modela je izraditi sustav koji će otkriti osnovne karakteristike sustava koji se promatra. Mogućnost simuliranja karakteristika sustava je važna kada je teško ili pak nemoguće sakupiti dovoljno podataka za promatrani sustav, ili pak kada je promatrani sustav toliko kompleksan da nije moguće mjeriti svaku njegovu značajku na odgovarajućoj skali.

Prilikom izrade ekoloških modela potrebno je uzeti u obzir dvije bitne značajke; 1) kvalitetu podataka koji nam pružaju značajne informacije o sustavu kojeg modeliramo, i 2) odabir arhitekture modela koji će biti pogodan za primjenjivanje na promatranom sustavu (Jeong i drugi, 2005). Prvu značajku je moguće lako savladati, pogotovo u današnje vrijeme kada se mogu koristiti uređaji sa visokom rezolucijom, odnosno druge inovativne metode i tehnologije koje omogućuju dobivanje podataka visoke kvalitete. Druga značajka je pak određena vrsta „limitirajućeg faktora” za izradu pouzdanog simulacijskog alata (Blanco i drugi, 2000). Kada pojedine tehnike simulacije uključuju i dobru sposobnost objašnjavanja i predviđanja, one mogu sadržavati i niz korisnih informacija o modeliranom (eko)sustavu. Ekosustav je jedan od najkompliciranijih sustava na svijetu (Odum, 1983), zbog toga što taj sustav sadrži raznolike funkcije prilagodbe, varijable stanja te njihove interakcije među njima koje mogu biti komplicirane.

Kako bi se mogla savladati kompleksnost koja se nalazi u podacima ekosustava, gledajući sa kvantificirajuće točke gledišta, preporuča se usvojiti odgovarajuće tehnologije kako bi se moglo baratati sa kompleksnošću podataka unutar ekosustava (Recknagel i drugi, 1997).

Strojno učenje omogućuje računalima da prikupljaju informacije empirijski iz danog skupa podataka, kao podskup umjetne inteligencije (Fielding 1999). Glavni cilj ekoloških modela je obično usmjeren na objašnjavanje dinamike sustava, kao i predviđanje ili otkrivanje uzoraka unutar samog sustava, tako da je otkrivanje informacija iz skupa podataka od velike važnosti i pomoći u tom pogledu. Strojno učenje razlikuje se od konvencionalnih tehnika koje se koriste za analizu skupova ekoloških podataka, kao što su statističke metode, te determinističke i stohastičke metode prema dva kriterija: 1) sposobnosti rješavanja ne-linearnosti, i 2) načinu „razmišljanja”. Prvi kriterij može

biti gledan uglavnom kao strojno učenje naspram statistike, a drugi je dan kao razlika konvencionalnih modela i modela strojnog učenja (Jeong i drugi, 2000).

U ovome radu prikazat će se dvije metode/tehnika strojnog učenja, koje su primijenjene na podacima mjerenim u sjevernom Jadranu.

2. METODE/TEHNIKE STROJNOG UČENJA

Strojno učenje koristi dvije vrste tehnika za izradu modela: 1) nadzirano učenje (engl. supervised), koje uči model na poznatim ulaznim i izlaznim podacima tako da može predvidjeti buduće izlaze, i 2) nenadzirano učenje (engl. unsupervised), koje pronalazi skrivene obrasce ili unutarnje strukture u ulaznim podacima (Witten i Frank, 2000).

Nadzirano strojno učenje gradi model koji vrši predviđanja koji se temelji na dokazima u prisutnosti neizvjesnosti. Nadzirani algoritam učenja uzima poznati skup ulaznih podataka i poznatih odgovora na podatke koji čine izlaz te uči model da generira razumna predviđanja kao odgovor na nove podatke. Nadzirano učenje se koristi kada imamo poznate podatke za izlaz koji pokušavamo predvidjeti (Witten i Frank, 2000).

Nadzirano učenje koristi tehnike klasifikacije i regresije za razvoj prediktivnih modela. Tehnike klasifikacije predviđaju diskretne odgovore - na primjer, da li je dan sunčan ili kišovit, ili da li je vjetar jak ili slab. Klasifikacijski modeli klasificiraju ulazne podatke u kategorije. Tipične primjene osim u ekološkim modelima, uključuju npr. i medicinsko snimanje, prepoznavanje govora ili kreditno ocjenjivanje. Tehnike klasifikacije se prema tome koriste ako se podaci mogu označiti, odnosno kategorizirati ili razdvojiti u određene skupine ili klase. Uobičajeni algoritmi za klasifikaciju uključuju „Support Vector Machines”, stabla odlučivanja, k-najbliži susjed, „Naive Bayes”, diskriminacijsku analizu, logističku regresiju i neuronske mreže (Witten i Frank, 2000).

Regresijske tehnike predviđaju kontinuirane odgovore, - na primjer, promjene temperature ili koncentracijama hranjivih tvari. Tipične primjene uključuju razna prognoziranja, kao što je npr. prognoza koncentracija klorofila-a. Regresijske tehnike se koriste ako se radi sa raznim rasponom podataka ili ako je priroda odgovora definirana kao stvarni broj, kao što je npr. temperatura, broj fitoplanktona ili vrijeme do početka cvjetanja mora. Uobičajeni regresijski algoritmi uključuju linearne modele, nelinearne modele, stupnjevitu regresiju, stabla odlučivanja, neuralne mreže i adaptivno „neuro-fuzzy” učenje (Witten i Frank, 2000).

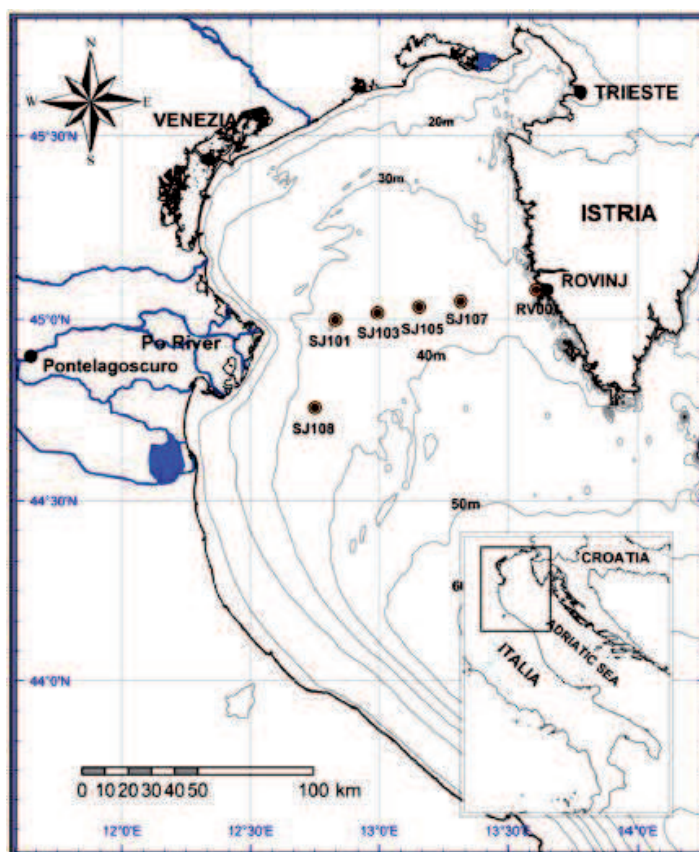
Nenadzirano učenje pronalazi skrivene obrasce ili unutarnje strukture u podacima. Koristi se uglavnom za prikazivanje zaključaka/skica iz skupova podataka koji se sastoje od ulaznih podataka ali bez označenih odgovora. Najčešća tehnika nenadziranog učenja je grupiranje. Nenadzirano učenje koristi se za analizu znanstvenih podataka kako bi se pronašli skriveni obrasci ili određena grupiranja podataka. Aplikacije za grupiranje uključuju analizu sekvenciranja gena, ili pak prepoznavanje objekata. Uobičajeni algoritmi za obavljanje klaster analiza uključuju „k-means”, hijerarhijske metode/grupiranje, „Gaussian Mixture”, skriveni Markov model, samoorganizirajuće mape i subtraktivno klasteriranje (Witten i Frank, 2000).

Odabir pravog algoritma može se činiti nedostižnim - naime, postoje desetine nadziranih i nenadziranih algoritama strojnog učenja, a svaki od njih ima drugačiji pristup učenju. Ne postoji najbolja metoda ili jedna veličina koja odgovara svima. Pronalaženje pravog algoritma djelomično je samo skup pokušaja i pogreška. Čak i iskusni stručnjaci za

podatke ne znaju hoće li algoritam funkcionirati bez da ga se isproba. No također, odabir algoritma ovisi i o veličini i vrsti podataka s kojima se radi, uvidima koje želite dobiti od podataka i načinu na koji će se ti uvidi koristiti.

3. UPOTREBA STROJNOG UČENJA U MODELIRANJU VODENIH EKOSUSTAVA - PRIMJER SJEVERNOG JADRANA

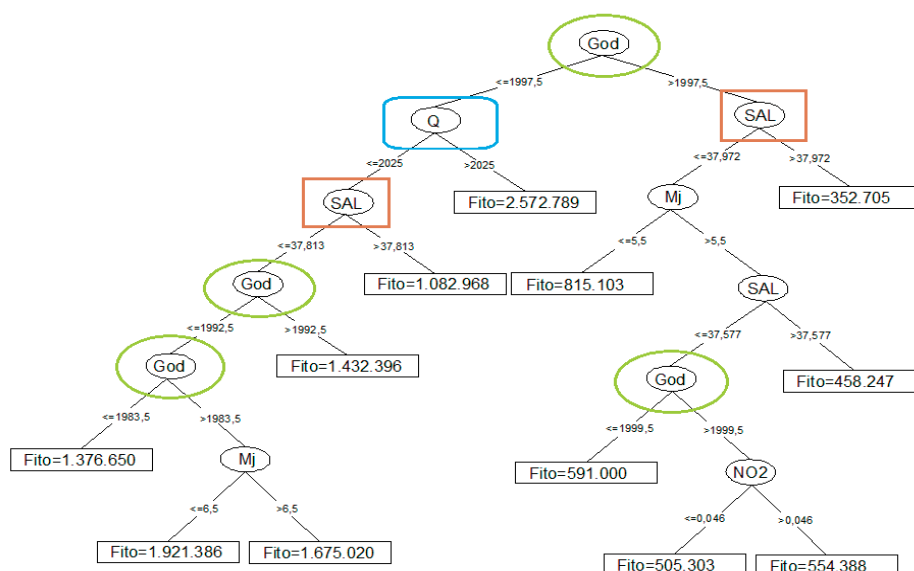
U nastavku će se prikazati dva modela koja su izrađena upotrebom alata strojnog učenja. Modeli su izrađeni na podacima koji su mjereni na šest mjernih postaja u sjevernom Jadranu u periodu 1972. do 2007. godine (Slika 1, podaci CIM Rovinj). Sjeverni Jadran pripada najproduktivnijem dijelu Sredozemnog mora uslijed ispuštanja hranjivih tvari rijekom Po. Kako bi se doprinjelo razumijevanju trenda eutrofikacije u sjevernom Jadranu, na podacima mjenim na šest postaja na profilu od delte rijeke Po (Italija) do Rovinja na zapadnoj obali Istre (Hrvatska) koji obuhvaćaju fizikalne, kemijske i biološke parametre upotrijebljene su tehnike strojnog učenja za konstrukciju modela (Volf i drugi, 2011).



Slika 1. Lokacija mjernih postaja u sjevernom Jadranu

3.1. Opisni model fitoplanktona

Za izradu modela upotrijebljen je algoritam strojnog učenja M5P za konstrukciju regresijskih stabala integriran u aplikaciji za strojno učenje pod nazivom Weka (Web 1). Za izradu modela korišteni su podaci sa mjernih postaja (Slika 1, podaci CIM Rovinj), koji su osrednjeni do dubine od 11 metara iznad termokline kao jedan sloj. Za izradu modela ukupni fitoplankton (Fito) postavljen je kao ciljana (zavisna) varijabla, dok su mjesec (Mj) i godina (God) sakupljanja podataka, protok rijeke Po (Q), temperatura (Temp), salinitet (SAL), gustoća (GUS), mjera kiselosti (pH), nitrat (NO_3), dušikov oksid (NO_2), amonijak (NH_4), te molarni omjeri ukupni anorganski dušik/ortofosfat (TIN/ PO_4) i ukupni anorganski dušik/ortosilikat (TIN/ SiO_4) postavljeni kao nezavisne varijable (deskriptori) preko kojih se modelira ukupni fitoplankton (Volf i drugi, 2011).



Slika 2. Opisni model fitoplanktona za postaju SJ107

Prikazani, odabrani model za postaju SJ107 (Slika 2) ukazuje na to da se tijekom 1998. godine dogodila značajna promjena u dinamici fitoplanktona. Koncentracije fitoplanktona prije 1998. bile su veće za 2 do 4 puta nego nakon te godine i to uglavnom zbog promjena u protocima rijeke Po. Izračunati granični protok u modelu za razdoblje prije 1998. godine iznosi $2.025 \text{ m}^3/\text{s}$. Veći protoci od granične vrijednosti podrazumijevaju veće koncentracije fitoplanktona. Međutim, u oba slučaja (prije i poslije 1998) salinitet je glavni pokazatelj koji ukazuje na promjene intruzije ulazanja slatke vode u područje, ali i većeg priljeva slaniye vode iz srednjeg Jadrana. Smanjenje ulaza hranjivih tvari rijekama zajedno sa ulazanjem slane vode utjecali su na niže koncentracije fitoplanktona nakon 1998. godine na području sjevernog Jadrana. Redukcije protoka rijeke Po postale su značajne tek nakon 2002. godine, s dosljednom oligotrofikacijom promatranog sustava (Mozetić i drugi, 2009). Promjene u 1993. i 2000. godini su teško objašnjive, ali se podudaraju s neobično velikim dotocima slatke vode u sjeverni Jadran u jesenskom razdoblju (Supić

i drugi, 2006). U listopadu 1993. godine protoci rijeke Po bili su znatno veći nego do tada zabilježeni mjesečni prosjeci gledajući sve mjesece od 1917. godine kada su počela mjerenja (CIM Rovinj, baza podataka). U 2000. godini, početkom i sredinom jeseni zabilježeno je znatno sniženje sadržaja kisika u pridnom sloju zapadnog, odnosno središnjeg dijela sjevernog Jadrana, kao posljedica povećane proizvodnje organske tvari prouzročene znatno povećanim donosima hranjivih tvari slatkim vodama, posebice rijekom Po. Ova je pojava bila posebno naglašena u drugom dijelu listopada i studenog kada su zabilježeni iznimno visoki protoci rijeke Po, a posljedica su katastrofalnih poplava u nizinama. U tim su uvjetima izmjerene izuzetno niske vrijednosti saliniteta, odnosno jako visoke koncentracije hranjivih tvari, kisika, ugljikohidrata i biomase fitoplanktona kakve do tada nisu bile ranije zabilježene u analiziranom području od 1972. godine (CIM Rovinj, baza podataka). Krajem studenog došlo je do pravovremene nadoknade kisika pri dnu te nije došlo do pojave anoksije. Neobična zabilježena stratifikacija nastavljena je i u prosincu, i to zbog prisutnosti gustog slatkovodnog površinskog sloja. Tada je također sadržaj kisika u pridnom sloju bio blizu zasićenja. Osim toga, promjene u 1984. godini najvjerojatnije su povezane sa smanjenjem sadržaja polifosfata u deterđentima što za posljedicu može imati izraziti pad spojeva fosfora u riječnim vodama (Provini i drugi, 1992).

Koeficijent korelacije za dobiveni model iznosi 0,6, te ima veliku opisnu moć promatranog sustava (Volf i drugi, 2011). Samim time, opisni model fitoplanktona otkriva obrasce te važne okolišne varijable za dinamiku fitoplanktona u analiziranom razdoblju. Model uspješno identificira neke od okidača promjene dinamike fitoplanktona potvrđivanjem hipoteza iz prethodnih istraživanja. Predstavljeni model u obliku regresijskih stabala nam također daje i vizualnu predodžbu analiziranih podataka.

3.2. Prediktivni model fitoplanktona

Eksperiment je usmjeren na izgradnju modela za predviđanje koncentracije fitoplanktona (Fito_pred) 14 dana unaprijed. Za ovaj zadatak koristio se alat strojnog učenja Cubist (Web 2), odnosno algoritam za izradu prediktivnih modela temeljenih na setu pravila. U ovom slučaju, deskriptori ili nezavisne varijable su protok (Q), mjesec (Mj), temperatura (Temp), salinitet (SAL), gustoća (GUS), mjera kiselosti (pH), nitrat (NO_3), dušikov oksid (NO_2), amonijak (NH_4) te molarni omjeri ukupni anorganski dušik/ortofosfat (TIN/ PO_4) i ukupni anorganski dušik/ortosilikat (TIN/ SiO_4) te ukupni fitoplankton (Fito) mjereni u vremenu t, dok koncentracija fitoplanktona u vremenu t+14 dana je ciljna ili zavisna varijabla (Fito_pred) (Volf i drugi, 2011). Podaci za izradu modela korišteni su sa mjernih postaja (Slika 1, podaci CIM Rovinj), koji su osrednjeni do dubine od 11 metara iznad termokline kao jedan sloj te interpolirani na dnevne vrijednosti (Volf i drugi, 2011).

Dobiveni model (Tablica 1), ima koeficijent korelacije 0,91 te daje točne koncentracije fitoplanktona 14 dana unaprijed, ispravno prognozirajući vršne vrijednosti, s obzirom na sadašnje vrijednosti pet varijabli koje se nalaze unutar dobivenog seta pravila. Kao takav, model se može koristiti kao sredstvo upozorenja u svrhu upravljanja vodama sjevernog Jadrana, ili može biti integriran u složenije modele sliva koji uključuju aktivnosti razgradnje hranjivih tvari. (Volf i drugi, 2011).

Tablica 1. Prediktivni model fitoplanktona

Br. pravila	Pravila:	Jednadžbe:
Pravilo 1	Fito \leq 804620.5	Fito_pred = 732300 + 0.917 Fito - 233140 GUS - 58205 Temp + 179186 SAL - 7782 Mj
Pravilo 2	Temp > 9.650951 Temp \leq 20.31074 Fito > 804620.5 Fito \leq 2807349	Fito_pred = 5.24147e+006 + 0.931 Fito - 84220 Temp - 57364 GUS - 199934 NO ₂ - 20263 NO ₃ - 7368 TIN/SiO ₄ + 29 Q - 368417 pH + 88810 NH ₄ + 19504 SAL
Pravilo 3	Temp > 20.31074 Fito > 804620.5	Fito_pred = -2.76291e+006 + 0.716 Fito + 359934 GUS + 103143 Temp + 135511 Mj - 256581 SAL - 1125 TIN/PO ₄ + 7567 TIN/Si O ₄
Pravilo 4	Temp \leq 9.650951 Fito > 804620.5 Fito \leq 2807349	Fito_pred = -6.68528e+006 + 0.87 Fito - 390486 GUS + 386746 SAL - 80868 Temp + 218220 NH ₄ - 852 TIN/PO ₄ + 21132 NO ₃ - 12263 Mj + 559168 pH
Pravilo 5	TIN/PO ₄ \leq 62.3532 Fito > 2807349	Fito_pred = 1.16131e+007 + 0.664 Fito - 141666 Temp - 6625 TIN/PO ₄ - 147108 NO ₃ - 97863 GUS + 406748 NO ₂ + 17884 TIN/SiO ₄ - 660243 pH + 87424 NH ₄
Pravilo 6	Mj > 4 TIN/PO ₄ > 62.3532 Fito > 2807349 Fito \leq 1.13562e+007	Fito_pred = 7.14367e+007 - 1.18988e+006 Temp - 3.28797e+006 GUS + 2.00528e+006 SAL + 0.831 Fito - 4.86272e+006 NO ₂ - 278807 Mj + 2.30991e+006 NH ₄ - 258224 NO ₃ - 55637 TIN/SiO ₄ - 4.16418e+006 pH + 2917 TIN/PO ₄ - 57 Q
Pravilo 7	Temp \leq 12.28349 NH ₄ \leq 0.3163107 TIN/PO ₄ > 62.3532 Fito > 2807349	Fito_pred = 3.97828e+007 + 8.67119e+006 GUS + 1.92162e+006 Temp - 5.92294e+006 SAL - 8.71454e+006 NH ₄ + 797894 NO ₃ + 1566 Q + 0.8 Fito - 1.05622e+007 pH - 10620 TIN/PO ₄ + 2.05592e+006 NO ₂
Pravilo 8	Temp \leq 12.28349 NH ₄ > 0.3163107 TIN/PO ₄ > 62.3532 Fito > 2807349	Fito_pred = 1.26724e+008 - 3.25732e+007 GUS - 7.30295e+006 Temp + 2.64069e+007 SAL - 7.87193e+006 NO ₂ + 0.78 Fito + 610748 NO ₃ - 1.16366e+007 pH - 2.89067e+006 NH ₄
Pravilo 9	Mj \leq 4 Temp > 12.28349 TIN/PO ₄ > 62.3532 Fito > 2807349	Fito_pred = 1.3374e+008 + 4.30887e+006 GUS - 4.10462e+006 SAL + 1.756 Fito - 815924 NO ₃ - 4.89689e+006 NO ₂ - 1.19144e+007 pH - 4543 Temp
Pravilo 10	Mj > 4 TIN/PO ₄ > 62.3532 Fito > 1.13562e+007	Fito_pred = -4.05262e+008 - 4.50557e+006 Temp + 19140 Q + 5.66287e+007 pH - 1.05564e+007 NH ₄ + 36997 TIN/SiO ₄

ZAKLJUČAK

Metode strojnog učenja nude širok raspon tehnika koje su trenutno dostupne individualnim korisnicima/istraživačima, a koje su prikladne za složene skupove podataka koji dolaze iz područja ekologije ili općenito znanosti o zemlji. Te metode imaju potencijal poboljšati kvalitetu znanstvenog istraživanja pružanjem boljih i točnijih modela te ubrzanjem napretka u znanosti povećanjem razumijevanja vodenih (eko)sustava i popunjavanjem nedostataka u podacima. Primjena ovih metoda u domeni ekologije i općenito znanosti o zemlji mora se povećati ako se želi vidjeti njihova korist. Usvajanje ovih metoda se može promicati kroz interdisciplinarnu suradnju, povećanu komunikaciju i financijsku potporu za istraživanje strojnog učenja.

U prikazanim primjerima primijenjene su dvije tehnike strojnog učenja na dugoročnim izmjerenim podacima na sjevernom Jadranu kako bi se izradio opisni model za dinamiku koncentracije fitoplanktona te konstruirao prediktivni model za koncentraciju fitoplanktona. Opisni model fitoplanktona, otkriva obrasce i važne okolišne varijable koji su utjecali na dinamiku fitoplanktona u razdoblju od 1972 do 2007. Model uspješno identificira neke od okidača promjene dinamike fitoplanktona potvrđivanjem hipoteza iz prethodnih istraživanja. Prediktivni model, daje točna predviđanja koncentracije fitoplanktona 14 dana unaprijed točno predviđajući vršne vrijednosti koncentracije fitoplanktona u usporedbi s izmjerenim podaci. Kao takav, može se učinkovito koristiti za potrebe upravljanja vodama, npr kao dodatak za predviđanje koncentracije fitoplanktona za modele sliva koji simuliraju hranjiva i koncentracije u vodenom okolišu.

Novija provedena istraživanja koja koriste metode strojnog učenja u modeliranju vodenih ekosustava mogu se naći u Effrosynidis i drugi (2018), Mori i drugi (2019), Shen i drugi (2019), Volf i drugi (2015, 2018), Valbi i drugi (2019).

Metode strojnog učenja nisu uvijek odgovor na sve probleme, a u nekim slučajevima prikladniji su tradicionalni statistički pristupi ili klasični numerčki modeli, pa samim time, ove metode treba koristiti diskretno.

ZAHVALA

Ovaj rad je financiralo Sveučilište u Rijeci projektom broj 17.06.2.1.02 “Međudjelovanje mora i rijeka u kontekstu klimatskih promjena” i uniri-tehnic-18-129 “Održivo upravljanje riječnim slivom implementacijom inovativnih metodologija, pristupa i alata”. Autor se također želi zahvaliti i djelatnicima Centra za istraživanje mora u Rovinju koji su doprinjeli prikupljanju, analizi i interpretaciji mjerenih podataka.

LITERATURA

- [1] Blanco, A, Delgado, M, Pegalajar, MC, (2000): *A genetic algorithm to obtain the optimal recurrent neural network*, Internation Jouran of Approximate Reasoning, 23, 67-83.
- [2] Fielding, AH, (1999): *An introduction to machine learning methods*, In AH, Fielding (ed.), *Machine learning methods for ecological applications*, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 1-35.
- [3] Effrosynidis, D, Arampatzis, A Sylaios, G, (2018): *Seagrass detection in the*

- mediterranean: a supervised learning approach*, Ecological Informatics, 48, 158-170.
- [4] Jeong, K-S, Dong-Kyun, K, Tae-Soo, C, Gea-Jae, J, (2005): *Machine learning application to the Korean freshwater ecosystems*, Korean Journal of Ecology, 28(6), 405-415.
- [5] Mori, N, Debeljak, B, Škerjanec, M, i drugi, (2019): *Modelling the effects of multiple stressors on respiration and microbial biomass in the hyporheic zone using decision trees*, Water Research, 9-20.
- [6] Mozetič, P, Solidoro, C, Cossarini, G, Socal, G, Precali, R, France, J, Bianchi, F, De Vittor, C, Smodlaka, N, Fonda Umani, S, (2009): *Recent trends towards oligotrophication of the northern Adriatic: evidence from chlorophyll a time series*, Estuaries and Coasts 33, 362–375.
- [7] Odum, EP, (1983): *Basic Ecology*, Saunders College Publishing, Florida, 613.
- [8] Provinci, A, Crosa, G, Marchetti, R, (1992): *Nutrient export from the Po and Adige river basins over the last 20 years*, In: RA, Vollenweider, R, Marchetti, R, Viviani (ed.), International Conference on Marine Coastal Eutrophication, Science of the Total Environment. Bologna, Italy, 21-24 March, 1990, 291-313.
- [9] Recknagel, F, French, M, Harkonen, P, Yabunaka, KI, (1997): *Artificial neural network approach for modelling and prediction of algal bloom*, Ecological Modelling, 96, 11-28.
- [10] Shen, J, Qin, Q, Wang, Y, Sission, M, (2019): *A data-driven modeling approach for simulating algal blooms in the tidal freshwater of James River in response to riverine nutrient loading*, Ecological Modelling, 398, 44-54.
- [11] Supić, N, Đakovac, T, Krajcar, V, Kuzmić, M, Precali, R, (2006): *Effects of excessive Po River discharges in the northern Adriatic*, Fresenius Environmental Bulletin 15(3), 193-199.
- [12] Valbi, E, Ricci, F, Capellacci, S i drugi, (2019): *A model predicting the PSP toxic dinoflagellate Alexandrium minutum occurrence in the coastal waters of the NW Adriatic Sea*, Scientific Reports 9(1), 4166.
- [13] Volf, G, Atanasova, N, Kompare, B, Precali, R, Ožanić, N, (2011): *Descriptive and prediction models of phytoplankton in the northern Adriatic*, Ecological Modelling, 222, 2502-2511.
- [14] Volf, G, Atanasova, N, Kompare, B, Precali, r, Ožanić, N, (2015): *Study of the impact of TIN/PO4 ratio on mucilage formation in the northern Adriatic using regression trees*, Acta Adriatica, 56(2), 207-222
- [15] Volf, G, atanasova, N, Škerjanec, M, Ožanić, N, (2018): *Hybrid modeling approach for the northern Adriatic watershed management*, Science of the total Environment, 635, 353-363.
- [16] Web adresa 1: Weka, <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>, (12.1.2019.)
- [17] Web adresa 2: Cubist, <https://www.rulequest.com/cubist-info.html>, (13.1.2019)
- [18] Witten, IH, Frank, E, (2000): *Data maining*, Academic Press, San Diego, 371.

AUTOR

doc. dr. sc. Goran Volf^a

^a Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska,
goran.volf@uniri.hr



R 1.35.

POPIS PRAĆENJA

Neven Bujas, Jasmina Antolić, Đorđa Medić

SAŽETAK: Popis praćenja sadrži popis tvari ili skupina tvari koje nisu u sustavnom monitoringu površinskih voda niti su predmet kontrole ispuštanja unutar važećih propisa, tako da o njihovoj pojavi i mogućim štetnim učincima u vodenom okolišu nema puno podataka. Uspostavljanje mehanizma kontrole i kvantifikacije mogućeg štetnog učinka kemijskih tvari koje dospijevaju u okoliš, a koriste se i nastaju prilikom obavljanja ljudskih djelatnosti, osnovni je razlog donošenja Popisa praćenja. Osnova donošenja Popisa praćenja relevantnog za sve države članice Europske Zajednice je Direktiva o prioritetnim tvarima u području vodne politike (2013/39/EZ). Popis se revidira svake dvije godine. Prvi Popis praćenja (engl. naziv „*watch list*“) Europska komisija je prihvatila 2015. godine, a sadržavao je 17 tvari koje do tada nisu bile ispitivane u sustavnom monitoringu površinskih voda. Drugi Popis praćenja prihvaćen je 2018. godine, a uključuje 15 tvari.

KLJUČNE RIJEČI: prioritetne tvari, monitoring površinskih voda, popis praćenja

WATCH LIST

ABSTRACT: The Watch List contains a list of substances or groups of substances that are neither within regular monitoring of surface waters nor subject to control of discharges under current regulations, therefore there is not much data on their occurrence and possible adverse effects on the aquatic environment. Establishing mechanisms of control and quantification of potential adverse effects of chemical substances entering the environment that are used and generated by human activities is the main reason for adopting the Watch List. The basis for adoption of the Watch List relevant for all EU Member States is the Directive 2013/39/EC as regards priority substances in the field of water policy. The list is revised every two years. The first Watch list was adopted by the European Commission in 2015 and it contained 17 substances that were not subject to regular surface water monitoring prior to that time. The second Watch List, adopted in 2018, contains 15 substances.

KEYWORDS: priority substances, surface water monitoring, watch list

1. UVOD

Obveza Europske komisije (EK) je preispitivanje popisa prioritetnih tvari i pripadajućih standarda kakvoće vodnog okoliša (SKVO) svakih šest godina. Ovaj proces podrazumijeva značajan napor i opsežna savjetovanja sa stručnim službama Komisije, državama članicama, dionicima i Znanstvenim odborom za procjenu rizika za zdravlje ljudi i okoliš. U procesu izrade i donošenja Direktive 2013/39/EZ, EK je prepoznala potrebu za novim mehanizmom kojim bi se Komisiji osigurale ciljane, visokokvalitetne informacije o praćenju koncentracije tvari u vodnom okolišu, s time da bi se posebna pažnja posvetila novim onečišćujućim tvarima i tvarima za koje ne postoje podaci o praćenju koji su dovoljno kvalitetni za potrebe procjene rizika.

Novi mehanizam trebao bi olakšati prikupljanje podataka monitoringa brojnih riječnih slivova država članica Europske Zajednice (EZ) te nadopunjavati podatke o praćenju iz programa monitoringa koji se provode temeljem članaka 5. i 8. Direktive 2000/60 EZ i podatke iz ostalih pouzdanih izvora. Kako bi se troškovi praćenja zadržali na prihvatljivoj razini, mehanizam bi se trebao usmjeriti na ograničeni broj tvari koje bi se privremeno uključile na popis praćenja i to na ograničenom broju postaja praćenja. Istovremeno, odabir lokacija i tvari koje bi se pratile trebao bi pružiti reprezentativne podatke koji su prikladni za potrebe postupka utvrđivanja prioritetnih tvari za područje cijele EZ. Popis bi trebao biti dinamičan, a njegov rok trajanja trebao bi biti ograničen, kako bi se mogao prilagoditi novim informacijama o mogućim rizicima koje predstavljaju nove onečišćujuće tvari i kako bi se izbjeglo praćenje tvari duže nego što je to potrebno.

2. PRVI POPIS PRAĆENJA

Slijedom navedenog, Direktiva 2013/39 EZ uvodi tzv. popis praćenja (engl. naziv „watch list“), koji treba sadržavati najviše 10 tvari ili skupina tvari, a utvrđuje ga EK. Na popis se uvrštavaju tvari koje nisu u sustavnom monitoringu niti su predmet dosadašnjih propisa, tako da o njihovoj pojavi i učincima u vodenom okolišu nema puno podataka. Uvažavajući troškove monitoringa, ograničeni broj tvari privremeno je uključen (2-3 godine) na popis praćenja na ograničenom broju monitoring postaja svake države članice u svrhu dobivanja reprezentativnih podataka. Popis će se redovno nadopunjavati sa svrhom dobivanja uvida u potencijalni rizik određene onečišćujuće tvari ili skupina tvari za vodeni okoliš. Propisi o SKVO i obustavi ispuštanja ne bi se odnosili na ove tvari, već bi ovakav ograničeni monitoring služio upotpunjavanju znanja o prisutnim onečišćujućim tvarima što bi doprinijelo daljnjem postupku revizije liste prioritetnih tvari.

U ožujku 2015. godine EK donosi *Provedbenu odluku o utvrđivanju popisa praćenja za tvari za koje je potrebno praćenje diljem EZ u području vodne politike u skladu s Direktivom 2008/105/EZ (2015/495)* kojom se utvrđuje prvi popis praćenja tvari ili skupina tvari na razini EZ. Ova Odluka je izravno primjenjiva u svim državama članicama te je u cijelosti obvezujuća i bez prenošenja u nacionalno zakonodavstvo. EK je Odlukom utvrdila prvi popis praćenja na kojem se nalazi 10 tvari ili skupina tvari, medij za praćenje, metode ekstrakcije i analize, kao i maksimalne prihvatljive granice detekcije korištene metode. Za provedbu monitoringa u dijelu analiza tvari s popisa praćenja nije obvezno udovoljavanje tehničkim zahtjevima koje su definirane sukladno zahtjevu Direktive 2009/90/EZ o tehničkim specifikacijama za kemijsku analizu i monitoring stanja voda,

što predstavlja donekle ublažene kriterije za provedbu analiza. Granice detekcije metoda za analizu tvari s popisa praćenja trebaju odgovarati barem vrijednosti specifične PNEC¹ vrijednosti te tvari u određenom mediju (voda, sediment, biota). Također, sve tvari je potrebno ispitivati iz nefiltriranog uzorka kako bi se osigurala usporedivost dobivenih analiza na području cijele EU. Preporuka je da se 2-etilheksil 4-metoksicinamat osim toga ispituje i u uzorcima suspendirane tvari ili sedimenta zbog tendencije raspodjele u čvrstoj fazi.

Inicijalni popis tvari kandidata za prvi popis praćenja sadržavao je 43 tvari, a nakon provjere temeljem kriterija zadovoljavajuće dostupnosti podataka iz monitoringa (tj. ako su dostupni kvalitetni podaci iz monitoringa barem četiri države članice), na popisu je ostalo 27 tvari za koje nisu postojali podaci iz monitoringa.

U konačni popis praćenja uvršteno je osam tvari i dvije skupine tvari. Skupina neonikotinoidea uključuje tri tvari za koje već postoje ograničenja korištenja, a uvrštene su u popis zbog značajnog rizika koji predstavljaju za pčele. U skupinu neonikotinoidea dodane su još dvije tvari (tiakloprid i acetamiprid) čija analiza ne predstavlja dodatno opterećenje jer se koristi ista analitička metoda, a također mogu predstavljati rizik za okoliš. Također, zbog sličnog ponašanja u okolišu i korištenja istovrsne analitičke metode, kao skupina tvari su uvršteni i makrolidni antibiotici, a skupinu čine azitromicin, eritromicin i klaritromicin.

Tablica 1. Prvi popis praćenja (Provedbena odluka 2015/495)

Tvar ili grupa tvari	CAS broj (1)	EU broj (2)	Indikativna analitička metoda (3) (4) (5)	Maksimalna prihvatljiva granica detekcije metode (ng/l)
Diklofenak	15307-86-5	239-348-5	SPE – LC-MS-MS	10
17-Beta-estradiol (E2), Estrone (E1)	50-28-2, 53-16-7	200-023-8	SPE – LC-MS-MS	0,4
17-Alfa-etinilestradiol (EE2)	57-63-6	200-342-2	Large volume SPE – LC-MS-MS	0,035
Oksadiazon	19666-30-9	243-215-7	LLE/SPE – GC-MS	88
Tri-alati	2303-17-5	218-962-7	LLE/SPE – GC-MS ili LC-MS-MS	670
Metiokarb	2032-65-7	217-991-2	SPE – LC-MS-MS ili GC-MS	10
2,6-diterc-butil-4-metilfenol	128-37-0	204-881-4	SPE – GC-MS	3160

1 PNEC - Predviđena koncentracija bez učinka (engl. Predicted No Effect Concentrations)

Tvar ili grupa tvari	CAS broj (1)	EU broj (2)	Indikativna analitička metoda (3) (4) (5)	Maksimalna prihvatljiva granica detekcije metode (ng/l)
Makrolidni antibiotici (6)	-	-	SPE – LC-MS-MS	90
Neonikotinoidi (7)	-	-	SPE – LC-MS-MS	9
2-Etilheksil -metoksicinamat	5466-77-3		SLE – GC-MS-MS	6000

(1) Chemical Abstract Service

(2) European Union broj – nije dodijeljen svakoj tvari

(3) U svrhu osiguranja usporedivosti rezultata iz svih država članica, sve tvari se ispituju iz nefiltriranog uzorka

(4) Metode ekstrakcije: LLE – ekstrakcija tekuće-tekuće, SPE – ekstrakcija na krutoj fazi. Analitičke metode: GC-MS – plinska kromatografija-masena spektrometrija, LC-MS-MS – tekućinska kromatografija – tandemna trostruka četverostruka masena spektrometrija

(5) Pri monitoringu 2-etilheksil 4-metoksicinamata u suspendiranoj tvari ili sedimentu (veličine <63 µm), preporuča se korištenje metode SPE-GC-MS, uz maksimalnu granicu detekcije 0,2 mg/kg.

(6) Eritromicin (CAS broj 114-07-8, EU broj 204-040-1), klaritromicin (CAS broj 81103-11-9) i azitromicin (CAS broj 83905-01-5, EU broj 617-500-5)

(7) Imidaklopid (CAS broj 105827-78-9/138261-41-3, EU broj 428-040-8), tiaklopid (CAS broj 111988-49-9), tiametoksam (CAS broj 153719-23-4, EU broj 428-650-4), klotianidin (CAS broj 210880-92-5, EU broj 433-460-1) i acetamiprid (CAS broj 135410-20-7/160430-64-8).

3. PRVI POPIS PRAĆENJA – IZVJEŠĆE EK

Nakon dvije godine praćenja pokazatelja s prvog Popisa praćenja, EK je izradila Izvješće u kojem je dan pregled prikupljenih podataka i preporuke za dugi popis praćenja. Navedeno Izvješće sadržava podatke monitoringa provedenog prema Prvom popisu praćenja u 25 država članica koje su dostavile podatke za 35.848 uzoraka površinskih voda. Velika većina podataka odnosi se na uzorke voda riječnih slivova (98,3 %), dok se mali broj podataka odnosi na jezera (1,2 %) i prijelazne i priobalne vode (0,5 %). Temeljem tog Izvještaja zaključeno je da postoje dovoljno kvalitetni podaci o praćenju tvari tri-alata, oksadiazon, 2,6-diterc-butil-4-metilfenol i diklofenak te da bi te tvari trebalo ukloniti s popisa praćenja, dok su za potpuniju interpretaciju drugih pokazatelja potrebne dodatne informacije o načinu izbora reprezentativnih lokacija uzorkovanja te vrsti pritisaka.

4. DRUGI POPIS PRAĆENJA

Pri preispitivanju Prvog Popisa praćenja Komisija je utvrdila nove ekotoksikološke informacije o makrolidnim antibioticima klaritromicinu i azitromicinu, metiokarbu te na temelju toga povećala vrijednosti koncentracije bez učinka (PNEC), dok za tvari iz skupine neonikotinoidea: imidaklopridu, tiaklopridu i tiametoksamu smanjila vrijednosti koncentracije bez učinka (PNEC).

U lipnju 2018. godine EK donosi *Provedbenu odluku (2018/840) Komisije o utvrđivanju popisa praćenja za tvari za koje je potrebno praćenje diljem Unije u području vodne politike u skladu s Direktivom 2008/105/EZ Europskog parlamenta i Vijeća i stavljanju izvan snage Provedbene odluke Komisije (EU) 2015/495*, (Tablica 2), kojom uspostavlja Drugi popis praćenja koji uključuje 15 tvari.

Tri-alati, oksadiazon, 2,6-diterc-butil-4-metilfenol i diklofenak su uklonjeni s Prvog Popisa praćenja, a dodani su insekticid metaflumizon i dva antibiotika (amoksicilin i ciprofloksacin). Makrolidni antibiotik (azitromicin) i dva neonikotinoidea (imidakloprid i tiametoksan) sa prvog Popisa praćenja su zadržani.

Tablica 2. Drugi popis praćenja

Tvar ili grupa tvari	CAS broj ⁽¹⁾	EU broj ⁽²⁾	Indikativna analitička metoda ⁽³⁾⁽⁴⁾	Maksimalna prihvatljiva granica detekcije metode (ng/l)
17-Alfa-etinilestradiol (EE2)	57-63-6	200-342-2	Large volume SPE – LC-MS-MS	0,035
17-Beta-estradiol (E2), Estrone (E1)	50-28-2, 53-16-7	200-023-8	SPE – LC-MS-MS	0,4
Makrolidni antibiotici ⁽⁵⁾	-	-	SPE – LC-MS-MS	19
Metiokarb	2032-65-7	217-991-2	SPE – LC-MS-MS ili GC-MS	2
Neonikotinoidei ⁽⁶⁾	-	-	SPE – LC-MS-MS	8,3
Metaflumizon	139968-49-3	604-167-6	LLE-LC-MS-MS ili SPE-LC-MS-MS	65
Amoksicilin	26787-78-0	248-003-8	SPE – LC-MS-MS	78
Ciprofloksacin	85721-33-1	617-751-0	SPE – LC-MS-MS	89

- 1 Chemical Abstract Service
- 2 European Union broj – nije dodijeljen svakoj tvari
- 3 U svrhu osiguranja usporedivosti rezultata iz svih država članica, sve tvari se ispituju u cjelovitim uzorcima vode
- 4 Metode ekstrakcije: LLE – ekstrakcija tekuće-tekuće, SPE – ekstrakcija na krutoj fazi. Analitičke metode: GC-MS – plinska kromatografija-masena spektrometrija, LC-MS-MS – tekućinska kromatografija – tandemna trostruka četverostruka masena spektrometrija
- 5 Eritromicin (CAS broj 114-07-8, EU broj 204-040-1), klaritromicin (CAS broj 81103-11-9) i azitromicin (CAS broj 83905-01-5, EU broj 617-500-5)
- 6 Imidaklopid (CAS broj 105827-78-9/138261-41-3, EU broj 428-040-8), tiaklopid (CAS broj 111988-49-9), tiametoksam (CAS broj 153719-23-4, EU broj 428-650-4), klotianidin (CAS broj 210880-92-5, EU broj 433-460-1) i acetamiprid (CAS broj 135410-20-7/160430-64-8).

ZAKLJUČAK

Pojava velikog broja kemijskih tvari u okolišu koje se koriste i nastaju prilikom obavljanja ljudskih djelatnosti rezultira njihovim emisijama u vodni okoliš, čime se potencijalno ugrožava stanište vodenih organizama, a posredno i ljudsko zdravlje. Upravo taj štetni učinak je bez adekvatnih ispitivanja nemoguće kvantificirati, a posljedično se javlja poteškoća pri kontroli emisija takvih tvari u vode. Redovne revizije liste prioriternih tvari u području vodne politike EU nužno zahtijevaju povećanje baze znanja o štetnim učincima novih onečišćujućih tvari koje se u određenim količinama emitiraju u okoliš, ali i poznavanje njihove rasprostranjenosti i mehanizama razgradnje i depozicije u vodnom okolišu. Upravo stoga je uvođenje popisa praćenja tvari u vodnom okolišu za koje postoje saznanja o potencijalnoj opasnosti za živi svijet, značajan iskorak u smjeru proširivanja saznanja o mogućoj potrebi uvođenja sustavnog ispitivanja ali i poduzimanja mjera za ograničenje njihovog ispuštanja. Pri tome donosioci odluka na razini EU svakako trebaju ocijeniti i mogućnosti provedbe rutinskih analiza tvari s ovog i svih budućih popisa praćenja, bez stvaranja dodatnih financijskih i/ili tehničkih zahtjeva državama članicama. Analitički postupci kojima se ispituje prisustvo i koncentracija ovih tvari u vodenom okolišu tehnički su vrlo zahtjevni i skupi, što predstavlja značajan stručni i financijski napor za laboratorije koji ih planiraju primjenjivati, posebice ukoliko se radi o ispitivanju manjeg broja uzoraka.

LITERATURA

- [1] Carvalho et al., (2015): *Development of the 1st Watch List under the Environmental Quality Standards Directive*, Office of the European Union, Luxembourg.
- [2] European Commission (2011): *CIS Guidance Document No 27: Technical Guidance for Deriving Environmental Quality Standards*
- [3] Loos.R (2015): *Analytical methods for possible WFD 1st watch list substances*, Office of the European Union, Luxembourg
- [4] Robert Loos, Dimitar Marinov, Isabella Sanseverino, Dorota Napierska and Teresa

Lettieri, *Review of the 1st Watch List under the Water Framework Directive and recommendations for the 2nd Watch List, EUR 29173 EN*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-81839-4, doi:10.2760/614367, JRC111198

AUTORI

mr. sc. Neven Bujas, dipl. ing. kem. teh. ^a

Jasmina Antolić, dipl. ing. preh. teh. ^b

Đorđa Medić ^c, dipl. ing. kem.

^a Hrvatske vode, Glavni vodnogospodarski laboratorij, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, neven.bujas@voda.hr

^b Hrvatske vode, Sektor zaštite voda, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, jasmina.antolic@voda.hr

^c Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, dmedic@voda.hr



R 1.36.

ESTROGENI SPOJEVI U POVRŠINSKOJ VODI

Siniša Repec, Draženka Stipaničev

SAŽETAK: Osjetljiva metoda ultra visoko djelotvorne tekućinske kromatografija sa spregnutom spektrometrijom masa razvijena je za određivanje tri steroida (estron (E1), 17- β -estradiol (E2), 17- α -etinil estradiol (EE2)) u uzorcima površinskih voda. Granice kvantifikacije za tri steroida bile su kako slijedi 0,000995, 0,000053 and 0,000012 $\mu\text{g/L}$. Ova metoda razvijena je za određivanje rezidualnih steroida u površinskoj vodi rijeke Save. Dva analita E2 i EE2 detektirana su u uzorcima površinske vode sa stopom detekcije od 33,8 % i 30,8 %. Rezultati su pokazali varijabilnost u koncentracijama E2 i EE2, dok E1 nije otkriven ni na jednoj od postaja za uzorkovanje. Različite koncentracije odabranih estrogenih spojeva mogu biti povezane s prirodom i izvorima ispuštanja, nedosljednostima u raspodjeli analita uslijed dinamike protoka i fizikalno-kemijskih svojstava vode rijeke Save.

KLJUČNE RIJEČI: UHPLC-MS-MS, ciljna analiza, rijeka Sava, estrogeni spojevi

ESTROGENIC COMPOUNDS IN SURFACE WATERS

ABSTRACT: A sensitive liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UHPLC-MS/MS) method was developed for the determination of 3 steroids (estrone (E1), 17- β -estradiol (E2), 17- α -ethynyl estradiol (EE2)) in surface water samples. The quantification detection limits for the 3 analytes in surface water samples were 0.000995, 0.000053 and 0.000012 $\mu\text{g/L}$, respectively. This method was implemented in determining the residual steroidal hormones in the surface waters of the Sava River. Two analytes, E2 and EE2, were detected in surface water samples with detection rates of 33.8% and 30.8%. The results revealed a variability in the concentrations of E2 and EE2 whereas E1 was not detected at any sampling station. The varied concentrations of selected estrogenic compounds may be connected with the nature and sources of release, inconsistencies in the analyte distribution due to the discharge dynamics and physical and chemical properties of the Sava water.

KEYWORDS: UHPLC-MS-MS, target analysis, Sava River, estrogenic compounds

1. UVOD

Estrogeni su biološki aktivni hormoni važni za funkcioniranje tijela jer koordiniraju i reguliraju aktivnost velikog broja organa i tkiva, djeluju na metabolizam i na reproduktivni sustav, a nastaju u kori nadbubrežne žlijezde, testisima, ovarijima i posteljici kod ljudi i životinja. Osim u ljudi i životinja, estrogeni spojevi nađeni su i u biljkama (Hamid i Eskicioglu, 2012; Ying i drugi, 2002).

Najpotentniji od prirodnih estrogena je 17- β -estradiol koji se sintetizira i izlučuje u ranim fazama embriogeneze te ima aktivnu ulogu u normalnom razvoju ženskih spolnih organa (European Commission Opinion, 1999). Nedostatak estrogena može biti uzrok mnogih poremećaja tijekom puberteta (MacGillivray i drugi, 1998), kao i u kasnijoj fazi života zbog poteškoća vezanih uz menopauzu i osteoporozu (Lee i drugi, 2008). U liječenju bolesti ovisnih o estrogenima koriste se prirodne i sintetske estrogene tvari, pa su tako primjerice estrogeni uključeni u mnoge oralne kontraceptive. U nekim je zemljama odobreno koristiti hormonalne estrogene spojeve za tov životinja.

Steroidni estrogeni dijele se na prirodne i sintetske koji imaju estrogenu aktivnost. Prirodni estrogeni postoje u tijelu kralježnjaka, a porijeklo sintetskih su lijekovi, pesticidi i surfaktanti (Hanselman i drugi, 2003, Shore i drugi 2003). Velik broj znanstvenih radova potvrdio je kako estrogeni spojevi mogu oštetiti animalnu i humanu reprodukciju, imunološki i živčani sustav, uključujući deformacije reproduktivnih organa te mogu dovesti do pojave smanjene plodnosti, hermafroditizma i muške feminizacije (Safe 2004; Bruce i drugi 2010).

Ukupna svjetska ljudska populacija godišnje ispušta oko 30.000 kg prirodnih steroidnih estrogena (E1, E2 i E3) i dodatnih 700 kg sintetskih estrogena (EE2) isključivo iz primjene kontracepcijskih lijekova. Ispuštanje estrogena u okoliš je još veće iz životinjskog uzgoja, primjerice u SAD-u i EU ono iznosi oko 83 000 kg godišnje.

Estrogeni ukoliko se konzumiraju u razinama iznad sigurne pozadinske koncentracije mogu povećati rizik od karcinoma i inducirati kardiovaskularne bolesti (Wocławek-Potocka i drugi, 2013). Supraoptimalne razine estrogena vezane su uz povećanu pojavnost karcinoma dojki kod žena (Moore i drugi, 2016) i karcinoma prostate kod muškaraca iako traje žustra rasprava o uzroku i posljedici. Estrogeni preferiraju vezanje na stanične receptore tkiva u prsima što dovodi do proliferacije stanica i što na kraju može rezultirati tumorskom tvorbom. Nacionalni toksikološki program SAD-a kategorizira estrogene kao karcinogene (Liang i Shang, 2013).

Prirodni estrogeni u animalnom i humanom otpadu predstavljaju ozbiljan rizik za okoliš. Rizik se dodatno povećava primjenom animalnog gnoja ili mulja na poljoprivredna područja kao alternativni izvor organskih tvari za organsku poljoprivredu, što je široko primijenjena praksa u modernoj poljoprivredi (Xuan i drugi, 2008). Primjena životinjskog gnoja na poljoprivrednim zemljištima identificirana je kao glavni izvor estrogena u okolišu (Arnon i drugi, 2008). Gnoj dobiven iz uzgoja peradi, krava i konja može sadržavati najveće količine steroidnih estrogena (Andaluri i drugi, 2012). Uređaji za obradu otpadnih voda zbog nedostatnog postupka uklanjanja estrogena iz otpadnih voda, gradska odlagališta i bolnice predstavljaju važan izvor onečišćenja hormonima (Belhaj i drugi, 2015, Li, 2014). Estrogeni spojevi u vodenom okolišu dobivaju na značaju, jer su sveprisutni u vodama (Ribeiro i drugi, 2009, Wang i drugi, 2012, Zhang i drugi, 2012). Zbog svega prethodno navedenog, monitoring i procjena estrogenih spojeva u rijekama ima važnu ulogu u zaštiti vodenog ekološkog sustava.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Uzorci i priprema uzoraka

Uzorci površinskih voda uzorkovani su cijelim tokom rijeke Save od siječnja do svibnja 2018. godine i to na sljedećim mjernim postajama Jesenice, Jankomir, Rugvica, Lukavec, Jasenovac, Davor, Pričac, Slavonski Brod uzvodno, Slavonski Brod nizvodno, utok Bosne uzvodno, utok Bosne nizvodno, Županja nizvodno i Račinovci. Uzorci su uzorkovani u polikarbonatne boce i pohranjeni na hladno u prijenosni hladnjak (4 °C). Po dolasku u laboratorij uzorci su stavljeni u ultrazvučnu kupelj i nakon toga centrifugirani na 4000 okretaja u minuti. Po završenom centrifugiranju uzorci su filtrirani kroz 0,2 µm PTFE filter čime su uklonjene čestice suspendirane tvari, a filtrirani uzorci su čuvani u hladnoj komori te analizirani unutar 48 sati.

2.2. Metoda

Ultra visoko djelotvorna tekućinska kromatografija sa spregnutom masenom spektrometrijom UHPLC-MS/MS (Shimadzu LC-MS 8060; Shimadzu, Japan) je korištena za identifikaciju i kvantifikaciju hormona E1, E2 i EE2. Separacija analita provedena je na Acquity UPLC BEH C18 koloni, (1.7 µm, 2.1 mm x 150 mm). Za analize hormona korištene su kemikalije najviše dostupne čistoće pogodne za LC-MS analize. Korištene su sljedeće mobilne faze otopina 0,15mM amonij fluorida u vodi i voda. Injektirano je 150 µl realnog uzorka. Kolona je bila temperirana na 45 °C. Kalibracijska krivulja dobivena je direktnim injektiranjem standardnih otopina hormona, u triplikatu na 7 koncentracijskih razina. Korelacijski koeficijent veći od 0,995 primijenjen je kao kriterij linearne prihvatljivosti.

3. REZULTATI I RASPRAVA

3.1. Estrogeni spojevi u vodi rijeke Save

Opterećenje okoliša spojevima u nastajanju posljedica je njihove kontinuirane uporabe. Nedavna studija je pokazala da smjese prioritarno onečišćujućih tvari, čak i kada su prisutne ispod koncentracija standarda kakvoće okoliša mogu uzrokovati relevantne biološke efekte i mogu predstavljati značajan rizik za okoliš (Carvalho i drugi, 2014). Europska unija je s ciljem ograničavanja ispuštanja spojeva u nastajanju u koje ubrajamo i hormone ažurirala postojeće zakonodavstvo. Provedbenom odlukom Komisije EU 2015/495, koja je relevantna za sve države članice EU, uspostavljen je Popis praćenja za tvari koje je potrebno pratiti diljem Europske unije, a koji između farmaceutika, antioksidansa, pesticida, herbicida i UV filtera uključuje i tri estrogene (estron, (E1); 17-β-estradiol, (E2); i 17-α-etinilestradiol, (EE2)). Za svaki spoj iz liste praćenja pa tako i za navedene estrogene spojeve definirana je pouzdana predviđena vrijednost koncentracije bez učinka ili PNEC (Predicted No Effect Concentration). Adekvatana analitička metoda je osnova određivanja niskih koncentracija ili koncentracija u tragovima spojeva koji dovode do poremećaja u endokrinološkom sustavu. U prošlosti su ostaci estrogena u uzorcima iz okoliša određivani plinskom kromatografijom vezanom na spektrometriju masa, međutim zbog neophodnog provođenja derivatizacije metoda je bila kompleksna i dugotrajna (Huerta-Fontela i drugi, 2010).

UHPLC-MS/MS tehnika omogućava simultanu analizu većeg broja ciljnih analita unutar jednog uzorka u jednoj metodi. Glavna prednost tekućinske kromatografije u analizi okolišnih uzoraka za određivanje estrogena je određivanje istih bez potrebe provođenja derivatizacijskog postupka. Za potrebe određivanja estrogenih spojeva u uzorcima voda razvijena je i validirana metoda na UHPLC MS/MS-u. Granice kvantifikacije razvijene analitičke metode (Tablica 1.) za hormone udovoljavju propisanim granicama metoda za određivanje estrogenih spojeva definiranih Provedbenom odlukom Komisije kako slijedi za EE2, 0.000035 µg/L; E2, 0.0004 µg/L i za E1, 0.0036 µg/L.

Tablica 1. Pojavnost i karakteristike estrogenih spojeva u uzorcima vode rijeke Save te osnovne karakteristike analitičke metode razvijene za određivanje hormona

NAZIV SPOJA	FORMULA	CAS	GR.DET. (µg/L)	GR. KVANT. µg/L	KONC. RASPON	FD (%)
17-β-Estradiol	C ₁₈ H ₂₄ O ₂	50-28-2	0,000018	0,000053	ND-0,00143	33,8
17-α-Etinilestradiol	C ₂₀ H ₂₄ O ₂	57-63-6	0,000004	0,000012	ND-0,00026	30,8
Estron	C ₁₈ H ₂₂ O ₂	53-16-7	0,000328	0,000995	ND	0

CAS - Chemical Abstract Service, Referentna arhiva za kemiju i primijenjenu kemiju

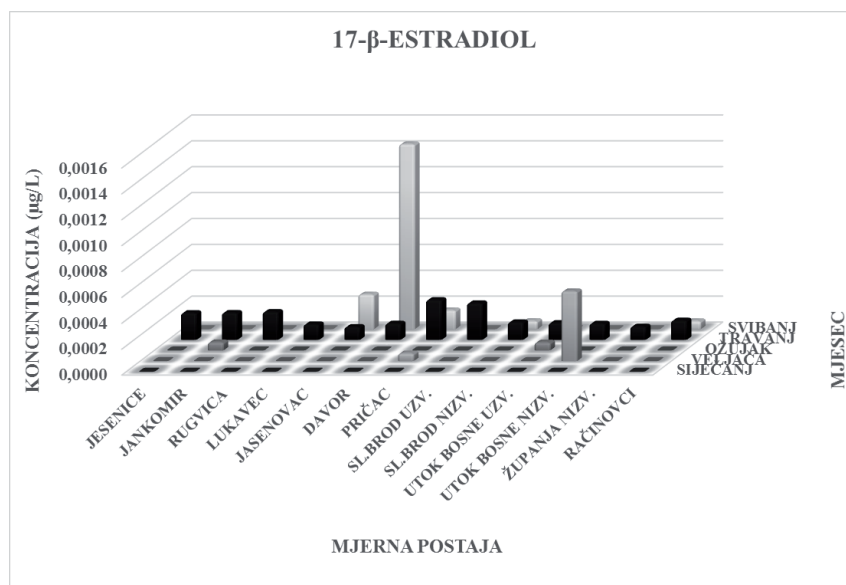
GR.DET.- granica detekcije

GR.KVANT.- granica detekcije

KONC.RASPON-koncentracijski raspon

FD- frekvencija detekcije

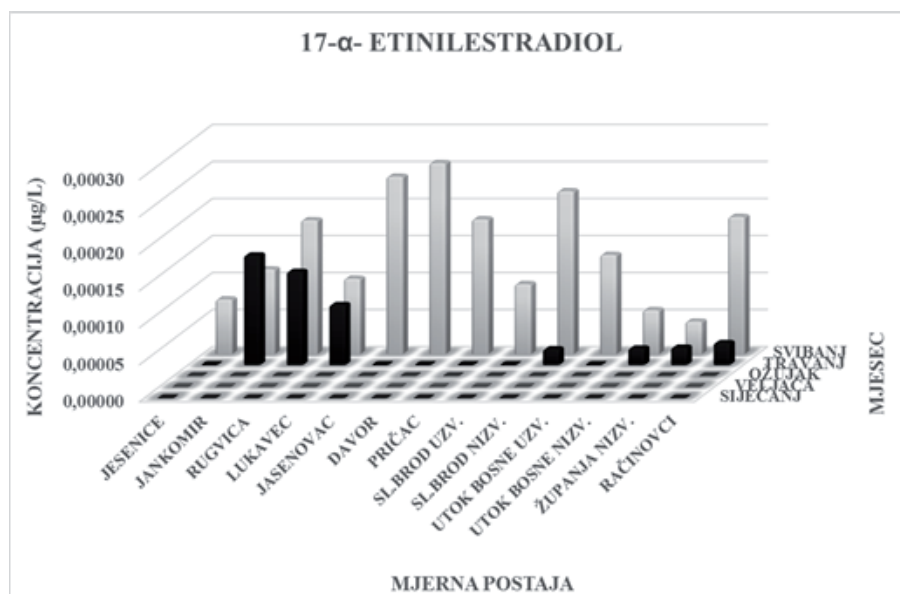
U ovom je radu dan prikaz koncentracija tri estrogena spoja određivana u površinskoj vodi rijeke Save uzorkovane na 13 mjernih postaja Jesenice, Jankomir, Rugvica, Lukavec, Jasenovac, Davor, Pričac, Slavonski Brod uzvodno i nizvodno, utok Bosne uzvodno i nizvodno, Županja nizvodno i Račinovci u periodu od siječnja do svibnja 2018. godine. Od ukupno provedenih 65 mjerenja kroz pet mjeseci praćenja estrogenih spojeva veću frekvenciju pojavnosti u površinskoj vodi rijeke Save imao je 17-β-estradiol (33,8 %), dok je nešto manju pojavnost u uzorcima voda imao spoj 17-α-etinilestradiol (Tablica 1.). Hormon estron je u uzorcima vode rijeke Save bio u svih 65 mjerenja ispod granice kvantifikacije razvijene analitičke metode. Najveća koncentracija 17-β-estradiola (Slika 1.) izmjerena je u uzorku površinske vode uzorkovane na mjernoj postaji Davor u svibnju (0,00143 µg/L), u istom je mjesecu i na istoj mjernoj postaji izmjerena i najveća koncentracija 17-α-etinilestradiola (0,00026 µg/L). U uzorcima vode rijeke Save 17-β-estradiol se počinje detektirati iznad granica kvantifikacije od veljače 2018. godine (Pričac i utok Bosne nizvodno).



Slika 1. Koncentracije hormona 17- β -estradiola na mjernim postajama rijeke Save u periodu praćenja od siječnja do svibnja 2018. godine

Isti je spoj detektiran iznad granica kvantifikacije i u ožujku (Jankomir, utok Bosne uzvodno). U travnju je 17- β -estradiol detektiran na svih 13 mjernih postaja, a u svibnju na njih pet (Jasenovac, Davor, Pričac, Slavonski Brod nizvodno i Račinovci). U periodu od siječnja do ožujka 17- α -etinilestradiol je u uzorcima rijeke Save bio ispod granice kvantifikacije razvijene metode, a iznad granica kvantifikacije je izmjeren na 7 od 13 postaja u travnju, te na svih 13 postaja u svibnju (Slika 2.).

Estrogeni, uz nesteroidne protuupalne lijekove i antibiotike spadaju u najčešće otkrivene lijekove u površinskim vodama (Nikolau i drugi, 2007). Steroidni estrogeni antropogenog podrijetla određeni su kao glavni endokrini disruptori u uzorcima iz okoliša (Niego i drugi, 2008).



Slika 2. Koncentracije hormona 17- α -etinilestradiola na mjernim postajama rijeke Save u periodu praćenja od siječnja do svibnja 2018. godine

ZAKLJUČAK

U ovom je radu istražena prisutnost tri estrogena spoja u vodi rijeke Save i detektirana je učestalija prisutnost spojeva E2 i EE2. U usporedbi s drugim organskim spojevima (pesticidi, policiklički aromatski ugljikovodici, poliklorirani bifenili) estrogeni se u okoliš unose kontinuirano pa iako im je vrijeme poluraspada relativno kratko njihov neprekidan unos je razlog zbog kojeg estrogeni prisutni u vodama predstavljaju opasnost. Ovi spojevi također mogu ući u podzemne vode, a otkriveni su i u pitkoj vodi što predstavlja rizik za ljudsko zdravlje. Iako su estrogeni esencijalni za normalnu ljudsku fiziologiju mogu izazvati štetne efekte ukoliko se omogući njihova akumulacija u okolišu i ulazak u ljudski hranidbeni lanac. Zagađenje estrogenom postaje ključni okolišni problem koji dovodi do štetnih učinaka na rast i razvoj ljudi, životinja i biljaka stoga je potrebno nastaviti s daljnjim ispitivanjima prisutnosti estrogena u različitim dijelovima okoliša i biote kako bi se s većim setom podataka mogla ispitati i akumulacija prirodnih estrogena nasuprot sintetskih u različitim dijelovima okoliša, a posebice na lokacijama koje se nalaze u blizini uređaja za obradu voda i uz odlagališta otpada.

LITERATURA

- [1] Andaluri, G., Suri, R.P., Kumar, K., (2012): *Occurrence of estrogen hormones in biosolids, animal manure and mushroom compost*. Environ. Monit. Assess. 184, 1197–1205.

- [2] Arnon, S., Dahan, O., Elhanany, S., Cohen, K., Pankratov, I., Gross, A., Ronen, Z., Baram, S., Shore, L.S., (2008): *Transport of testosterone and estrogen from dairy-farm waste lagoons to groundwater*. Environ. Sci. Technol. 42, 5521–5526.
- [3] Belhaj, D., Baccar, R., Jaabiri, I., Bouzid, J., Kallel, M., Ayadi, H., Zhou, J.L., (2015): *Fate of Selected estrogenic hormones in an urban sewage treatment plant in Tunisia (North Africa)*. Sci. Total Environ. 505, 154–160.
- [4] Bruce, G.M., Pleus, R.C., Snyder, S.A., (2010): *Toxicological relevance of EDCs and pharmaceuticals in drinking water*. Environ. Sci. Technol., 44 : 5619–5626.
- [5] Carvalho, R.N., Arukwe, A., Ait-Aissa, S., Bado-Nilles, A., Balzamo, S., Baun, A., Belkin, S., Blaha, L., Brion, F., Conti, D., Creusot, N., Essig, Y., Ferrero, V.E. V, Flander-Putrlle, V.V., Fürhacker, M., Grillari-Voglauer, R., Hogstrand, C., Jon_ A., Kharlyngdoh, J.B., Loos, R., Lundebye, A.K., Modig, C., Olsson, P.E., Pillai, S., Polak, N., Potalivo, M., Sanchez, W., Schifferli, A., Schirmer, K., Sforzini, S., Stürzenbaum, S.R.,(2014): *Mixtures of chemical pollutants at European legislation safety concentrations: how safe are they?* Toxicol. Sci. 14, 218-233.
- [6] European Commission Opinion of the Scientific Committee on Veterinary Measures Relating to Public Health (1999): *Assessment of potential risk to human health from hormone residues in bovine meat and meat products*.
- [7] Hamid, H., Eskicioglu, C., (2012): *Fate of estrogenic hormones in wastewater and sludge treatment: a review of properties and analytical detection techniques in sludge matrix*. Water Res. 46, 5813–5833.
- [8] Hanselman, T.A., Graetz D.A., Wilkie, A.C. (2003): *Manure-borne estrogens as potential environmental contaminants: a review*. Environ. Sci. Technol., 37: 5471-5478.
- [9] Huerta-Fontela M., Galceran M.T., Ventura F., (2010): Fast liquid chromatography–
- [10] quadrupole- linear ion trap mass spectrometry for the analysis of pharmaceuticals and hormones in water resources. *J. Chromatogr. A* 1217 (25) 4212–4222.
- [11] Kuch H.M., Ballschmiter K., (2001): *Determination of endocrine disrupting phenolic compounds and estrogens in surface and drinking water by HRGC–(NCI)–MS in the picogram per liter range*. Environ Sci Technol 2001, 35, 3201–3206.
- [12] Lee J.S., LaCroix A.Z., Wu L., Cauley J.A., Jackson R.D., Kooperberg C., Leboff M.S., Robbins J., Lewis C.E., Bauer D.C., Cummings S.R., (2008): *Associations of serum sex hormone-binding globulin and sex hormone concentrations with hip fracture risk in postmenopausal women*. J Clin Endocrinol Metab , 93, 1796–1803.
- [13] Li, W.C., (2014): *Occurrence, sources, and fate of pharmaceuticals in aquatic Environment and soil*. Environ. Pollut. 187, 193–201. Liang, J., Shang, Y., (2013): *Estrogen and cancer*. Ann. Rev. Physiol. 75, 225–240.
- [14] MacGillivray M.H., Morishima A., Conte F., Grumbach M., Smith E.P., (1998): *Pediatric endocrinology update: an overview. The essential roles of estrogens in pubertal growth, epiphyseal fusion and bone turnover: lessen from mutation in the genes for aromatase and the estrogen receptor*. Horm Res , 49, 2–8.

- [15] Moore, S.C., Matthews, C.E., Shu, X.O., Yu, K., Gail, M.H., Xu, X., Ji, B.-T., Chow, W.-H., Cai, Q., Li, H., (2016): *Endogenous estrogens, estrogen metabolites, and breast cancer risk in postmenopausal Chinese women*. J. Nat. Cancer Inst. 108 (dju103).
- [16] Niego A., Borrull F., Pocurull E., Marcé R.M., (2008): *Determination of natural and synthetic estrogens and their conjugates in sewage sludge by pressurized liquid extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry*. J Chromatogr A, 1213, 224–230.
- [17] Nikolaou A., Meric S., Fatta D., (2007): *Occurrence patterns of pharmaceuticals in water and wastewater environments*. Anal Bioanal Chem., 387, 1225–1234.
- [18] Ribeiro, C., Tiritan, M.E., Rocha, E., Rocha, M.J., (2009): *Seasonal and spatial distribution of several endocrine disrupting compounds in the Douro River Estuary, Portugal*. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 56:1-11.
- [19] Safe, S., (2004): *Endocrine disruptors and human health: is there a problem*. Toxicology, 205: 3-10.
- [20] Shore L.S., Shemesh M., (2003): *Naturally produced steroid hormones and their release into the environment*. Pure Appl. Chem. ,75: 1859-1871.
- [21] Wang, L., Ying, G.G., Chen, F., Zhang, L.J., Zhao, J.L., Lai, H.J., Tao, R., (2012):
- [22] *Monitoring of selected estrogenic compounds and estrogenic activity in surface water and sediment of the Yellow River in China using combined chemical and biological tools*. Environ. Pollu., 165: 241-249.
- [23] Woławek-Potocka, I., Mannelli, C., Boruszewska, D., Kowalczyk-Zieba, I.,
- [24] Waśniewski, T., Skarżyński, D.J., (2013): *Diverse effects of phytoestrogens on the*
- [25] *reproductive performance: cow as a model*. Int. J. Endocrinol.
- [26] Xuan, R., Blassengale, A.A., Wang, Q., (2008): *Degradation of estrogenic hormones in a Silt loam soil*. J. Agric. Food Chem. 56, 9152–9158.
- [27] Ying, G.-G., Kookana, R.S., Ru, Y.-J., (2002): *Occurrence and fate of hormone steroids in the environment*. Environ. Int. 28, 545–551.
- [28] Zhang, X., Zhang, D., Zhang, H., Luo, Z., Yan, C., (2012): *Occurrence, distribution, and seasonal variation of Estrogenic compounds and antibiotic residues in Jiulongjiang River, South China*. Environ. Sci. Pollu. Res. ,19:1392- 1404.

AUTORI

Siniša Repec ^a
dr.sc. Draženka Stipaničev ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska,
sinisa.repec@voda.hr, drazenka.stipanicev@voda.hr



R 1.37.

ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA SLIVA POMOĆU HIDROLOŠKO HIDRAULIČKIH MODELA I HIDROLOŠKE ANALIZE, PRIMJER SLIVA REKE SAVINJE

**Andrej Vidmar, Simon Rusjan, Nejc Bezak,
Andrej Kryžanowski, Mitja Brilly**

SAŽETAK: Tradicionalna osnova za hidrološke analize je statistička obrada podataka s osnovnim pokazateljima vjerojatnosti pojave i količina voda u slivu. Mogućnosti hidrološke analize su ograničene s raspoloživim podacima, ali možemo ih riješiti upotrebom hidroloških hidrauličkih modela. Rezultati hidroloških i hidrauličkih modela su ovisni o dobroj kalibraciji i verifikaciji modela, kako hidroloških tako i hidrauličkih. Modeli omogućavaju rekonstrukciju povijesnih pojava poplava i analizu njihovih uzroka. Naime, poplave i prije svega katastrofalne poplave se formiraju na određenom djelu sliva pod utjecajem orografskih čimbenika i načina korištenja zemljišta. Za određivanje morfoloških utjecaja korita rijeke i poplavnih područja, potrebna je kombinacija hidroloških i hidrauličkih modela.

Kao primjer dobre hidrološko – hidrauličke analize je obrađen sliv Reke Savinje. Pored osnovne statističke analize je obrađena koincidencija poplavnih talasa Reke Save i Savinje. Analizirani su utjecaji pojedinih pod slivova Reke i rekonstruirane poplave 1990., 1998. i 2007. godine. Pomoću hidrauličkog modela je analiziran utjecaj većih poplavnih površina na smanjenje poplavnih talasa duž toka rijeke, određen utjecaj predlaganih mjera za zaštitu od poplava, analiziran utjecaj promjene korištenja zemljišta na pojavu poplava i slično. Pri kalibraciji se pokazala izuzetno dobra primjena programa PEST pri kalibraciji i upotreba posljednja verzije hidrauličkog modela HEC-RAS sa kojim je izgrađen model rijeke u dužini 135 km.

KLJUČNE RIJEČI: hidrološki modeli, hidraulički modeli, hidrološka analiza, rijeka Savinja

DETERMINING RIVER BASIN CHARACTERISTICS WITH THE USE OF HYDRAULIC MODELS AND HYDROLOGICAL ANALYSIS AS EX- EMPLIFIED BY THE SAVINJA RIVER

ABSTRACT: The traditional basis for hydrological analyses is statistical data processing using the basic indicators of event probability and water quantity in a river basin.

The possibilities for hydrological analyses are limited by data availability, which can be surpassed by using hydrological and hydraulic models. The results depend on a good calibration and verification of both hydrological and hydraulic models. Models allow for the reconstruction of historical flood events and the analysis thereof. Floods, and above all catastrophic floods, occur in a specific part of a river basin affected by orographic factors and land use types. A combination of hydrological and hydraulic models is necessary for determining the morphological effects of riverbeds and floodplains.

The case of the Savinja River Basin is given as an example of good hydrological and hydraulic analyses. Along with the basic statistical analysis, the coincidence of flood waves of the Sava and Savinja rivers was studied. The impacts of individual Savinja sub-basins were analysed and the floods of 1990, 1998, and 2007 were reconstructed. A hydraulic model was used for analysis of the impact of large floodplains on the reduction of flood waves along the river. The impact of the proposed flood protection measures was assessed as well as the impact of changes in the land use on flood occurrence, etc. The PEST software proved to be highly useful for the calibration, while the latest version of the HEC-RAS hydraulic model was used to model the 135-km river stretch.

KEYWORDS: hydrological models, hydraulic models, hydrological analysis, Savinja River

1. UVOD

Odluka o provedbi bilo kakve aktivnosti na vodotocima zahtijeva sveobuhvatnu analizu posljedica mjera na cijelom riječnom slivu. To je osobito bitno u planiranju mjera zaštite od poplava gdje se, u pravilu, stanje u slivu rijeke pogoršava nizvodno. Zbog toga je, pored ostaloga, EU usvojila direktivu o poplavama kako bi zaustavila takva praksa.

Katastrofalne poplave su prirodna pojava te jedinstven i složen fenomen. Proračuni i modeliranje tih fenomena doživjeli su značajan razvoj tijekom prošlog stoljeća. Od empirijskih jednadžbi kao što su Kresnikova jednadžba i jedinični hidrogram upotrijebljen u programu HEC1 do modernih i zahtjevnih prostorno raspodijeljenih modela (Brilly i Šraj, 2014). Kresnikova jednadžba sadržavala je samo dva parametra, HEC1 tri parametra i odgovarajuću funkciju jediničnog hidrograma. Moderni modeli uzimaju u obzir učinke snijega, sunčeve svjetlosti, nadmorske visine, korištenja i tipova tla te njihovu prostornu raspodjelu. Sličan su razvoj imali i hidraulički modeli. Od jednostavnih jednadžbi za konstantan protok u stacionarnom stanju, razvile su se u modele s mogućnošću simulacije jednog (1D) i dvodimenzionalnog (2D) toka. Moderne verzije modela omogućuju brze račune vrlo velikih poplavnih područja uz istodoban račun jednodimenzionalnog i dvodimenzionalnog toka vode.

Hidrološkim i hidrauličkim modelom smo rekonstruirali katastrofalne poplave u slivu Reke Savinje, koje su se dogodile 1990., 1998. i 2007. godine. Na osnovu rekonstruiranih poplavnih događaja smo pomoću hidrauličnih modela napravili analizu utjecaja djelovanja pojedinih mjera zaštite od poplava na nizvodna područja i moguće posljedice obrane od poplava nizvodno od ušća u rijeku Savu.

Unatoč jednostavnom korištenju i upotrebi različitih modela, glavni problem i dalje ostaje njihovo poznavanje i ekspertno znanje o poplavama. Tu su posebno važna terenska mjerenja i kalibracija modela. Naime, model bez mjerenja, umjeravanja i relevantnog

znanja ne daje bolje rezultate od empirijskih jednadžbi s kraja 19. stoljeća.

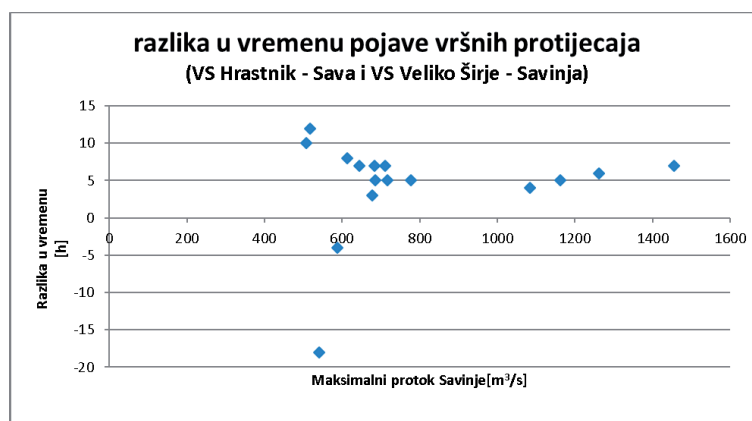
2. HIDROLOŠKA ANALIZA

Na temelju službenih hidroloških podataka napravljena je analiza prošlih poplavnih događaja na ušću rijeke Savinje u Savu. Za potrebe analize korišteni su podaci prikupljeni svaki sat. Na slici 1 prikazane su razlike u vremenu između vršnog protoka na vodomjeru Veliko Širje na rijeci Savinji i vodomjeru Hrastnik na rijeci Savi. Naime, vršni protoci svih poplavnih valova s protokom rijeke Savinje veći od $800 \text{ m}^3/\text{s}$ pojavili su se pet ili više sati prije vršnog protoka poplavnog vala rijeke Save. To znači da bi ubrzanje poplavnih voda rijeke Savinje imalo povoljan učinak na zaštitu od poplava nizvodno od ušća u rijeku Savu. Naprotiv, ubrzavanje poplavnog valova na rijeci Savi ima negativan utjecaj na zaštitu od poplava nizvodno od ušća. Slična analiza provedena je i za ušća rijeke Savinje u njezine glavne pritoke: Dretu, Pako, Bolsko, Ložnicu i Voglajno. Dodatno smo analizirali još ušće Voglajne i Hudinje.

Na temelju analize podudarnosti vršnih vrijednosti za odabranih osamnaest analiziranih događaja došli smo do sljedećih zaključaka:

- vršni protoci na Dretu pojavljuju se prije početka vršnog protoka na Savinji;
- na Hudinji se vršni protoci u većini slučajeva pojavljuju prije vršnog protoka na Voglajni;
- na ušću Pake u Savinju, Bolske i Savinju, Ložnice i Savinju i Voglajne s Hudinom i Savinjom, ne možemo zaključiti da su odstupanja jednoznačna, a često se vršni protoci podudaraju.

Uz iznimku Drete i Hudinje, pri vršnim protocima, hidrološki sustav rijeke Savinje djeluje jednokratno, tako da se na ušću vršni protoci javljaju istovremeno, čime se uvelike povećava opasnost pojave poplava. Posljedica je izraziti bujični karakter protoka Savinje.



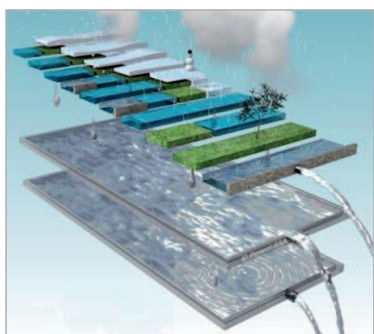
Slika 1. Razlike u vremenu vršnog protoka poplavnih valova u Savinji i Savi za događaje između 1998. i 2015.

3. HIDROLOŠKI MODEL

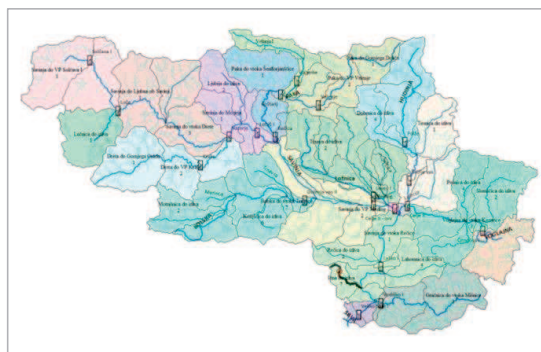
Za izradu hidrološkog modela cijelog sliva Savinje korišten je program “Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning (HBV-Light)”. HBV program omogućava izradu djelomično distribuiranog konceptualnog hidrološkog modela koji može simulirati procese koji definiraju hidrološki krug (npr. Seibert i Beven, 2009; Seibert i Vis, 2012). Program je razvijen u Švedskoj od strane meteorološkog i hidrološkog instituta (SMHI) (Bergström, 1995). HBV program sada postoji u nekoliko varijanti koje se razlikuju po složenosti i upotrebljivosti (Aghakouchak i Habib, 2010). U okviru ovog rada korištena je verzija HBV-light programa, jer zadovoljava sve kriterije za simulaciju hidroloških procesa u slivu rijeke Savinje (mogućnost korištenja satnog vremenskog koraka, modeliranje zadržavanja vode snježnom pokrivaču i njegovo otapanje u ovisnosti od nadmorske visine, konceptualne procese zadržavanja vode i njeno premještanje u površinskim i podpovršinskim slojevima. Slika 2 prikazuje konceptualni shemu prirodnih procesa u hidrološkom modelu HBV-light s prikazom jednog podsliva s spremnicima na različitim visinama i vegetacijskim pokrivačem područja, te konceptualna ilustracija podpovršinskih spremnika vode.

Cjelokupan sliv Savinje je podijeljen u 77 podslivova (slika 3). Za svaki podsliv moramo odrediti parametre procesa otapanja i smrzavanja snijega, procesa brzine punjenja i sposobnosti zadržavanja vode u tlu, procesa stvarne evapotranspiracije, faktore korekcije temperature i padalina te faktore odvodnje iz gornjeg, srednjeg i donjeg baznog bazena podzemnih voda. U hidrološkom modelu smo omjerom distribucije odredili 18 visinskih pojaseva i 3 vegetacijske zone. Svaki podsliv je opisan u hidrološkom modelu s 34 parametra, što znači da je bilo potrebno odrediti u procesu kalibracije vrijednosti 2618 parametara.

Osim oborina, ulazni podaci uključuju temperaturu zraka i potencijalnu evapotranspiraciju, i naravno podatke koji su potrebni za opis sliva rijeke (npr. Veličina slivnog područja).



Slika 2.
Koncept HBV-light modela



Slika 3. Raspodjela sliva Savinje na 77 podslivova s prikazanim vodomjerima

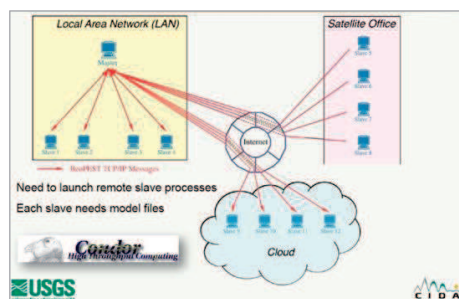
Umjeravanje hidrološkog modela provedeno je pomoću internog genetskog kalibracijskog algoritma u HBV light i vanjskih PEST alatima (Model-Independent Paramet Estimation and Uncertainty Analysis), koji se mogu koristiti za modeliranje prirodnih procesa (Doherty, 2012). Programski paket PEST sadrži 180 programa u svrhu pripreme matrice,

kontrole i obrade, te različitih transformacija i analiza podataka. Uz PEST algoritam postoji i poznati globalni kalibracijski algoritam SCEUA i CEMAES (Arsenault et al., 2014). Korištenje ovih algoritama zahtijeva mnogo stručnih znanja u procesima kalibracije i analizi osjetljivosti modela, pomoću kojih možemo odrediti parametre koji značajno utječu na rezultate modela. Zbog složenosti procesa kalibracije hidrološkog modela, neki proračuni zahtijevaju više od jednog dana na jednom korisničkom računalu. Uz pomoć paralelnih proračuna sa programskim paketom beoPEST izvedena je kalibracija hidrološkog modela u razumnom od nekoliko sati. Koncept korištenja PEST programa za paralelnu kalibraciju (beoPEST) prikazan je na slici 4. Kalibracija je obrađena u 128 paralelnih izračuna u isto vrijeme, formiranih od 16 PC-a i osam jezgri. Kao ulazni podaci u hidrološkom modelu koristili smo podatke o padavinama sa 30 oborinskih postaja u slivu rijeke Savinje, koje lokalno dobro pokrivaju pojedine podslivove. Metoda Thiessen poligona korištena je za određivanje prostorne distribucije oborina, podataka o temperaturi zraka i podataka o potencijalnoj evapotranspiraciji.

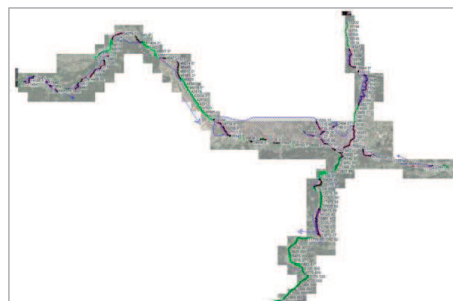
Hidrološki model je kalibriran na poplavnom događaju 2007 (Vidmar i drugi, 2016. godine. Ovaj događaj je odabran zbog dobrog uzorka podataka (podaci su bilježeni na svaki sat), koji su omogućili primjernu kalibraciju hidrološkog modela obzirom na veličinu i prirodu hidroloških procesa. U tablici 1 prikazani su rezultati umjeravanja hidrološkog modela Savinje za poplavu u 2007. godini. Prikazane su vrijednosti Nash-Sutcliffeovog koeficijenta (raspon vrijednosti je između $-\infty$ i 1, gdje vrijednost 1 označava potpunu podudarnost između modeliranih i izmjerenih vrijednosti) i vrijednosti koeficijenta određivanja R^2 -1 i 1, gdje vrijednost 1 znači potpunu linearnu ovisnost između izmjerenih i modeliranih vrijednosti). Validacija ili verifikacija modela tada je provedena za poplave iz 1998. i 1990. godine (Brilly i drugi 2017). Rezultati kalibracije i validacije hidrološkog modela bili su iznimno dobri, jer je validacija VP Laško iz 1990. godine dala bolje rezultate od kalibracije. Takav kalibrirani model osnova je za analizu modeliranih poplava, jer smo dobili podatke o protoku poplava na stanicama koje su bile oštećene tijekom događaja i na manjim dijelovima sliva, gdje uopće nije bilo mjerenja, kao što je učinjeno. za događaj 2014. u slivu rijeke Bosne (Vidmar et al., 2016). Modelom je moguće analizirati promjene u korištenju prostora, kao i razne mjere protiv poplave koje ubrzavaju ili zadržavaju otjecanje. Tako možemo proizvoljno mijenjati u slivu udio šuma, poljoprivrednog zemljišta ili naseljenog područja. Možemo utvrditi utjecaj klimatskih promjena, kao što smo to učinili za sliv rijeke Save, (Brilly i drugi, 2015).

4. HIDRAULIČNI MODEL

Kao ulazni podaci u hidrauličkom modelu sliva Savinje korišteni su rezultati kalibriranog i validiranog hidrološkog modela. Za izradu hidrauličkog modela korišten je program HEC-RAS verzija 5.0.3, koji je razvio Inženjerski zbor vojske SAD-a (HEC-RAS, 2016). Modelirano je područje između ušća Savinje i Drete te ušća Savinje u Savu, sa kraćim odsjecima pritoka na ušću: Drete, Ložnice, Voglajne sa Hudinjom, Koprivnica i Sušnica) (Slika 5). Prosječni nagib ovih vodotoka je između 0,2 i 0,6 %. Ostali vodotoci modelirani kao priliv vode sa strane.



Slika 4: Konceptualni prikaz paralelne kalibracije hidrološkog modela s PEST programom



Slika 5. Prikaz hidrauličnog modela Reke Savinje od ušća rijeke Drete do ušća rijeke Savinje u rijeku Savu

Model je napravljen u kombinaciji 1D računa za korito rijeke u kombinaciji s 2D računom u zonama poplava. Svi računi su izvedeni za ne-stacionarne uvjete toka vode. U okviru jednog sveobuhvatnog modela razmatrano je više od 135 km vodotoka, više od 2.400 poprečnih presjeka. Geodetski izmjereni presjeci kombinirani su s lidar podacima s veličinom rastera od 1 m. Vrijednosti Manningovog koeficijenta hrapavosti kretale su se u rasponu od 0,03 do 0,04 za korito vodotoka, između 0,035 i 0,05 za poplavno područje unutar vodotoka i između 0,06 i 0,1 za 2D plavnih područja. Poplavama područja su podijeljena na površine između 20 x 20 m i 30 x 30 m. Valja naglasiti da je svaka od tih površina opisana relevantnim hidrauličnim parametrima na temelju digitalnog modela terena.

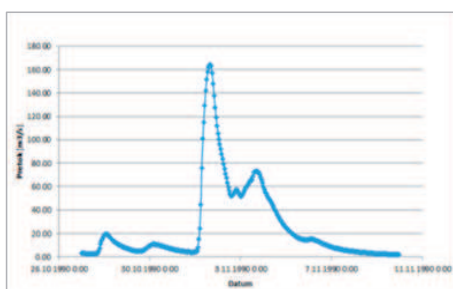
Kalibracija i verifikacija hidrauličkog modela provedena je uzimajući u obzir poplave iz 1990., 1998. i 2007. godine. Umjeravanje i verifikacija provedeno je kako na izmjenjenim vrijednostima vodostaja tako i na opsegu poplavnog područja u poplavnim ravninama. Treba naglasiti da je vrijeme izračuna za cijelo područje modela manje od 2,5 sata.

5. REZULTATI KORIŠTENJA HIDROLOŠKOG I HIDRAULIČKOG MODELA

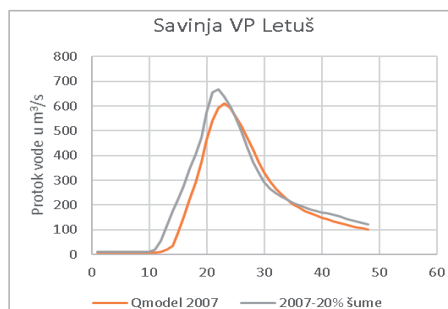
Hidrološki model je korišten prije svega za rekonstrukciju poplava 1990. i 1998. godine (slika 6). Simulirali smo također utjecaje promjene korištenja zemljišta na otjecanje. Pretpostavili smo smanjenje površina pod šumom za 20 % na gornjem dijelu sliva do VP Letuš sa površinom sliva od 534 km² za poplavu u 2007. godini (slika 8). Događaj je primjeren katastrofi sa šumama zbog leda 2014. godine.

Pomoću ulaznih podataka hidrološkog modela, upotrijebili smo hidraulički model za analize utjecaja različitih mjera za zaštitu od poplava. Tako smo analizirali utjecaj relativno velikog prirodnog poplavnog područja uzvodno od Celja na oblik poplavnog vala na VP Veliko Širje, na ušću Rijeke Savinje u Rijeku Savu pri poplavi 1990. (Slika 8). Vrhunac poplavnog vala se povećao za 90 m³/s i pomakao unaprijed za 4 sata. Protok vode u vrijeme maksimalnog protoka vode 1990 godine je ostao isti. Znači, da bi pored isključenja većih površina od razlijevanja vode, maksimalni protok rijeke Save nizvodno od ušća ostao nepromijenjen. Analizirali smo utjecaj uspora na razinu vode na ušću Voglajne u Savinju i na uzvodnom vodomjeru Celje, slika 9. Računali smo sa cjelokupnim

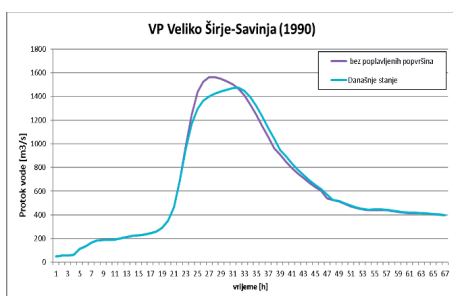
modelom scenarije sa dotokom Voglajne i bez dotoka. Zbog uspora se nivo na VP Celje podigao za 16 centimetara a vrh vala se pojavio četiri sata kasnije.



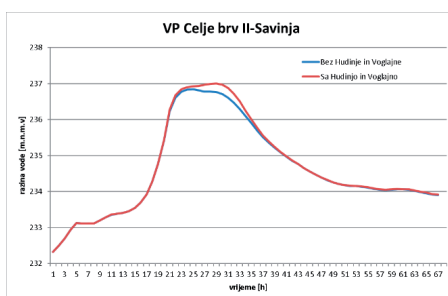
Slika 6. Primjer rekonstrukcije poplavnog vala iz 1990. za rijeku Voglajnu na ušću u Savinju



Slika 7. Utjecaj potencijalnog smanjenja šumskih površina.



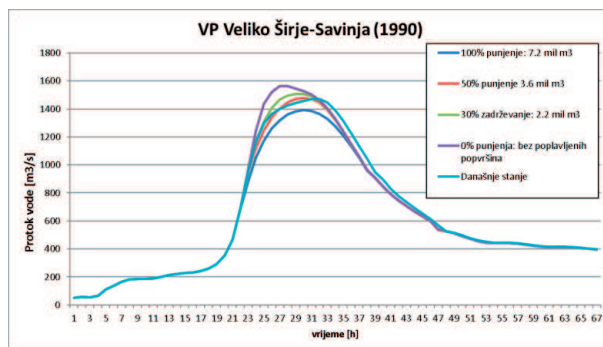
Slika 8. Utjecaj razlijevanja vode na oblik dijagrama protoka pri poplavi 1990. godine



Slika 9. Utjecaj uspora na razine vode Savinje pri različitim protocima Voglajne.

Hidrauličkim modelom smo analizirali i utjecaj različitih rješenja sa zadržavanjem vode u slivu pomoću akumulacija na poplavnim područjima Savinje i njenim pritocima. Utjecaj spomenutih objekata ovisi o opremi za upravljanjem zapreminama akumulirane vode i pouzdanosti vremenskih i hidroloških prognoza, slika 10. Osnova analize je hidrogram protoka Reke Savinje na vodomjeru Celje pri poplavi 1990. godine. Scenarije smo oblikovali prema postotku efikasnog djelovanja sustava, počevši od idealnog stanja sa potpunim 100 % djelovanjem sustava, što je praktično nemoguće. Zatim smo pretpostavili scenarije sa 50 %, 10 % i 0 %. Obzirom na mogućnost kontrole dotoka vode sa bočnih preljeva u akumulacije i točnost hidroloških prognoza smatramo, da je realna efikasnost sustava oko 50. Praktično bi predviđeni sustav u dobrom stanju djelovanja prouzrokovao vršne protoke jednake, kao u današnjem prirodnom stanju. Ukoliko se to dokaže, rad sustava može imati efikasnost od 10 % ili čak 0, te naravno, vršni bi protoci primjerno tome bili viši nego što su današnjem stanju. Naime akumulacije su sagrađene na poplavnom području i samim tim smanjuju njenu prirodnu retenciju. Scenarij s efikasnošću 0 % daje

rezultate jednake, kao kad bi poplavno područje zaštitili od poplava i ukinuli utjecaj prirodnog zadržavanja voda na tim površinama, slika 8.



Slika 9. Utjecaj različitih scenarija djelovanja mjera za zaštitu od poplava

ZAKLJUČAK

Suvremeni hidrološki i hidraulički modeli su jako dobri alati za analizu i podizanje razine znanja o prirodnim procesima koji uzrokuju poplave u slivu. Naime, pri pojavi velikih oborina smanjuju se temperature u područjima na većim nadmorskim visinama i tamo se u noćnim satima sa snježnim padavinama voda privremeno zadržava na površini. Podizanjem temperature u jutarnjim satima počinje otapanje snijega i cjelokupna količina vode sudjeluje u otjecanju. Intenziteti efektivnih kiša tada su dosta veći od podataka izmjerenih na kišomjerima.

Za upotrebu modela su nam potrebna terenska mjerenja, koja su uvijek nedostatna. Mjerenja u kraćim vremenskim razmacima, i manje od sata nam daju uvid u dinamiku poplavnih valova, koja je kompleksna i traži ekspertnu analizu.

Upotrebna vrijednost računa modela je ovisna o kalibraciji i verifikaciji modela. Tu se program PEST pokazao izuzetno superioran naspram drugim programima za kalibraciju ugrađenim u komercijalne programske pakete. Sa PEST programom smo dobili bolju točnost za red veličine vrijednosti.

Pri postavljanju modela je potrebno ekspertno znanje hidrologije i iskustvo u modeliranju, da bi dobili uspješan model. Sve ovisi kako smo postavili strukturu modela: podslivove, pojaseve nadmorskih visina, korištenje zemljišta i slično.

Pri postavljanju hidrauličnih modela je također potrebno ekspertno znanje pri analizi i izboru podataka, konstrukciji modale za 1D i 2D analizu, modeliranje utjecaja objekata i uspora prouzrokovanim dotokom vode sa strane na ušću, oštrijih krivina korita rijeka i slično. U svakom slučaju su mjerenja razine vode izvedena samo na vodomjernim stanicama nedostatna za dobar hidraulični model. Mjerenja dinamike vode na poplavnim područjima praktično nema.

Pouzdanost modela i njegovi rezultati su vezani za znanje i iskustva tima koji radi sa modelima. Ukratko to jako efikasan ekspertni model za eksperte.

LITERATURA

- [1] Aghakouchak, A., Habib, E. (2010): *Application of a Conceptual Hydrologic Model in Teaching Hydrologic Processes*, International Journal of Engineering Education 26, 4: 963–973.
- [2] Bergström, S. (1995). The HBV Model. V: Singh, V. P. (ur.): *Computer Models of Watershed Hydrology*, Littleton, Colorado, Water Resources Publications: 443–476.
- [3] Brilly, M., Šraj, M. (2014): *Osnove hidrologije*, univerzitetni učbenik, UL FGG.
- [4] Doherty, J. (2012): *Addendum to the PEST Manual*, Brisbane, Australia, Water Numerical Computing.
- [5] HEC-RAS 5.0. (2016). Reference Manual. Dostopno na: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>.
- [6] Seibert, J., Beven, K. J. (2009): *Gauging the ungauged basin: how many discharge measurements are needed?*, Hydrology and Earth System Sciences 13(6): 883–892.
- [7] Seibert, J., Vis, M.J.P. (2012): *Teaching hydrological modeling with user-friendly catchment-runoff-model software package*, Hydrology and Earth System Sciences, 3315-3325.
- [8] Vidmar, A., Globevnik, L., Koprivšek, M., Sečnik, M., Zabret, K., Đurović, B., Anzeljc, D., Kastelic, J., Kobold, M., Sušnik, M., Borojevič, D., Kupusović, T., Kupusović, E., Vihar, A., Brilly, M. (2016): *The Bosna River floods in May 2014*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 2235-2246.
- [9] Vidmar, A., Brilly, M., Rusjan, S., Bezak N., ŠRAJ, M., Sapač, K. i , Kryžanowski, A., 2017, Zbornik: 28 Mišičev vodarski dan 2017, 163-170.

AUTORI

Viš. pred. mg. sc. Andrej Vidmar ^a

doc. dr. sc. Simon Rusjan ^a

asist. dr. sc. Nejc Bezak ^a

doc. dr. sc. Andrej Kryžanowski ^a

prof. dr. sc. Mitja Brilly ^a

^a Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodzijo, UNESCO Katedra za zmanjševanje tveganj ob vodnih ujmah (WRDRR), Jamova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija, andrej.vidmar@fgg.uni-lj.si, simon.rusjan@fgg.uni-lj.si, nejc.bezak@fgg.uni-lj.si, andrej.kryzanowski@fgg.uni-lj.si, mbrilly@fgg.uni-lj.si



**ANALIZA DOTOKA U HIDROAKUMULACIJU
„MODRAC“, PADALINA I KOEFICIJENTA OTJECANJA ZA
SLIVNO PODRUČJE HIDROAKUMULACIJE „MODRAC“**

Omer Kovčić, Nedim Suljić, Mufid Tokić

SAŽETAK: Osnovni zadatak hidroakumulacije „Modrac“ predstavlja koliko vode treba biti ispušteno i zadržano za buduću upotrebu sa zadanim i/ili prognostičkim informacijama na početku razmatranog perioda. U praksi upravljanje hidroakumulacijama obično sljeduje krive upravljanja, kojima se utvrđuje koja akcija će se poduzeti uslovljena trenutnim stanjem sistema. Sa izgradnjom brane Modrac, koja je izgrađena 1964. godine, formirana je i hidroakumulacija „Modrac“. Glavni prioriteti hidroakumulacije „Modrac“ jeste osiguranje tehnološke vode za potrebe industrije u Tuzlanskoj regiji, osiguranje vode za potrebe stanovništva grada Tuzle, zaštitu poplava nizvodno od brane „Modrac“ (rasplinjavanje poplavnih valova) i proizvodnja električne energije. Ovaj rad predstavlja analizu dotoka u hidroakumulaciju „Modrac“, godišnjih količina padalina i koeficijenta otjecanja za slivno područje hidroakumulacije „Modrac“.

KLJUČNE RIJEČI: hidroakumulacija, dotok, padaline, koeficijent otjecanja, slivno područje

**ANALYSIS OF THE MULTI-PURPOSE RESERVOIR MODRAC
INFLOWS, PRECIPITATION AND RUNOFF COEFFICIENT IN ITS
CATCHMENT AREA**

ABSTRACT: The major operational task of the multi-purpose reservoir Modrac (MPP Modrac) is to determine the water quantities that should be released or retained for future use based on the required and/or forecasted information at the beginning of an observed time period. In practice, the reservoir operators usually follow the management curves stipulating which actions should be taken in the given system conditions. Through the construction of the Modrac dam in 1964, the reservoir of the same name was formed. The main reservoir priorities are the provision of technological water for the Tuzla region industries, water supply of the City of Tuzla population, flood protection downstream of the Modrac dam (flood wave reduction) and electrical power production. The paper presents an analysis of the MPR Modrac inflows and annual precipitation and runoff coefficient in its catchment area.

KEYWORDS: reservoir, inflow, precipitation, runoff coefficient, catchment area

1. OPĆENITO O SISTEMU HIDROAKUMULACIJE MODRAC

1.1. Opis sistema hidroakumulacije Modrac

Sistem predstavlja brana i hidroakumulacija Modrac s pripadajućim slivom.

Brana sa svojim ispuštima i prelivima predstavlja element sistema koja preko količine ispuštanja kroz ispuste ili preliv direktno djeluje na hidroakumulaciju odnosno njen volumen i razinu.

1.2. Osnovne karakteristike brane Modrac

Hidroakumulacija Modrac formirana je 1964. godine izgradnjom brane na rijeci Spreči, u tjesnacu Modrac (Oberman i Hukić, 1986).

Danas hidroakumulacija Modrac rješava više vodoprivrednih i izrazito privrednih aspekata. Prema Zakonu o zaštiti akumulacije Modrac ("Službene novine Tuzlanskog kantona", broj: 5/06), namjene hidroakumulacije Modrac, po redoslijedu prioriteta, su:

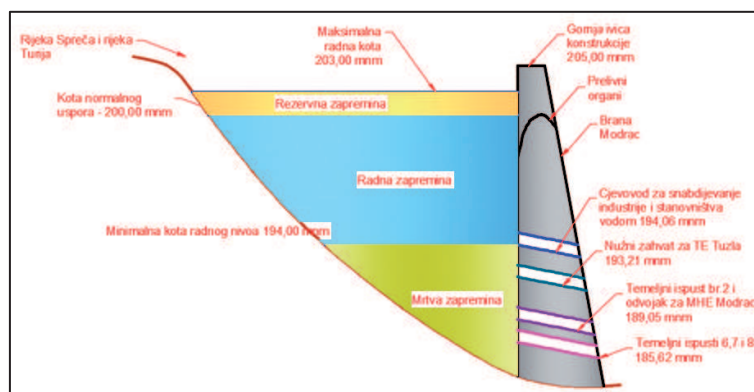
- Osiguranje vode za potrebe stanovništva;
- Osiguranje vode za potrebe industrije;
- Zaštita od poplava nizvodno od brane;
- Osiguranje *hidrobiološkog minimuma*¹ za vodotok Spreča, nizvodno od hidroakumulacije;
- Razvoj turizma, rekreacije i sportova na vodi, te
- Proizvodnja hidroenergije na MHE, korištenjem viška voda u hidroakumulaciji Modrac (Arnautalić i Hukic, 2008).

Brana Modrac je višelučna armirano-betonska, sa 11 kontrafora, sa sljedećim osnovnim karakteristikama:

- Građevinska visina brane $H=33,35$ m;
- Dužina brane u kruni $L=205,0$ m;
- Širina kontrafora pri vrhu 1,40 m, a u stopi 3,00 m;
- Kota gornje ivice konstrukcije brane 205,00 m.n.m.;
- Projektirana kota maksimalnog uspora 203,00 m.n.m.²;
- Kota prelivnih polja brane – kota normalnog uspora 200,00 m.n.m.;
- Kota minimalne radnog nivoa 194,00 m.n.m.;
- Četiri temeljna ispusta (broj: 2, 6, 7 i 8) u kontraforima (2, 6, 7 i 8) sa kotama osovine zatvarača, na izlazu: 190,00 m.n.m, 186,55 m.n.m, 186,51 m.n.m. i 186,55 m.n.m. Maksimalni kapacitet (maksimalni stepen otvorenosti zatvarača) temeljnih ispusta je oko 80,00 m³/s, te
- Tri prelivna polja sa ski-skokom, bez ustava, (Matić, 2001).

¹ Hidrobiološki minimum nije usaglašen sa Pravilnikom o načinu određivanja ekološki prihvatljivog proticaja, "Službene novine Federacije BiH", broj 70/06.

² Važno je spomenuti da je projektovana kota maksimalnog uspora premašena za vrijeme poplavnog vala u maju 2014. godine i da je iznosila 203,42 m.n.m.



Slika 1. Zone hidroakumulacije Modrac, (Kovčić, 2017)

Od 1999. godine, na temeljnom ispustu broj 2 izvedena je MHE "Modrac" približno instalirane snage 2,0 MW (tačnije, pri čemu je ukupni evakuacioni kapacitet preostalih temeljnih ispusta i MHE ostao približno isti, 80,0 m³/s, (Suljić i drugi, 2012).

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE HIDROAKUMULACIJE I SLIVNOG PODRUČJA

2.1. Morfometrijske karakteristike hidroakumulacije Modrac

Od formiranja hidroakumulacije 1964. godine do geodetsko - hidrografskog mjerenja 2002. godine, za potrebe praćenja stanja hidroakumulacije definirano je 20 poprečnih profila. Isti su na terenu označeni trajnim oznakama, a mjerenja su izvođena u određenim vremenskim periodima – 1964., 1979., 1985. i 2002. godine, za to vrijeme primjerenim geodetskim metodama, pri čemu se pratila promjena volumena hidroakumulacije, korisni volumen hidroakumulacije, volumen unesenog nanosa te morfometrijske karakteristike dna.

Najnovija mjerenja provedena su 2012. godine, u okviru kojih su prvi puta, zahvaljujući napretku mjerne tehnologije, kombinirana satelitska, aerofotogrametrijska, terestrička i hidrografska metoda mjerenja terena, tablica 1.

Tablica 1. Morfometrijske karakteristike hidroakumulacije Modrac za 2012. godinu (Dragun, 2012)

Karakteristika	1964.	1985.	2012.
Površina (km ²)	17,1	16,75	16,69
Ukupni volumen (m ³)	98 x 10 ⁶	88 x 10 ⁶	103 x 10 ⁶
Korisni volumen (m ³)	77 x 10 ⁶	76 x 10 ⁶	66 x 10 ⁶
Maksimalna dubina (m)	18,0	18,0	14,94
Prosječna dubina (m)	5,7	5,2	5,32
Maksimalna dužina (m)	10.700	10.400	10.476
Maksimalna širina (m)	1.600	1.780	2.411
Dužina obale (m)	33.250	31.700	42.538

Kako bi se uradio dovoljno precizan model za sliv hidroakumulacije Modrac, sliv je podijeljen na podslivove upotrebom GIS modela. Kao rezultat toga, sliv je podijeljen u 5 podslivova (slika 2.). Ukupna površina sliva hidroakumulacije Modrac dobivena upotrebom GIS modela iznosi 1.192,05 km².



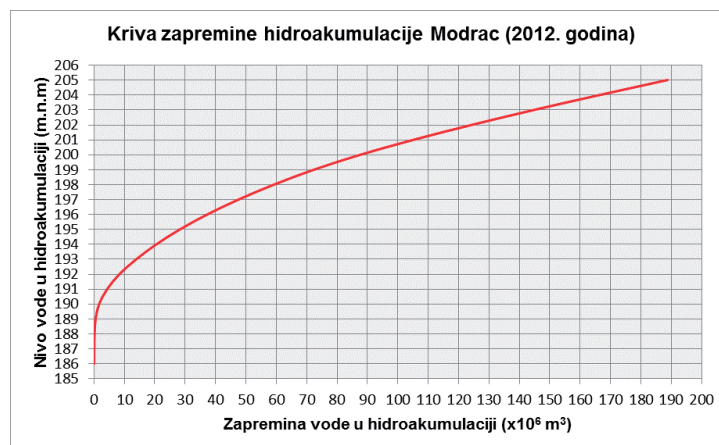
Slika 2. Slivno područje hidroakumulacije Modrac, (Kovčić, 2017)

2.2. Kriva volumena hidroakumulacije Modrac

Kako se volumen u toku eksploatacije smanjuje uslijed nanosa koga unose vodotoci, mijenja se i kriva volumena.

Da bi se ispravno mogli odrediti prirodni proticaji u različitim vremenskim razdobljima, neophodno je poznavanje krive volumena za svako razdoblje. Radi toga se u određenim vremenskim razmacima vrše geodetska snimanja dna hidroakumulacije i na osnovu tog snimanja se konstruira kriva.

Dobiven je volumen hidroakumulacije Modrac za 2012. godinu, (Dragun, 2012).



Slika 3. Kriva volumena hidroakumulacije za 2012. godinu (Dragun, 2012)

3. KARAKTERISTIKE REGISTROVANIH VODNIH VALOVA ZA PERIOD OD 1985. – 2015. GODINE

Hidroakumulacija Modrac, prema dosadašnjim istraživanjima reducira maksimalne protoke nizvodno od brane Modrac 24,56 do 54,60 % (tablica 2.).

U periodu od formiranja hidroakumulacije Modrac do današnjih dana, registrirani su svi značajniji poplavni valovi. U tablici 2. dat je pregled karakteristika registriranih poplavnih valova iz aprila 1985, jula 1986, maja 1987, juna 2001, maja/juna 2010. i maja 2014. godine.

Hidrogrami vodnih valova su utvrđeni na osnovu prirodnog dotoka u hidroakumulaciju. Hidrogrami isticanja su određeni na osnovu ispuštanja kroz ispusne organe na brani Modrac.

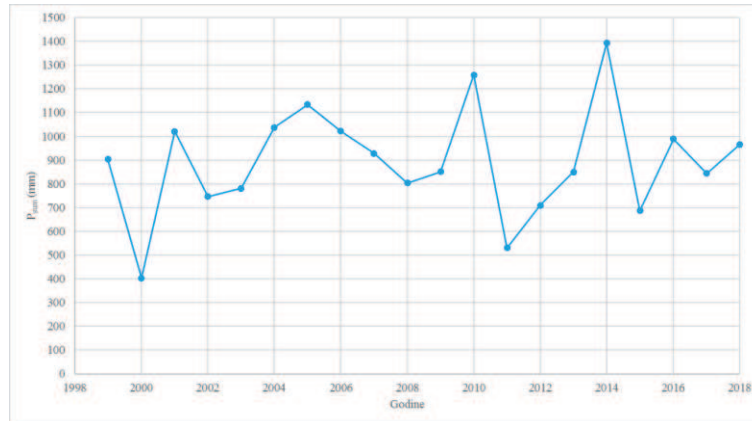
Tablica 2. Prikaz karakteristika registrovanih poplavnih valova (Kovčić, 2011 i Kupusović i drugi, 2015)

Vrijeme pojave poplavnog vala	Maksimalna razina H	Doticaj Q_{dot}	Isticanje Q_{ist}	Retenziono djelovanje akumulacije	Padavine ³
	(m.n.m.)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	%	(mm)
14.4. – 24.4. 1985.	201,09	406,50	201,10	50,53	81,16
15. 25.7. 1986.	200,74	272,10	154,90	43,07	117,57
3.5- 13.5 1987.	201,60	730,00	331,45	54,60	112,30
17.6. – 27.6. 2001.	202,12	619,10	466,36	24,56	60,20
29.5. – 8.6. 2010.	201,18	411,11	252,54	38,57	92,60
14. – 23.5. 2014.	203,42	1602,00	1137,00	29,00	213,90

Prepražnjenjem hidroakumulacije, u skladu sa analizama geneze velikih voda u slivu i prognozom nailaska poplavnog talasa, mogu se znatno poboljšati efekti djelovanja hidroakumulacije na odbranu od poplava, što nije bio slučaj u prošlosti.

4. OBORINE U SLIVU HIDROAKMULACIJE MODRAC

U nastavku rada (slika 4.) prikazane su sume godišnjih oborina za slivno područje hidroakumulacije „Modrac“ za period od 1999. - 2018. godine. Svi podaci o oborinama mjereni su klimatološkoj stanici „Modrac“ (K.S. Modrac), koja je locirana u blizini brane Modrac.



Slika 4. Suma godišnjih oborina za slivno područje hidroakumulacije „Modrac“ za period od 1999. - 2018. godine

5. DOTOK U HIDROAKUMULACIJU MODRAC

Osnovni problem kod prognoze dotoka se sastoji u matematičkom opisivanju transformacije isticanja sa profila brane, u ovom slučaju brane Modrac.

Doticaji u profilu Modrac Q_{DOT} su računati na osnovu bilancne jednadžbe (1,2), odnosno preko ukupnog volumena dotekle vode, promjena volumena jezera ΔV i volumen istekle vode V_{IZ} u jedinici vremena ($\Delta t=1$ sat). Promjena volumena jezera ΔV je sračunata na osnovu mjerene razine na profilu brane, odnosno promjene razine na profilu brane i krive volumena. Isticanja iz akumulacije Q_{UI} su određena preko jednadžbi za prelivanje, te za isticanje kroz temeljne ispuste i MHE.

Proračun doticaja računa se preko bilancne jednadžbe, (1,2):

$$\int_{t_0}^t Q_{DOT} dt = \int_{t_0}^t Q_{IZ} dt \pm \Delta V \quad (1)$$

$$Q_{DOT} \cdot \Delta t = Q_{IZ} \cdot \Delta t \pm \Delta V \quad (2)$$

gdje je:

$$Q_{DOT} \cdot \Delta t = V_{DOT};$$

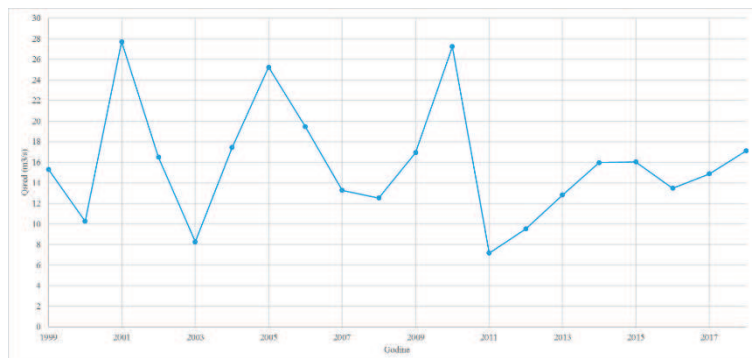
Q_{DOT} - Doticaj u hidroakumulaciju,

$$Q_{IZ} \cdot \Delta t = V_{IZ};$$

Q_{DOT} - Isticanje iz hidroakumulacije,

ΔV - Volumen koji ostaje u hidroakumulaciji.

Na slici 5. predstavljen je hidrogram srednjih godišnjih dotoka u hidroakumulaciju Modrac za period od 1999. – 2018. godine.



Slika 5. Hidrogram srednjih godišnjih količina doticaja u hidroakumulaciju Modrac za period od 1999. – 2018. godine

6. SRAČUNATI KOEFICIJENT OTJECANJA ZA SLIVNO PODRUČJE HIDROAKUMULACIJE MODRAC

Prosječni godišnji koeficijent otjecanja η za slivno područje hidroakumulacije Modrac sračunat je na osnovu podataka o mjenim količinama padavina na godišnjoj razini i količina vode koja dotekla u hidroakumulaciju sračunata na osnovu bilancne jednačine, također na godišnjoj razini za već pomenuti razmatrani period od 1999. – 2018. godine. Prosječni koeficijent otjecanja η je određen na osnovu slijedećeg obrasca, (Žugaj, 2010):

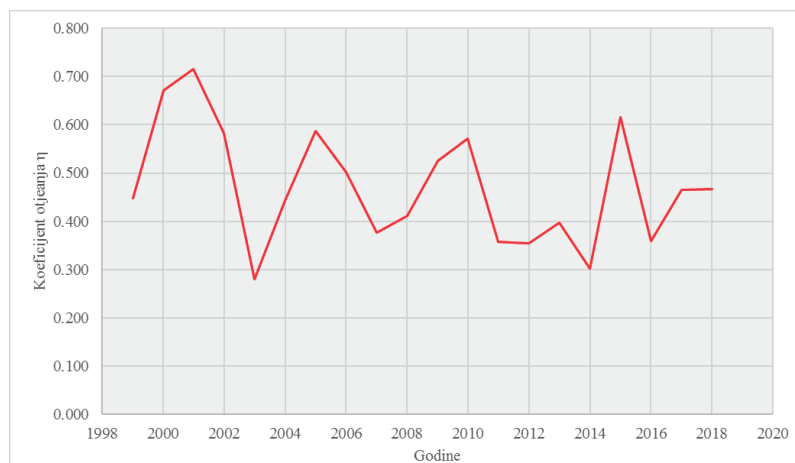
$$\eta = \frac{V_{\text{isticanja}}}{V_{\text{oborina}}}$$

Gdje je :

$V_{\text{isticanja}}$ - količine vode isticanja (m^3)

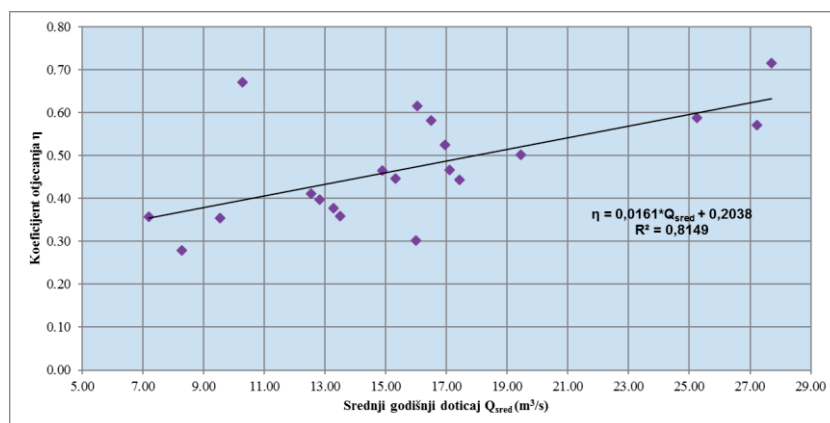
V_{padavina} - količina oborina (m^3)

Slika 6. prikazuje prosječni koeficijent otjecanja η za slivno područje hidroakumulacije Modrac za period od 1999. – 2018. godine.

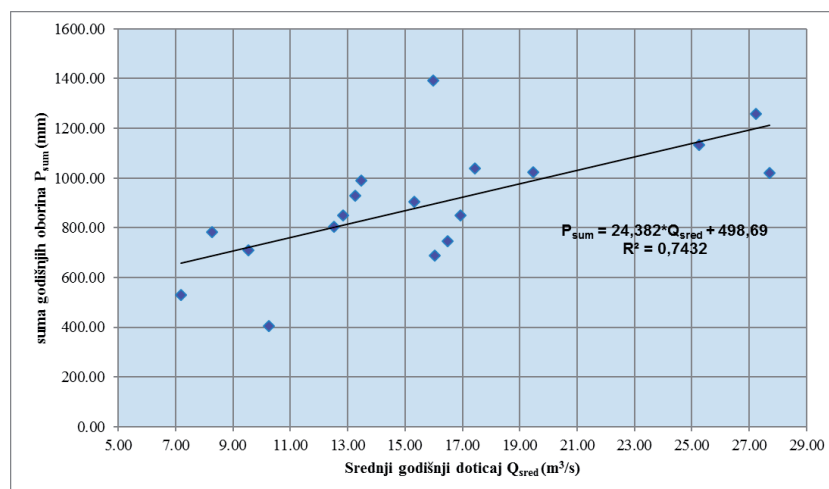


Slika 6. Prosječni godišnji koeficijent otjecanja za slivno područje hidroakumulacije Modrac za period od 1999.-2018. godine, (Suljić i Kovčić, 2018)

U nastavu rada prikazana je funkcionalna zavisnost između koeficijenta otjecanja i sračunatog srednjeg godišnjeg doticaja u hidroakumulaciju Modrac (slika 7.) i funkcionalna zavisnosti između koeficijenta otjecanja i godišnje sume oborina P_{sum} (slika 8.)



Slika 7. Koeficijent otjecanja u funkciji srednjeg godišnjeg doticaja u hidroakumulaciju Modrac Q_{sred} (m³/s) za period od 1999. – 2018.



Slika 8. Suma godišnjih oborina u funkciji srednjeg godišnjeg doticaja u hidroakumulaciju Modrac Q_{sred} (m³/s) za period od 1999. – 2018.

ZAKLJUČAK

U radu je prezentovana zavisnost koeficijenta otjecanja η u odnosu na srednji godišnji doticaj u hidroakumulaciju Modrac i godišnju sumu padavina P_{sum} na slivnom području hidroakumulacije Modrac. Vidljivo je da je vrijednost koeficijenta korelacije R u odnosu koeficijenta otjecanja i godišnjeg srednjeg protoka Q_{sred} iznosi $R=0,903$ što predstavlja jako pozitivnu vezu (slika 6), dok u odnosu koeficijenta otjecanja η i godišnjih suma padavina P_{sum} koeficijent korelacije iznosi $R=0,862$ što predstavlja srednju pozitivnu vezu (slika 7). Također, treba napomenuti da je vrijednost srednjeg godišnjeg koeficijenta otjecanja za slivno područje hidroakumulacije Modrac najmanja bila 2002. godine, a najveća 2004. godine (slika 8.).

LITERATURA

- [1] Kovčić, O. (2017). „Upravljanje hidroakumulacijama za višenamjensko korištenje, na primjeru jezera Modrac“ Univerzitet u Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski fakultet, Tuzla, doktorska disertacija
- [2] Arnautalić, Z., Hukić, S. (2008.) : *Plan aktivnosti za JP za vodoprivrednu djelatnost d.d. Spreča Tuzla*, oktobar 2008. godine, Tuzla.
- [3] Dragun, D. (2012.) : *Geodetsko - hidrografsko snimanje dna i priobalja akumulacije Modrac sa obradom mjerenih podataka*, MIG d.o.o. iz Slavonskog Broda.
- [4] Hrelja, H. (2007.) : *Inženjerska hidrologija*, Univerzitet u Sarajevu – Građevinski fakultet, str. 1066.
- [5] Kovčić, O. (2011.): Analiza vodnih valova na profilu akumulacije „Modrac“ sa aspekta propusne moći brane, Magistarski rad, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko –

- geološko – građevinski fakultet, Tuzla.
- [6] Matic, Z. (2001.): *Analiza poplavnog vala rijeke Spreče na profilu brane „Modrac“*, JP „Spreča“ d.d. Tuzla, Tuzla.
- [7] Oberman, T., Hukić, S. (1986.): *Elaborat maksimalnog vremena pražnjenja i maksimalnog vremena punjenja akumulacije „Modrac“*, JP „Spreča“ d.d. Tuzla, Tuzla.
- [8] Suljić, N., Suljanović, E., Kovčić, O. (2012.): *Analiza poplavnih valova za akumulaciju „Modrac“ na profilu izgrađene brane*, Zbornik radova RGGF Tuzla; Konferencija o korištenju i zaštiti voda „Voda 2012“, Divčibare, (Pregledni stručni rad).
- [9] Kupusović, T., Vučijak, B., Kovčić, O. (2015): Akumulacija Modrac i njeno funkcioniranje tijekom poplave u svibnju 2014. godine, Hrvatske vode 23(2015) 91 19-28 19, UDK 556.166(497.6)
- [10] Žugaj, R. (2000.): *Hidrologija*, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb, 2010. str. 286.
- [11] Suljić, N., Kovčić, O. (2018): Analysis of time oscillations of water on lake Modrac as a multi-purpose reservoir, Archives for Technical Sciences 2018, 18(1), 31-40, Original Scientific paper, UDC 628.258:550.38, DOI: 10.7251/afts.2018.1018.031S, COBISS.RS-ID 7323160

AUTORI

Dr.sc. Omer Kovčić ^a

docent, Prof.dr.Nedim Suljić, vanr.prof. ^b

Mufid Tokić, mag.ing.aedif. ^c

^a JP“Spreča“ d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosna i Hercegovina, omer.kovcic@gmail.com

^b Univerzitet u Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski fakultet, Prodekan za naučno-istraživački rad, Katedra za hidrotehniku, nedim.suljic@untz.ba

^c JP“Spreča“ d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosna i Hercegovina, mufid.tokic@gmail.com



R 1.39.

OCJENA STANJA I PROCJENA RIZIKA ZA GRUPIRANA TIJELA PODZEMNIH VODA U PANONSKOM DIJELU REPUBLIKE HRVATSKE

Zoran Nakić, Zoran Kovač, Jelena Parlov, Dario Perković

SAŽETAK: Za potrebe izrade *Plana upravljanja vodnim područjima Republike Hrvatske za razdoblje od 2016. do 2021. godine* proveden je postupak ocjene kemijskoga stanja i procjene rizika za grupirana tijela podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske (RH). Tijekom provedbe ocjene stanja i procjene rizika pokazalo se da su za pojedina grupirana tijela podzemnih voda podaci iz nacionalnog monitoringa kakvoće podzemnih voda bili nedostatni za daljnje analize. U takvim okolnostima su ocjena kemijskog stanja te procjena rizika provedene s niskom razinom pouzdanosti. Tijekom 2018. godine značajno je unaprjeđena metodologija ocjene stanja i procjene rizika. Definirana je pouzdana i robusna metodologija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari, utvrđeni su kriteriji za korištenje podataka manjih od granice kvantifikacije i granice detekcije, a definiran je i okolišno značajni trend u okviru postupka određivanja stalnih i značajnih uzlaznih trendova onečišćujućih tvari. Primjenom unaprjeđene metodologije, određene su ambijentalne pozadinske koncentracije za relevantne tvari te granične vrijednosti onečišćujućih tvari. Osim toga, unaprjeđeni su konceptualni modeli grupa tijela podzemnih voda na području panonskog dijela RH. Korištenjem svih dostupnih podataka o kakvoći podzemne vode i sirove vode ponovljena je procjena rizika za grupirana tijela podzemnih voda u panonskom dijelu RH.

KLJUČNE RIJEČI: podzemna voda, ocjena stanja, procjena rizika, grupirana tijela podzemnih voda

STATUS ASSESSMENT AND RISK ASSESSMENT FOR GROUPS OF GROUNDWATER BODIES IN THE PANNONIAN PART OF THE RE- PUBLIC OF CROATIA

ABSTRACT: For the purposes of developing the River Basin Management Plan of the Republic of Croatia 2016 - 2021, a procedure of chemical status assessment and risk assessment for groups of groundwater bodies in the Pannonian part of the Republic of Croatia was carried out. During the status assessment and risk assessment, it was determined that data from the national groundwater quality monitoring was insufficient for some groups of groundwater bodies and further analyses. In such circumstances, the chemi-

cal status assessment and risk assessment were conducted with a low level of reliability. During 2018, the status and risk assessment methodology was significantly improved. A reliable and robust methodology for determining background levels and threshold values of pollutants was established, the criteria for the use of data below the limit of quantification and limit of detection were determined and an environmentally significant trend was identified within the procedure of identification of significant and sustained upwards trends in the concentration of pollutants. By applying this improved methodology, ambient background concentrations of relevant substances and threshold values of pollutants were determined. In addition, the conceptual models of groups of groundwater bodies in the Pannonian part of the Republic of Croatia were improved. Using all available data on the quality of groundwater and raw water, the risk assessment for groups of groundwater bodies in the Pannonian part of the Republic of Croatia was repeated.

KEYWORDS: groundwater, status assessment, risk assessment, groups of groundwater bodies

1. UVOD

Za potrebe izrade *Plana upravljanja vodnim područjima Republike Hrvatske za razdoblje od 2016.-2021. godine* (u nastavku *Plan*), izrađena je Studija pod naslovom „Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske“ (Nakić i drugi, 2016). U okviru ove Studije predložene su metodologije za ocjenu kemijskoga stanja i procjenu rizika u panonskom dijelu Hrvatske, koje su *Planom* prihvaćene kao nacionalne metodologije. Sastavni dio navedenih metodologija čini metodologija za određivanje graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari, koja, između ostaloga, definira postupak određivanja pozadinskih koncentracija za tvari koje se javljaju prirodno i pod utjecajem čovjeka.

Ocjena kemijskoga stanja provodi se primjenom klasifikacijskih testova, prema pristupu iz *CIS vodiča br. 18* iz 2009. godine. Procjena rizika od nepostizanja dobrog kemijskoga stanja tijela podzemnih voda provodi se prema pristupu iz *CIS vodiča br. 26* i *CIS Tehničkoga izvještaja o procjeni rizika za podzemne vode* iz 2004. godine, uz primjenu konceptualnih modela tijela podzemnih voda. Sastavni dio procjene rizika jest analiza pritisaka i utjecaja, koja se provodi temeljem članka 5. *Okvirne direktive o vodama*, ODV, kroz primjenu DPSIR okvira (pokretač-pritisak-stanje-utjecaj-odgovor). Za ocjenjivanje kemijskog stanja tijela podzemne vode i procjenu rizika koriste se parametri za koje su *Direktivom o podzemnim vodama*, DPV, i *Uredbom o standardu kakvoće voda* (u nastavku *Uredba*) određeni europski i nacionalni standardi kakvoće podzemnih voda.

U okviru postupaka ocjene stanja i procjene rizika pokazalo se da su za pojedina grupirana tijela podzemnih voda podaci iz nacionalnoga monitoringa kakvoće podzemnih voda bili nedostadni za daljnje analize, odnosno podaci su bili ispod granice kvantifikacije. Određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti tvari provedeno je s niskom razinom pouzdanosti, što je u konačnici rezultiralo i niskom razinom pouzdanosti ocjene kemijskog stanja i procjene rizika za grupirana tijela podzemnih voda u panonskom dijelu Hrvatske.

Tijekom 2018. godine provedena su ciljana istraživanja, kako bi se unaprijedile postojeće metodologije za ocjenu stanja i procjenu rizika (Nakić i drugi, 2018). Između ostaloga,

definirana je pouzdana i robusna metodologija za određivanje pozadinskih koncentracija, utvrđeni su kriteriji za korištenje podataka manjih od granice kvantifikacije i granica detekcije, a definiran je i okolišno značajni trend u okviru postupka određivanja stalnih i značajnih uzlaznih trendova onečišćujućih tvari. Unaprijeđene metodologije testirane su na podacima iz nadzornoga i operativnog monitoringa radi provjere njihove učinkovitosti i korištenja za potrebe implementacije *Plana*, naročito u dijelu koji se odnosi na procjenu rizika od nepostizanja dobrog kemijskog stanja. U nastavku rada sažeto su prikazani rezultati ovih istraživanja.

2. REZULTATI OCJENE KEMIJSKOG STANJA I PROCJENE RIZIKA IZ 2016. GODINE

Postupak ocjene kemijskoga stanja za grupirana tijela podzemnih voda u panonskom dijelu Hrvatske proveden je primjenom metodologije iz 2016. godine (Nakić i drugi, 2016). Tijelo podzemne vode je u lošem kemijskom stanju ukoliko su rezultati bilo kojega klasifikacijskoga testa pokazali loše stanje. Konačni rezultat ocjene kemijskoga stanja izražava se s određenom razinom pouzdanosti (visokom ili niskom), koja ovisi o kvaliteti i dostupnosti podataka. U slučajevima kada u određenom tijelu ne postoje dovoljno kvalitetni podaci (ili podataka nema) za provedbu određenoga testa, tada je tijelo podzemne vode u dobrom kemijskom stanju, s niskom razinom pouzdanosti za taj određeni test.

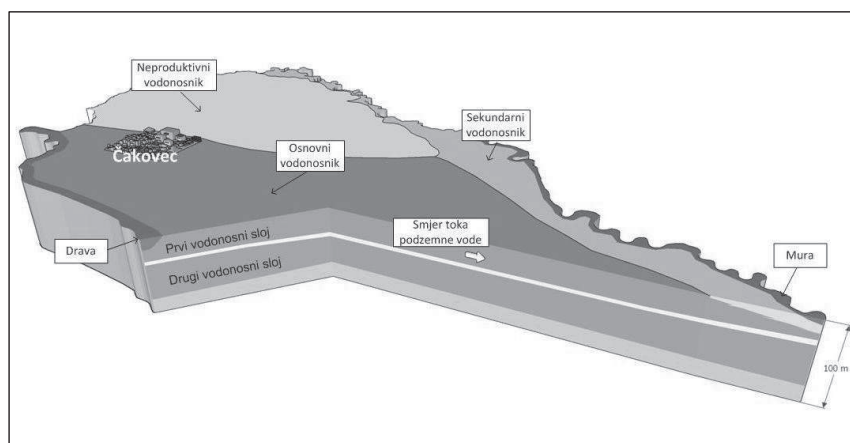
Rezultati ocjene stanja su pokazali da je većina grupiranih tijela podzemnih voda u dobrom kemijskom stanju, ali s niskom razinom pouzdanosti (Nakić i drugi, 2016). U lošem kemijskom stanju utvrđeno je grupirano tijelo podzemnih voda Varaždin, s obzirom na nitrate, kao i osnovno tijelo podzemnih voda HR204, u okviru grupiranog vodnog tijela Zagreb, zbog povišenih vrijednosti sume trikloretilena i tetrakloretilena.

Postupak procjene rizika proveden je temeljem podataka motrenja kemijskoga stanja, podataka o pritiscima i podataka o prirodnoj ranjivosti. U postupku procjene rizika korišteni su istovrsni podaci i elementi stanja koji su korišteni i u postupku ocjene stanja (podaci motrenja, granične vrijednosti, analiza trendova, procjena elementa stanja za svaki značajan prijamnik). Prilikom procjene rizika korišten je „princip predostrožnosti“, što znači da određeno tijelo može biti u riziku, iako je trenutno u dobrom stanju. Procjena rizika provedena je za relevantne okolišne ciljeve definirane člankom 4 ODV, a to su: „spriječiti pogoršanje stanja tijela podzemnih voda“ i „postići dobro stanje podzemnih voda (kemijsko)“. Konačni rezultat procjene rizika određen je s određenom razinom pouzdanosti (visokom ili niskom). U svim slučajevima kada je ocijenjeno da je kvaliteta podataka za potrebe procjene rizika loša ili podataka nema, tada je, sukladno „principu predostrožnosti“, određeno tijelo podzemne vode označeno da je u riziku s niskom razinom pouzdanosti. Sva ona tijela koja su ocijenjena da su u lošem stanju ujedno su označena da su u riziku od nepostizanja cilja „postići dobro stanje podzemnih voda (kemijsko)“.

Rezultati procjene rizika pokazali su da većina grupiranih tijela podzemnih voda nije u riziku, a procjena rizika je napravljena s niskom razinom pouzdanosti (Nakić i drugi, 2016). U riziku su, s obzirom na nitrate, grupirana tijela podzemne vode: „Međimurje“, „Varaždinsko područje“ i „Legrad – Slatina“, kao i osnovno tijelo podzemnih voda „HR207“, u okviru grupiranog vodnog tijela „Zagreb“. Osnovno tijelo podzemnih voda „HR204“ je u riziku zbog povišenih vrijednosti sume trikloretilena i tetrakloretilena.

3. UNAPRJEĐENA METODOLOGIJA

U okviru ciljanih istraživanja provedenih tijekom 2018. godine (Nakić i drugi, 2018). unaprjeđeni su postojeći konceptualni modeli grupa tijela podzemnih voda na području panonskog dijela Republike Hrvatske. U tu svrhu, korišteni su dostupni podaci iz: nacionalnoga monitoringa podzemnih voda, monitoringa sirove vode (na crpilištima i izvorištima korištenim za javnu vodoopskrbu) te prostornih baza podataka točkastih i raspršenih izvora onečišćenja. Napravljena je detaljna analiza kvalitete i dostupnosti podataka o kakvoći podzemne i sirove vode s prijedlozima poboljšanja praćenja kemijskih tvari na mjernim postajama. U okviru grupiranih tijela podzemne vode razdvojeni su njihovi produktivni dijelovi i vodonosnici dobre propusnosti unutar njih, prema metodologiji iz 2009. godine (Brkić i drugi, 2009). Na slici 1 prikazan je primjer za grupirano tijelo Međimurje.



Slika 1. Shematski prikaz konceptualnog modela grupiranog tijela podzemne vode „Međimurje“ (Nakić i drugi, 2018)

Tijekom postupka ocjene kemijskoga stanja i procjene rizika za potrebe izrade *Plana* pokazalo se da su granične vrijednosti onečišćujućih tvari određene s niskom razinom pouzdanosti, dijelom i zbog nepostojanja jasnih, objektivnih i pouzdanih kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija. Zbog navedenoga, izrađen je prijedlog metodologije određivanja tzv. ambijentalnih pozadinskih koncentracija tvari u podzemnim vodama panonskog dijela Republike Hrvatske. Ambijentalne pozadinske koncentracije javljaju se pod malo izmijenjenim uvjetima, kada povišene razine koncentracija neke tvari u vodi proizlaze iz dugoročnog utjecaja čovjeka, kao što su poljoprivreda, industrija ili urbanizacija, što znači da izmjerene vrijednosti koncentracija neke tvari nisu i ne mogu biti (u cijelosti) odraz prirodnih uvjeta (Reiman i Garrett, 2005).

Prilikom izrade metodologije u obzir su uzeti zahtjevi EU direktiva i CIS vodiča, kao i postojeći pristup određivanja pozadinskih koncentracija, definiran *Planom*. Uz navedeno, proučeni su relevantni znanstveni radovi i iskustva iz Europe i svijeta, kao i preporuke BRIDGE projekta, o primjeni metoda za određivanje pozadinskih koncentracija (Müller i drugi, 2005). Izdvojene su i detaljno opisane relevantne metode za određivanje

pozadinskih koncentracija, koje imaju široku primjenu u svijetu i koje pripadaju u tzv. *objektivne metode temeljene na modelu* (engl. model-based objective methods). Ove vrste metoda se temelje na pristupu određivanja funkcije raspodjele vjerojatnosti, kod kojih se granice između pozadinskih i antropogeno uvjetovanih koncentracija određuju temeljem podataka, a ne temeljem proizvoljne odluke istraživača (Sinclair, 1991). Ocjena primjerenosti i mogućnosti primjene *objektivnih metoda temeljenih na modelu*, dobivena je korištenjem statističke simulacijske studije (Nakić i drugi, 2018), kojom su uspoređene metode na osnovi zajedničkih kriterija, pri čemu je vrlo važan kriterij bio broj podataka koncentracija promatranih tvari koje su ispod granice kvantifikacije (engl. limit of quantification, LOQ). Rezultati simulacijske studije omogućili su izbor najpouzdanijih i najrobusnijih metoda za određivanje pozadinskih koncentracija tvari u podzemnim vodama panonskog dijela Republike Hrvatske.

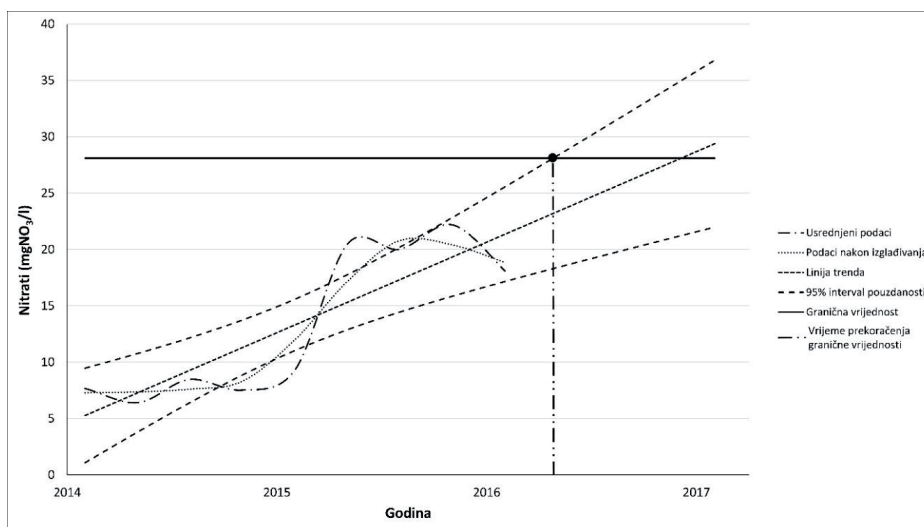
Rezultati simulacijske studije pokazali su da su *Metoda temeljena na vjerojatnosnom grafu* (engl. Probability plot) i *Lepeltier-ova metoda* najpouzdanije i najrobusnije metode za izračun ambijentalnih pozadinskih koncentracija (Nakić i drugi, 2018). Značajka obje metode je da pripadaju u grafičke metode, pomoću kojih se definira točka infleksije koja razdvaja ambijentalne pozadinske koncentracije od neambijentalnih koncentracija, koje su posljedica antropogenih utjecaja. *Metoda temeljena na vjerojatnosnom grafu* u prosjeku daje najbolje rezultate, dok *Lepeltierova metoda* ima bolje rezultate kod malih uzoraka s visokim udjelima vrijednosti ispod LOQ-a. Osim navedenih metoda, prilikom izračuna ambijentalnih pozadinskih vrijednosti korištena je i *Metoda prethodnog odabira* (engl. Preselection method), osmišljena tijekom realizacije BRIDGE projekta, koja je korištena u slučajevima kada je broj <LOQ podataka veći od 30 % od ukupnog broja podataka (u tijelu podzemne vode) te ukoliko je ukupan broj podataka bio manji od 30. Navedenu metodu su u svojim istraživanjima koristili brojni istraživači (Coetsiers i drugi, 2009; Gemitzi, 2012; Griffioen i drugi, 2008).

Primjenom odabranih metoda, za sva grupirana tijela podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske računane su ambijentalne pozadinske koncentracije tvari navedenih u dodatku I. i II. DPV, kao i tvari preporučenih BRIDGE projektom (Nakić i drugi, 2018). Za većinu grupiranih tijela podzemne vode određene su ambijentalne pozadinske koncentracije za: električnu vodljivost, pH vrijednost, otopljeni kisik, željezo te glavne anione i katione, a za neka grupirana tijela, ovisno o dostupnosti podataka, određene su ambijentalne pozadinske vrijednosti i drugih tvari (primjerice teških metala).

Izrazito je važno definirati odgovarajuće kriterije za korištenje podataka manjih od granica kvantifikacije (LOQ) i granica detekcije (engl. limit of detection, LOD). Postojanje LOQ i LOD u mjerenjima iziskuje odgovarajuću primjenu tih vrijednosti u interpretaciji rezultata mjerenja, jer isti mogu narušiti neka osnovna statistička svojstva, poput neprekidnosti funkcije gustoće ili specifikacije određene parametrizacije funkcije gustoće. Stoga je, kod primjene statističkih metoda, od izrazite važnosti uzeti u obzir način na koji se LOQ i LOD vrijednosti koriste u daljnjoj analizi i interpretaciji. Standardni pristupi modeliranju s LOQ vrijednostima su: izbaciti vrijednosti iz daljnje analize, zamijeniti mjerenja fiksnom vrijednosti (0, pola LOQ, LOQ i slično) ili statistički modelirati pomoću vjerodostojnosti, ukoliko je poznat oblik distribucije. Najučestaliji pristup u primjeni je zamjena mjerenja nekom fiksnom vrijednosti te se ovakav pristup standardno primjenjuje u odgovarajućim smjernicama i/ili vodičima (USEPA, 2006; Grath i drugi,

2001). Prednosti zamjene fiksnom vrijednosti mogu se pronaći u jednostavnijoj primjeni kao i zadržavanju podataka (izvorno prikazanih s <LOQ), u odnosu na metode kod kojih se izbacuju vrijednosti iz daljnje analize. Iako *Uredba* i smjernice iz dokumenta USEPA (2006) definiraju zamjenu <LOQ vrijednosti s pola vrijednosti LOQ-a, simulacijska studija (Nakić i drugi, 2018) pokazala je da se bolji rezultati dobivaju ako se vrijednosti < LOQ-a zamijene s vrijednosti LOQ.

Sukladno zahtjevima DPV i *CIS vodiča br. 18 i 26*, u okviru postupka ocjene kemijskog stanja i procjene rizika potrebno je provesti analizu trendova onečišćujućih tvari. U okviru ciljanih istraživanja, provedenih tijekom 2018. godine (Nakić i drugi, 2018), unaprijeđena je metodologija određivanja uzlaznih antropogenih trendova. U analizu trenda uveden je postupak određivanja okolišno značajnoga trenda, koji se procjenjuje ukoliko je dokazana statistička značajnost trenda. Postupak započinje ekstrapolacijom vremenskoga niza mjerenih podataka za promatranu tvar, produljenjem do 30% postojećega vremenskoga niza podataka. Postojanje okolišno značajnoga trenda procjenjuje se u odnosu na graničnu vrijednost tvari koja se koristi u postupku provedbe relevantnoga klasifikacijskog testa za procjenu rizika. Okolišno značajan trend postoji ukoliko gornji interval pouzdanosti procjene trenda, određen s 95 % pouzdanosti, prelazi graničnu vrijednost određenu u postupku provedbe relevantnoga klasifikacijskog testa. Procjena okolišnoga značajnoga trenda provodi se na mjerenim i ekstrapoliranim podacima (slika 2).

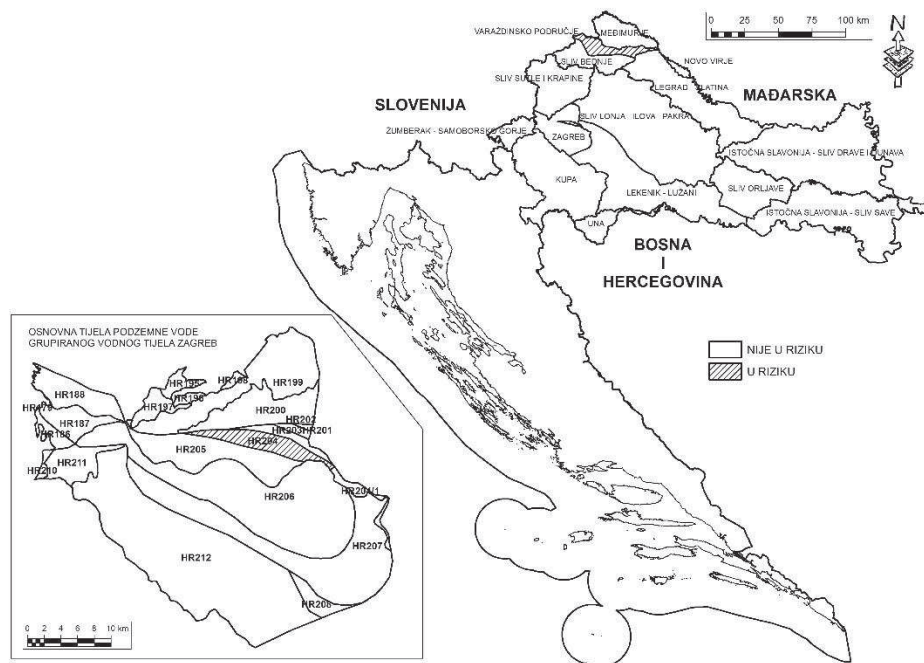


Slika 2. Procjena okolišno značajnoga trenda (Nakić i drugi, 2018)

4. REZULTATI PROCJENE RIZIKA IZ 2018. GODINE

Na osnovi unaprjeđene metodologije, u 2018. godini ponovljena je procjena rizika od nepostizanja dobrog kemijskog stanja tijela podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske (Nakić i drugi, 2018). Postupak procjene rizika proveden je na temelju: podataka kemijskoga stanja podzemne vode s mjernih postaja koje se nalaze u produktivnim vodonosnicima, podataka o pritiscima (izvorima onečišćenja) i podataka o prirodnoj ranjivosti. Procjena rizika provedena je za sva grupirana tijela podzemne vode u panonskom dijelu Republike Hrvatske, osim za grupirano tijelo Zagreb gdje je procjena rizika napravljena na razini osnovnih vodnih tijela u okviru kojih postoji dovoljan broj mjernih postaja. Konačni rezultat procjene rizika određen je s visokom ili niskom razinom pouzdanosti. U okviru procjene rizika korišteni su svi osnovni parametri iz dodatka I. i II. DPV, ali i oni za koje je utvrđena povišena koncentracija u odnosu na maksimalno dopuštene koncentracije prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analiza, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* (NN 125/17). Procjena rizika provedena je za sve relevantne okolišne ciljeve definirane člankom 4. ODV.

Rezultati su pokazali da većina grupiranih tijela podzemne vode nije u riziku (slika 3), međutim, procjena rizika je uglavnom napravljena s niskom razinom pouzdanosti. Naime, pokazalo se kako za većinu izvorišta u velikom broju grupiranih vodnih tijela nisu izračunati trendovi (neophodni za provedbu pojedinih klasifikacijskih testova), ponajprije zbog nedostataka podataka, odnosno nedovoljnog broja kvartalnih podataka u zadnjim godinama mjerenja. U riziku je samo grupirano tijelo podzemne vode „Varaždinsko područje“, s obzirom na nitrata. Srednje vrijednosti nitrata prelaze granične vrijednosti u većini kvartala u razdoblju od 2007. do 2017. godine, što je povezano s utjecajem plošnih (poljoprivreda) i točkastih izvora onečišćenja (odlagališta, ispusti otpadnih voda i dr.). Potrebno je naglasiti da je najveći dio ovog grupiranog tijela podzemne vode okarakteriziran visokom ili vrlo visokom prirodnom ranjivosti vodonosnika. U riziku je i osnovno tijelo podzemnih voda „HR204“, u okviru grupiranog vodnog tijela „Zagreb“ (koje u cjelini nije u riziku), zbog povišenih vrijednosti sume trikloretilena i tetrakloretilena, koje prelaze granične vrijednosti u razdoblju od 2007. do 2017. godine. Povišene koncentracije ovih kloriranih otapala u podzemnoj vodi posljedica su točkastih izvora onečišćenja (ispusti otpadnih voda iz stambenih i industrijskih objekata) te pritisaka od propusne kanalizacijske mreže.



Slika 3. Rezultati procjene rizika za grupirana tijela podzemnih voda u panonskom dijelu RH (Nakić i drugi, 2018)

ZAKLJUČAK

Temeljem provedenih ciljanih istraživanja u 2018. godini značajno su unaprijeđene postojeće metodologije ocjene kemijskoga stanja i procjene rizika za tijela podzemne vode u panonskom dijelu Republike Hrvatske. Navedene metodologije u cijelosti su usklađene s pristupima opisanima u relevantnim CIS vodičima i mogu se koristiti za potrebe izrade budućih planova upravljanja vodnim područjima.

Istraživanja su pokazala da kvaliteta podataka iz nacionalnoga monitoringa kakvoće podzemnih voda, kao i razina poznavanja hidrogeoloških i hidrogeokemijskih značajki velike većine osnovnih i grupiranih vodnih tijela nije dovoljna da bi se postupci ocjene stanja i procjene rizika proveli s visokom razinom pouzdanosti. U tom smislu, potrebno je sljedeće:

dodatno nadograditi i preciznije definirati konceptualne modele svih grupiranih tijela podzemnih voda, kroz: prikupljanje podataka o dubini bušenja i položaju filterskog dijela zacjevljenja za postojeće mjerne postaje za koje nisu poznati tehnički podaci; prilagodbu prostornoga rasporeda budućih istraživačko-piezometarskih bušotina regionalnom mjerilu, kako u tlocrtu tako i u razrezu; definiranje svojstva pripovršinskih naslaga kroz koje se odvija napajanje dubljih vodonosnih slojeva; analizu geoloških i hidrogeoloških podataka iz fondova podataka mjerodavnih institucija te, po potrebi, izvedbu novih strukturno-piezometarskih bušotina u okviru istraživačkoga monitoringa; usklađivanje aktualnoga nacionalnog monitoringa kakvoće podzemnih voda i monitoringa sirove vode s prijedlogom monitoringa koji je izrađen za potrebe realizacije *Plana*

upravljanja vodnim područjima Republike Hrvatske za razdoblje od 2016. do 2021. godine, što uključuje i osiguranje redovitoga praćenja (na kvartalnoj razini) svih relevantnih parametara kakvoće.

LITERATURA

- [1] Brkić Ž., Larva O. & Marković T. (2009): *Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske*. Stručni elaborat, Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- [2] CIS Tehnički izvještaj o procjeni rizika za podzemne vode (2004).
- [3] CIS vodič 18: Vodič o ocjeni stanja i trendova podzemnih voda (2009).
- [4] CIS vodič 26: Vodič o procjeni rizika i korištenju konceptualnih modela za podzemne vode (2010).
- [5] Coetsiers, M., Blaser, P., Martens, K., Walraevens, K. (2009): *Natural background levels and threshold values for groundwater in fluvial Pleistocene and Tertiary marine aquifers in Flanders, Belgium*, Environ. Geol. 57, 1155-1168
- [6] Direktiva o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće (2006/118/EZ; 2014/80/EZ).
- [7] Gemitzi, A. (2012): *Evaluating the anthropogenic impacts on groundwaters: a methodology based on the determination of natural background levels and threshold values*. Environ. Earth Sci. 67, 2223-2237.
- [8] Grath J., Scheidleder A., Uhlig S., Weber K., Kralik M., Keimel T., Gruber D. (2001): *The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results*. Final Report. Austrian Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management (Ref.: 41.046/01-IV1/00 and GZ 16 2500/2-I/6/00), European Commission (Grant Agreement Ref.: Subv 99/130794), Vienna, Austria.
- [9] Griffioen, J., Passier, H. F., Klein, J. (2008): *Comparison of selection methods to deduce natural background levels for groundwater units*. Environ. Sci. Technol. 42, 4863-4869.
- [10] Müller, D., Blum, A., Hart, A., Hookey, J., Kunkel, R., Scheidleder, A., Tomlin, C., Wendland, F. (2005): *BRIDGE project* (No. 006538), D18: Final proposal for a methodology to set up groundwater threshold values in Europe.
- [11] Nakić, Z., Bačani, A., Parlov, J., Duić, Ž., Perković, D., Kovač, Z., Tumara, D., Mijatović, I., Špoljarić, D., Ugrina, I., Stanek, D., Slavinić, P. (2016): *Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske*, Studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- [12] Nakić, Z., Parlov, J., Perković, D., Kovač, Z., Buškulić, P., Špoljarić, D., Ugrina, I., Stanek, D. (2018): *Definiranje kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske*, Studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

- [13] Okvirna direktiva o vodama – ODV (2000/60/EZ).
- [14] Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analiza, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/17).
- [15] Reimann C., Garrett R. G. (2005): *Geochemical background - concept and reality*. Sci. of the Total Environ. 350, 12–27.
- [16] Sinclair, A. J. (1991): *A fundamental approach to threshold estimation in exploration geochemistry: probability plots revisited*. Journal of Geochemical Exploration 41 (1-2), 1-22.
- [17] United States Environmental Protection Agency (2006): *Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners*, EPA/240/B-06/003.
- [18] Uredba o standardu kakvoće voda (NN 73/13, 151/14, 78/15, 61/16, 80/18).

AUTORI

prof. dr. sc. Zoran Nakić ^a

doc. dr. sc. Zoran Kovač ^a

izv. prof. dr. sc. Jelena Parlov ^a

doc. dr. sc. Dario Perković ^a

^a Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb, zoran.nakic@rgn.hr, zoran.kovac@rgn.hr, jelena.parlov@rgn.hr, dario.perkovic@rgn.hr



R 1.40.

KRŠKI IZVORI U VARAŽDINSKOJ ŽUPANJI

Hrvoje Meaški, Ranko Biondić, Jelena Loborec, Karlo Leskovar

SAŽETAK: U Varaždinskoj županiji za vodoopskrbu se manjim dijelom koriste i izvorišta koja nisu vezana za aluvijalne vodonosnike. Radi se o područjima gorskih masiva Ivanščice i Ravne gore, čija je geološka građa vezana za karbonatne stijene u kojima se formiraju krški vodonosnici. Na području Ivanščice u vodoopskrbu su uključeni izvori: Bistrica, Beli zdenci, Žgano vino, Šumi te Belski dol, a na području Ravne gore izvorišta Ravna gora i Sutinska. Ostali manji izvori nisu uključeni u vodoopskrbu. Takvih ima i u Kalničkom gorju na krajnjem jugu Varaždinske županije.

Krški vodonosnici razvijeni su u vapnencima i dolomitima, karbonatnim stijenama podložnima procesu okršavanja. S obzirom na stupanj okršavanja, u Hrvatskoj se uvriježila podjela na pukotinske i pukotinsko-kavernozne vodonosnike, odnosno na vodonosnike u kojima je slabije ili jače izražen proces okršavanja. Na području Varaždinske županije uglavnom se radi o krškim vodonosnicima koji su pretežito razvijeni u dolomitnim stijenama trijaskе starosti, a koji za razliku od vapnenaca imaju svoja dodatna ograničenja i specifičnosti. Za sada se pouzdano zna da se radi o vrlo vrijednim i nedovoljno istraženim rezervama kvalitetne pitke vode.

U radu je dan kratki pregled najvažnijih krških izvora na području Varaždinske županije, njihova trenutačna i planirana zaštita te mogućnosti njihovog daljnjeg istraživanja, korištenja i razvoja.

KLJUČNE RIJEČI: Ivanščica, Ravna gora, krški izvori, dolomiti trijaskе starosti, vodoopskrba

KARST SPRINGS IN THE VARAŽDIN COUNTY

ABSTRACT: In the Varaždin County, water sources unrelated to alluvial aquifers are also used in water supply, although to a smaller degree. They are located in the mountain massifs of Ivanščica and Ravna Gora, whose geological composition is related to carbonate rocks in which karst aquifers form. In the Ivanščica area, the springs Bistrica, Beli Zdenci, Žgano Vino, Šumi and Belski Dol are included in the water supply system whereas the sources Ravna Gora and Sutinska belong to the system in the Ravna Gora area. Other smaller springs, which can be found in Kalničko Gorje in the southernmost part of the Varaždin County, are not included in the water supply system.

Karst aquifers are developed in limestones and dolomites, which are carbonate rocks subject to the process of karstification. With regard to the degree of karstification, aquifers in Croatia are generally divided into fissure and fissure-cavernous aquifers, i.e. aquifers in which the karstification process is marked to a lower or higher degree. In the Varaždin County, karst aquifers are predominantly developed in the Triassic dolomite rocks that, unlike limestones, have additional limitations and specific features. At present, it is reliably known that these are very valuable and insufficiently investigated reserves of high quality drinking water.

The paper provides a brief overview of the most important karst springs in the Varaždin County, their current and planned protection and their potential further investigation, use and development.

KEYWORDS: Ivanščica, Ravna Gora, karst springs, Triassic dolomites, water supply

1. UVOD

Vodonosni horizonti u šljunkovitim dravskim naplavinama u Republici Hrvatskoj dobre su izdašnosti te daju kvalitetnu, prirodno filtriranu vodu. To je i osnovni razlog zbog kojega je aluvijalni vodonosnik u dolini rijeke Drave od strateške važnosti za sjeverozapadnu Hrvatsku te predstavlja najvažniju vodoopskrbnu zonu Varaždinske županije.

Međutim, u Varaždinskoj županiji nalaze se i izvorišta podzemne vode koja nisu vezana za aluvijalne vodonosnike, već za područja gorskih masiva Ivanščice i Ravne gore, čija je geološka građa vezana za karbonatne stijene u kojima se formiraju krški vodonosnici. Oni su pretežito razvijeni u dolomitnim stijenama srednjotrijaske starosti na području gorskog masiva Ivanščice i Ravne gore. S obzirom na ukupnu površinu Varaždinske županije 1261 km² (Varaždinska županija, 2000), izdvojeni krški prostor prema nekim istraživanjima zauzima 1 do 2 % (Matas, 2006).

U radu je dan kratki pregled najvažnijih krških izvora koji se na području Varaždinske županije koriste za vodoopskrbu, do sada provedena istraživanja, njihova trenutačna i planirana zaštita te mogućnosti njihovog daljnjeg istraživanja, korištenja i razvoja.

2. ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

2.1 Klimatološki uvjeti

Ivanščica je najviša planina u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Najviši vrh planine (1060 m n. m.) nalazi se u središnjem dijelu masiva te je ujedno i najviša točka Hrvatskog zagorja. Orografska os planine pruža se u smjeru zapad-istok u dužini od oko 30 km dok je širina masiva oko 7 km. Sjeverni dio masiva pripada slivu rijeke Bednje, odnosno njezinim pritocima koji dotječu sa sjevernih padina Ivanščice. Brdsko područje Ivanščice ima obilježja kontinentalne klime. Srednja godišnja temperatura zraka varira, zavisno o nadmorskoj visini, od 5 do 9 °C (Zaninović i drugi, 2008).

Ravna gora je najsjevernija planina Hrvatskog zagorja. Njezin je reljef u obliku gorskog vijenca s izgledom potkove otvorene prema jugu. Promjer vanjskog ruba je oko 5 km, a unutarnje kotline 2 do 3 km. Vrhovi su podjednake visine, s najvišim kotama oko 680 m n. m. Sredinom Ravne gore pruža se duboko usječen kanjon Velike Sutinske. Pripada slivu rijeke Bednje, a osim Sutinske čije je izvorišno područje ustvari Maceljsko gorje, još se

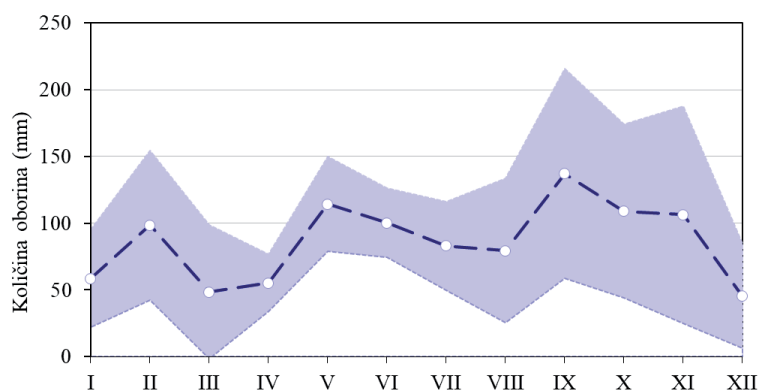
ističe i vodotok Kamenica s pritokom Lapornjak. Klimatske značajke Ravne gore su niže temperature sa značajnim udjelom snježnih padalina. Srednja godišnja temperatura zraka je oko 7 do 9 °C (Zaninović i drugi, 2008).

Analiza sezonskih promjena količine padalina za promatrano područje napravljena je temeljem podataka s klimatološke postaje Bednja za razdoblje od 2011. do 2018. Srednja višegodišnja količina padalina bila je 1036 mm ± 208 mm, s maksimumom od 1326 mm 2014. godine i minimumom od 618 mm 2011. godine (tablica 1).

Tablica 1. Dugogodišnji hod padalina, klimatološka postaja Bednja, 2011.-2018. (DHMZ, 2019)

2011-2018	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Uk. god. (mm)
P srednje	58,6	98,6	48,6	55,2	114,4	100,3	83,1	79,4	137,1	109,0	106,4	45,4	1036,0
P st. dev.	36,7	56,1	50,2	21,6	35,3	25,9	33,2	53,9	78,7	65,1	81,3	39,3	207,7
P cv	0,63	0,57	1,03	0,39	0,31	0,26	0,40	0,68	0,57	0,60	0,76	0,87	0,20
P max	116,3	161,1	143,2	97,5	165,8	138,7	118,3	187,5	279,5	226,6	263,4	94,6	1326,1
P min	15,1	17,0	1,1	21,7	67,4	66,7	17,5	13,6	48,6	13,0	0,5	1,0	618,5
P amplituda	101,2	144,1	142,1	75,8	98,4	72,0	100,8	173,9	230,9	213,6	262,9	93,6	707,6

Provedena analiza ukazuje i na neujednačenu sezonsku raspodjelu padalina tijekom godine (slika 1). Razdoblja minimuma nisu uočena tijekom ljeta, nego tijekom zime i početkom proljeća (u prosincu oko 45 mm, a u ožujku oko 50 mm). Količina padalina tijekom ljeta kreće se od približno 80 do 100 mm, a najviše padalina ima tijekom jesenskog razdoblja, od približno 105 do 140 mm. S obzirom da se radi o dosta velikim količinama padalina, u hidrogeološkom smislu ovo su povoljni uvjeti kontinuiranog prihranjivanja krškog vodonosnika.



Slika 1. Srednji hod godišnjih padalina na klimatološkoj postaji Bednja

2.2. Strukturno-tektonski odnosi i litostratigrafske značajke

U regionalnom pogledu područje Ivanščice pripada horstu Ivanščice, odnosno široj strukturnoj jedinici Kalnik-Ivanščica-Orlica (Prelogović i drugi, 1995). Paleozojsko-mezozojska jezgra Ivanščice nema jedinstvenu geološku i tektonsku građu, već se sastoji od manjih tektonskih cjelina međusobno odvojene normalnim i reversnim rasjedima, a ponegdje i navlačenjem (Šimunić i drugi, 1983). Najznačajnije je rasjedanje duž kontakta trijaskih karbonatnih stijena te klastičnih naslaga paleozoika, trijasa i donjeg miocena jer se na tom kontaktu pojavljuje većina izvora.

Područje Ravne gore ima antiklinalnu strukturu – donjotrijaski klastiti izgrađuju jezgru antiklinale, dok su mlađi srednjotrijaski dolomiti i vapnenci sa sjeverne i južne strane masiva. U regionalnom smislu pripada široj strukturnoj jedinici Haloze-Macelj-Trojane (Prelogović i drugi, 1995). Ravna gora je od Ivanščice odvojena dionicom regionalnog rasjeda s horizontalnim pomakom Velenje-Rogatec-Drava. Današnji izgled Ivanščica i Ravna gora je poprimila tijekom pleistocena i kvartara, kada je došlo do njezinog izdizanja uz rubne rasjede (Šimunić, 1992). Šire istraživano područje izgrađeno je od naslaga paleozojske, mezozojske i kenozojske starosti (Šimunić i drugi, 1979; Šimunić i drugi, 1983).

2.3. Hidrogeološke značajke

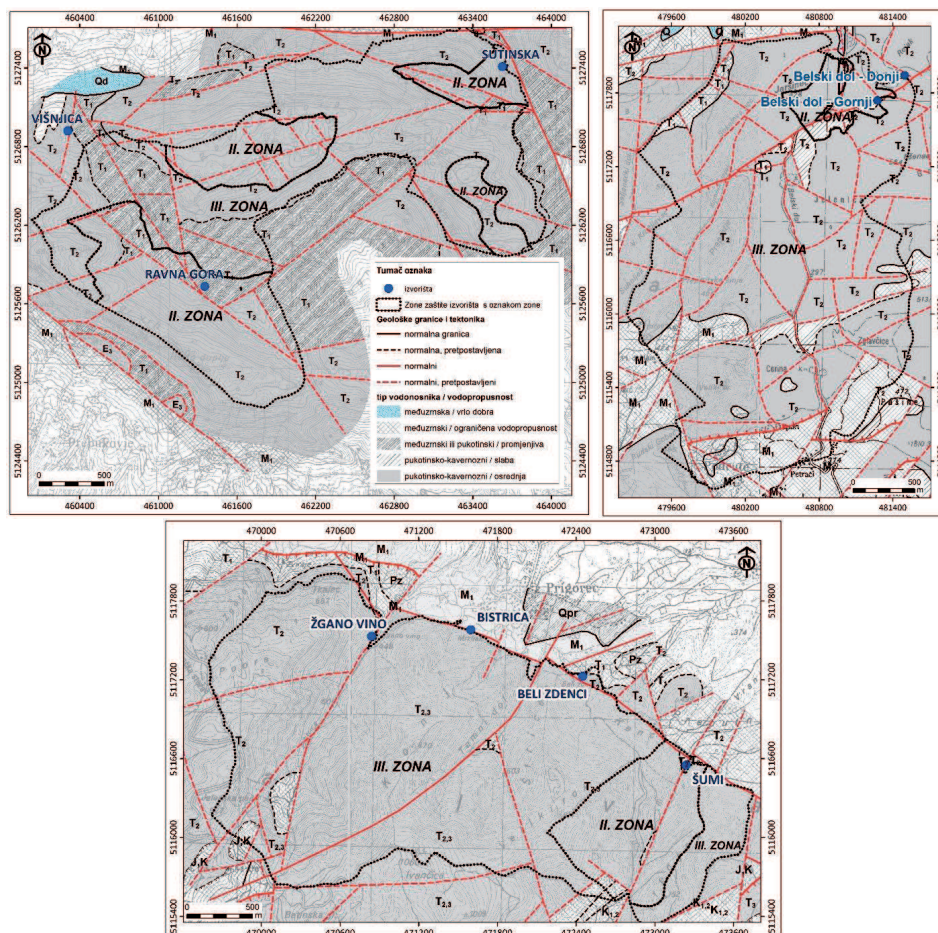
Krški vodonosnici specifične su i heterogene građe. Vezani su za karbonatne stijene koje su podložne procesu okršavanja. Na području istraživanja uglavnom se radi o krškim vodonosnicima koji su pretežito razvijeni u dolomitnim stijenama trijasko starosti. U skladu s litološkim sastavom, morfološkim pojavama, tektonskim deformacijama i vodnim pojavama, na promatranom području može se izdvojiti nekoliko skupina stijena različitih hidrogeoloških karakteristika (slika 2).

Naslage pukotinsko-kavernozne poroznosti i osrednje vodopropusnosti obuhvaćaju karbonatne stijene srednjotrijaske i gornjotrijaske starosti; dolomiti, vapnenci, dolomitne i vapnenačko-dolomitne breče. Ove naslage su u geološkoj prošlosti bile podvrgnute nizu tektonskih procesa, tijekom kojih je došlo do stvaranja sekundarne koja omogućava infiltraciju površinskih voda u dublje dijelove karbonatnog masiva, procese okršavanja i formiranje vodonosnika.

Naslage pukotinsko-kavernozne poroznosti i slabe vodopropusnosti uglavnom su zastupljene silificiranim dolomitima, vapnencima s rožnjacima, tanko uslojenim vapnencima, rožnjacima u izmjeni s pješčenjacima i šejlovima. Radi se o naslagama donjomiocenske starosti koje u cjelini formiraju barijeru istjecanju podzemnih voda iz trijaskog karbonatnog masiva.

Nepropusne naslage zastupljene su paleozojskim i donjotrijaskim, pretežno klastičnih sedimentima te vulkanogeno-sedimentnim kompleksima srednjotrijaske starosti. Ove naslage formiraju hidrogeološku vodonepropusnu barijeru na istraživanom području. Radi se o pješčenjacima, šejlovima, laporima, konglomeratima, pijescima i glinama, tufovima, rožnjacima.

Naslage promjenjive međuzrnske propusnosti rezultat su trošenja i odlamanja čvrstih stijena iz zaleđa koji se sastoji od kršja, odlomaka i blokova stijena različitih dimenzija; male debljine i ograničene rasprostranjenosti. Radi se o aluvijalnim, deluvijalnim i proluvijalnim naslagama kvartarne starosti.



Slika 2. Hidrogeološke skice izvorišta na području Ravne gore, Belskog dola i Ivanščice (smještaj u Varaždinskoj županiji vidljiv je na slici 3)

3. PREGLED IZVORIŠTA ZAHVAĆENIH ZA VODOOPSKRBU

Odluka o koncesiji za distribuciju vode iz izvorišta na Ivanščici i Ravnoj gori izdana je na ukupno 125 l/s. Izvorišta na Ivanščici koriste se za opskrbu pitkom vodom Ivanca, Prigorca, Bednje, Željeznice i okolnih naselja, a izvorišta na Ravnoj gori za vodoopskrbu Višnjice, Cvetlina, Gornje Voće, Kamenice, Žarovnice i Klenovnika.

Za vodoopskrbu su s područja Ivanščice zahvaćeni izvori Žgano Vino, Bistrica, Beli Zdenci, Šumi koji su vezani uz rasjedni kontakt koji se može pratiti od Prigorca do Gotalovca. Hidrogeološka istraživanja u cilju zaštite izvorišta rađena su u nekoliko navrata (Grđan i drugi, 1997; Vlahović, 1997; Mraz i Larva, 2008). Za ova izvorišta je utvrđena površina sliva od oko 6 km² i koeficijent infiltracije oko 25 %. Dio su vodoopskrbnog sustava kojim upravlja Ivkom-Vode d.o.o. iz Ivanca, a koriste se za vodoopskrbu Ivanca i djelomično općina Maruševec i Klenovnik.

Izvorište Žgano Vino nalazi se na 439 m n. m. Prvi podaci o korištenju vode za piće s ovog lokaliteta potječu još iz davne 1934. godine. Izvor je kaptiran s tri armirano-betonske kaptaze (slika 3). Danas se za javnu vodoopskrbu koristi oko 15 l/s, a ostatak se bočnim preljevom iz kaptaze upušta u okoliš kao biološki minimum (Ivkom-Vode, 2018).

Izvorište Bistrica nalazi se na 420 m n. m. Kaptaza je izgrađena 1973. godine (slika 3). Gravitacijskim cjevovodom voda iz kaptaze se dovodi do vodospreme na koti od oko 300 m n. m. Eksploatacijska izdašnost izvora je 60 l/s. U vodoopskrbni sustav ulazi 25 l/s. Preostali dio vode iz izvorišta upušta se bočnim preljevom iz kaptaze u vodotok Bistricu (Mraz i Larva, 2008).

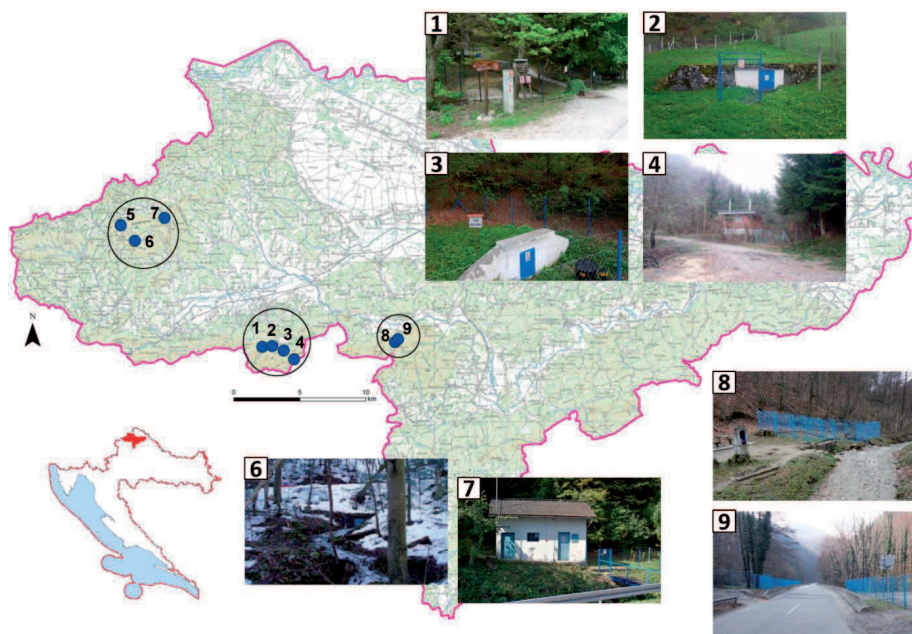
Izvorište Beli Zdenci nalazi se na 425 m n. m. na kontaktu karbonatnog vodonosnika izgrađenog od srednjotrijaskih dolomita i dolomitiziranih vapnenaca (slika 3). Ranijim mjerenjima dobivena je izdašnost od oko 10 l/s, s tim da se za vodoopskrbu koristi 5 l/s (Ivkom-Vode, 2018).

Izvor Šumi zahvaćen je 1990. godine za potrebe vojske. Podzemna voda se horizontalnim drenom dovodi u crpnu stanicu. Kaptaza Šumi (slika 3) nalazi se unutar dolomita srednjotrijaske starosti, na 405 m n. m. Mjerenjima izdašnosti zahvata i izvorišta Šumi dobivena je ukupna izdašnost od oko 50 l/s te vrlo ujednačene vrijednosti zahvaćene količine vode od oko 20 l/s (Mraz i Larva, 2008). Razlika vode nije kaptirana, već se slobodno drenira u jarak. Eksploatacijska izdašnost zahvata je 25 l/s (Ivkom-Vode, 2018). Drugi dio s vodoopskrbe s područja Ivanščice vezan je za područje Belskog dola. Zahvat vode na području **Belskog dola sastoji se od dva izvorišta** koja su međusobno udaljena oko 350 metara – Gornjeg izvora na 230 m n. m. i Donjeg izvora na 220 m n. m. Izvorišta su smještena uz vodotoku Belski potok i cestu Podrute-Bela (slika 3). Dio su vodoopskrbnog sustava kojim upravlja Varkom d.d. iz Varaždina. Za ova izvorišta je utvrđena površina sliva od oko 6 km², a koeficijent infiltracije oko 50 % (Bačani i drugi, 2008). Vodoistražnim radovima utvrđeno je da je najveći dio sliva izgrađen od dolomita (Grđan i drugi, 1992; Grđan i Strelec, 1993).

Glavna mjesta istjecanja podzemne vode iz pukotinsko-kavernoznog vodonosnika središnjeg i jugozapadnog dijela Ravne gore predstavljaju izvori Sutinska i Ravna Gora koja su ujedno zahvaćena i za vodoopskrbu okolnog područja. Dio su vodoopskrbnog sustava kojim upravlja Ivkom-Vode d.o.o. iz Ivanca, a koriste se za vodoopskrbu grada Lepoglave, općine Bednja, grada Lepoglave i manjim dijelom općine Donja Voća. Hidrogeološka istraživanja u cilju zaštite ovih izvorišta rađena su u nekoliko navrata (Grđan i drugi, 1997; Vlahović, 1997; Mraz i Larva, 2008).

Izvorište Sutinska nalazi se u sjevernom dijelu kanjona Velika Sutinska (slika 3). Kaptaza je izgrađena 1987. godine, a nalazi se na nadmorskoj visini od 270 m. Eksploatacijski kapacitet zahvata iznosi 10 l/s, a u dužim sušnim razdobljima uočeno je smanjenje izdašnosti kaptaze (Mraz i Larva, 2008).

Izvorište Ravna Gora nalazi se u središnjem dijelu masiva Ravne gore, na nadmorskoj visini od 420 m (slika 3). Kaptiranje izvora izvršeno je sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Provedena mjerenja pokazala su velike oscilacije izdašnosti, od 6 do 60 l/s (Mraz i Larva, 2008). Sadašnja eksploatacijska izdašnost zahvata iznosi 12 l/s (Ivkom-Vode, 2018). U početku se radilo o lokalnom vodovodu koji je 1986. godine uključen u javnu vodoopskrbnu mrežu. Izvorište je podložno utjecaju jačih padalina, zbog čega je izgrađena i filtarska stanica s pješčanim filtrima.



Slika 3. Položajna skica izvorišta na Ivanščici i Ravnoj gori (1-Žgano vino; 2- Bistrica; 3-Beli zdenci; 4-Šumi; 5-Višnjica; 6-Ravna gora; 7-Sutinska; 8-Belski dol, Gornji; 9-Belski dol, Donji)

4. STANJE ZAŠTITE I KVALITETA VODE

Prema osnovnom kemijskom sastavu, uzorkovane vode pripadaju Ca-HCO_3 do CaMg-HCO_3 tipu voda. Ovakav hidrokemijski facijes posljedica je otapanja karbonata (vapnenaca i dolomita). Temperature uzorkovanih voda iz kaptaza na području Ivanščice i Ravne gore kreću se od 9 do 11°C. Vrijednosti elektrolitičke vodljivosti kreću se od 400 do 550 $\mu\text{S/cm}$. pH vrijednosti uzorkovanih voda na području Ivanščice se kreću oko 7,7, odnosno neutralne do slabo alkalne vode (Mraz i Larva, 2008), što je posljedica otapanja karbonatnih minerala uz prisutnost otopljene ugljične kiseline u vodi.

Svi određivani kemijski i indikatorski parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju daleko su ispod MDK vrijednosti. Povremeno je ipak zabilježeni povećani sadržaji željeza i mangana (Mraz i Larva, 2008). Dosadašnjim istraživanjima utvrđeno je da se radi o prirodnom porijeklu jer je dio područja prihranjivanja vezan za eruptive. Mikrobiološki pokazatelji zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju na pojedinim izvorima povremeno premašuju MDK (Ivkom-Vode, 2018; Varkom, 2018). Međutim, bitno je spomenuti kako bakteriološki sastav podzemne vode nije jedan od pokazatelja predloženih Okvirnom direktivom o vodama (ODV, 2000) ili Direktivom o podzemnim vodama (GWD, 2006) pomoću kojih se prati kakvoća podzemne vode i temeljem kojega se procjenjuje stanje kakvoće vodonosnika jer se bakterije iz vode mogu relativno lako ukloniti procesom dezinfekcije.

Prirodna ranjivost slivnih područja kao i procjene ukupnog rizika za podzemne vode

temeljem klasificiranih karata opasnosti, nisu određivane jer zakonski nisu obavezne. Na kvalitetu vode i njezinu zaštitu utječe i dužina zadržavanja vode u podzemlju. Provedena istraživanja stabilnih izotopa vode upućuju na obnavljanje izvorskih voda padalinama. Vode na izvorima Žgano Vino, Bistrica, Beli Zdenci pokazale su male varijacije $\delta^{18}\text{O}$, odnosno duže zadržavanje vode u podzemlju, dok se u području prihranjivanja izvorišta Šumi zamijećene mnogo veće varijacije. Prosječna starost vode određivana je temeljem aktivnosti tricija te ona iznosi između 10 i 14 godina za izvore Žgano Vino, Bistrica, Beli Zdenci, dok je za izvor Šumi određena prosječna starost vode od godinu dana. Izotopne analize pokazuju da je na području Ravne gore dominantan brzi tok uslijed brze infiltriraju padalina u podzemlje te da su vode na izvoru Sutinska nešto starije od onih na izvoru Ravna Gora. (Mraz i Larva, 2008).

Za izvorišta na području Ivanščice i Ravne Gore na snazi su odluke o zaštiti izvorišta i određivanju zona sanitarne zaštite još iz 1998. (Sl.vj.VŽ, 4/1998, 9/1998) koje su donijete na temelju tada važećeg pravilnika o zonama sanitarne zaštite izvorišta (NN 22/1986). U međuvremenu su napravljena nova hidrogeološka istraživanja (Mraz i Larva, 2008), u cilju usklađivanja zaštite s novom zakonskom regulativom (NN 66/2011, 47/2013). Tijekom 2019. očekuje se i donošenje nove odluke o zaštiti izvorišta na području Ivanščice i Ravne Gore. Zaštita izvorišta Belski dol propisana je Odlukom o zaštiti izvorišta Belski Dol (Sl. vj.VŽ 42/2016, 60/2016). Zone sanitarne zaštite su određene su na temelju prethodnih vodoistražnih radova (Bačani i drugi, 2008), dok su mjere zaštite i sanacije u zonama zaštite propisane programom za provođenje mjera (Meaški, 2018).

ZAKLJUČAK

Zbog složenih hidrogeoloških odnosa krški vodonosnici često su nedovoljno ili neravnomjerno istraženi. Različit stupanj izdašnosti kao i različite količine obnovljivih zaliha podzemnih voda koje se dijelom temelji i na procjenama, uzrokuju njihovo neujednačeno iskorištavanje. Vrlo često i različita prirodna kvalitete vode utječe na stupanj njihovog korištenja. Bilo bi vrlo korisno provesti određivanja prirodne ranjivosti karbonatnih vodonosnika kao i određivanja prioriteta pri zaštiti pojedinih područja jer se za sada nisu provodila, s obzirom da zakonski nisu obvezna. Sve to otežava korištenje i učinkovitiju zaštitu krških vodnih resursa. Nedvojbeno se radi o vrlo vrijednim rezervama kvalitetne pitke u kojima bi se ciljanim istraživanjima mogle naći dodatne količine pitke vode, a zaštita bi mogla biti umjerena na glavne probleme koji utječu na kvalitetu vode u slivom području. Time bi došlo do daljnje racionalizacije zaštićenog područja.

Do sada provedena istraživanja na području Ivanščice i Ravne gore ukazala su na sljedeće specifičnosti: veće oscilacije u količinama istjecanja izvora na Ravnoj gori; postojan režim istjecanja izvora na Ivanščici (s iznimkom izvora Šumi); izvori na Ivanščici imaju duže vrijeme zadržavanja vode u podzemlju, sporiju infiltraciju vode s površine terena i manje su podložni utjecaju sezonskih promjena i padalinama - posljedično je i kvaliteta vode na Ivanščici vrlo dobra. Izvori Ravne gore izrazito su podložni utjecaju sezonskih promjena, vrijeme zadržavanja vode u podzemlju je kraće, brza je infiltracija vode s površine - posljedično mikrobiološki pokazatelji ne zadovoljavaju uvijek uvjete za dobru kakvoću te se vode obrađuju prije daljnje distribucije. Ujednačene vrijednosti temperature uzorkovanih voda s područja Ivanščice i Ravne gore upućuju na srednju godišnju temperaturu područja prihranjivanja izvora, dok vrijednosti elektrolitičke

vodljivosti upućuje na mali utjecaj sezonskih padalina na izvore.

Površine zaštitnih zona promatranih izvorišta na Ravnoj gori iznose oko 8 km², za skupinu izvora na Ivanščici: Žgano Vino, Bistrica, Beli Zdenci, Šumi oko 12,5 km², dok je za područje Belskog dola to oko 6 km². S obzirom na hidrogeološke uvjete i do sada provedena istraživanja, vrlo je vjerojatno da hidrogeološki sliv ne odgovara topografskom slivu te bi u skladu s tim trebalo provesti dodatna istraživanja u cilju još preciznijeg određivanja slivnog područja; pritom bi pomogla i daljnja detaljnija i dugotrajnija izotopna istraživanja. Relativno male površine pripadajućih slivova, kao i činjenica da se radi o krškom otvorenom vodonosniku bez značajnijih izolatorskih naslaga na površini, uvjetovali su da se niti kod jednog izvora ne određuje IV. zona sanitarne zaštite, već je cjelokupna površina redefiniranog sliva određena kao III. zona sanitarne zaštite.

LITERATURA

- [1] Bačani, A., Posavec, K., Trutin, M., Matić, N. (2008): *Elaborat o zaštitnim zonama izvorišta Belski dol*. RGN fakultet, Zagreb
- [2] DHMZ (2019): Podaci o padalinama za klimatološku postaju Bednja, razdoblje od 2011. do 2018. Mrežna veza: https://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci¶m=k2_1&Godina= [15.3.2019.]
- [3] Grđan, D. & Strelec, S. (1993): *Izvorište Belski dol i njegova zaštita*. Hrv.vode, 1 (4), 253-260 Grđan, D., Krklec, N. i Težak, I. (1997): Geološka i hidrogeološka prospekcija izvorišta Ivanščice i Ravne gore. Hidroekoing, Varaždin.
- [4] Grđan, D., Gotić, I., Baturić, I., Cuković, Z., Kovačev-Marinčić, B., Strelec, S. & Oštrek, D. (1992): *Hidrogeološka studija izvorišta „Belski dol“*. Geotehnički fakultet Varaždin.
- [5] GWD 2006/118/EC (2006): Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće
- [6] Ivkom-Vode (2018): *Godišnji izvještaj o kvaliteti vode za ljudsku potrošnju za 2017. godinu* (HACCP). Mrežna veza: <http://www.ivkom-vode.hr/assets/haccp.pdf> [15.3.2019.]
- [7] Matas, M. (2006): *Raširenost krša u Hrvatskoj*. Hrvatsko geografsko društvo. Mrežna veza: <http://www.geografija.hr/hrvatska/rasirenost-krsa-u-hrvatskoj/> [15.3.2019.]
- [8] Meaški, H., Strelec, S., Biondić, B., Loborec, J., Jug, J. (2018): *Program za provođenje mjera zaštite i sanacije u zonama sanitarne zaštite izvorišta Belski dol*. GFV, Varaždin
- [9] Mraz, V. i Larva, O. (2008): *Zaštite zone izvorišta na području Ivanščice i Ravne gore*. Hrvatski geološki institut, Zagreb
- [10] Narodne novine 22/1986: Pravilnik o zaštitnim mjerama i uvjetima za određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta vode za piće
- [11] Narodne novine 66/2011, 47/2013: Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta

- [12] ODV 2000/60/EC (2000): Okvirna direktiva o vodama Europskog parlamenta i Vijeća o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike
- [13] Prelogović, E., Jamičić, D., Aljinović, B., Velić, J., Saftić, B. & Dragaš, M. (1995): *Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena*. Zb. 1. Hrv. geol. kongres, Opatija, Vol. 2, 481-486, Zagreb.
- [14] Službeni vjesnik Varaždinske županije 42/2016: Odluka o zaštiti izvorišta Belski dol
- [15] Službeni vjesnik Varaždinske županije 60/2016: Prilozi Odluci o zaštiti izvorišta Belski dol objavljenoj u Službenom vjesniku Varaždinske županije broj 42/16
- [16] Službeni vjesnik Varaždinske županije 9/1998: Odluka o zaštiti izvorišta i određivanju zona sanitarne zaštite izvorišta "Ravna gora" i "Sutinska"
- [17] Službeni vjesnik Varaždinske županije 4/1998: Odluka o zaštiti izvorišta "Bistrica", "Beli zdenci", "Žgano vino" i "Šumi"
- [18] Šimunić, A. (1992): *Geološki odnosi središnjeg dijela Hrvatskog zagorja*. Disertacija. RGN fakultet
- [19] Šimunić, A., Pikija, M. i Hećimović, I. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ, Tumač i list Varaždin, M 1: 100 000. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd
- [20] Šimunić, An., Šimunić, Al., i Milanović, M. (1979): *Geološka građa Ivanščice i Ravne gore*. Geol. vjesnik 31, 157-174, Zagreb.
- [21] Varaždinska županija (2000): Prostorni plan Varaždinske županije. Županijski zavod za prostorno uređenje Varaždinske županije, Varaždin
- [22] Varkom (2018): Kvaliteta vode za piće. Mrežna veza: <http://varkom.com/default.asp?CategoryID=1007&FlashID=14014&ParentID=13713&title=kvaliteta-vode-za-pice> [15.3.2019.]
- [23] Vlahović, Č. (1997): *Zone sanitarne zaštite izvorišta „Bistrica“, „Beli zdenci“, „Šumi“ i „Žgano vino“, Ravna Gora“ i „Sutinska“*. At consult, Varaždin.
- [24] Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. i drugi (2008): *Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000*. DHMZ, Zagreb, 200 str.

AUTORI

doc. dr. sc. Hrvoje Meaški, dipl. ing. geol.^a

prof. dr.sc. Ranko Biondić, dipl. ing. geol.^a

doc. dr. sc. Jelena Loborec dipl. ing. geoteh.^a

Karlo Leskovar, mag. ing. geoling.^a

^a Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hallerova aleja 7, Varaždin, 42000, Hrvatska, hmeaski@gfv.hr, rbiondic@gfv.hr, jloborec@gfv.hr, kaleskov@gfv.hr



R 1.41.

**ODREĐIVANJE HIDRAULIČKE VODLJIVOSTI I
OCJEDITE POROZNOSTI TEKTOFACIJESA DOLOMIT-
NOG GRUSA ŽUMBERAČKIH GORNJOTRIJASKIH
DOLOMITA**

**Ivica Pavičić, Tatjana Vlahović, Željko Duić, Kosta Urumović, Jr.,
Dubravko Domitrović, Ivan Dragičević, Ilija Ravnjak**

SAŽETAK: U rasjednim zonama, rasjedima i u otvorenim pukotinama, na više mjesta, uočen je dolomit koji je tektonskim i erozijskim procesima zdrobljen i usitnjen do klasta dimenzija pijeska i praha. S obzirom na tektonsko porijeklo, svrstan je u zaseban tektofacijes nazvan Dolomitni grus. S obzirom da se radi o dolomitu međuzrnske poroznosti, s hidrogeološkog stajališta predstavlja važnu pojavu, jer može u nekim uvjetima utjecati na cirkulaciju vode odnosno pospješiti prihranjivanje dubljih vodonosnika. Hidrauličke značajke analizirane su pomoću Kozeny-Carman-e, Schlichter-ove i USBR-ove empirijske formule. Dobivene vrijednosti hidrauličkih vodljivosti dolomitnog grusa su u rasponu od $1,31 \times 10^{-3}$ do $7,23 \times 10^{-6}$ m/s. Ocjedite poroznosti su procijenjene na temelju odnosa ocjedite poroznosti i srednje veličine zrna (određene na temelju granulometrijske analize) te se nalaze u rasponu od 15 do 32 %. Rezultati ukazuju da ukoliko je dolomitni grus razvijen u širokom i dubokim rasjednim zonama, predstavlja zone povećane poroznosti i propusnosti u odnosu na okolne stijene te pospješuje infiltraciju oborinskih voda u podzemlje.

KLJUČNE RIJEČI: dolomitni grus, hidraulička vodljivost, ocjedita poroznost, Žumberačko gorje

**DETERMINING HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND SPECIFIC
YIELD OF TEKTOFACIES OF THE DOLOMITE GRUS IN THE UPPER
TRIASSIC DOLOMITES OF ŽUMBERAK MOUNTAINS**

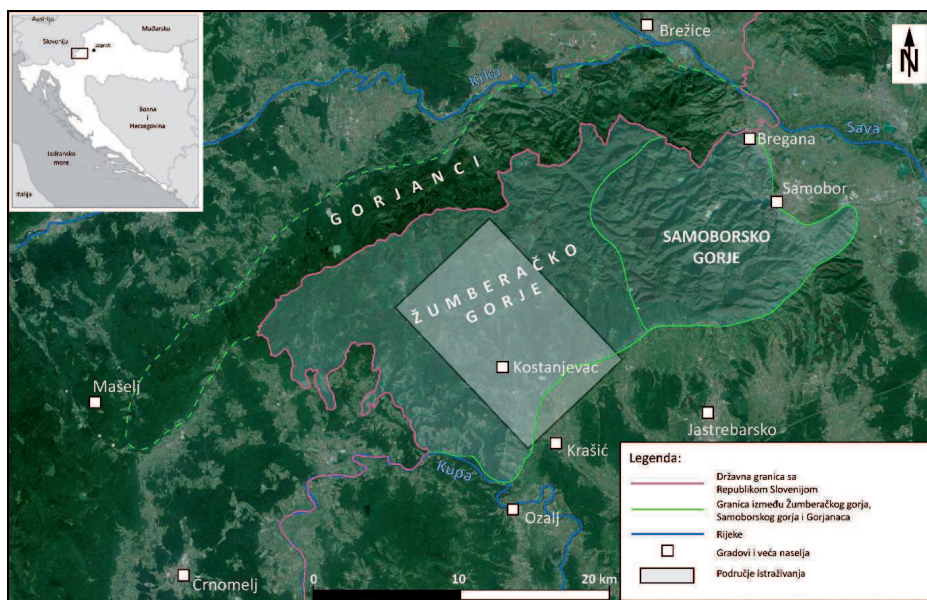
ABSTRACT: In the fault zones, faults and open fractures, crushed dolomite rocks were observed in multiple places. These dolomites were crushed by tectonic and erosional processes up to the grain size of sand and silt. Considering its tectonic origin, it is classified into an individual tectofacies called the Dolomite grus. Since the porosity of these dolomites are intergranular, it presents an important phenomenon from the hydrogeological viewpoint because it may, in some circumstances, affect water circulation and improve wa-

ter infiltration in deeper aquifers. The hydraulic features were analyzed using the Kozeny-Carman, Schlichter and USBR empirical formulae. The calculated hydraulic conductivity values of the Dolomite grus are in the range of 1.31×10^{-3} to 7.23×10^{-6} m/s. The porosity was expressed as a specific yield that was estimated based on the ratio of specific yield and average grain size (determined using the granulometry analysis). The specific yield values are in range from 15 to 32 %. The results indicate that if the Dolomite grus is developed in wide, relatively deep fault zones, it represents areas of increased porosity and permeability in relation to the surrounding rocks and enhances the infiltration of rainwater into the underground.

KEYWORDS: Dolomite grus, hydraulic conductivity, specific yield, Žumberak Mts.

1. UVOD

U području Žumberačkog gorja (slika 1.) u zonama značajnih rasjeda i u otvorenim pukotinama, na više mjesta, uočen je dolomit koji je tektonskim procesima zdrobljen i usitnjen do klasta dimenzija pijeska i praha. Poroznost tako zdrobljenog dolomita više nije pukotinskog nego međuzrnskog tipa te može predstavljati područja lakšeg prihranjivanja dubljih vodonosnika (Pavičić, 2018). Granulometrijski sastav predstavlja raspodjelu veličine čestica tla/stijene izraženu u postotku mase. Na temelju granulometrijskog sastava mogu se odrediti fizikalne karakteristike tla ili stijene, primjerice propusnost, stišljivost, kapilarnost, filtarska svojstva itd. Prema dominantnoj veličini zrna stijene ili tla po USDA klasifikaciji svrstavamo u skupine: pijesci i šljunci (krupnozrnasti materijal) te prahove i gline (sitnozrnasti materijal).

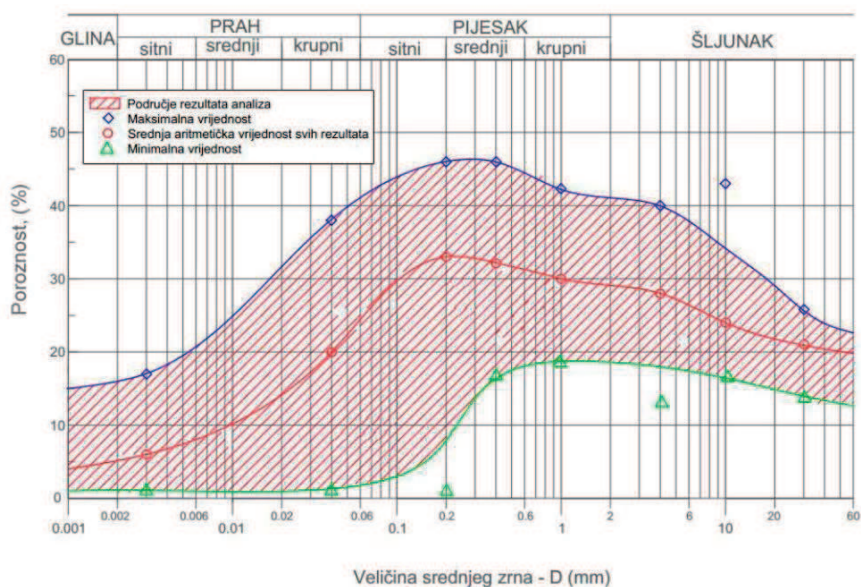


Slika 1. Zemljopisni položaj geomorfološke cjeline Žumberačkog i Samoborskog gorja te Gorjanaca u Republici Sloveniji (Pavičić, 2018)

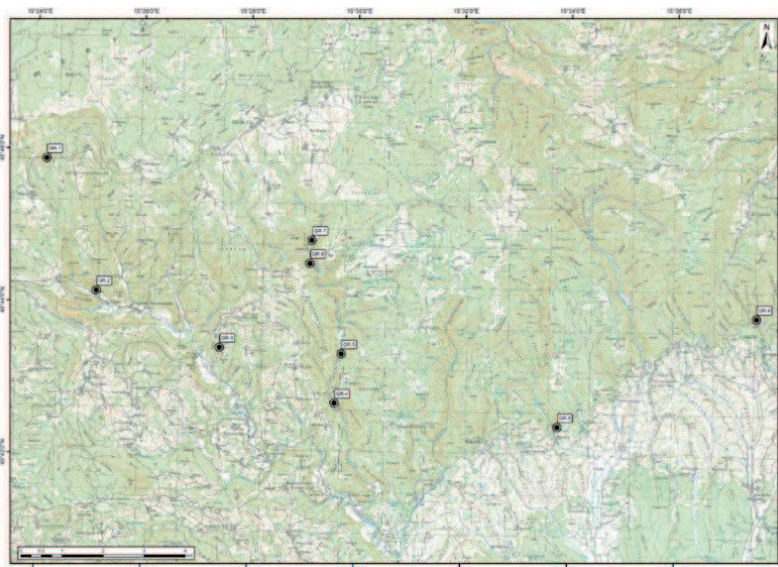
Hidraulička vodljivosti dolomitnog grusa procijenjena je na temelju granulometrijskih analiza, pomoću teorijskih (Kozeny-Carman, Schlichter) i empirijskih (USBR) formula koje se često koriste u hidrogeologiji, za određivanje hidrauličkih vodljivosti nevezanih sedimenata (Urumović, 2013, Pavičić, 2018). Poroznost dolomitnog grusa je procijenjena pomoću dijagrama odnosa srednje veličine zrna i poroznosti za nevezane materijale (Urumović, 2013). Podrobni opisi načinjenih analiza i dobivenih rezultata objavljeni su u Pavičić (2018).

2. MATERIJALI I METODE

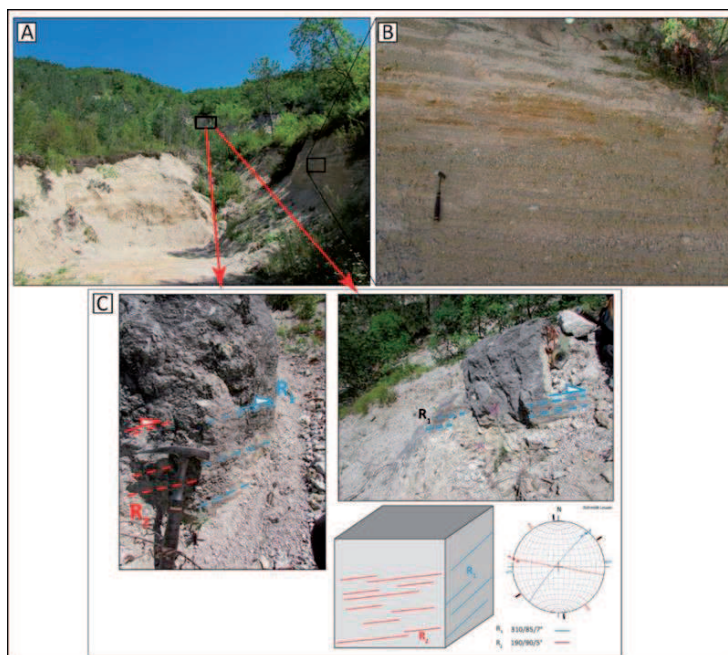
Dolomitni grus je dolomit koji je tektonskim i erozijskim procesima zdrobljen i usitnjen do klasta dimenzija pijeska i praha, te ima međuzrnsku poroznost, ali je tektonskog porijekla (Pavičić, 2018). Stoga takav dolomit predstavlja zaseban tektofacijes. Osim tektonskih utjecaja, drobljenje dolomita u grus pospješeno je i trošenjem na površini. Hidrauličku vodljivost može se odrediti na temelju rezultata granulometrijskih analiza pomoću korištenjem teorijski i iskustveno razvijenih formula. Često se koriste Hazenova, Kozeny-Carmanova, USBR, Beyerova i Slichterova formula, što je detaljno opisano u Urumović, 2013. Efektivna poroznost nekonsolidiranih klastičnih naslaga može se izraziti kao funkcija granulometrijskog sastava (Keranth, 2008; Urumović, 2013; Urumović, 2016) (slika 2.).



Slika 2. Minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti poroznosti u funkciji veličine zrna (Urumović, 2013)



Slika 3. Karta s lokacijama uzoraka dolomitnog grusa (Pavičić, 2018)

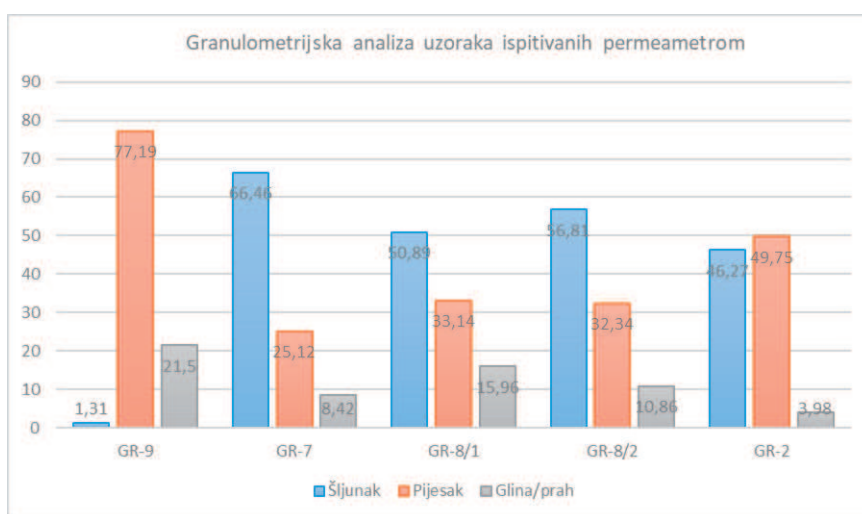


Slika 4. A) i B) Izdanak resedimentiranog dolomitnog grusa u blizini značajnijih rasjeda. C) oko 100 metara dalje, primarni izdanak s još vidljivim rasjednim plohama (Pavičić, 2018)

S ciljem interpretacije hidrauličke uloge dolomitnog grusa na terenu, terenski rad sastojao se od terenske prospekcije i određivanja povoljnih lokacija za uzimanje uzoraka te prikupljanja uzoraka (ukupno 13) za granulometrijske analize (slika 3., slika 4.). Na temelju granulometrijskih analiza procijenjena je hidraulička vodljivost svih uzoraka. Prema Urumović (2013), korištene su Kozeny-Carmanova (Kozeny, 1927; Carman, 1937, 1938, 1939, 1956), Slichterova jednadžba (Slichter, 1902, 1905, Vuković & Soro 1991, 1992), USBR (Justin et al. 1944; Vuković & Soro, 1991) i Beyerova (Beyer 1964, 1966) formula. Poroznost dolomitnog grusa može se odrediti na temelju granulometrijskih analiza, odnosno na temelju veličine srednjeg zrna (Urumović, 2013; Pavičić, 2018).

3. REZULTATI

Iz rezultata granulometrijskih analiza može se zaključiti da u većini uzoraka prevladavaju čestice veličine šljunka te su definirani kao dobro ili slabo graduirani šljunci s ili bez pijeska (slika 5.). Izuzetak je uzorak GR-9 koji sadrži 1,3 % šljunka (Pavičić, 2018). Važno je napomenuti da prahovite komponente u tri uzoraka ima vrlo malo ili u tragovima (Pavičić, 2018). Najveći izdanak dolomitnog grusa uočen u području Žumberka je u točki GR-2, nedaleko od izvora Kupčine. Dolomitni grus mjestimice je površinskim trošenjem i resedimentiran. Grus je rezultat tektonske aktivnosti na rasjedima pri vrhu brda no i trošenja na površini te transporta zdrobljenog materijala niz padinu te je vidljiv smjer paleotransporta.



Slika 5. Usporedba granulometrijskih analiza uzoraka izdvojenih uzoraka

Izračunate vrijednosti hidrauličkih vodljivosti pomoću Kozeny-Carman i Slichter formula daju gotovo identične vrijednosti (tablica 1).

Hidraulička vodljivost Beyerovom formulom se može izračunati samo za uzorak GR-2 jer valjanost tog izraza je ograničena uvjetima (Urumović, 2013):

- $0,06 \text{ mm} > D_{10} < 0,6 \text{ mm}$;
- $Cu < 20$ koeficijent ujednačenosti.

Tablica 1. Rezultati hidrauličkih vodljivosti uzoraka na temelju empirijskih jednadžbi

Korištena jdba	Oznake uzoraka				
	21-per-grus 1+2+3	38-per-rp	40-per-rp1	40-per-rp2	43-per-rpi
Terenska oznaka					
Hidraulička vodljivost (m/s)- Kozeny- Carman	$4,36 \times 10^{-6}$	$4,82 \times 10^{-4}$	$5,88 \times 10^{-6}$	$3,21 \times 10^{-4}$	$3,09 \times 10^{-4}$
Hidraulička vodljivost (m/s)- Slichter	$4,96 \times 10^{-6}$	$6,35 \times 10^{-4}$	$7,23 \times 10^{-6}$	$3,92 \times 10^{-4}$	$4,03 \times 10^{-4}$
Hidraulička vodljivost (m/s)- USBR	$7,17 \times 10^{-6}$	$1,55 \times 10^{-3}$	$5,47 \times 10^{-5}$	$4,50 \times 10^{-4}$	$6,11 \times 10^{-4}$
Hidraulička vodljivost (m/s)- Beyer	/	/	/	/	$1,09 \times 10^{-4}$

Ostali uzorci nisu ispunjavali uvjete, pa njihovi podaci nisu ni uvrštavani u proračun. Vrijednost hidrauličke vodljivost za uzorak GR-2 je približno jednakog iznosa kao i vrijednost hidrauličke vodljivosti istog uzorka dobivena Kozeny- Carman i Slichterovom empirijskom formulom (tablica 1). Vrijednosti dobivene USBR formulom za uzorke GR-9, GR-8/2 i GR-2 su također približno istih iznosa kao i vrijednosti hidrauličkih vodljivosti dobivenih Kozeny- Carman i Schlichterovom formulom, dok se za uzorke GR-7 i GR-8/1 razlikuje za otprilike jedan red veličine. Ocjedite poroznosti nalaze se u intervalu od 15 % do 32 % (tablica 2). Vrijednosti procijenjene poroznosti dolomitnog grusa odgovaraju poroznostima od sitnog pijeska do krupnog šljunka.

Tablica 2. Vrijednosti geometrijske veličine srednjeg zrna i ocjedite poroznosti procijenjene na temelju dijagrama srednje vrijednosti ocjedite poroznosti u funkciji veličine srednjeg zrna D_{ing} – geometrijsko srednje zrno; $n_{(D_{ing})}$ – ocjedita poroznost određena na temelju zavisnosti o D_{ing}

Oznaka uzorka (geomehanički laboratorij)	Terenska točka	D_{ing}	$n_{(D_{ing})}$
16-009-001	GR-1	11,9517	0,24
16-009-002	GR-1	9,58287	0,23
16-009-003	GR-9	0,199785	0,3
16-009-004	GR-5	7,854298	0,265
16--009-005	GR-5	7,954985	0,32
16-009-006	GR-5	9,897195	0,25
16-009-007	GR-6	6,526227	0,24
16-009-008	GR-4	19,23646	0,19
16-009-009	GR-7	2,693813	0,15
16-009-010	GR-8	1,234746	0,15
16-009-011	GR-8	-	-
16-009-012	GR-2	1,335358	0,225
16-009-013	GR-3	7,782978	0,26

ZAKLJUČAK

Terenskim istraživanjem na nekoliko mjesta uočena je pojava nekonsolidiranog dolomita s česticama veličine pijeska i silta. Takav dolomit uočen je na otvorenim izdancima dekametarskih dimenzija te u nekoliko otvorenih pukotina metarskih dimenzija. Lokacije otvorenih izdanaka dolomitnog grusa odgovaraju zonama značajnih rasjeda.

Geneza grusa definirana je kao rezultat drobljenja dolomita uslijed tektonske aktivnosti u rasjednim/pukotinskim zonama što je dodatno pospješeno trošenjem na površini.

S obzirom da se radi o dolomitu međuzrnske poroznosti, s hidrogeološkog stajališta predstavlja važnu pojavu, jer može u nekim uvjetima utjecati na cirkulaciju vode odnosno pospješiti prihranjivanje dubljih vodonosnika.

Hidrauličke značajke analizirane su pomoću empirijskih formula (Pavičić, 2018): Kozeny-Carman (Kozeny, 1927; Carman, 1937, 1938, 1939, 1956), Slichter (Slichter, 1902, 1905, Vuković & Soro 1991, 1992) i USBR (Justin et al. 1944; Vuković & Soro, 1991; Urumović, 2013).

Vrijednosti hidrauličkih vodljivosti dolomitnog grusa dobivene pomoću empirijskih formula su u rasponu od $1,31 \times 10^{-3}$ do $7,23 \times 10^{-6}$ m/s.

Ocjedite poroznosti su procijenjene na temelju Urumović (2013) odnosno odnosa ocjedite poroznosti i srednje veličine zrna te se nalaze u rasponu od 15 do 32 % (Pavičić, 2018).

Poroznosti tektofacijesa dolomitnog grusa puno su veće jer se radi o nekonsolidiranom materijalu te vrijednosti odgovaraju poroznostima granulometrijskog raspona od sitnog pijeska do krupnog šljunka.

Zone dolomitnog grusa predstavljaju zone povećane poroznosti i propusnosti u odnosu na okolne stijene te pospješuju infiltraciju oborinskih voda u podzemlje.

LITERATURA

- [1] Beyer, W. (1964): *Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve*, Wasserwirtschaft-Wasser-technik, 14. Jahrgang. Heft 6.
- [2] Beyer, W. (1966): *Hydrogeologische Untersuchungen bei der Ablagerung von Wassertschadstoffen*: Zeitschrift fuer Angewandte Geologie, v.12 N 11, p 599-606.
- [3] Beyer, W. (1966): *Zur Analize der grundwasserflussbewegung* Wissenschaftliche: Zeitschrift der Technischen Universitat Dresden 16(4).
- [4] Carman, P.C. (1937): *Fluid flow through Granular Beds*. Trans. Inst. Chem. Eng., London 15, 150-156.
- [5] Carman, P.C. (1938): *Determination of the specific surface of powders*. J. Soc. Chem. Indust. 57, 225-234.
- [6] Carman, P.C. (1939): *Permeability of saturated sand, soil and clay*. Journal of Agricultural Science, 29, 263-273.
- [7] Carman, P.C. (1956): *Flow of Gases through Porous Media*. Butterworths Scientific Publ., London.
- [8] Justin, J. D., Hinds, J. and Creager, W.P. (1944): *Engineering for Dams*, New York
- [9] Keranth, K.R. (2008): *Ground water assessment, development and management*. Mc Grow-Hill Pub. Comp., New Delhi, p. 721
- [10] Kozeny, J. (1927): *Ueber kapillare Leitung des Wassers in Boden*, Wien, Akad. Wiss. 136(2a) 271.
- [11] Pavičić, I. (2018): *Geneza, prostorna raspodjela i kvantifikacija poroznosti žumberačkih gornjotrijaskih dolomita*. Doktorska disertacija, 246 str. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- [12] Slichter, C.S. (1902): *The motions of Underground waters*, U.S. Geol. Surv. Water-Supply and Irrigation Paper 67, 13-106.
- [13] Slichter, C.S. (1905): *Field Measurement of Rate of Movement of Underground Waters*, U.S. Geol. Surv. Water-Supply and Irrigation Paper 140.
- [14] Urumović, K. (2013): *Parametarska kvantifikacija hidrogeoloških svojstava klasičnih naslaga na primjerima pokusnih polja u Sjevernoj Hrvatskoj*. Doktorski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- [15] Urumović, K. (2016): *The referential grain size and effective porosity in the Kozeny-Carman model*. Hydrology and Earth System Sciences 20, 1669–1680. <https://doi.org/10.5194/hess-20-1669-2016>.
- [16] Vuković, M. & Soro, A. (1991): *Određivanje koeficijenta filtracije preko podataka o granulometrijskom sastavu*. Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, Beograd.
- [17] Vuković, M. & Soro, A. (1992): *Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain size composition*, Water Resources Publications, Littleton, Colorado.

AUTORI

dr.sc. Ivica Pavičić ^a

prof.dr.sc. Tatjana Vlahović ^b

izv.prof.dr.sc. Željko Duić ^c

dr.sc. Kosta Urumović, Jr. ^d

doc. dr. sc. Dubravko Domitrović ^c

prof.dr.sc. Ivan Dragičević ^e

Ilija Ravnjak, mag.ing. geol. ^f

^a Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb, 10 000, Hrvatska, ivica.pavicic@rgn.hr

^b Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, Zagreb, 10 000, Hrvatska, tatjana.vlahovic@hpm.hr

^c Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb, 10 000, Hrvatska, zeljko.duic@rgn.hr, dubravko.domitrovic@rgn.hr

^d Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, Zagreb, 10 000, Hrvatska, kosta.urumovic@hgi-cgs.hr

^e ivandragicevic007@gmail.com

^f ilija.ravnjak01@gmail.com



R 1.42.

ANALIZA PROVEDENIH MIKROZONIRANJA NA PODRUČJU JADRANSKOG SLIVA

Maja Oštrić, Helena Radeljak, Želimir Pekaš

SAŽETAK : U radu je napravljena analiza provednih mikrozoniranja. Naime, Pravilnikom o određivanju zona sanitarne zaštite ostavljena je mogućnost da se svaka zabranjena aktivnost/djelatnost, može izvoditi ako se provedenim vodoistražnim radovima dokaže da su značajke mikrolokacije za koju se radovi provode bitno drukčije od značajki na temelju kojih je utvrđena zona sanitarne zaštite u kojoj se mikrozona nalazi. Analiza je napravljena za cijelo područje Jadranskog sliva kao i dio crnomorskog sliva unutar Primorsko-goranske županije, koje karakteriziraju vodonosnici s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznošću te su i na ovom području uočeni isti problemi kao i na području Jadranskog sliva. U razdoblju od 2002. - 2019., odnosno od primjene pravilnika koji je omogućio mikrozoniranje (NN 55/02), napravljeno je 74 mikrozoniranja. Na temelju provedene analize može se zaključiti da je potrebno ujednačiti proceduru izdavanja vodo-pravnih uvjeta za namjenske hidrogeološke radove mikrozoniranja, kao i ići na izmjene važećeg pravilnika o zonama sanitarne zaštite izvorišta vode za piće.

KLJUČNE RIJEČI: izvorišta, podzemne vode, mikrozoniranje, zone sanitarne zaštite, Jadran

ANALYSIS OF CONDUCTED MICRO-ZONING IN THE ADRIATIC BASIN

ABSTRACT: The paper presents an analysis of the conducted micro-zoning exercises. Namely, the Ordinance on establishing zones for sanitary protection of water sources (OG 55/2002) allows for a possibility that any prohibited activity may be carried out if the conducted water investigation works prove that the characteristics of the relevant micro-location significantly differ from those for which the sanitary protection zone was established. The analysis was conducted for the entire area of the Adriatic basin and a part of the Black Sea basin in the Primorje - Gorski Kotar County, which is characterized by aquifers with fracture and fracture-cavernous porosity and in which the same problems as those appearing in the Adriatic basin were noted. In the 2002 – 2019 period i.e. since the adoption of the Ordinance that enabled micro-zoning, 74 micro-zoning exercises were performed. According to our analysis, it can be concluded that it is necessary to standardize the water rights issuing procedure for hydrogeological works intended for

micro-zoning and to amend the Ordinance on establishing zones for sanitary protection of water sources.

KEYWORDS: Water sources, groundwater, micro-zoning, sanitary protection zones, Adriatic

1. UVOD

Područje Republike Hrvatske pripada dvama vodnim područjima: vodnom području crnomorskoga sliva koje se prostire uglavnom na panonskom dijelu i vodnom području jadranskoga sliva koje je cjelokupno na krškom području Dinarida. Krška područja u Hrvatskoj vezana su pretežito za geološke strukture Dinarida u čijoj građi prevladavaju karbonatne stijene. Krško područje Dinarida je područje bogato oborinama (do 4.000 mm godišnje) i vodonosnicima iz kojih se pitkom vodom opskrbljuju brojni gradovi te pokriva gotovo 50 % površine RH (Biondić i dr., 2016). Krš karakterizira iznimna heterogenost i velike brzine podzemnih tokova, a slivovi pokrivaju velike površine. Istovremeno, krški vodonosnici vrlo su osjetljivi na onečišćenja zbog čega je njihova zaštita vrlo složena. Radi zaštite izvorišta ili drugog ležišta vode koje se koristi ili je rezervirano za javnu vodoopskrbu utvrđuju se zone sanitarne zaštite izvorišta. Zaštita izvorišta koja se koriste ili su rezervirana za javnu vodoopskrbu zakonski je regulirana već 30-ak godina primjenom Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 22/86) (u nastavku: Pravilnik) koji se mijenjao i poboljšavao u nekoliko navrata (NN 55/02, 66/11 i 47/13). U Republici Hrvatskoj zaštita izvorišta je regulirana Zakonom o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14 i 46/18) i Pravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11 i 47/13). Sukladno odredbama Pravilnika zahvati u prostoru i djelatnosti koje su inače zabranjene u zoni sanitarne zaštite izvorišta mogu se dopustiti ako se provede mikrozoniranje, odnosno detaljni vodoistražni radovi. Navedenim radovima potrebno je dokazati da su značajke mikrolokacije za koju se provode isti bitno drukčije od onih na temelju kojih je utvrđena zona sanitarne zaštite. U ovom radu analizirana su izvedena mikrozoniranja za cjelokupno područje Jadranskog sliva te dio crnomorskog sliva unutar Primorsko-goranske županije, odnosno za područja u nadležnosti Vodnogospodarskih odjela (VGO-a) za slivove sjevernog i južnog Jadrana. Na navedenom području postoji oko 50 isporučitelja vodnih usluga koji imaju vodopravnu dozvolu za javnu vodoopskrbu pri čemu koriste 241 vodozahvat različitog tipa (5 zahvata površinske vode i 236 podzemne vode). Ukupan kapacitet svih vodozahvata, u razdobljima najveće potrošnje, iznosi oko 22,000 l/s. Provođenje mikrozoniranja, odnosno izdavanje vodopravnih uvjeta za iste, provodilo se u razdoblju od 2002. do danas, različito i bez ujednačenih kriterija. Zbog toga je ovim radom napravljena analiza provedenih mikrozoniranja kako bi se ukazalo na potrebu poboljšanja Pravilnika u smislu određivanja minimalnog opsega dodatnih detaljnih istraživanja za potrebe izdavanja preciznijih vodopravnih uvjeta.

2. PRAVILNIK O UVJETIMA ZA UTVRĐIVANJE ZONA SANITARNE ZAŠTITE IZVORIŠTA I MIKROZONIRANJE

Zakonom o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14 i 46/18) propisano je identificiranje voda namijenjenih ljudskoj potrošnji i njihova zaštita putem zona sanitarne

zaštite. Obveza zaštite odnosi se na svako izvorište ili drugo ležište podzemne vode koje se koristi ili je rezervirano za javnu vodoopskrbu kao i svaki zahvat vode za iste potrebe iz rijeka, jezera, akumulacija i sl. (zajednički naziv izvorište). Instrument za provedbu zaštite je Odluka o zaštiti izvorišta kao i Program mjera sanacije. Način utvrđivanja zona sanitarne zaštite ograničenja i mjere zaštite koja se u njima provode, rokovi za donošenje odluka o zaštiti i postupak donošenja odluka uređeni su Pravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11 i 47/13). Prvi Pravilnik o zaštitnim mjerama i uvjetima za određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta voda za piće donesen je 1986. godine (NN 22/86) i njime su postavljeni temeljni principi zaštite voda za piće. Međutim, samo u jednom članku navedenog Pravilnika se navode krški vodonosnici, što je omogućilo, ovisno o autoru i korištenom pristupu, da se za pojedina izvorišta definira različit broj zona sanitarne zaštite. Tako je primjerice grupa autora koja je određivala zone sanitarne zaštite južne i zapadne Istre izdvajala četiri zone sanitarne zaštite, uglavnom na temelju hidrogeološke interpretacije, dok je grupa autora koja je određivala zone sanitarne zaštite izvorišta sjeverozapadne Istre (u slivu Mirne), izdvajala tri zone sanitarne zaštite, a uz hidrogeološke odnose, koristili su i hidrološke analize (Bačani i dr, 2003). Pravilnik iz 2002. godine je poboljšao u smislu da su jasnije definirani kriteriji za vodonosnike međuzrnske poroznosti te vodonosnike s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti (krški vodonosnici). Prema ovom se Pravilniku (NN 55/02), zaštitne zone definiraju na temelju hidrogeoloških i hidroloških značajki zahvaćenog vodonosnika. Za krške vodonosnike određuju se četiri zaštitne zone, a zbog specifičnosti krškog područja primjenjuje se nekoliko kriterija – vrijeme, brzina i količina napajanja odnosno izvorišta. Člankom 27. ovog Pravilnika uvedena je mogućnost mikrozoniranja, odnosno mogućnost da se za svaki zahvat ili djelatnost koja je zabranjena unutar zona sanitarne zaštite ista može dozvoliti ukoliko se načini projekt u sklopu kojeg se detaljnim vodoistražnim radovima ispita uži lokalitet (mikrozona). Na temelju rezultata mikrozoniranja utvrđuje se pogodnost terena za izvedbu predviđenog zahvata kao i pripadajuće mjere zaštite unutar tog prostora, tj. „mikrozone“. Pravilnik je predvidio da se mjere zaštite određuju Vodopravnim uvjetima koje izdaju Hrvatske vode te da se izvedba takvih zahvata provodi uz vodni nadzor. Također je predviđeno da troškove dopunskih istraživanja snosi investitor zahvata, a istraživanja mogu obavljati samo pravne osobe registrirane za obavljanje hidrogeoloških djelatnosti. Međutim, ovim pravilnikom omogućeno je mikrozoniranje samo u zonama sanitarne zaštite krških vodonosnika, a ne i vodonosnika s međuzrnskom poroznosti, što je pak ispravljeno Pravilnikom iz 2011. Trenutno važećim Pravilnikom iz 2011. godine člancima 36. – 37. definirana je provedba mikrozoniranja, procedura te nadležnost za iste.

3. PROVEDENA MIKROZINIRANJA

Na području Jadranskog te dijela Crnomorskog sliva (Gorski kotar) u razdoblju od 2002. - 2019. analizirana su ukupno 74 provedena mikrozoniranja. Iako su se namjenska, detaljna hidrogeološka istraživanja, odnosno „mikrozoniranja“ provodila i prije nego je Pravilnikom iz 2002. to uređeno, ona nisu analizirana u ovom radu. Iz analiziranih podataka odmah je uočljiv neujednačen pristup primjene Pravilnika na području sjevernog i južnog Jadrana. Od ukupno analizirana 74 mikrozoniranja, njih 45 izvedeno je na području sjevernog Jadrana, a 29 na području južnog Jadrana. U sklopu svih 29

mikrozoniranja provedenih na području južnog Jadrana, izvedena su i trasiranja tokova podzemne vode, dok je na području sjevernog Jadrana trasiranje rađeno u samo 41 % provedenih mikrozoniranja, odnosno u 18 slučajeva.

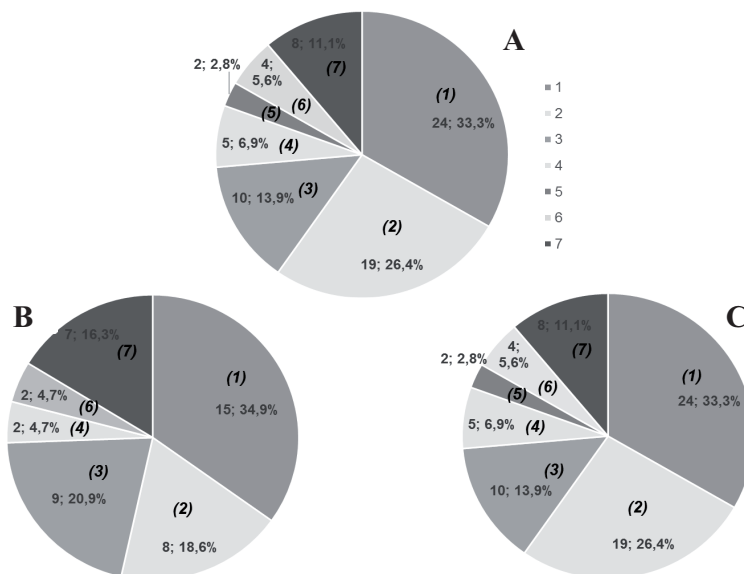
Za potrebe analize, zahvati za koje je provođeno mikrozoniranje, grupirani su u 7 kategorija, kako je prikazano na slici 1. Iz slike je vidljivo kako se veći dio provedenih mikrozoniranja odnosi na kamenolome (23) i odlagališta otpada i ŽCGO (19), a manji broj na ostale navedene zahvate/ djelatnosti u prostoru (32). Dakle, preko 55 % izvedenih mikrozoniranja, odnosi se na kamenolome i odlagališta otpada i ŽCGO pa su rezultati provedenih mikrozoniranja za zahvate te namjene u nastavku detaljnije analizirani i prikazani (tablica 1 i 2, slika 1 i 2).

Iz tablice 1 u kojoj je prikazan pregled provedenih mikrozoniranja za kamenolome, može se zaključiti sljedeće: od analizirana 23 kamenoloma za koje je provedeno mikrozoniranje, za njih 15 provedeno je trasiranje (za svih 9 na južnom Jadranu te za 6 na sjevernom Jadranu). Od 15 provedenih trasiranja, samo u 8 slučajeva je utvrđena veza s osmatranim izvorima, a utvrđene brzine toka podzemne vode su znatno manje od onih koje su se očekivale s obzirom na pripadnost zoni sanitarne zaštite. Budući da se u kamenolomima obično eksploatira tehničko-građevni ili arhitektonski kamen, vrlo je važno da stijenska masa bude dobre kakvoće, odnosno izuzetnih fizičko-mehaničkih karakteristike, zbog čega se obično radi o lokacijama na kojima će i kretanje podzemne vode biti usporeno. Naime za pretpostaviti je da se kamenolomi ne nalaze u tektonski nepovoljnim zonama koje predstavljaju smjerove privilegiranih tokova s najvećim brzinama, a u prilog čemu idu i rezultati iz tablice 1. Potrebno je napomenuti i da je Pravilnikom iz 2002. eksploatacija mineralnih sirovina bila zabranjena u svim zonama sanitarne zaštite, a Pravilnikom iz 2011., dozvoljena je u IV. zoni sanitarne zaštite, ali je zabranjena u svim ostalim zonama. Kako većina Odluka još uvijek nije usklađena s Pravilnikom iz 2011. godine, u istima je i dalje propisana zabrana eksploatacije mineralnih sirovina unutar IV. zone sanitarne zaštite.

U tablici 2 prikazan je pregled provedenih mikrozoniranja za odlagališta otpada i ŽCGO. Od analiziranih 19 provedenih mikrozoniranja, za njih 16 provedeno je trasiranje od strane licenciranih tvrtki (za svih 11 na južnom Jadranu te za 5 na sjevernom Jadranu). Od toga su samo četiri zahvata zabranjena, odnosno zahtjevi su odbijeni (Ciburi i Kukuljanovo na sjevernom Jadranu te postojeća odlagališta otpada Mojanka i Grabovica na južnom Jadranu).

Ono što se vidi iz tablice 2 jest da su trasiranja često ponavljana, posebno u slučaju zahvata za županijske centra gospodarenja otpadom (ŽCGO). Trasiranja su ponavljana iz više razloga, a glavni su hidrološki uvjeti te mjesto ubacivanja boje. Naime, za ŽCGO Lećevica trasiranje je rađeno čak 3 puta: prvo trasiranje izvedeno je sredinom kolovoza 2004. godine iz bušotine pri čemu se traser nije pojavio niti na jednom od opažanih izvora (Oluić i dr., 2004). Zbog toga je trasiranje ponovljeno sredinom svibnja 2006. iz prirodne jame, a traser je utvrđen nakon skoro 67 dana na izvoru Jadro (Kuhta i Stroj, 2006.). Treće trasiranje izvedeno je u ožujku 2017. godine u uvjetima velikih voda iz jame u koju je upušten traser prilikom trasiranja 2006. godine. Prilikom trećeg trasiranja traser se nije pojavio niti na jednom od opažanih izvora (Kuhta i Frangen, 2017). Iako je većina trasiranja za zahvate ŽCGO potvrdila pripadnost zoni izvora, izmjene Pravilnika iz 2013., omogućile su izvođenje istih i unutar III zone sanitarne zaštite. Iz tablice 2 vidljivo je da

postoji niz različitih „vrsta odlagališta otpada“, a koje važeći Pravilnik, osim ŽCGO-a, ne razlikuje. To je još jedan razlog za novelaciju postojećeg Pravilnika, jer neusklađenost u terminologiji Pravilnika i Zakona o otpadu stvara velike probleme u provođenju mikrozoniranja, kao i u definiranju mjera zaštite za pojedine zone sanitarne zaštite.



Slika 1. Udio provedenih mikrozoniranja prema namjeni: 1- kamenolom; 2- odlagalište otpada i ŽCGO; 3- benzinske postaje i spremnici lož ulja; 4- poslovne/gospodarske zone; 5- UPOV/ odvodnja; 6- ceste i slično; 7- ostali objekti
A) područje VGO-a Sjevernog i južnog Jadrana; B) Sjeverni i C) Južni Jadranski

Na slici 2 prikazan je razmještaj lokacija (zahvata) za koja su provedena mikrozoniranja te vodozahvata i pripadajućih zona sanitarne zaštite kao i provedena trasiranja tokova podzemne vode. Iz slike je vidljivo da je većina zahvata za koje su rađena mikrozoniranja smještena unutar zona sanitarne zaštite bakarskih izvora na području sjevernog Jadrana, zona sanitarne zaštite izvora Jadro te na području južnog Jadrana.

Iz analiziranih trasiranja koja su provedena sklopu mikrozoniranja, od trasera je najčešće korišten Uranin (u 42 od provedena 47 trasiranja), u dva slučaja korišten je Na-naphtionat i Litijev klorid, a u jednom trasiranju Eozin. Traser je najčešće upušan u prirodni objekt (ponor, jamu ili prirodnu pukotinu), a u nešto manjem broju slučajeva u bušotinu (u 20 od 47 trasiranja). U slučaju upuštanja trasera u bušotinu, dobiveni rezultati nisu rezultat prirodnih uvjeta na lokaciji pa su i dobivene brzine često puno manje nego u slučaju ubacivanja u prirodni objekt (npr. trasiranje iz bušotine i prirodnog objekta na lokaciji ŽCGO-a u Biljanima Donjim) (Munda i dr, 2007 a, 2007b.).

Tablica 1. Pregled provedenih mikrozoniranja za kamenolome

Lokacija	Tras	ZSZ	Izvor	Zaključak
Šumber	NE	3	Fonte Gajo, Kokoti	IV. zona Fonte Gajo, Kokoti
Plovanija	NE	2	Gabrijeli, Bužini	
Krase	DA	3	Rakonek, Sv. Anton	IV. zona Rakonek i Sv. Anton
Križarovica	NE	3	Rakonek, Sv. Anton	IV. zona Rakonek i Sv. Anton
Kave	DA	3	Gabrijeli, Bužini; Bulaž	Nije utvrđena veza
Kuk- Čiritež	NE	2	Sveti Ivan	
Prašćari, Buzet	NE	2	Sveti Ivan	Odbijen zahtjev, traženo trasiranje
Prašćari, Buzet	DA	2	Sveti Ivan	Nije utvrđena veza
Tambura	DA	3	Pulski zdenci	Nije utvrđena veza
Mrkovac 2	NE	4	Kupica, Zeleni Vir	IV. zona Kupica, Zeleni Vir
Garica	DA	3	Ponikva, Krk	Nije utvrđena veza
Kikovica	DA	3	Bakarski izvori	IV. zona Bakarskih izvora
Papuča	NE	3	Mrdenovac	IV. zona izvora Mrdenovac
Mali Čardak	NE	4	Gacka	IV. zona izvora Gacke
Plano	DA	3	Pantan	III.-IV. zona Pantana
Donji Dolac	DA	2	Jadro, Žrnovnica	IV. zona Jadro
Dugopolje, Koprivno	DA	2	Jadro, Žrnovnica	IV. zona Žrnovnica
Priorice	DA	2	Kosinac	IV. zona Rumin
Muč, Neorić	DA	3	Jadro, Žrnovnica	IV. zona Jadro i Žrnovnica
Dugopolje	DA	3	Jadro, Žrnovnica	IV. zona Jadro i Žrnovnica
Tisno, Dubrava	DA	3	Jandrići	IV. zona Jandrića
Drniš, Kamenjača	DA	2	Jaruga i Torak	Nije utvrđena veza
Orebić, Podvlastica	DA	3	Studenac	Nije utvrđena veza

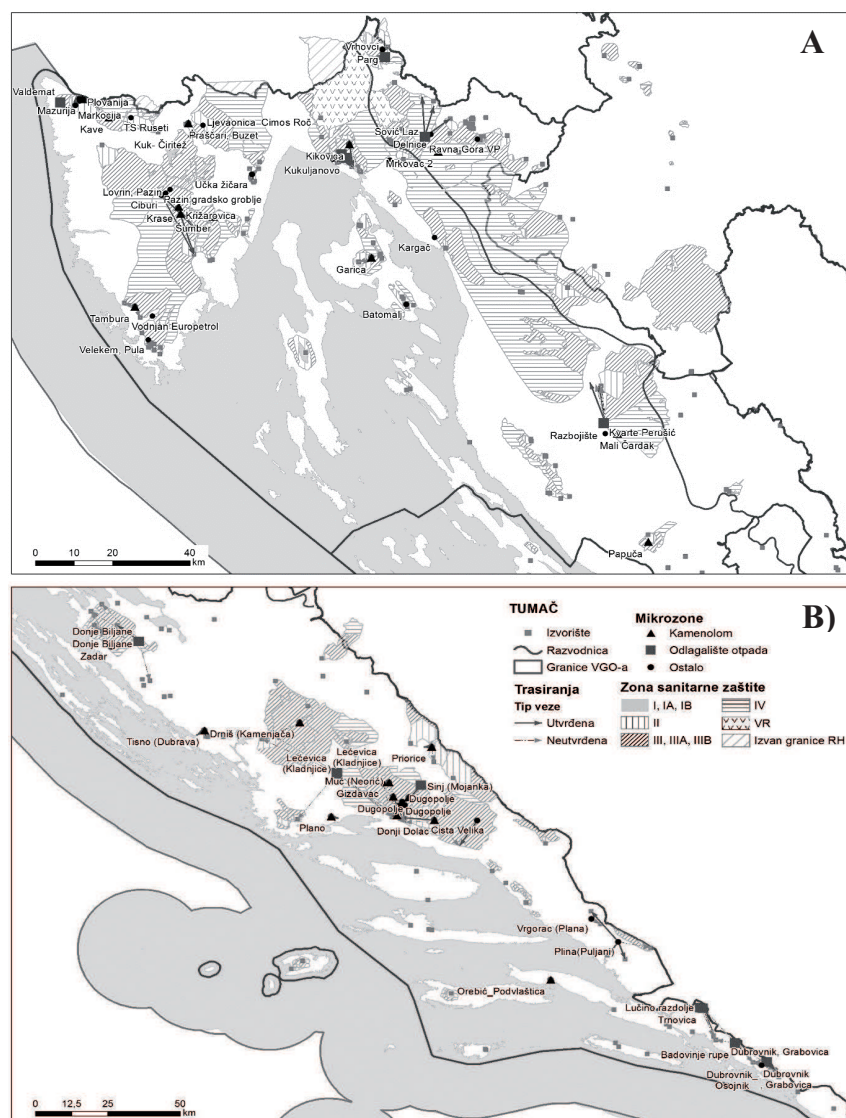
Iz analiziranih podataka provedenih trasiranja, također se može zaključiti kako često trasiranja nisu provedena u razdoblju velikih voda, a što je ponekad u praksi vrlo teško izvedivo. Ovdje je potrebno istaknuti kako u Pravilniku kriteriji za određivanje razdoblja velikih voda nisu dovoljno precizno definirani. Međutim, svakako je potrebno ujednačiti praksu i definirati koji su hidrološki uvjeti prihvatljivi za izvođenje trasiranja.

Tablica 2. Pregled provedenih mikrozoniranja za odlagališta otpada

Lokacija	Vrsta	ZSZ	Izvor	Zaključak
Valdemat	Deponija građevinskog materijala	3	Gabrijeli, Bužini	
R 27 IZ Kukuljanovo	Centar za proizvodnju i reciklažu sekundarnih sirovina	3	Bakarski izvori	Traser se nije pojavio
Ciburi	Reciklažno dvorište opasnog otpada	3,4	Rakonek, Sv. Anton	III. zona Rakonek, Sv. Anton; ODBIJEN
Kukuljanovo	Postrojenja za obradu opasnog i neopasnog otpada	3	Bakarski izvori	III. zona sanitarne zaštite; ODBIJEN
R 27 IZ Kukuljanovo	Centar za proizvodnju i reciklažu sekundarnih sirovina	3	Bakarski izvori	Nije traženo trasiranje jer su 2012 na susjednoj parceli izvedena dva trasiranja
Sović Laz	Kazeta za građevinski otpad koji sadrži azbest	3	Mala i Velika Belica	IV zona Velike i Male Belice, Kupice
Vrhovci	Reciklažno dvorište	2	Čabranka	Nije traženo trasiranje jer se lokacija nalazi na vodonepropusnim naslagama
Razbojište	Odlagalište komunalnog otpada	4	Tonkovića vrilo	Traser se pojavio na izvoru Pečina, ali ne i na Tonkovića vrilu
Lečevica, Kladnjice	ŽCGO	2	Jadro i Žrnovnica	Traser se nije pojavio, trasiranje ponovljeno iz jame
Lečevica, Kladnjice	ŽCGO	2	Jadro i Žrnovnica	IV. zona sanitarne zaštite izvorišta Jadro
Lečevica, Kladnjice	ŽCGO	4	Jadro i Žrnovnica	Traser se nije pojavio
Donje Biljane	ŽCGO	3	Zadarska crpilišta	Nalazi se u slivu izvorišta Oko
Donje Biljane	ŽCGO	3	Zadarska crpilišta	III. zona Oko
Sinj, Mojanka	Odlagalište otpada, postojeće	2	Jadro i Žrnovnica	III. zona sanitarne zaštite izvorišta Jadro
Badovinje rupe	ŽCGO	0	Palate	Lokacija pripada slivu Palate
Lučino razdolje, Trnovica	ŽCGO	0	Usječenik	III. zona Usječenika
Lučino razdolje	ŽCGO	0	Usječenik	III. zona Usječenika
Dubrovnik, Grabovica	Odlagalište otpada, postojeće	0	Ombla	III. zona Omble; ZABRANJEN
Dubrovnik, Grabovica	Odlagalište otpada, postojeće	0	Ombla	III. zona Omble; ZABRANJEN

ZAKLJUČAK

Provođenje mikrozoniranja, odnosno izdavanje vodopravnih uvjeta za iste, provodilo se u razdoblju od 2002. godine do danas, različito i bez ujednačenih kriterija. Iz provedene analize proizlazi nekoliko zaključaka: prvenstveno je potrebno ujednačiti proceduru izdavanja vodopravnih uvjeta za namjenske hidrogeološke radove mikrozoniranja. Drugo, analizom rezultata provedenih mikrozoniranja, proizašli su i neki zaključci o potrebi izmjene i poboljšanja postojećeg Pravilnika.



Slika 2. Lokacije provedenih mikrozoniranja na području A) Sjevernog Jadrana i B) Južnog Jadrana

Prema prikazanom u ovom radu, izmjene Pravilnika trebale bi ići u smjeru smanjenja ograničenja za kamenolome te usklađenja Pravilnika s važećom legislativom o otpadu, što bi olakšalo ujednačavanje prakse izdavanja vodopravnih uvjeta.

Svakako bi tom prilikom trebalo uzeti u obzir i lokacije za odlaganje mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda koje do sada nije adekvatno zakonski riješeno. Navodimo kao primjer lokacije za UPOV za odlaganje mulja na području Dubrovačke županije. Osim toga, nužno je da se za sva izvorišta koja se koriste u javnoj vodoopskrbi proglase zone sanitarne zaštite i donesu Odluke o njihovoj zaštiti. Pravilnikom iz 2011. godine bilo je predviđeno da se sve Odluke usklade sa novim pravilnikom do 2014. godine, što dijelom nije učinjeno i zbog čega negdje postoji „nesklad“ između važećih Odluka i Pravilnika. Na primjeru kamenoloma to se najbolje uočava. U Odlukama koje su rađene u skladu s Pravilnikom iz 2002. godine, u svim zonama sanitarne zaštite zabranjena je eksploatacija mineralnih sirovina, dok je Pravilnikom iz 2011. to ispravljeno pa zabrana vrijedi u III, II i I zoni sanitarne zaštite. Također je potrebno uskladiti i postupak provođenja mikrozoniranja, a posebno trasiranja, u smislu definiranja korištenja vrste trasera, metode odabira količine trasere, odabira mjesta ubacivanja trasera, definiranja uvjeta velikih voda i slično. Cijeli proces od donošenja Elaborata zona sanitarne zaštite kao i donošenja Odluka i programa mjera sanacije te provođenje mikrozoniranja, trebao bi zapravo predstavljati iterativni proces, kojem je krajnji cilj bolja zaštita podzemnih voda.

LITERATURA

- [1] Bačani, A., Parlov, J., Posavec, K., Perković, D. Diković, S i Rubinić, J. (2003): *Istraživanja u cilju zaštite izvorišta vodoopskrbe na području istarskog poluotoka*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- [2] Biondić, R., Rubinić, J. Biondić, B., Meaški, H: i Radišić, M: (2016): *Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području krša u Hrvatskoj*, Geotehnički fakultet Varaždin, 2016.
- [3] Kuhta, M., Stroj, A. (2006): *Geološka i hidrogeološka istraživanja na području predložene lokacije Centra za gospodarenje otpadom Splitsko-dalmatinske županije kod Lečevice. Dopunsko izvješće. Rezultati trasiranja jame na lokaciji Centra*. Hrvatski geološki institut, Zagreb. Fond stručne dokumentacije 90/06.
- [4] Kuhta, M., Frangen, T. (2017): *Trasiranje tokova podzemnih voda iz jame na lokaciji Šilovića doci u Kladnjicama, Općina Lečevica*, Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- [5] Munda, Trutin, M. i Matić, N. (2007a): *Izrada projekta namjenskih hidrogeoloških istraživanja mikrozone potencijalnog centra za gospodarenje otpadom Zadarske županije*, GeoAqua, Zagreb.
- [6] Munda, Trutin, M. i Matić, N. (2007b): *Trasiranje podzemnog toka vode, kao dio projekta namjenskih hidrogeoloških istraživanja mikrozone potencijalnog centra za gospodarenje otpadom zadarske županije na lokaciji zapadno od Biljana Donjih*, GeoAqua, Zagreb.

- [7] Oluić M., Vasiljević, R. i Burela, S.(2004): *Elaborat o kompleksnim geološkim istraživanjima područja „Kladnjice“ – Lećevica*, ECOINA. Zagreb.
- [8] Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11 i 47/13).
- [9] Pravilnik o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 55/02).
- [10] Pravilnik o zaštitnim mjerama i uvjetima za određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta vode za piće (NN 22/86).
- [11] Zakon o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14 i 46/18).

AUTORI

doc. dr. sc. Maja Oštrić, dipl. ing. geol. ^a

Helena Radeljak, dipl. ing. geol. ^b,

Želimir Pekaš, dipl. ing. geol. ^c

^a Hrvatske vode, VGO Rijeka, Đure Šporera 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, maja.ostric@voda.hr

^b Hrvatske vode, VGO Split, Vukovarska 35, Split, 21000, Hrvatska, helena.radeljak@voda.hr

^c Hrvatske vode, Sektor korištenja, Ul. grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, zelimir.pekas@voda.hr



R 1.43.

KEMIJSKO STANJE PODZEMNIH VODA NA MONITORING POSTAJAMA NA PODRUČJU JADRANA U 2017. GODINI

Alma Tudić

SAŽETAK: Analizom značajki vodnih područja za potrebe Plana upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. identificirano je 13 tijela podzemnih voda na jadranskom vodnom području. Ocjena kemijskog stanja podzemnih voda ispitivana je na 72 mjerne postaje, u kaptiranim izvorima, bunarima i crpilištima. Učestalost ispitivanja za pojedinačne pokazatelje je četiri puta godišnje. U radu su prikazane prosječne koncentracije (PGK) pokazatelja i odgovarajuće ocjene kemijskog stanja podzemnih voda jadranskog vodnog područja za 2017. godinu.

KLJUČNE RIJEČI: podzemne vode, monitoring, ocjena, kemijsko stanje

CHEMICAL STATUS OF GROUNDWATER AT MONITORING POINTS IN THE ADRIATIC AREA IN 2017

ABSTRACT: The analysis of river basin districts under the River Basin Management Plan 2016 - 2021 identified 13 groundwater bodies in the Adriatic river basin district. The chemical status of groundwater was assessed based on 72 monitoring points - in abstracted springs, wells and well fields. The monitoring frequency for individual indicators was four times a year. The annual average concentrations (AAC) of indicators and associated assessments of the chemical status of groundwater in the Adriatic river basin district are shown for 2017.

KEYWORDS: groundwater, monitoring, assessment, chemical status

1. UVOD

U radu je ocijenjeno kemijsko stanje podzemnih voda na mjernim postajama jadranskog vodnog područja za 2017. godinu prema pokazateljima propisanim Uredbom o standardu kakvoće voda (Narodne novine, br. 73/13, 151/14, 78/15, 61/16 i 80/18) - (nitrati; aktivne tvari u pesticidima; metali - arsen, kadmij, olovo, živa; ioni - amonij, kloridi, sulfati; ortofosfati; umjetne sintetičke tvari - suma trikloretilena i tetrakloretilena; tvari koje upućuju na prodore slane vode ili druge prodore - vodljivost).

Transpozicijom Okvirne direktive o vodama Europske unije (ODV), hrvatskim zakono-

davstvom je propisan monitoring stanja voda, što za podzemne vode znači uspostavu praćenja količinskog i kemijskog stanja. Standardi kakvoće podzemnih voda određeni su Uredbom o standardu kakvoće voda.

Temeljem kriterija koje Uredba propisuje u svom Prilogu 6., načinjena je ocjena kemijskog stanja podzemnih voda za pokazatelje za koje su propisane vrijednosti standarda kakvoće (nitrati i aktivne tvari u pesticidima), kao i za pokazatelje za koje su propisane granične vrijednosti (specifične onečišćujuće tvari). Ocjena kemijskog stanja na monitoring postajama i prikaz ostalih rezultata praćenja kakvoće podzemnih voda prikazani su za vodno područje jadranskog sliva, a unutar njih za tijela podzemnih voda. Temelj danih ocjena bio je Plan monitoringa stanja voda u Republici Hrvatskoj u 2017. godini (Hrvatske vode, 2017). Uzorkovanje je provedeno s učestalošću od 4 puta godišnje.

2. STANJE KAKVOĆE PODZEMNIH VODA NA MONITORING POSTAJAMA

Ocjenjujući kemijsko stanje na svim mjernim postajama podzemnih voda na jadranskom vodnom području prema koncentracijama nitrata, u 2017. godini je utvrđeno dobro kemijsko stanje. Srednje godišnje vrijednosti fizikalno - kemijskih pokazatelja na većini mjernih postaja bile su slične godišnjem prosjeku iz ranijih godina monitoringa.

Nitrati su u niskim koncentracijama bili prisutni na svim mjernim postajama. Najniža srednja godišnja koncentracija nitrata izmjerena je na postaji Košna voda, Gospić ($0,78 \text{ mg/l NO}_3^-$) koja se nalazi na vodnom tijelu Lika - Gacka. Najviša koncentracija nitrata je izmjerena na postaji Campanož, tijelu Južna Istra ($49,60 \text{ mg/l NO}_3^-$). Od hranjivih tvari, osim nitrata mjereni su i ostali dušikovi spojevi. Srednje godišnje koncentracije nitrata bile su ispod granica kvantifikacije korištenih analitičkih metoda na svim postajama. Obzirom na amonij u 2017. godini, utvrđeno je dobro kemijsko stanje na svim mjernim postajama, osim na dvije. Radi se o monitoring postajama izvorište Dole, P1 gdje je vrijednost amonija bila $0,79 \text{ mg NH}_4^+/\text{l}$ i Velo blato ($0,468 \text{ mg NH}_4^+/\text{l}$). Prema Uredbi o standardu kakvoće voda iz Tablice 3, Priloga 6, koncentracija amonija premašuje prosječnu godišnju koncentraciju koja iznosi $0,5 \text{ mg NH}_4^+/\text{l}$ te je na ove dvije postaje utvrđeno loše kemijsko stanje obzirom na amonij.

U 2017. godini utvrđeno je i dobro kemijsko stanje s obzirom na ortofosfate, osim na postaji Kokoti, gdje je utvrđeno loše kemijsko stanje obzirom na iste. Dobro kemijsko stanje utvrđeno je i obzirom na otopljene metale (arsen, kadmij, olovo, živa). Utvrđeno je i dobro kemijsko stanje obzirom na kloride na većini monitoring postaja, no na 6 postaja je utvrđeno loše stanje obzirom na kloride, jer premašuju prosječnu godišnju koncentraciju koja je propisana Uredbom o standardu kakvoće voda. Radi se o postajama: Boljkovac, Studenac - Blatsko polje, Izvorište Dole P1, Velo blato, Izvor Mlinica te Žuljana. Najviša koncentracija klorida izmjerena je na postaji Velo blato ($633,4 \text{ mg/l Cl}^-$). Obzirom na sulfate, na svim postajama utvrđeno je dobro kemijsko stanje, osim na postaji Norin, Izvorište, gdje je ocjenjeno loše kemijsko stanje. Pokazatelji režima kisika, kao i u nizu prethodnih godina, ukazuju na dobru prozračenost podzemnih voda u svim vodnim tijelima.

Također su ispitivane i aktivne tvari u organofosforim kao i organoklorovim pesticidima, pri čemu su svi pojedinačni rezultati spomenutih pesticida bili ispod granica kvantifikacije. Od organskih spojeva, uz prethodno obrađene pesticide, ispitivani su i lakohlapljivi

vi halogenirani ugljikovodici. Ocjeno je da su podzemne vode na svim monitoring postajama prema ovim parametrima u dobrom stanju. Dobro stanje je utvrđeno i prema sumi trikloretilena i tetrakloretilena.

Tablica 1. Rezultati praćenja - srednje godišnje vrijednosti odabranih pokazatelja na postajama podzemnih voda na području sjevernog Jadrana prema Uredbi o standardu kakvoće voda

TIJELO PODZEMNE VODE	ŠIFRA Mjerne POSTAJE	NAZIV Mjerne POSTAJE	NITRATI (mg NO ₃ ⁻ /l)	AKTIVNE TVARI SREDSTAVA ZA ZAŠTITU BILJA, UKUPNO (µg/l)	ARSEN (µg/l)	KADMIJ (µg/l)	OLOVO (µg/l)	ŽIVA (µg/l)	AMONIJ (mg NH ₄ ⁺ /l)	KLORIDI (mg/l)	SULFATI (mg/l)	ORTOFOSFATI (mg PO ₄ ³⁻ /l)	NITRITI (NO ₂ ⁻) mg/l	UKUPNI FOSFOR (mg/l)	SUMA TRIKLORETENA I TETRAKLORETENA (µg/l)	EL. VODLIVOST (µS/cm)
			SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.	SR.GOD. VRIJ.
Sjeverna Istra	31057	Gradole	11,66	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,03	10,17	8,22	0,06	<LOQ	0,05	<LOQ	614,00
	31058	Sveti Ivan	2,32	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	3,26	6,03	0,07	<LOQ	0,03	<LOQ	435,75
	31059	Bulaž	3,59	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,02	7,38	11,63	0,09	<LOQ	0,05	<LOQ	534,25
	31060	Mlini	3,44	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,02	3,42	5,33	0,02	<LOQ	0,02	<LOQ	500,75
	31061	Bužin, bušotina uz izv.	1,13	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,03	7,42	3,36	0,02	<LOQ	0,02	<LOQ	477,00
Središnja Istra	31046	Kožljak, Labin	2,05	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00	6,39	7,59	0,05	<LOQ	0,05	<LOQ	231,00
	31047	Vela Učka	2,50	<LOQ	0,13	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	1,80	2,85	<LOQ	<LOQ	0,02	<LOQ	181,25
	31048	Rovinjski Zdenci	15,52	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	15,28	17,30	0,01	<LOQ	0,07	<LOQ	833,25
	31050	Sveti Anton	7,45	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	7,20	8,71	0,03	<LOQ	0,04	<LOQ	524,75
	31051	Mutvica	9,47	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	15,53	10,22	0,05	<LOQ	0,05	<LOQ	579,50
	31052	Balobani	7,09	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	6,77	7,45	0,01	<LOQ	0,06	<LOQ	521,75
	31053	Rakonek	9,86	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	9,18	6,98	0,19	<LOQ	0,11	<LOQ	542,25
	31054	Kokoti	9,02	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00	24,50	15,23	0,16	<LOQ	0,12	<LOQ	593,75
	31062	Valdragon, zdenac	29,10	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00	27,80	14,38	0,06	<LOQ	0,06	<LOQ	761,75
31063	Šišan, zdenac	40,18	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00	60,98	14,33	0,09	<LOQ	0,05	0,36	855,75	
Južna Istra	31064	Jadreški, zdenac	37,69	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00	52,73	28,80	0,11	<LOQ	0,06	<LOQ	905,25
	31065	Peroj	7,25	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	28,13	11,89	0,07	<LOQ	0,05	<LOQ	736,75
	31066	Ševe	24,71	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00	70,63	14,49	0,11	<LOQ	0,07	0,13	895,25
	31049	Karpi	11,76	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00	33,30	15,15	0,10	<LOQ	0,07	<LOQ	787,00
	31055	Blaž	6,74	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	72,40	15,17	0,05	<LOQ	0,03	<LOQ	760,25
	31056	Tivoli	15,56	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	29,33	20,93	0,15	<LOQ	0,08	0,93	794,50
	31067	Campanož	49,36	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00	37,55	22,83	0,10	<LOQ	0,07	<LOQ	760,25
Rijeka-Bakar	30139	Perilo, Rijeka	3,60	<LOQ	0,80	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,02	84,13	14,33	0,03	<LOQ	0,02	<LOQ	494,00
	30062	Izvor Rječine	2,37	<LOQ		<LOQ	0,16	<LOQ	0,01	1,38	2,22	<LOQ	<LOQ	0,01	<LOQ	200,25
	30130	Zvir I, izvorište	2,82	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	3,16	2,66	0,02	<LOQ	0,01	<LOQ	223,00
	30131	Martinšćica	3,67			<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	2,83	2,79	0,04	<LOQ	0,02	<LOQ	213,25
	30132	Dobrica	3,09			<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	23,75	12,58	0,01	0,00	0,02	<LOQ	335,75
Riječki zaljev	30135	Cerovica, izvorište	5,57			<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	4,59	5,48	0,11	<LOQ	0,04	<LOQ	272,00
	30136	tunel Učka, vodosprema	2,53			0,03	<LOQ	<LOQ	0,01	3,22	2,95	0,01	<LOQ	0,02	<LOQ	237,25
STANDARD KAKVOĆE/GRANIČNA VRIJEDNOST			50,0	0,5	10	5	10	1	0,5	250	250	0,2	0,5	0,35	10	2500

Tablica 2. Rezultati praćenja - srednje godišnje vrijednosti odabranih pokazatelja na postajama podzemnih voda na području srednjeg i južnog Jadrana prema Uredbi o standardu kakvoće voda

TIJELO PODZEMNE VODE	ŠIFRA MIJERNE POSTAJE	NAZIV MIJERNE POSTAJE	NITRATI	AKTIVNE TVARI	ARSEN	KADMIJ	OLOVO	ŽIVA	AMONIJ	KLORIDI	SULFATI	ORTOFOSFATI	NITRITI	UKUPNI FOSFOR	SUMA	EL. VODLJIVOST
			(mg NO ₃ ⁻ /l)	SREDSTAVA ZA ZAŠTITU BIJLA, UKUPNO (µg/l)											(µg/l)	
			SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.	SR. GOD. VRIJ.
Ravni Kotari	40310	Biba, izvorište	2,61	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,04	7,84	15,10	<LOQ	<LOQ	0,01	<LOQ	619,00
	40351	Kakma, izvorište	8,28	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,07	10,35	35,26	<LOQ	<LOQ	0,01	<LOQ	670,75
Lika-Gacka	30032	Tonković vrilo	2,13	<LOQ		0,03	0,13	<LOQ	0,01	<LOQ	6,84	0,01	<LOQ	0,00	<LOQ	460,25
	30042	Košna voda, zd. Brušane	0,79	<LOQ		0,05	0,17	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,46	<LOQ	<LOQ	0,04	<LOQ	256,93
	30133	Medak zdenac	1,22	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,52	<LOQ	<LOQ	0,00	<LOQ	325,50
	30134	Žrnovnica, izvorište	2,93	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	2,05	2,61	0,01	<LOQ	0,03	<LOQ	218,25
	30137	Ličanka, izvorište	3,29	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	6,61	1,89	0,01	<LOQ	0,02	<LOQ	257,00
	40320	Jezerce, izvorište	6,24	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,07	35,68	69,23	<LOQ	0,43	<LOQ	0,09	983,00
Bokanjac-Poličnik	41315	Bokanjac, crpilište	3,51	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	18,70	23,38	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	800,50
	41318	Boljkovac, crpilište	11,18	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,05	333,7 LOŠE	165,73	<LOQ	1,39 LOŠE	0,01	0,08	1.966,25
Krka	40415	Krka, izvor Krke	1,57	<LOQ		0,02	0,15	0,01	<LOQ	6,60	5,70	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	385,00
	40423	Čikola, izvorište	1,64	<LOQ		0,02	0,15	0,00	<LOQ	4,25	4,78	0,03	<LOQ	0,01	<LOQ	385,00
	40451	Šimića vrelo, izvorište	1,26	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2,10	42,33	<LOQ	<LOQ	0,01	<LOQ	468,00
	40452	Jaruga, izvorište	1,58	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4,00	53,44	0,02	<LOQ	0,01		518,75
	40501	Izvorište Opačac, Opačac	1,30	<LOQ		0,02	0,18	0,00	0,02	4,30	9,30	0,02	0,01	<LOQ	<LOQ	404,00
Neretva	40511	Butina, izvorište	4,02	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,03	4,57	140,55	0,03	0,01	0,05	<LOQ	606,00
	40517	Norin izvorište, Prud	4,09	<LOQ		0,03	0,17	0,00	<LOQ	23,23	254,25 LOŠE	0,04	0,00	0,02	<LOQ	744,25
	40701	Ombla, izvorište	1,61	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,02	4,55	3,84	0,04	<LOQ	0,05	<LOQ	361,25
	40703	Ljuta, izvorište Konavle	0,99	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	3,49	2,43	0,00	<LOQ	0,00	<LOQ	286,50
	41705	Duboka Ljuta, Robinzon	1,11	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	4,51	3,02	0,01	<LOQ	0,01	<LOQ	337,25
	41706	Nereze, Šlano	0,93	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	118,88	19,53	0,01	<LOQ	0,01	<LOQ	680,25
	41707	Klokun	2,98	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	5,33	78,25	0,01	<LOQ	0,01	<LOQ	515,50
	41708	Modro Oko	2,65	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,03	8,80	112,77	0,01	<LOQ	0,00	<LOQ	551,75
	40709	Banja	2,21	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	3,26	61,40	0,01	<LOQ	0,01	<LOQ	442,75
	41704	Žuljana	4,24	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	480 LOŠE	45,42	0,01	<LOQ	0,01	<LOQ	1.919,75
	Cetina	40101	Vukovića vrelo, izvorište	1,39	<LOQ		0,02	0,16	0,00	<LOQ	3,33	15,03	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
40120		Rimski bunar	4,83	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	249,65	36,12	0,01	<LOQ	0,01	<LOQ	1.220,75
40121		Jadro, izvorište	2,53	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	12,16	11,85	0,02	<LOQ	0,01	<LOQ	420,75
40122		Baška voda	7,17	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,04	13,21	12,57	0,04	<LOQ	0,04	<LOQ	473,40
40124		Žrnovnica, izvorište	1,24	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,00	11,02	7,77	0,05	<LOQ	0,05	<LOQ	382,75
40127		Mala Ruda, izvorište	9,70	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,01	2,90	15,83	0,02	<LOQ	0,01	<LOQ	326,00
40130		Kosinac, kaptirani izvor	1,09	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,02	4,29	5,08	0,01	<LOQ	0,00	<LOQ	342,00
40207		Zrmanja, Vrelo	1,36	<LOQ		0,03	0,13	0,01	<LOQ	1,86	7,93	<LOQ	0,00	<LOQ	<LOQ	337,00
Zrmanja	40218	Krupa, u selu Mandići	0,90		0,48				<LOQ	3,41	6,63	<LOQ	<LOQ	<LOQ		373,58
	40352	Muškovci, izvorište	0,94	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,20	2,73	19,38	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	353,50
	30120	Vransko jezero	0,11	<LOQ	0,95				0,02	56,78	15,88	<LOQ	<LOQ			443,42
Jadranski otoci	40550	Libora	9,38	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	45,54	19,53	0,00	<LOQ	<LOQ	<LOQ	659,25
	40551	Studenac, Blatsko polje	10,27	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,02	441,02 LOŠE	27,50	0,04	<LOQ	0,02	<LOQ	1.264,25
	30091	Njivice, Vrutak	1,76	<LOQ	1,10	0,04	0,38	<LOQ	0,02	85,00	13,69	0,03	0,01	0,02	<LOQ	774,25
	30092	Zdenac, EB-2	2,66	<LOQ	1,75	0,02	0,17	<LOQ	0,01	182,25	26,25	<LOQ	<LOQ	0,02	<LOQ	757,50
	30093	Izvor Mlinica	4,09	<LOQ		0,02	0,17	<LOQ	0,01	598 LOŠE	77,85	0,01	<LOQ	0,01	<LOQ	1.943,25
	40552	Korita, Komiža	3,11	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	56,61	12,78	0,00	<LOQ	0,00	<LOQ	670,50
	40322	Izvorište Dole, P1	4,17	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,79 LOŠE	577 LOŠE	246,14	<LOQ	<LOQ	0,01	<LOQ	2896 LOŠE
	40323	Velo Blato	1,31	<LOQ		<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,46	633 LOŠE	96,07	<LOQ	0,34	<LOQ	<LOQ	1.986,75
STANDARD KAKVOĆE/GRANIČNA VRIJEDNOST			50,0	0,5	10	5	10	1	0,5	250	250	0,2	0,5	0,35	10	2500

ZAKLJUČAK

U 2017. godini je na većini monitoring postaja ocijenjeno dobro kemijsko stanje obzirom na parametre koji su propisani Uredbom o standardu kakvoće voda.

Temeljem podataka možemo zaključiti da je na postaji Izvorište Dole 1 u 2017. godini najviše ispitivanih parametara bilo ispod granice prosječne godišnje koncentracije propisanih Uredbom o standardu kakvoće, odnosno ova postaja je ocijenjena lošim kemijskom stanjem obzirom na čak tri parametra: kloride, amonij i električnu vodljivost.

LITERATURA

- [1] *Zakon o vodama* (Narodne novine, br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14 i 46/18).
- [2] *Uredba o standardu kakvoće voda* (Narodne novine, br. 73/13, 151/14, 78/15, 61/16 i 80/18).
- [3] *Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021.* (Narodne novine, broj 66/16).
- [4] Hrvatske vode (2015): *Izvešće o kemijskom stanju podzemnih voda u Republici Hrvatskoj u 2015. godini* (Čupić D., Marinović-Ruždjak A., Milović S., Tudić A.), Zagreb.
- [5] Hrvatske vode (2017): *Plan praćenja stanja voda u Republici Hrvatskoj u 2017. godini*, Zagreb.

AUTOR

Alma Tudić, dipl. ing. preh. teh. ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, alma.tudic@voda.hr



R 1.44.

PREGLED STANJA ZAŠTITE IZVORIŠTA NA PODRUČJU SJEVERNOGA JADRANA

Maja Oštrić, Nataša Mihelčić, Gordana Stojić

SAŽETAK: Na području nadležnosti Vodnogospodarskog odjela (VGO) za slivove sjevernog Jadrana Hrvatskih voda za vodoopskrbu se koriste vode izvora, bunara, akumulacija i jezera. U radu je dan pregled zaštite izvorišta za piće u smislu njihove pokrivenosti Odlukama o zaštiti izvorišta. Većina izvorišta pokrivena je važećim Odlukama, dok je za oko 10 % vodozahvata iste potrebno donijeti. Ovih 10-ak % izvorišta koja nemaju važeće Odluke nalaze se na području Ličko-senjske županije i jedinica lokalne samouprave koje uglavnom zbog financijskih razloga nisu u mogućnosti ispuniti zahtjeve iz Pravilnika pa su Hrvatske vode financirale izradu elaborata zona sanitarne zaštite. Većina navedenih elaborata je izrađena te je za veći dio njih dobiveno pozitivno mišljenje Hrvatskih voda, a za neke od njih je osnovano ili je u tijeku osnivanje povjerenstava za pripremu nacrtne odluke o zaštiti izvorišta.

KLJUČNE RIJEČI: izvorišta, podzemne vode, zaštita, Sjeverni Jadran, zone sanitarne zaštite

OVERVIEW OF THE STATUS OF PROTECTION OF WATER SOURCES IN THE NORTHERN ADRIATIC AREA

ABSTRACT: In the area under the competence of the Water Management Department (VGO) for northern Adriatic basins of Hrvatske vode, water from springs, wells, reservoirs and lakes is used in water supply. The paper gives an overview of the protection of drinking water sources in view of their coverage by the Decisions on protection of the water source. The majority of water sources is covered by the valid decisions. The decisions for about 10 % of the water abstraction sites are pending. These sites are located in the area of the Lika-Senj County and local self-government units that, generally due to financial reasons, cannot meet the requirements under the Ordinance. For these reasons, Hrvatske vode financed the development of reports on the sanitary protection zones. Most reports have been developed and obtained a positive opinion of Hrvatske vode. For some of them, a committee for the preparation of the draft Decision on protection of the water source has already been established, or is in the process of being established.

KEYWORDS: water sources, groundwater, protection, northern Adriatic, sanitary protection zones

1. UVOD

Iako se prema Zakonu o vodama (Narodne novine, broj 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14, 46/18) izvorište koristi kao zajednički naziv za prirodni izvor ili zdenac, u ovom radu koristit će se kao zajednički naziv za izvor, zdenac ili drugi zahvat vode iz rijeka, jezera i akumulacija, a koji se koristi ili je rezerviran za javnu vodoopskrbu. Na području nadležnosti VGO za slivove sjevernog Jadrana za vodoopskrbu se koriste vode izvora, bunara, akumulacija i jezera, a sva analizirana izvorišta nalaze se na području krša, odnosno sva izvorišta podzemne vode napajaju se iz vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti.

Karbonatne stijene, koje pokrivaju oko 7 - 12 % površine Zemlje, opskrbljuju vodom oko 25 % svjetskog stanovništva (Ford i Williams, 2007) dok je u Europi taj postotak i veći pa 35 % krških površina osigurava oko 50 % pitke vode (Goldscheider, 2005). Ovaj postotak u nekim EU državama, kao što su Hrvatska, Slovenija i Austrija, iznosi i preko 90 %, tj. predstavlja najznačajniji resurs pitke vode. Krš karakterizira iznimna heterogenost i velike brzine podzemnih tokova te vrijeme putovanja do mjesta zahvaćanja podzemne vode, a slivovi pokrivaju velike površine. Istovremeno, krški vodonosnici vrlo su osjetljivi na onečišćenja zbog čega je njihova zaštita vrlo složena. Radi zaštite područja izvorišta ili drugog ležišta vode koja se koristi ili je rezervirana za javnu vodoopskrbu utvrđuju se zone sanitarne zaštite izvorišta. Zaštita izvorišta koja se koriste u javnoj vodoopskrbi zakonski je regulirana već 30-ak godina kroz Pravilnik o zonama sanitarne zaštite koji se mijenjao i poboljšavao u nekoliko navrata. U ovom radu analizirano je stanje zaštite izvorišta, odnosno pokrivenost Odlukama cpilišta koja se koriste u vodoopskrbi na području sjevernoga Jadrana.

2. ZONE SANITARNE ZAŠTITE IZVORIŠTA VODA ZA PIĆE

Zakonom o vodama propisano je identificiranje voda namijenjenih ljudskoj potrošnji kao i njihova zaštita putem zona sanitarne zaštite. Obveza zaštite odnosi se na sva izvorišta koja se koriste ili su rezervirana za javnu vodoopskrbu, a instrument za provedbu zaštite je odluka o zaštiti izvorišta i program mjera sanacije unutar zona sanitarne zaštite za postojeće građevine i postojeće djelatnosti koji je sastavni dio odluke. Način utvrđivanja zona sanitarne zaštite, obvezne mjere i ograničenja koja se u njima provode, rokovi za donošenje odluka o zaštiti i postupak donošenja tih odluka uređeni su Pravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (Narodne novine, br. 66/11 i 47/13). Zone sanitarne zaštite označene su kao zaštićena područja - područja posebne zaštite voda i podaci o njima se vode u Registru zaštićenih područja.

Zaštita izvorišta voda za piće zakonski je regulirana od 1986. kada je donesen prvi Pravilnik o zaštitnim mjerama i uvjetima za određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta voda za piće (Narodne novine, br. 22/86). Ovim su Pravilnikom postavljeni temeljni principi zaštite voda, ali je zbog brojnih nedostataka u nekoliko navrata mijenjan. Glavni nedostatak prvog Pravilnika bio je neuvvažavanje raznolikosti hidrogeoloških značajki vodonosnika, što je posebice dolazilo do izražaja pri određivanju zaštitnih zona izvorišta u kršu. Zbog toga je Pravilnik iz 2002. godine jasnije definirao kriterije na temelju kojih se određuju zone sanitarne zaštite izvorišta vode za piće za vodonosnike s međuzrnskom poroznosti te vodonosnike s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti (krški vodonosnici)

(Narodne novine, br. 55/02). Prema ovom se Pravilniku zaštitne zone definiraju na temelju hidrogeoloških i hidroloških značajki zahvaćenog vodonosnika, a sastavni dio čini i izrada katastra onečišćivača te analiza kakvoće vode. Za krške vodonosnike određuju se četiri zaštitne zone, a zbog specifičnosti krškog područja primjenjuje se nekoliko kriterija – vrijeme, brzina i količina napajanja odnosno izvorišta. U zonama sanitarne zaštite propisuju se mjere pasivne zaštite i mjere aktivne zaštite. Mjere pasivne zaštite uključuju ograničenja i/ili zabrane obavljanja nekih djelatnosti. Mjere aktivne zaštite su monitoring kakvoće voda na priljevnom području izvorišta i poduzimanje aktivnosti za poboljšanje stanja voda kao što je gradnja vodnih građevina za javnu vodoopskrbu i odvodnju otpadnih voda, uvođenje čistih tehnologija, organiziranje ekološke poljoprivredne proizvodnje i dr. mjere za poboljšanje stanja voda. Konkretno aktivne mjere nisu propisane Pravilnikom već je izrađivaču odluke o zaštiti izvorišta prepušteno propisivanje aktivnih mjera zaštite što nije jednostavno. Kod definiranja aktivnih mjera zaštite potrebno je uzeti u obzir i Metodologiju primjene kombiniranog pristupa radi smanjenja onečišćenja voda iz točkastih i raspršenih izvora s ciljem postizanja dobrog stanja voda. Također je potrebno što prije donijeti Kriterije za neizravna ispuštanja u podzemne vode. Trenutno je na snazi Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta iz 2011.

3. POSTOJEĆE STANJE ZAŠTITE IZVORIŠTA VODA ZA PIĆE U VGO-U RIJEKA

Na području VGO-a Rijeka postoje 22 isporučitelja vodne usluge javne vodoopskrbe pri čemu koriste 143 vodozahvata različitog tipa (4 zahvata površinske vode i 139 podzemne vode). Ukupan kapacitet svih vodozahvata, u razdobljima najveće potrošnje, odnosno prema izdanim vodopravnim dozvolama i koncesijama, iznosi oko 11.704 l/s (Tablica 1). Navedena 22 isporučitelja djeluju na području tri županije, od toga 3 na području Istarske, 9 na području Primorsko-goranske i 10 na području Ličko-senjske županije, pri čemu je udio korištene količine vode prema izdanim vodopravnim dozvolama otprilike 60 % u Primorsko-goranskoj, 30 % u Istarskoj i 10 % u Ličko-senjskoj županiji.

Od analizirana ukupno 143 vodozahvata na području VGO-a Rijeka koji se koriste u javnoj vodoopskrbi, za njih 87,3 % postoji odluka o zaštiti izvorišta dok za njih 12,7 % ne postoji. Važeće odluke o zaštiti izvorišta vode za ljudsku potrošnju na području VGO-a Rijeka navedene su u Tablici 2. Od navedenih 14 odluka, više od polovice je usklađeno s Pravilnikom iz 2011. godine, dok je 5 potrebno uskladiti s novim Pravilnikom, a samo je jedna odluka napravljena u skladu s prvim Pravilnikom iz 1986. godine. Na slici 1 prikazane su različitim bojama zone sanitarne zaštite za koje su važeće odluke napravljene u skladu sa Pravilnicima iz 1986., 2002. i 2011. godine.

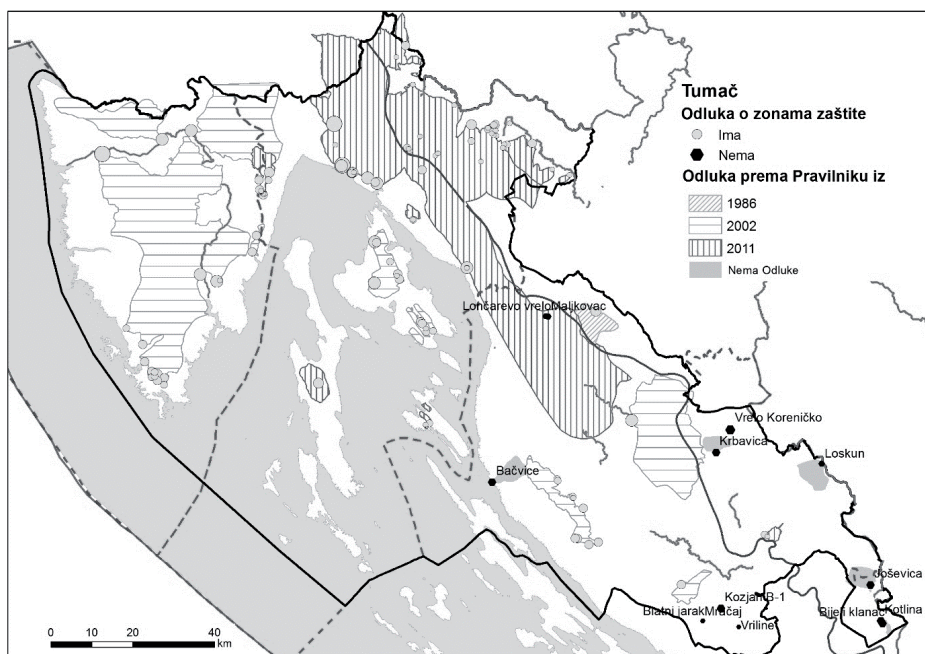
Analizirajući zaštitu izvorišta s obzirom na izdašnost, odnosno prikazane korištene količine vode u Tablici 1, vidljivo je da za vodozahvate najveće izdašnosti postoje odluke i to uglavnom usklađene sa Pravilnikom iz 2011. Sa slike 1, može se uočiti da su sva izvorišta na području Istarske i Primorsko-goranske županije određene zone sanitarne zaštite te imaju važeće odluke, s tim da su sve odluke na području Primorsko-goranske županije usklađene sa Pravilnikom iz 2011. godine. Trenutno je u tijeku novelacija Odluke za Istarsku županiju, ali još uvijek ne u skladu s Pravilnikom iz 2011. godine.

Tablica 1. Pregled korištene količine vode po komunalnim društvima te važeće Odluke (modificirano iz Oštrić i dr., 2018.)

Isporučitelj vodne usluge javne vodoopskrbe	Županija	Odluka	Količina (l/s)	Udio (%)
Istarski vodovod d.o.o. Buzet	IŽ		3100	26.5%
Vodovod Pula d.o.o.		+	448	3.8%
Vodovod Labin d.o.o.			218	1.9%
Liburnijske vode d.o.o. Opatija		+	160	1.4%
KD Vodovod i kanalizacija d.o.o.		+	5223	44.6%
KTD Vodovod Žrnovnica d.o.o. Novi Vinodolski		+	458	3.9%
Ponikve d.o.o. Krk	PGŽ	+	425	3.6%
Vodoopskrba i odvodnja d.o.o. Cres		+	100	0.9%
Vrelo d.o.o. Rab		+	79	0.7%
Komunalac – vodoopskrba i odvodnja d.o.o. Delnice			217,2	1.9%
KD Čabranka d.o.o. Čabar		+	34	0.3%
Vode Vrbovsko d.o.o.			33,5	0.3%
Komunalac d.o.o. Otočac		+	145	1.2%
Usluga d.o.o. Gospić		+	157	1.3%
Crno vrilo d.o.o.		+	45	0.4%
Vodovod Hrvatsko Primorje-južni ogranak d.o.o., Senj	LSŽ	+	570	4.9%
Vodovod d.o.o. Brinje		+	96	0.8%
Vodovod Korenica d.o.o.		-	75	0.6%
Gračac vodovod i odvodnja d.o.o.		-	30	0.3%
Kaplja d.o.o.		-	20	0.2%
Hidrokom Udbina d.o.o.		-	42	0.4%
Visočica Donji Lapac d.o.o.		-	28	0.2%
			11703.70	100%

Napomena: količine iz izdanih vodopravnih dozvola

Iz Tablice 1 u kojoj je prikazan pregled zaštite po isporučiteljima vodnih usluga, vidljivo je da se svi vodozahvati za koje ne postoje odluke o zaštiti izvorišta nalaze na području Ličko-senjske županije (Slika 1). Vodozahvati bez odluka navedeni su u Tablici 2. Za navedene vodozahvate nisu postojali elaborati o izvedenim vodoistražnim radovima, a na temelju kojih bi bilo moguće donijeti odluke. Iako su prema Pravilniku o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta jedinice lokalne ili regionalne samouprave odgovorne za donošenje i provedbu odluka, one često zbog financijskih ili drugih razloga nisu u mogućnosti ispuniti zahtjeve iz Pravilnika, zbog čega su Hrvatske vode u razdoblju 2012 - 2018. financirale izradu navedenih elaborata.



Slika 1. Pregled važecih odluka prema Pravilnicima iz 1986., 2002. i 2011. godine

Tablica 2. Vodozahvati bez Odluke o zonama sanitarne zaštite (preuzeto iz Oštrić i dr., 2018)

Isporučitelj vodne usluge javne vodoopskrbe	Vodozahvat
Vodovod Hrvatsko Primorje-južni ogranak d.o.o., Senj	Bačvice
Vodovod d.o.o. Brinje	Maljkovac Lončarevo vrelo,
Vodovod Korenica d.o.o.	Vrelo Koreničko Čujčica Krčevina – VR1,2,3 Čujčica Krčevina - Mira vrelo Čujčica Krčevina - Javor vrelo
Gračac vodovod i odvodnja d.o.o.	Bijeli klanac Kotlina
Kaplja d.o.o.	Mračaj Blatni jarak Vriline Kozjan B-1
Hidrokom Udbina d.o.o.	Krbavica
Visočica Donji Lapac d.o.o.	Loskun Joševica

U navedenom razdoblju napravljeni su elaborati zona sanitarne zaštite za većinu vodozahvata navedenih u tablici 2 (Bačvicu, Maljkovac, Lončarevo i Žižića vrelo, Bijeli Klanac i Kotlinu, Krbavicu te Loskun i Joševicu). U tijeku je ili su dobivena pozitivna mišljenja Hrvatskih voda za iste, kao i osnivanje povjerenstava. Dakle, za očekivati je da će se u skorije vrijeme i za navedene vodozahvate donijeti odluke u skladu sa Pravilnikom iz 2011. godine. Ostaje neriješena zaštita voda vodozahvata u Korenici, a koja se planira započeti nakon izvršenih vodoistražnih radova koji se na tom području obavljaju. Dodatno, napravljen je i elaborat za vodozahvate u Općini Lovinac: Mračaj, Blatni jarak, Vriline, Kozjan B-1, međutim zbog brojnih nedostataka elaborata nikad nije zatraženo obvezujuće mišljenje Hrvatskih voda.

Tablica 3. Popis postojećih Odluka o zonama sanitarne zaštite izvorišta vode za piće (modificirano iz Oštrić i drugi, 2018)

	Odluka o zonama sanitarne zaštite izvorišta vode za piće	Postoji
1	Odluka o zonama sanitarne zaštite izvorišta vode za piće u Istarskoj županiji (Službene novine Istarske županije br. 12/05 i 2/11)	DA, 2002
2	Odluka o zaštiti izvorišta na području Liburnije i zaleđa (Službene novine PGŽ, 39/14)	DA, 2011
3	Odluka o zaštiti izvorišta vode za piće u slivu izvora u Gradu Rijeci i slivu izvora u Bakarskom zaljevu (Službene novine PGŽ, 35/12, 31/13, 39/14)	DA, 2011
4	Odluka o zaštiti izvorišta na crikveničko-vinodolskom području (Službene novine PGŽ broj 30/16 i Županijski glasnik LSŽ 28/16)	DA, 2011
5	Odluka o zonama sanitarne zaštite izvorišta vode za piće na otoku Krku (Službene novine PGŽ broj 17/07)	DA, 2002
6	Odluka o zaštiti jezera Vrana i njegovog priljevnog područja na otoku Cresu (Službene novine broj x/19)	DA, 2011
7	Odluka o zaštiti izvorišta na otoku Rabu (Službene novine PGŽ broj 32/15)	DA, 2011
8	Odluka o zaštiti izvorišta na području Gorskog kotara (Službene novine PGŽ broj 8/14)	DA, 2011
9	Odluka o zonama sanitarne zaštite izvorišta rijeke Gacke - – Tonkovićevo vrila, Majerovog vrila i vrila Klanac (Županijski glasnik LSŽ broj 23/10)	DA, 2002
10	Odluka o zonama sanitarne zaštite izvora vode za piće Mrđenovac, Vriline, Košna voda, Velika Rudanka i Crno vrelo (Županijski glasnik LSŽ broj 7/02 i 4/11)	DA, 2002
11	Odluka o zonama sanitarne zaštite izvora vode za piće na području Pazarišta i Bužima – Grad Gospić (Županijski glasnik LSŽ broj 9/08)	DA, 2002
12	Odluka o zaštiti izvorišta Hrmotine (Županijski glasnik LSŽ 19/14)	DA, 2011
13	Odluka o zonama sanitarne zaštite izvora vode za piće uz zapadni rub Stajničkog polja (Županijski glasnik LSŽ broj 18/01).	DA, 1986
14	Odluka o zaštiti izvorišta Kraljevac i Bukovac (Županijski glasnik LSŽ broj 6/14)	DA, 2011

4. MONITORING KAKVOĆE VODA

Hrvatske vode su prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 56/13, 14/14, 46/18), dužne identificirati sve vode namijenjene ljudskoj potrošnji koje osiguravaju više od 10 m³ vode na dan ili opskrbljuju više od 50 ljudi i sva vodna tijela rezervirana za te namjene u budućnosti. Monitoring je propisan tek u tijelima površinskih i podzemnih voda koje osiguravaju zahvaćanje više od 100 m³ vode dnevno (oko 500 korisnika), i to svih onečišćujućih tvari koje bi mogle utjecati na stanje toga vodnog tijela. Hrvatske vode ispituju i ocjenjuju stanje površinskih, podzemnih, prijelaznih i priobalnih voda prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13, 151/14, 78/15, 61/16, 80/18). Monitoring stanja (nadzorni, operativni i istraživački), provodi se u cilju definiranja stanja vodnih tijela koje se definira Planom upravljanja vodnim područjem.

U tijelima površinskih i podzemnih voda u kojima se nalaze zahvati vode namijenjene ljudskoj potrošnji uglavnom se provodi nadzorni monitoring kako bi se omogućila ocjena utjecaja onečišćenja i ocjena znatno i trajno rastućih trendova koji su rezultat prirodnih uvjeta i utjecaja ljudskih djelatnosti. Operativni monitoring provodi se radi utvrđivanja kemijskog stanja svih tijela podzemnih voda za koje je analizom značajki vodnih područja utvrđen rizik nepostizanja ciljeva zaštite voda i na kojima se prati promjena stanja tijekom provedbe programa mjera, i utvrđivanja značajnih i trajno rastućih trendova koncentracije onečišćujućih tvari uslijed utjecaja ljudskih djelatnosti. Prema Planu upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. (Narodne novine, br. 66/11) od 12 tijela podzemne vode (TPV) na području Vodnogospodarskog odjela sjevernog Jadrana operativni monitoring provodi se jedino u TPV južna Istra gdje je stanje loše zbog vrijednosti nitrata koje na pojedinim bunarima prekoračuju granične vrijednosti. Ostala TPV su u dobrom stanju.

Isporučitelj vodne usluge javne vodoopskrbe (više od 50 ljudi ili 10 m³ /dan) dužan je skrbiti o zdravstvenoj ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u skladu sa Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/13, 64/15, 104/17, 115/18) i Pravilnikom o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnosti javne vodoopskrbe (NN 125/17). Provedbu monitoringa vode za ljudsku potrošnju koordinira Hrvatski zavod za javno zdravstvo, a Zavodi za javno zdravstvo županija obvezni su provoditi godišnji plan monitoringa zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u dijelu za čiju provedbu su odgovorni.

Prema Zakonu o vodi za ljudsku potrošnju lokalna vodoopskrba je zahvaćanje vode namijenjene ljudskoj potrošnji iz tijela podzemnih i površinskih voda te isporuka do krajnjeg korisnika putem vodnih građevina za lokalnu vodoopskrbu kojima ne upravlja pravna osoba registrirana za obavljanje djelatnosti javne vodoopskrbe. Županije i Grad Zagreb, obvezni su, financirati ispitivanja svih kemijskih, mikrobioloških i indikatorskih parametara najmanje jedan puta godišnje u toku hidrološke godine na vodocrpilištima lokalnih vodovoda koji opskrbljuju 50 i više stanovnika. Važno je istaknuti da je lokalna vodoopskrba (< od 50 korisnika) izvan sustava kontrole zdravstvene ispravnosti i prema Zakonu o vodama i prema Zakonu o vodi za ljudsku potrošnju. Na žalost, takvih vodovoda ima na području Gorskog kotara, a i u Lici.

ZAKLJUČAK

Iako krški vodonosnici imaju veliku važnost u vodoopskrbi, zbog velikih varijacija u protokama te ranjivosti na onečišćenje, ponekad ih je teško koristiti, a još teže i štititi. Unatoč zakonskim propisima koji su se kroz tridesetak godina mijenjali i poboljšavali te znatnom napretku koji je u tom smislu napravljen i dalje je potrebno ulagati napore da bi osigurali maksimalnu zaštitu izvorišta.

Iz prikazanog u ovom radu, vidljiv je neujednačen pristup u vezi provedbe obveza iz Pravilnika. Prema Pravilniku o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta, jedinice lokalne odnosno regionalne (područne) samouprave odgovorne su za donošenje i provedbu odluka. Također, ako to nije učinjeno u samom postupku donošenja odluke, dužne su u roku 12 mjeseci donijeti Program mjera sanacije koji sadržava: popis svih onečišćivača na području zona sanitarne zaštite, prioritetne sanacijske zahvate, rokove provedbe sanacijskih zahvata, troškove sanacije, obveznike financiranja provedbe Programa mjera sanacije.

Iako je ovim radom prikazano kako se stanje zaštite izvorišta s obzirom na Pravilnik i pokrivenost odlukama o zonama sanitarne zaštite može smatrati zadovoljavajućim te će uskoro za sva izvorišta biti provedeni vodoistražni radovi i donesene odluke, to nipošto ne znači da je time "posao" priveden kraju. Dapače, tek nakon svega toga bit će potrebno napraviti analizu stanja, a s obzirom na neujednačen pristup u izradi elaborata, što je većim dijelom uzrokovano i nedostatkom odgovarajućih smjernica za utvrđivanje zona sanitarne zaštite, koje iako je njihovo izdavanje od strane Hrvatskih voda bilo predviđeno Pravilnikom iz 2011, nisu nikad donesene. Također bi bilo potrebno napraviti i analizu provedenih trasiranja i mikrozoniranja koja su provedena u proteklom razdoblju kao i provedenih mjera te analize kakvoće vode. U tom smislu potrebno je naglasiti da programi mjera sanacije, koji trebaju biti sastavni dio svake odluke, vrlo često, čak i za važeće odluke, ne postoje, a u mnogim slučajevima u kojima i postoje, na žalost, ne provode se. Naznake klimatskih promjena, sve veće korištenje podzemnih voda za različite namjene, te osobito očekivano povećanje zahtjeva u skoroj budućnosti, kao i sve veći pritisci različitih korisnika prostora, nameću potrebu integralnog pristupa gospodarenju podzemnim vodama. Pri tome javna vodoopskrba, a time i zaštita podzemnih voda koje se koriste za tu namjenu, treba zadržati prioritet.

LITERATURA

- [1] Ford, D. , Williams, (2007): *Karst hydrogeology and geomorphology*, John Wiley & Sons, Chichester, 562 pp.
- [2] Goldscheider, (2005): *Karst groundwater vulnerability mapping: application of a new method in the Swabian Alb, Germany*, Hydrogeology Journal, 13, 4, p 555-565.
- [3] Oštrić, M., Stojić, G. i Mihelčić, N. (2018): *Pregled stanja zaštite izvorišta na području sjevernoga Jadrana*, Hrvatska vodoprivreda, 222, p 30-36.
- [4] Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. (Narodne novine, broj 66/16).
- [5] Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (Narodne novine, broj 66/11 i 47/13).
- [6] Pravilnik o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta (Narodne novine, broj 55/02).

- [7] Pravilnik o zaštitnim mjerama i uvjetima za određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta vode za piće (Narodne novine, broj 22/86).
- [8] Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnosti javne vodoopskrbe (Narodne novine, broj 125/17).
- [8] Zakon o vodama (Narodne novine, broj 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14 i 46/18).
- [9] Zakon o vodi za ljudsku potrošnju (Narodne novine, broj 56/13, 64/15, 104/17, 115/18).

AUTORI

doc. dr. sc. Maja Oštrić ^a

Nataša Mihelčić, dipl. san. ing. ^a

Gordana Stojić, dipl. ing. građ. ^a

^a Hrvatske vode, VGO Rijeka, Đure Šporera 3, Rijeka, 51000, Hrvatska,
maja.ostric@voda.hr, natasa.mihelcic@voda.hr, gordana.stojic@voda.hr



R 1.45.

KOLEBANJE RAZINA PODZEMNIH VODA NA KLIZIŠTU GROHOVO ZA RAZDOBLJE 2016. - 2018. GODINE

Elvis Žic, Nevenka Ožanić

SAŽETAK: U radu je provedena hidrološka analiza na klizištu Grohovo koji se nalazi na sjevernoj padini u srednjem toku sliva vodotoka Rječine. Klizište Grohovo u kombinaciji sa susjednim klizištima predstavlja opasnost od mogućeg formiranja toka krupnozrnatog materijala, te posljedično katastrofalnih prirodnih pojava koje mogu ugroziti srednji i donji tok vodotoka Rječine, a samim time i urbani dio grada Rijeke - područje Delte i Školjića. U tu svrhu kreiran je sustav monitoringa na spomenutoj lokaciji klizišta, a sve u svrhu dobivanja adekvatnog sustava za rano uzbunjivanje. Osnovni cilj rada je analiziranje ovisnosti prirasta razina podzemnih voda na lokaciji klizišta Grohovo i intenziteta oborine. Za potrebe istraživanja uzeto je više ekstremnih intenziteta oborina u razdoblju od 2016. do 2018. godine, koji su uspoređeni s vremenom prirasta razine podzemnih voda. Usputno su za promatrano vremensko razdoblje dane vremenske varijabilnosti pojedinih meteoroloških parametara. Za potrebe ovog istraživanja korišteni su podaci s meteorološke postaje Wantage Pro2 te instaliranih Mini diver (MD) instrumenata postavljenih u piezometre u srednjem dijelu tijela klizišta (2 MD) i u nožici klizišta (2 MD).

KLJUČNE RIJEČI: klizište Grohovo, monitoring, hidrometeorološki podaci, oborine, hidrološka analiza, podzemne vode

VARIABILITY OF GROUNDWATER LEVELS ON THE GROHOVO LANDSLIDE FOR THE PERIOD 2016-2018

ABSTRACT: In this paper, a hydrological analysis was carried out for the Grohovo landslide located on the northern slope of the Rječina basin around its middle reaches. The Grohovo landslide, in combination with the adjacent landslides, can potentially form a debris flow and, consequently, disastrous natural phenomena that may endanger the middle and lower reaches of the Rječina River, including the urban part of Rijeka, i.e. neighborhoods Delta and Školjić. Thus a monitoring system was created at the landslide site for the purpose of establishing an adequate early warning system. The main objective of the paper is to analyze the dependence of the increase in groundwater levels at the Grohovo landslide and precipitation intensity. In the analysis, several extreme precipitation intensities from the period 2016 – 2018 were compared with the times of rising groundwater levels. For the observed period, the temporal variabilities of certain meteorological

parameters were given as well. For the purposes of this research, data was used from the Wantage Pro2 meteorological station and the installed Mini Diver (MD) instruments placed in piezometers in the middle part of the landslide body (2 MDs) and at the toe of the landslide (2 MDs).

KEYWORDS: Grohovo landslide, monitoring, hydrometeorological data, precipitation, hydrological analysis, groundwater

1. UVOD

Klizište Grohovo predstavlja najveće aktivno kompleksno složeno retrogresivno klizište u obalnom području Hrvatske (Benac i drugi, 2014). Nalazi se na sjevernoj padini unutar doline vodotoka Rječine, sjeverno od grada Rijeke. Ukupna veličina klizišta procjenjuje se na oko 18 ha. Šire područje u blizini klizišta je geomehanički nestabilno. Klizište Grohovo, zajedno sa susjednim klizištima predstavlja opasnost od mogućih posljedica formiranja krupnozrnatih (debritnih) i sitnozrnatih (blatnih, muljevutih) tokova budući da takve katastrofalne prirodne pojave potencijalno mogu ugroziti srednji i donji tok Rječine, branu Valići i urbanizirani dio grada Rijeke – gradsko područje Delte i Školjića. Razlog nestabilnosti su gravitacijska klizanja vapnenačkih blokova na flišnoj stijeni u podlozi. U odnosu na vapnenačke stijene na vrhu padina, flišna stijenska masa je gotovo u potpunosti pokrivena materijalom pod utjecajem atmosferilija, vrlo je trošna i nestabilna. Krupnozrnati fragmenti na klizištu uzrok su odronjavanja vapnenačkih mega blokova koji se miješaju s glinom iz područja trošne zone i stvaraju depozitni materijal na padinama debljine nekoliko metara. Cijelo područje je obilježeno mrežom malih potoka koji ugrožavaju stabilnost padina i značajno povećavaju reprodukciju nanosa (sedimenata) u slivu vodotoka Rječine.

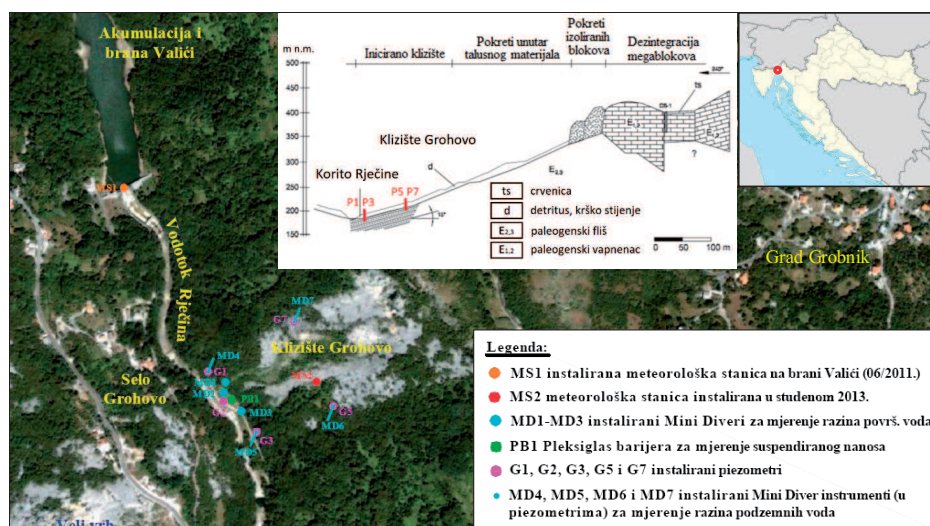
Standardnim geotehničkim laboratorijskim ispitivanjem, te odnosom između mineralogije i zrna veličine uzoraka uzetih iz bušotina (u razdoblju od 1998. do 2003.) određen je granulometrijski sastav materijala s klizišta Grohovo (Benac i sur., 2014). Kao dominantan materijal pojavljuje se prah, iako su značajne i frakcije gline s udjelom između 17 i 38 %. Indeks plastičnosti varira u granicama od $I_p=14-22$ % što predstavlja materijal niske do srednje plastičnosti. Granica tečenja iznosi $W_L=32-43$ %. U donjem dijelu koluvijalnog materijala u tijelu klizišta prevladavaju prašnjasto-glinovite naslage. Klizište Grohovo se nalazi u seizmotektnoskom aktivnom području, pa je stoga potrebno uzimati u obzir i posljedice seizmičkih aktivnosti (Prelogović i sur., 1995).

2. MONITORING I INSTALIRANA MJERNA OPREMA

Rad predstavlja nastavak istraživanja započelih još 2009. godine u sklopu hrvatsko-japanskog bilateralnog znanstvenog projekta pod nazivom „*Risk Identification and Land – Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia*“ (Arbanas i Mihalić, 2012). Projekt je bio vezan za monitoring i istraživanja na slivu Rječine unutar kojeg su provedene aktivnosti sustavnog složenog monitoringa (uspostava sustava za rano uzbunjivanje) na klizištu Grohovo u realnom vremenu, laboratorijske analize uzoraka tla te numeričke analize ponašanja klizišta u statičkim i dinamičkim uvjetima. Prije hrvatsko-japanskog bilateralnog projekta nije bilo značajnih hidroloških mjerenja na području klizišta Grohovo, osim povremenih mjerenja razine podzemnih

voda u 7 piezometara koji se nalaze na području klizišta. Hrvatske vode, kao partner na projektu, dopustio je pristup piezometrima za mjerenje razina podzemnih voda. U sklopu hidroloških istraživanja kontinuirano se od 2011. godine prikupljaju hidrometeorološki podaci u svrhu izrade 2D numeričkih modela za simuliranje propagacija velikih vodnih valova i toka krupnozrnatog materijala za slučaj pojave klizanja i odrona velike količine krupnozrnatog materijala u korito Rječine (Žic, 2015).

U studenome 2013. godine na području klizišta Grohovo instalirana je nova meteorološka stanica MS2 tipa Davis Wantage Pro2 sa svom popratnom opremom koja mjeri 35 hidrometeoroloških parametara kontinuirano svakih 10 minuta (Slika 1.). Meteorološka stanica je postavljena u središnjem dijelu klizišta Grohovo u dobro zaštićenom postojećem objektu, 80-tak metara iznad gabionskog potpornog zida - nožice klizišta (Slika 1.).



Slika 1. Karta instaliranih mjernih uređaja na području klizišta Grohovo (Žic, 2015)

Na području klizišta Grohovo (Slika 1.) postoji 5 ugrađenih piezometara (G1, G2, G3, G5 i G7). Iz piezometra G2 (sredina gabionskog potpornog zida) nije moguće vršiti mjerenje razina podzemnih voda, jer je uslijed velikih oborina došlo do njegovog zapunjenja sitnim suspendiranim materijalom. Ostali piezometri su upotrebljivi i iz njih se vrše mjerenja razina podzemnih voda. U piezometre je postavljeno četiri Mini Diver instrumenta (MD4, MD5, MD6 i MD7) na način da su spuštena do samog dna instaliranog piezometra. Dva piezometra (G1 i G3) su u donjoj zoni klizišta (samoj nožici klizišta), dok su ostala dva (G5 i G7) unutar srednje zone klizišta.

3. HIDROLOŠKA ANALIZA

Hidrološka analiza na području klizišta Grohovo temelji se na prikupljenim hidrometeorološkim podacima u realnom vremenu s instaliranih mjernih uređaja (meteoroloških stanica, Mini i Baro Diver instrumenata) za praćenje promjena na predmetnoj lokaciji. Ona uključuje površinska istraživanja (proračun količina površinski

voda i procjednih voda kroz gabionski potporni zid) te podzemna istraživanja (mjerenje razine podzemnih voda unutar 4 instalirana piezometra).

U nastavku rada su analizirani neki od važnijih meteoroloških parametara. Najmanje zabilježene vanjske temperature zraka u razdoblju od 2016. do 2018. godine zabilježene su u razdoblju od prosinca do veljače (-5,3 °C (16.12.2018.); -9,2 °C (11.1.2017.); -9,1 °C (28.2.2018.)), dok se najveće temperature zraka pojavljuju u razdoblju od lipnja do kolovoza (36,6 °C (24.6.2016.); 36,3 °C (30.7.2018.); 40,1 °C (5.8.2017.)). Za isto promatrano razdoblje vlažnost zraka je varirala u rasponu od 16 do 100 %, dok su najmanja i najveća gustoća zraka iznosile 1,09 kg/m³ i 1,34 kg/m³. Najveća vrijednost točke rosišta bila je nešto veća od 24,5 °C u lipnju i srpnju 2017. godine. Najveće zabilježene brzine vjetra se pojavljuju u razdoblju od studenog do ožujka (41,8 km/h (19.11.2016.); 46,7 km/h (11.12.2017.); 48,3 km/h (21.3.2018.)). Srednje godišnje vrijednosti brzina vjetra iznose 1,1 km/h (za 2016.), 1,2 km/h (za 2017.), te 0,6 km/h (za 2018.). Dominantan smjer vjetra na području klizišta Grohovo je sjeverozapadni vjetar. Maksimalne vrijednosti evapotranspiracije se kreću u granicama od 62-83,6 mm, a značajne su za razdoblje od svibnja do sredine kolovoza. Vrijednosti atmosferskog tlaka zraka na području klizišta variraju u granicama od 989 do 1038 hPa (za 2016. godinu), od 996 do 1035 hPa (za 2017. godinu) te od 992 do 1039 hPa (za 2018. godinu).

Treba napomenuti da za pojedina razdoblja u godini ne postoje hidrometeorološki podaci, jer je došlo do prekida napajanja meteorološke stanice (MS) električnom energijom. Naime, u hladnijem zimskom razdoblju godine baterije za napajanje MS troše više energije te je njihov vijek trajanja smanjen. Kako se skidanje podataka i ponovo reprogramiranje na MS vrši ručno svakih 16 dana, postoji mogućnost da se pojedini hidrometeorološki podaci ne pohrane.

Intenzitet oborine je važan parametar za praćenje pojave širenja toka krupnozrnatog materijala, koji je usko povezan sa zasićenosti materijala terena i potencijalnim pokretanjem klizišta. U Tablici 1. su dane vrijednosti ukupnih mjesečnih i godišnjih količina pale oborine na području klizišta Grohovo. Iz tablice je vidljiva visoka varijabilnost ukupne mjesečne količine oborine u razdoblju od 2016. do 2018. godine.

Tablica 1. Ukupne godišnje oborine (u mm) na klizištu Grohovo za razdoblje od 2016.-2018. godine

	SIJ.	VELJ.	OŽU.	TRA.	SVL.	LIP.	SRP.	KOL.	RUJ.	LIS.	STU.	PRO.	Ukupno
2016.	240,50	478,50	74,90	-	-	191,50	20,60	145,00	109,70	230,60	606,60	2,50	2100,60
2017.	223,50	393,20	56,90	127,50	63,00	124,50	51,60	69,80	288,30	143,50	309,10	374,40	2225,30
2018.	240,30	79,50	210,30	102,10	159,30	97,30	82,60	115,30	78,00	135,60	139,20	0,80	1440,20
MIN.	223,50	79,50	56,90	102,10	63,00	97,30	20,60	69,80	78,00	135,60	139,20	0,80	1440,20
MAKS.	240,50	478,50	210,30	127,50	159,30	191,50	82,60	145,00	288,30	230,60	606,60	374,40	2225,30
SRED.	234,77	317,07	114,03	114,80	111,15	137,77	51,60	110,03	158,67	169,90	351,63	125,90	1922,03

Najveća količina oborina koja padne na klizište Grohovo pojavljuje se u razdoblju od studenog do veljače s vrijednostima koje sežu do 606,6 mm na mjesec (studen 2016.). No valja napomenuti da su u posljednjih nekoliko godina uočena znatna mjesečna odstupanja u intenzitetima oborina u mjesecu prosincu. Naime, 2016. godine je na MS zabilježena ukupna mjesečna oborina od svega 2,5 mm, a slično se dogodilo i 2015. godine (3,6 mm/mjesec). Također su uočene značajnija povećanja oborina u mjesecu veljači i ožujku u

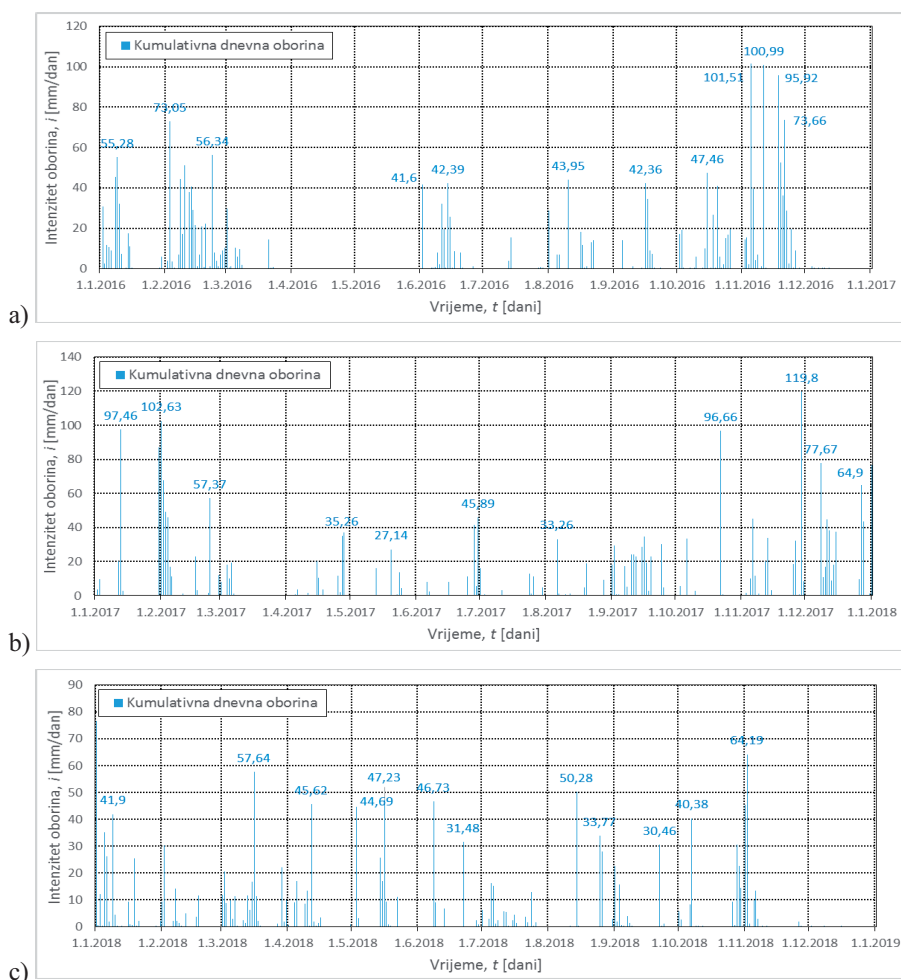
odnosu na razdoblje promatranja između 2010.-2015. godine (Žic i drugi, 2013). Dodatno je provedena analiza mjesečnih oborina i broja kišnih dana u pojedinom mjesecu prema intenzitetu oborina (grupiranih u pet razreda) za klizište Grohovo u razdoblju od 2016.-2018. godine (Tablica 2.).

Tablica 2. Mjesečne oborine (u mm) i broj kišnih dana u mjesecu prema intenzitetu oborina za klizište Grohovo u razdoblju od 2016.-2018. godine

Godina	Mjesec	Ukupne mjesečne oborine	Najveća oborina u promatr. danu	Datum	Broj kišnih dana				
					> 0,2 mm	> 2 mm	> 20 mm	> 50 mm	> 70 mm
2016.	1	240,5	54,6	9.	15	12	4	1	0
	2	478,5	73,15	3.	25	20	10	2	1
	3	74,9 ¹	29,7	1.	10	5	1	0	0
	4	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	191,5	42,42	14.	15	9	4	0	0
	7	20,6	15,49	14.	5	2	0	0	0
	8	145,0	43,94	10.	10	8	2	0	0
	9	109,7	42,40	16.	9	5	2	0	0
	10	230,6	47,50	15.	20	12	3	0	0
	11	606,6	101,35	5.	21	15	8	5	4
	12	2,5	1,02	4.	6	0	0	0	0
2017.	1	223,5 ²	96,77	13.	10	6	3	2	2
	2	393,2	101,85	1.	14	10	6	3	1
	3	56,9	19,56	6.	6	4	0	0	0
	4	127,5	36,83	27.	13	8	3	0	0
	5	63,0 ³	27,18	20.	7	4	1	0	0
	6	124,5	46,23	30.	9	7	2	0	0
	7	51,6	16,0	1.	11	5	0	0	0
	8	69,8	34,04	6.	8	4	1	0	0
	9	288,3	34,29	16.	21	14	8	0	0
	10	143,5	96,77	22.	18	4	2	1	1
	11	309,1	120,14	29.	18	10	6	1	1
	12	374,4	77,72	8.	15	11	6	2	1
2018.	1	240,3	76,71	1.	19	10	5	1	1
	2	79,5 ⁴	30,23	2.	10	7	1	0	0
	3	210,3	57,66	16.	20	16	3	1	0
	4	102,1	45,72	12.	12	6	1	0	0
	5	159,3	47,24	16.	9	7	3	0	0
	6	97,3 ⁵	46,74	8.	6	5	2	0	0
	7	82,6	16,26	5.	17	11	0	0	0
	8	115,3	50,29	14.	6	4	3	1	0
	9	78,0	30,48	22.	11	5	2	0	0
	10	135,6	37,85	7.	13	8	3	0	0
	11	139,2 ⁶	65,02	2.	10	5	2	1	0
	12	-	-	-	-	-	-	-	-

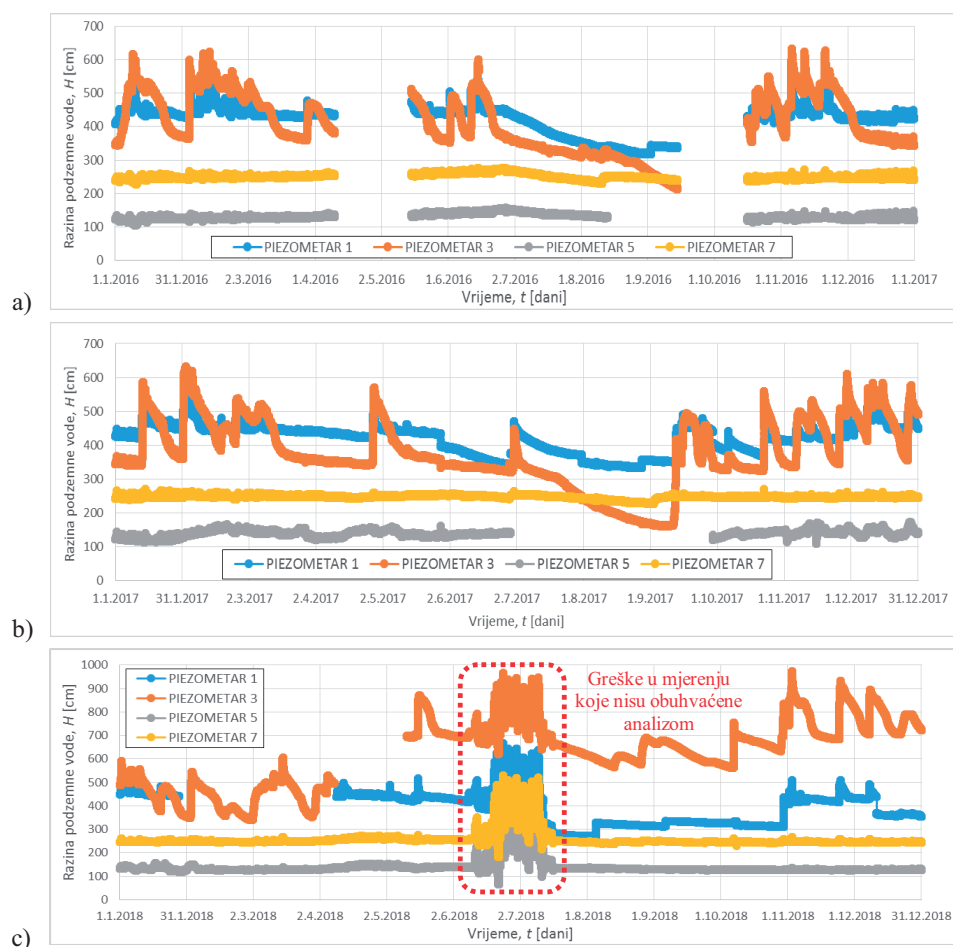
Napomena: ¹ nije bilo mjerenja u period od 26.-31.03.2016., ² nije bilo mjerenja u period od 15.-23.01.2017., ³ nije bilo mjerenja u period od 01.-12.05.2017., ⁴ nije bilo mjerenja u period od 03.-04.02.2018., ⁵ nije bilo mjerenja u period od 23.-25.06.2018., ⁶ nije bilo mjerenja u period od 19.-25.11.2018.

Kroz hidrološku analizu razmatrani su maksimalni intenziteti oborina koji se pojavljuju u kratkom vremenskom razdoblju od nekoliko sati te njihova ovisnost u pogledu prirasta razina podzemnih voda (Slike 2. i 3.). Na temelju analize kolebanja razina podzemnih voda u razdoblju jakih intenziteta oborina za promatrano razdoblje uočeno je da značajnije podizanje razine vode u donjim piezometrima (P1 i P3) nastupa otprilike 3-4 sata nakon jakog pljuska (u zimskom periodu), odnosno i više od 15 sati u ljetnom razdoblju godine (posljedica nesaturiranosti poroznog materijala i bujne vegetacije). U gornjim piezometrima (P5 i P7) je vrijeme potrebno da se značajnije promijeni razina vode u piezometrima uslijed jakih intenziteta oborina nešto dulja u odnosu na donje piezometre (1-3 sata). Jaki intenziteti oborina i nagli prirast podzemnih voda mogu ukazati na uzroke i početak klizanja na kosinama izgrađenim u flišu i nastanak toka krupnozrnatog ili sitnozrnatog materijala (Žic, 2015).



Slika 2. Prikaz ukupnih dnevnih oborina na klizištu Grohovo za a) 2016. godinu, b) 2017. godinu i c) 2018. godinu

Radi jasnije vizualne predodžbe, dani su grafički prikazi kolebanja razina podzemnih voda u pojedinim piezometrima na klizištu Grohovo u razdoblju od 2016. do 2018. (Slika 3.). I ovdje valja napomenuti da je tijekom promatranog razdoblja bilo dosta vremenskih intervala kod kojih je došlo do prekida mjerenja/evidentiranja podataka o razini podzemnih voda u pojedinim piezometrima. Razlog tomu je hladnije vrijeme kod kojeg se baterije više troše, kao i pucanje osjetljivih keramičkih membrana na Mini diver instrumentima kod niskih temperatura zraka.



Slika 3. Oscilacije razina podzemnih voda u piezometrima na klizištu Grohovo za a) 2016. godinu, b) 2017. godinu i c) 2018. godinu

Razine podzemnih voda neznatno variraju u gornjim piezometrima P7 (u granicama od 36 cm u 2016., 42,5 cm u 2017., te 18,5 cm u 2018. godini) i P5 (u granicama od 41,9 cm u 2016., 54,5 cm u 2017., te 4,4 cm u 2018. godini). U donjim piezometrima se razina podzemne vode znatnije mijenja, a maksimalne razine podzemnih voda se pojavljuju u razdoblju od kraja studenog do kraja veljače (kišno razdoblje godine), dok su minimalne

razine karakteristične za razdoblje od sredine srpnja do kraja rujna (sušno razdoblje godine). Maksimalne oscilacije razina vode u piezometru P3 zabilježene su s 410,6 cm (u 2016. godini), 462,7 cm (2017.) te 626,8 cm (2018.). Nešto manje oscilacije javljaju se na piezometru P1 kod kojeg su zabilježene vrijednosti maksimalni kolebanja razina vode od 225,1 cm (2016.), 212,5 cm (2017.) te 270,9 cm (2018.). Međutim, treba napomenuti da je u posljednji nekoliko godina (2009.-2018.) unutar kojih se vrši hidrološki monitoring zabilježeno nekoliko vrlo značajnih suhih i vlažnih razdoblja na području klizišta Grohovo (Žic, 2015).

ZAKLJUČAK

Na temelju hidrološkog monitoringa i rezultata ispitivanja koja su provedena na klizištu Grohovo može se zaključiti da postoje vrlo značajne oscilacije razina podzemnih voda (preko 6 m) u donjem dijelu klizišta Grohovo (piezometri P1 i P3) te manje značajne oscilacije u srednjem dijelu klizišta (piezometri P5 i P7) od 50-tak centimetara. Tok podzemne vode u stijenskoj masi na području klizišta znatno varira, od vrlo brzog do sporog kretanja. Procijenjen je na kapacitet od 2 l/s u razdoblju suhostaja (od travnja do kolovoza) i više od 20-25 l/s u kišnom razdoblju (razdoblje rane jeseni i kasne zime). U proljetnom razdoblju kapacitet vode može narasti na vrijednost od 30-40 l/s. Te količine vode izviru kroz šupljine u podnožju samog klizišta nakon razdoblja intenzivne oborine. Ovisno o intenzitetu oborina palih na klizište dolazi do promjene količina vode u flišnoj zoni, a značajniji podzemni tok se formira tek nakon dan-dva. Ispitivanja su pokazala da postoji protok vode na granici stijenske podloge stijene i poremećenog nestabilnog materijala uz liniju s paleo-reljefom. Također je utvrđeno da podzemne vode u proljetnom razdoblju izviru u podnožju samog klizišta nakon razdoblja intenzivne oborine.

Predmetne analize dane u radu omogućuju kvantifikaciju pojedinih ulaznih parametara koji iniciraju nastanak tokova krupnozrnatog i sitnozrnatog materijala. Odnosi definiranih parametara omogućuju uspostavljanje korelacija između geomorfoloških i hidrogeoloških uvjeta te specifičnosti terenskih uvjeta s parametrima tla karakterističnim za nastanak tokova krupnozrnatog i sitnozrnatog materijala čime je omogućena procjena hazarda.

LITERATURA

- [1] Arbanas, Ž., Mihalić, S., (2012): *Progress in the Croatian-Japanese joint research project on landslides*, Proceedings of the IPL Symposium, Sassa, K., Takara, K., He, B. (eds.). Kyoto, ICL, pp. 38-46.
- [2] Benac, Č., Oštrić, M., Dugonjić Jovančević, S., (2014): *Geotechnical properties in relation to grain-size and mineral composition: The Grohovo landslide case study (Croatia)*, Geologia Croatica, 67(2), pp. 127-136.
- [3] Prelogović, E., Kuk, V., Jamičić, D., Aljinović, B., Marić, K., (1995): *Seizmotektonska aktivnost Kvarnerskog područja*, Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Opatija, str. 487-490.
- [4] Žic, E., Sušanji, I., Ružić, I., Ožanić, N., Yamashiki, Y., (2014): *Hydrologic Data Analysis for the Grohovo Landslide Area*, Landslide and flood hazard assesment, Abstract Proceedings, Arbanas Mihalić, S., Arbanas, Ž. (eds.), Zagreb, Emergency Management Office, pp. 97-106.

- [5] Žic, E., (2015): *Prilog modeliranju potencijalnih poplavnih tokova i tokova krupnozrnatog materijala u slivu Rječine*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 281 str.

AUTORI

doc. dr. sc. Elvis Žic, dipl. ing. građ. ^a

prof. dr. sc. Nevenka Ožanić, dipl. ing. građ. ^b

^a Građevinski fakultet Rijeka, Radmile Matejčić 3, 51000, Rijeka, Hrvatska,
elvis.zic@uniri.hr

^b Građevinski fakultet Rijeka, Radmile Matejčić 3, 51000, Rijeka, Hrvatska,
nozanic@uniri.hr



R 1.46.

PROJEKT AMIIGA – INTEGRIRANI PRISTUP UPRAVLJANJU KVALITETOM PODZEMNIH VODA

Goran Gjetvaj, Hrvoje Patrk, Goran Lončar, Marko Kardum

SAŽETAK: Zagađenja podzemnih voda ne poznaju lokalne administrativne granice, a postojeće prakse upravljanja okolišem i mjerama za smanjenje izvora zagađenja često nisu dovoljne. U Europi ne postoji dovoljno iskustva s upravljanjem takvim izazovima u funkcionalnim urbanim područjima. U međuregionalnom projektu AMIIGA (CE32) sufinanciranom od Europske unije se razrađuje plan gospodarenja podzemnim vodama za sedam pilot područja u Europi. Predloženim planom se definira podrška donošenju odluka vezanih uz gospodarenje, a plan se zasniva na odgovarajućem opisivanju zatečenog zagađenja, odabiru metode njegovog uklanjanja te metodi praćenja oblaka zagađivala u podzemnim vodama. AMIIGA projekt se provodi na sedam pilot lokacija u sedam regija Europske unije te predstavlja dobro izbalansiranu kombinaciju tehničkih, znanstvenih, gospodarskih i pravnih mjera koji će omogućiti razmjenu i transfer znanja potrebnog za rješavanje kompleksnog izazova zaštite podzemnih voda. U radu je prikazan projekt AMIIGA i pilot područje Bokanjac kraj Zadra.

KLJUČNE RIJEČI: podzemna voda, krš, upravljanje, numerički modeli

AMIIGA PROJECT- INTEGRATED APPROACH TO GROUNDWATER QUALITY MANAGEMENT

ABSTRACT: Groundwater contamination is a problem that goes beyond administrative boundaries of local public authorities. The current practices of environmental management and measures for mitigation of the pollution sources are often insufficient. In Europe, there is not enough experience in the management of such challenges in Functional Urban Areas. In the interregional AMIIGA project (CE32), co-financed by the European Union, a groundwater management plan for 7 EU pilot sites was developed. The proposed groundwater management plan is a selective further development of the decision-support strategies based on a proper description of existing pollution, a method of its removal and a method for monitoring pollutants in groundwater. The AMIIGA project is implemented on seven pilot locations in seven European regions and represents a well-balanced combination of technical, scientific, economic and legal measures that will enable the exchange and transfer of knowledge necessary to address the complex challenge of groundwater protection. This paper presents the AMIIGA project and the pilot area of Bokanjac near Zadar.

KEYWORDS: groundwater, karst, management, numerical models

1. UVOD

Zagađenje podzemnih voda ne poznaje administrativne granice, a gradovi su često izgrađeni na vodonosnicima koji se protežu i u njihovom zaleđu. U Europi postoji malo iskustva s rješavanjem problema širenja zagađivala u funkcionalnim urbanim područjima (FUP). Postojeća iskustva sa upravljanjem okolišem i mjerama za smanjivanje izvora zagađenja često puta nisu dovoljna. Projekt AMIIGA se bavi problemom zagađenja podzemnih voda sa brownfield područja što je učestao slučaj u zemljama Europske unije. Ovaj projekt se fokusira na integralno sagledavanje, sanaciju i upravljanje takovim područjima, koristeći pritom inovativne pristupe. U projektu sudjeluje 12 partnera iz centralne Europe koji surađuju na 7 pilot područja s osnovnim ciljem da se poboljša kvaliteta podzemnih voda u urbanim sredinama. Jedno od pilot područja je i krško područje vodonosnika Bokanjac - Poličnik u Zadarskom zaleđu koje je prema hidrogeološkim karakteristikama vrlo osjetljivo na zagađivanje. Kao partneri iz Hrvatske zastupljeni su Vodovod Zadar i Građevinski fakultet iz Zagreba dok je pridruženi partner Hrvatske vode. Kroz ovaj projekt je Vodovod Zadar nabavio novu opremu za analizu kvalitete vode dok je Građevinski Fakultet razvio nove modele za opisivanje toka i pronosa zagađivala kroz krško područje Bokanjac-Poličnik. Ujedno je izrađen i plan gospodarenja podzemnim vodama s prijedlozima konkretnih mjera za kontrolu kvalitete vode i suzbijanje daljnjeg zagađivanja. Partnerstvo u projektu AMIIGA pruža dobro izbalansiranu kombinaciju tehničkih, znanstvenih, upravljačkih i pravnih postupaka koje omogućuju prijenos znanja potrebnog za rješavanje kompleksnih problema vezanih uz zagađenje podzemnih voda.

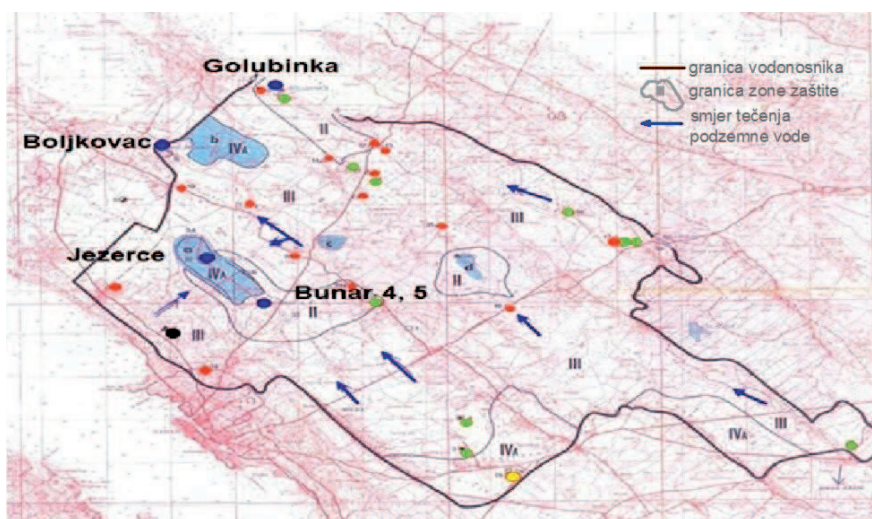
2. ISTRAŽIVANO PODRUČJE

Grad Zadar i okolica se opskrbljuju vodom iz vodonosnika Bokanjac-Poličnik. Hidrogeološka sredina pod nazivom Bokanjac-Poličnik je složeni krški sustav koji se sastoji od nekoliko podpodručja koja po postojećim saznanjima ne mogu biti precizno razgraničena. Prema hidrogeološkoj klasifikaciji vodonosnik Bokanjac-Poličnik definira se kao krški vodonosnik izgrađen od karbonatnih stijena te se na osnovu poznatih spoznaja ne može precizno opisati.

U promatranom području postoji više potencijalnih izvora zagađenja. Rezultati kontrole kvalitete podzemne vode u nekoliko zdenaca ukazuje na mikrobiološko onečišćenje. Glavni uzrok onečišćenja su domaće životinje (stoka) i neprikladno odlaganje otpadnih voda. Pojedina naselja nemaju izgrađeni javni kanalizacijski sustav tako da je samo 43 % stanovništva priključeno na javnu kanalizacijsku mrežu. Preostala kućanstva koriste septičke jame koje su uglavnom propusne i ispuštaju efluent izravno u krški vodonosnik. Korištenje sadržaja septičkih jama za prihranjivanje poljoprivrednih površina je rijetka pojava. Poljoprivredne površine se tretiraju raznim kemijskim supstancama a uočene su i divlje deponije raznog otpada. Onečišćenje se može lako infiltrirati u podzemne vode zbog odsutnosti slabopropusnog pokrovnog sloja.

Generalni smjer tečenja podzemnih voda je od istoka-jugoistoka prema zapadu-sjeverozapadu (slika 1), a tijekom sezone kiše, zbog postojanja privilegiranih puteva, onečišćenje može doći do vodocrpilišta vrlo brzo. Većina srednjih i velikih proizvođača

imaju vlastite zdence te koriste podzemnu vodu za navodnjavanje. Planira se nekoliko velikih sustava za navodnjavanje koji će se vjerojatno financirati iz programa ruralnog razvoja.



Slika 1. Zone sanitarne zaštite crpilišta Bokanjac – Poličnik

3. AKTIVNOSTI U OKVIRU PROJEKTA

U okviru ovog projekta su provedene slijedeće aktivnosti; formirana je baza postojećih hidrogeoloških podataka, nabavljena je nova oprema za analizu kvalitete vode, izrađeno je nekoliko numeričkih modela toka i pronosa tvari tokom podzemnih voda, napravljen je test integralnog probnog crpljenja (IPT) te je napravljen plan gospodarenja vodonosnikom.

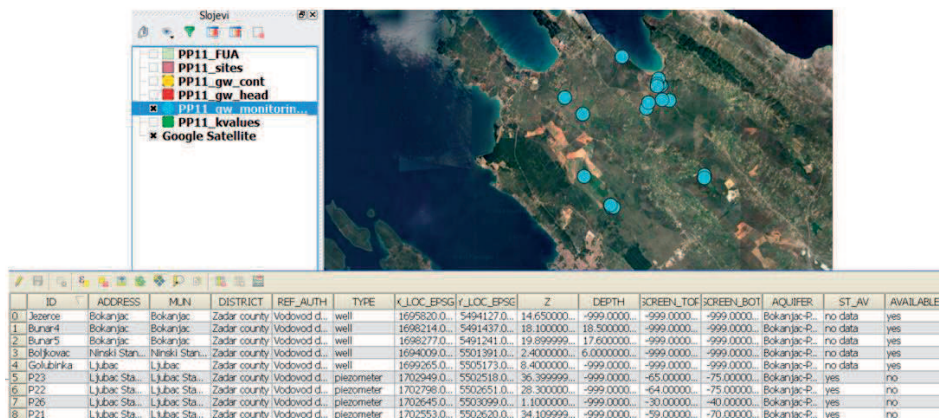
3.1. GIS

Baza hidrogeoloških podataka je formirana tijekom i u okviru implementacije AMIIGA projekta, te sadrži prikupljene i sistematizirane do sada poznate i dostupne podatke o razinama i kvaliteti podzemne vode na području vodonosnika Bokanjac-Poličnik (Slika 2). Postojeća baza podataka planira se nadopunjavati sa svim novim relevantnim podacima o podzemnoj vodi na tom području.

3.2. Nabava nove opreme za kontrolu kvalitete vode

Osnovni cilj AMIIGA projekta je da se osigura dobra kvaliteta podzemne vode kao i održivi sustav vodoopskrbe zasnovan na vlastitim tehnološkim i ljudskim potencijalima. Slijedom toga, Vodovod Zadar d.o.o. nabavio je dva nova laboratorijska uređaja (Automatizirani fotometrijski analizator te Plinski kromatograf GC-2010Plus Shimadzu). Nabavkom ovih uređaja povećana je analitička moć laboratorija odnosno mogućnost određivanja širokog spektra anorganskih i organskih tvari u vodi (kationi, anioni, naftni derivati, policiklički aromatski ugljikovodici i dr.), omogućeno je kraće vrijeme analize,

manja potrošnja reagensa a otpad nakon analize je sveden na minimum. Također je omogućeno detektiranje novih zagađivala koja s dosadašnjom opremom nisu mogla biti detektirana.



Slika 2. Primjer GIS baze podataka



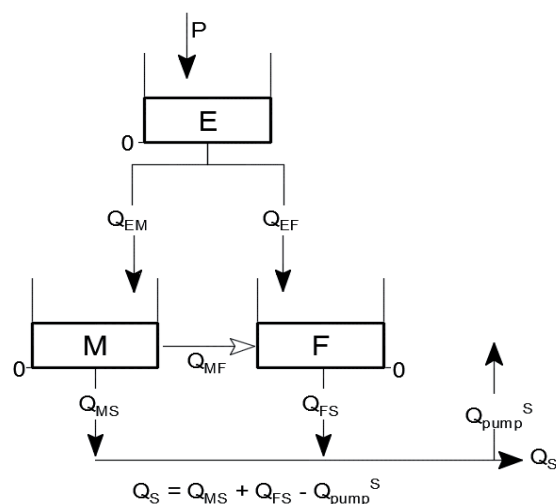
Slika 3. Oprema nabavljena iz projekta AMIIGA

3.3. Modeli toka podzemnih voda

Izrađena su tri numerička modela zasnovana na programima Karstmod, Modflow i MAGIC (Lončar i sur., 2018). Dok su Karstmod i Modflow dobro poznati hidrogeološki programi za modeliranje toka podzemnih voda, u MAGIC software-u je modeliran test integralnog probnog crpljenja koji je po prvi puta rađen u dinarskom kršu.

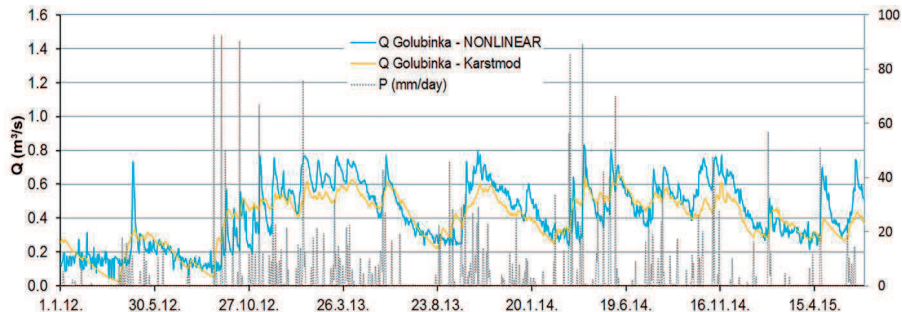
3.3.1. Karstmod

Model KarstMod je korišten za računanje odnosa oborine-otjecanje za krške izvore i za hidrodinamičku analizu pojedine geološke cjeline i njenog međutjecaja s ostalim djelovima vodonosnika. Odabrana je struktura s dva nivoa i tri cjeline. Cjelina E (Epikrš) predstavlja gornji sloj, dok cjeline M i F predstavljaju donji sloj. Pretpostavljeno je da se cjeline M i F prihranjuju iz gornjeg sloja E, a većina protoka se odvija kroz provodnike (Q_{FS}).



Slika 4. Struktura modela

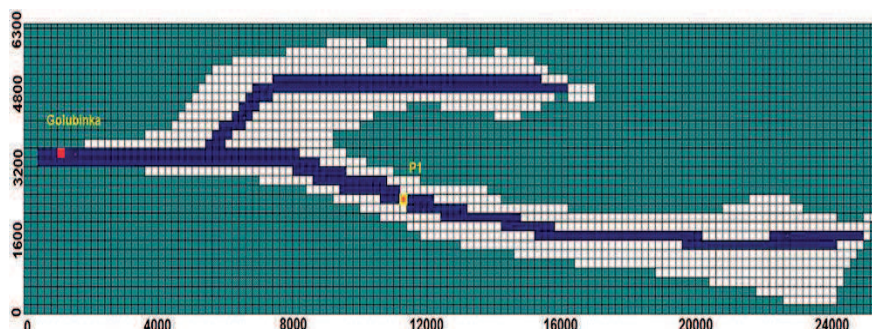
Ulazni podaci u model su oborine, crpljenje za potrebe vodoopskrbe i hidrogram na izvoru Golubinka. Nakon provedenog procesa optimalizacije parametara u numeričkom modelu dobivene su tražene hidrogeološke vrijednosti. Usporedba izmjerenih i izračunatih protoka na izvoru Golubinka je prikazana na slici 5.



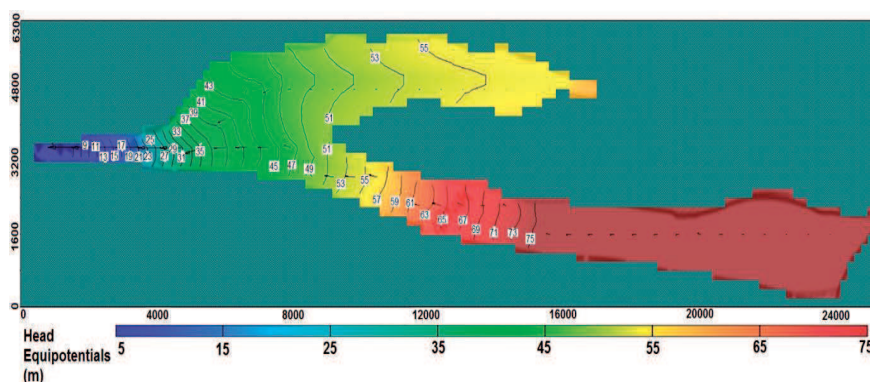
Slika 5. Usporedba izmjerenih i izračunatih protoka na izvoru Golubinka korištenjem modela Karstmod

3.3.2. Modflow

U cilju sagledavanja toka podzemnih voda u sustavu podzemnih kanala Bokanjac-Poličnik izrađeni je numerički modeli na osnovu programa Modflow. Cilj ovih numeričkih modela je da se na osnovu postojećih podataka o razinama podzemne vode odrede smjerovi toka, količina infiltriranih oborina te da se procijeni odnos između toka kroz pore i toka kroz sloj s provodnicima.



Slika 6. Raspored koeficijenta vodopropusnosti u sloju s provodnicima (debljine 1 m od -2m.n.m do -1m.n.m.) Plavo područje ima $k_{x,y,z} = 3.0E-1$ m/s a bijelo $k_{x,y,z} = 1.0E-4$ m/s



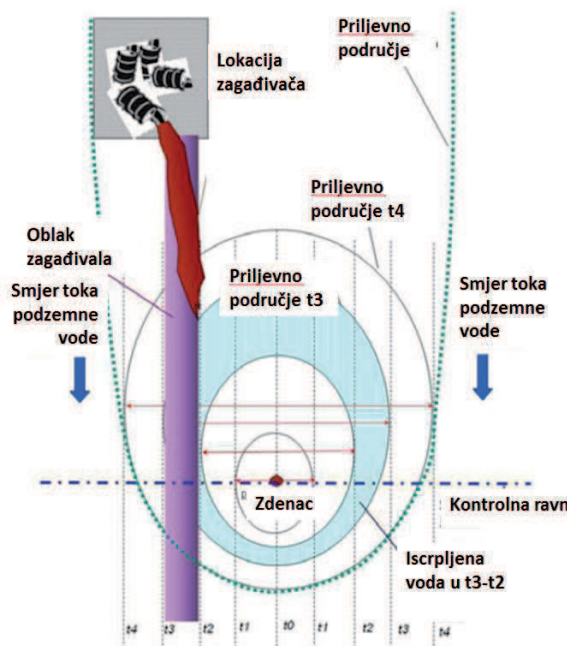
Slika 7. Hidroizohipse i vektori brzina toka p.v. u donjem sloju s provodnicima na dan 15.11.2014.

Kako bi se poboljšala kontrola kvalitete podzemne vode, predviđa se ugradnja novih piezometara. Optimalne lokacije novih piezometara se određuju na osnovu rezultata numeričkih modela toka podzemnih voda i opsežnih geoloških i geofizičkih istražnih radova. Izračunati smjerovi i brzine tečenja, kao i vrijeme potrebno da oblak zagađivala dospije do vodocrpilišta su i podloga za definiranje interventnih mjera u slučaju incidentnih zagađenja.

3.3.3. Test integralnog probnog crpljenja

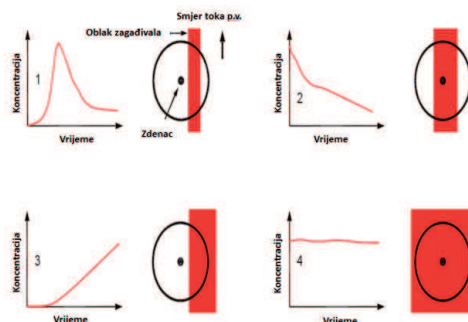
Na mnogim lokacijama na kojima je uočeno zagađenje podzemnih voda, veći broj nepravilno raspoređenih mogućih zagađivača kao i privilegirani tokovi u vodonosniku, uzrokuju neravnomjeran raspored zagađivala, stoga je često s nedovoljnim brojem piezometara teško locirati zagađivača. Često nije moguće niti na temelju rezultata kemijskih analiza uzetih iz piezometara odrediti izvor zagađenja. Interpretacija rezultata kemijskih analiza zasnovanih samo na podacima iz piezometara može dovesti do krivih zaključaka, a pod određenim uvjetima može doći i do neotkrivanja štetnih tvari (Holder

i drugi, 1998). Test integralnog probnog crpljenja (eng: *IPT integral pumping test*) nadopunjava uobičajeni inženjerski pristup gospodarenju podzemnim vodama. Integralno probno crpljenje je dobro uspostavljena metoda za cjelovito istraživanje vodonosnika te se sastoji od dugotrajnog crpljenja i istovremenog sistematičnog uzimanja uzoraka zahvaćene vode na kojima se provode odgovarajuće kemijske analize.



Slika 8. Priljevno područje zdenca

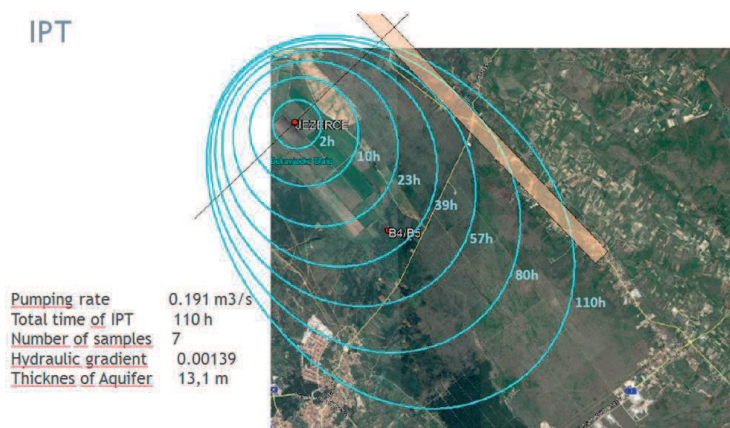
Prilikom crpljenja iz zdenca koji se nalazi nizvodno od lokacije na kojoj je izvor zagađenja, kvaliteta zahvaćene vode će u određenom vremenskom intervalu odgovarati prostorno integriranoj kvaliteti vode u priljevnom području (slika 7)



Slika 9. Četiri karakteristična oblaka zagađivala sa očekivanom koncentracijom u zahvaćenoj vodi (Holder i Teutsch, 1999)

Na lokaciji Jezerce se tijekom 2017.god. dva puta proveo IPT sa ciljem određivanja lokacije s koje velika vjerojatnost da dolazi zagađenje (slika 8).

Rezultati IPT-a su potvrdili da zagađenje dolazi iz naseljenog područja u kojem nije izgrađen kanalizacioni sustav. Do tog zaključka se dolazi analizom vremenske raspodjele koncentracija indikatora fekalnog zagađenja koje se na crpilištu javlja nakon duljeg vremenskog perioda što ukazuje na scenarij koji je prikazan kao varijanta 1 na slici 7 te je na slici 8 prikazano narandastim pravokutnikom.



Slika 8. Idealizirani prikaz priljevnih područja kod IPT-a

3.4. Plan gospodarenja podzemnim vodama

Osnovni cilj projekta AMIIGA je da se formira održivi način gospodarenja podzemnim te da se poboljša njihova kvaliteta. Ovaj cilj se postiže nabavkom nove opreme za provedbu kemijskih analiza, prikupljanjem i sistematizacijom hidrogeoloških informacija o vodonosniku, izradom odgovarajućih numričkih modela kojima se određuje smjer i brzina toka podzemnih voda, izradom testova integralnog probnog crpljenja kojima se procjenjuje lokacija izvora zagađenja i formiranjem regionalne implementacijske grupe u kojoj su svi zainteresirani korisnici podzemne vode. U okviru ovog projekta je izrađen plan gospodarenja podzemnim vodama koji je predstavljen i usuglašen sa zainteresiranim korisnicima promatranog prostora.

ZAKLJUČAK

U međuregionalnom projektu AMIIGA (CE32) sufinanciranom od Europske unije se razrađuje plan gospodarenja podzemnim vodama. Predloženim planom se definira podrška donošenju odluka vezanih uz gospodarenje koji se zasniva na odgovarajućem opisivanju zatečenog zagađenja, odabiru metode njegovog uklanjanja te metodi praćenja oblaka zagađivala u podzemnim vodama. AMIIGA projekt se provodi na sedam pilot lokacija u sedam regija Europske unije te predstavlja dobro izbalansiranu kombinaciju tehničkih, znanstvenih, gospodarskih i pravnih mjera koji će omogućiti razmjenu i transfer znanja potrebnog za rješavanje kompleksnog izazova zaštite podzemnih voda.

U okviru ovog projekta je za područje vodonosnika Bokanjac-Poličnik izrađena baza

hidrogeoloških podataka, nabavljena je nova oprema za analizu kvalitete vode, izrađena su dva modela kojima je opisano tečenje podzemnih voda, izrađen je IPT kojim se definira područje iz kojeg dolazi zagađivalo te je napravljen plan gospodarenja podzemnim vodama.

LITERATURA

- [1] Gjetvaj, G., Lončar, G.; Test integralnog probnog crpljenja, Hidrologija u službi zaštite i korištenja voda te smanjenja poplavnih rizika – Suvremeni trendovi i pristupi, str.35-44, Brela 18-20 listopada 2018
- [2] Holder, T., Teutsch, G., Ptak, T., Schwarz, R. (1998): *A new approach for source zone characterization: The Neckar Valley study*, GQ 98 Groundwater Quality: Remediation and Protection (Herbert, M. i Kovar, K), IAHS Publication, 250, 68-71.
- [3] Holder, T. Teutsch, G. (1999): *Prinzip des neuen Immissionsmessverfahrens, Anwendung der Immissionsmessung in Neckartal*, Integrale Altlastenerkundung im Stuttgarter Neckartal, Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, 1/1999, Stuttgart
- [4] Lončar, G; Šreng, Ž; Bekić, D; Kunštek, D.: *Hydraulic-Hydrology Analysis of the Turbulent Seepage Flow within Karst Aquifer of the Golubinka Spring Catchment. // Geofluids.*, volume 2018, str. 1-12.

AUTORI

prof. dr. sc. Goran Gjetvaj ^a

Hrvoje Patrk, dipl. ing. ^b

prof. dr. sc. Goran Lončar ^a

Marko Kardum, dip. ing. ^b

^a Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000, Zagreb, Hrvatska, goran@grad.hr, gloncar@grad.hr

^b Vodovod Zadar, Ul. Špire Brusine 17, 23000 Zadar, Hrvatska, hrvoje.patrk@vodovod-zadar.hr, marko.kardum@vodovod-zadar.hr



R 1.47.

MONITORING PODZEMNIH VODA U KRŠKOM VODONOSNIKU IZRADOM ISTRAŽNIH BUŠOTINA

Jelena Loborec, Dragana Dogančić, Sanja Kapelj

SAŽETAK: U ovome radu bit će prikazan pristup motrenju podzemnih voda prema smjernicama Okvirne direktive o vodama u dubokom vodonosniku dinarskog krša. Prikazat će se način određivanja lokacija i izvedba istražnih bušotina s ciljem motrenja količine i kakvoće podzemnih voda za upravljanje vodama izvora Jadro i Žrnovnica. Bušotine su locirane na osnovi litostratigrafskih, strukturnih i hidrogeoloških elemenata dobivenih detaljnim geološkim kartiranjem i geofizičkim istraživanjima. Na taj način najprije su izdvojeni položaji diskontinuiteta i okršenih zona u podzemlju za koje se smatra kako su zone pretežitog prihranjivanja i tečenja podzemnih voda. Zatim su temeljem rezultata provedenog geoelektričnog sondiranja izdvojene stijene s obilježjima potencijalnih vodonosnika i odabrane lokacije za bušenje. Bušotine su zatim izvedene i opremljene za kontinuirani monitoring podzemnih voda, a rezultati provedenog monitoringa trebali bi se koristiti za upravljanje podacima o količinskom i kemijskom stanju voda te za identificiranje antropogenih utjecaja u slivu izvora Jadra i Žrnovnice. Zaključeno je da bez monitoringa podzemnih voda kako velikih tako i manjih slivova u kršu nije moguće racionalno upravljati vodnim resursima u smislu zaštite kakvoće i količine podzemnih voda.

KLJUČNE RIJEČI: podzemna voda, krš, monitoring, istražne bušotine, Jadro, Žrnovnica

GROUNDWATER MONITORING IN A KARST AQUIFER USING TEST WELLS

ABSTRACT: The paper will present the approach to groundwater monitoring according to the Water Framework Directive guidelines in a deep Dinaric Karst aquifer. We will present a method for determining the location and the execution of test wells intended for monitoring groundwater quantity and quality for the purpose of managing water of the Jadro and Žrnovnica springs. The wells' location was determined according to lithostratigraphic, structural and hydrogeological elements obtained from detailed geological mapping and geophysical investigations. In this manner, the positions of discontinuities and karstified zones in the underground that are considered as zones of predominant groundwater recharge and flow were first isolated. The rocks with potential aquifer features were then identified as well as the drilling locations. After this, the wells were executed and equipped for continuous groundwater monitoring. The results of the conducted monitor-

ing should be used in managing data on the quantitative and chemical status of water and in identifying anthropogenic influences in the basins of the Jadro and Žrnovnica springs. It has been concluded that without groundwater monitoring of both large and smaller basins in the karst, a rational management of water resources in view of protecting groundwater quality and quantity is not possible.

KEYWORDS: groundwater, karst, monitoring, test wells, Jadro, Žrnovnica

1. UVOD

Potreba za motrenjem količine i kakvoće podzemnih voda u svim aspektima ljudskog djelovanja svakim danom postaje sve izraženija (Fouillac i drugi, 2009).

Hrvatska, kao vodom bogata zemlja, ima posebnu obvezu brinuti se za održavanje visokog stupnja kakvoće podzemne vode kao i odgovarajućim upravljanjem osigurati dostatne količine za sve veće potrebe u turizmu, za sigurnu vodoopskrbu, poljoprivredu i energetiku (Biondić i drugi, 1998).

U ovom radu bit će prikazan primjer dizajna motrenja podzemnih voda u slivu izvora Jadra i Žrnovnice koji je smješten u središnjem dijelu Dalmacije, u širem zaleđu grada Splita, odvojeno od obalnog dijela (tzv. srednja Dalmatinska zagora). Izvor Jadro glavni je vodoopskrbni objekt grada Splita i okolice te kao takav predstavlja vodni objekt od neizmjerne važnosti za veliki broj stanovnika tog područja (Kapelj i drugi, 2011). Bonacci (1987) napominje kako izvor Jadro opskrbljuje vodom ovaj kraj još od rimskog doba (150 god. pr. Kr.). Dosadašnja hidrogeološka istraživanja ukazala su kako se slivno područje ova dva izvora u velikoj mjeri preklapa i uvelike ovisi o hidrološkim prilikama, stoga ih se često promatra kao cjelinu. Područje sliva izgrađeno je uglavnom od propusnih karbonatnih stijena, prisutno je mnoštvo krških geomorfoloških oblika, utvrđene su velike prividne brzine podzemnih tokova, kao i povezanost dijelova sliva na velikim udaljenostima, što znatno otežava zaštitu podzemnih voda. Na temelju rezultata ranije provedenih istraživanja, uočena je sve veća ugroženost kakvoće voda izvora Jadra i Žrnovnice u uvjetima naglašenog razvoja kakvi trenutno vladaju na određenim dijelovima sliva. Gradnjom Jadranske autoceste i prateće infrastrukture te izgradnjom proizvodno-poslovnih zona na nekoliko područja u slivu, ovo je područje postalo bolje povezano i pristupačno, što povlači veće antropogeno opterećenje na vodne resurse. Iako takve aktivnosti djeluju pozitivno na razvoj ovog kraja i uvjete življenja za okolno stanovništvo, one dovode do veće razine opasnosti za kakvoću vode (Loborec, 2013; Loborec i drugi, 2015). Opsežna hidrogeološka istraživanja, koja su obuhvaćala i primjenu stabilnih izotopa kisika i vodika, provedena za potrebe Studije upravljanja slivnog područja Jadra i Žrnovnice egzaktno su ustanovila prekogranični karakter sliva iako do tada niti jedno trasiranje podzemnih tokova nije to dokazalo (Kapelj i drugi, 2011). Upravo iz tog razloga na vrijeme je prepoznata potreba uspostave sustavnog monitoringa podzemnih voda na području tako velikog sliva, a planom motrenja predviđena je izrada četiri istražne bušotine. Takav pristup omogućava egzaktn nadzor nad količinom i kakvoćom podzemne vode u slivu što predstavlja temelj uspješnog upravljanja vrijednim vodnim zalihama u zaleđu grada Splita i okolnog područja. Do danas su tri bušotine u funkciji, a četvrta, u Konjskom, je nažalost završila u fliškim naslagama zbog izmještanja u kojem nisu sudjelovali autori studije.

2. MONITORING PODZEMNE VODE U KRŠU

Podzemna voda je glavni izvor pitke vode u mnogim dijelovima svijeta. U Hrvatskoj se 90 % vodoopskrbe ostvaruje korištenjem podzemnih voda, a budući da u RH skoro polovicu državnog teritorija pokrivaju okršene karbonatne stijene, krški vodonosnici imaju vrlo važnu ulogu u vodoopskrbi stanovništva. U krškim vodonosnim sustavima se nalaze velike količine podzemne vode iznimne kakvoće što predstavlja veliko bogatstvo. U isto vrijeme oni se smatraju iznimno ranjivim područjima i gotovo svaka ljudska aktivnost u određenoj ih mjeri ugrožava. Stoga se izravno nameće potreba za odgovarajućim motrenjem dostupnih količina i kakvoće podzemne vode te takav postupak predstavlja vrlo važan segment zaštite i upravljanja vodnim resursima. Monitoring podzemne vode prema smjernicama propisan je u odrednicama Okvirne direktive o vodama (2000/60/EC). Još je bolje razrađen u CIS vodiču br. 15 – Monitoring podzemne vode u kojem su dane opće upute monitoringa za različite kategorije vodonosnika, izradu konceptualnog modela, izradu mreže motrenja i učestalost uzorkovanja itd.

Monitoring je po definiciji programirani proces uzorkovanja, mjerenja i naknadnog bilježenja ili signaliziranja za različita obilježja vode s ciljem procjene postizanja specifičnih okolišnih ciljeva. Razlikuju se dvije osnovne vrste monitoringa: nadzorni - stalan sustav motrenja koji se sastoji od specifičnih mjerenja i promatranja sa svrhom upravljanja količinom i kakvoćom voda u normalnim uvjetima te operativni monitoring – motrenje vode u iznimnim situacijama kojim moraju biti obuhvaćene cjeline voda kod kojih je već ustanovljen rizik od neispunjavanja okolišnih ciljeva, odnosno pojava onečišćenja ili rizik od precrpljivanja. Motrenje voda ostvaruje se uspostavom mreže monitoringa, tj. određivanjem lokacija na kojima će se vršiti in situ mjerenja i uzorkovanja podzemne vode. Budući da je podzemna voda mnogo teže dostupna za izravan pristup, pogotovo u okršanim područjima gdje dubine nezasićene zone mogu biti i veće od 100 m, odgovarajuće planiranje točaka motrenja nerijetko uključuje provedbu vrlo kompleksnih istraživanja za lociranje mjesta izvedbe dubokih istražno opažakih bušotina.

3. ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE LOCIRANJA TOČAKA MOTRENJA

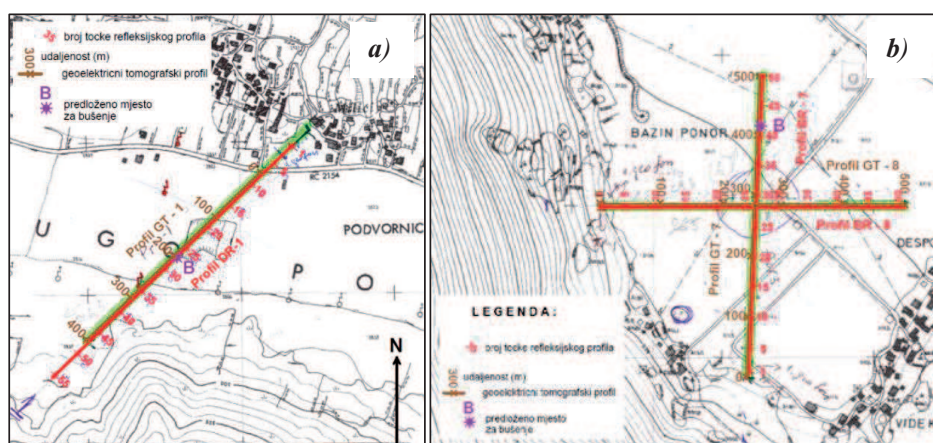
Jedan od prvih i vrlo važnijih postupaka nakon uspostave ciljeva motrenja uključuje prikupljanje i organiziranje svih dostupnih informacija o ranije provedenim istraživanjima na promatranom području. Informacije se koriste za pomoć kod određivanja plana terenskih istraživanja te pomažu voditeljima projekata uštedjeti značajnu količinu vremena i novaca izbjegavanjem ponavljanja već provedenih istraživanja. Najvažniji segment je pravilno istražiti hidrogeološke odnose i obilježja vodonosnog sustava kako bi mjesta motrenja odnosno izrađene bušotine bile locirane na područjima koja mogu dati relevantne rezultate monitoringa.

Potencijalne lokacije bušotina se određuju na osnovi litostratigrafskih, strukturnih i hidrogeoloških elemenata uočenih i izdvojenih geološkim i hidrogeološkim kartiranjem na površini terena. Pomoću determiniranih položaja diskontinuiteta i pretpostavljenih okršanih zona u podzemlju izdvajaju se uža područja na kojima se provode detaljna istraživanja (Kapelj i drugi, 2006).

Na primjeru plana monitoringa u slivu izvora Jadro i Žrnovnica izdvojena su četiri lokaliteta koja su ocijenjena perspektivnim dijelovima sliva u smislu pretežitog

prihranjivanja i tečenja podzemnih voda iz perifernih dijelova sliva prema izvorima Jadra i Žrnovnice. Izdvojeno je područje Dugopolja, Konjskog, Gizdavca i Biskog. Na tim su lokacijama izrađene detaljne hidrogeoloških karata M 1 : 5 000. Na osnovi ovih karata planirani su daljnji geofizički istražni radovi. Najprije je primijenjena metoda seizmičke plitke refleksije visoke razlučivosti, s ciljem otkrivanja područja intenzivne razlomljenosti u karbonatnim stijenama gdje postoji komunikacija podzemne vode. Također su na tri izdvojena lokaliteta provedena geofizička istraživanja metodom geoelektričnog sondiranja. Rezultati mjerenja geoelektričnom tomografijom poslužili su za što točnije lociranje rasjednih i pukotinskih zona, u prvom redu bliže površini terena, a onda i praćenje njihovih prostiranja dalje u dubinu identificirajući ih na presjecima refleksijske seizmike.

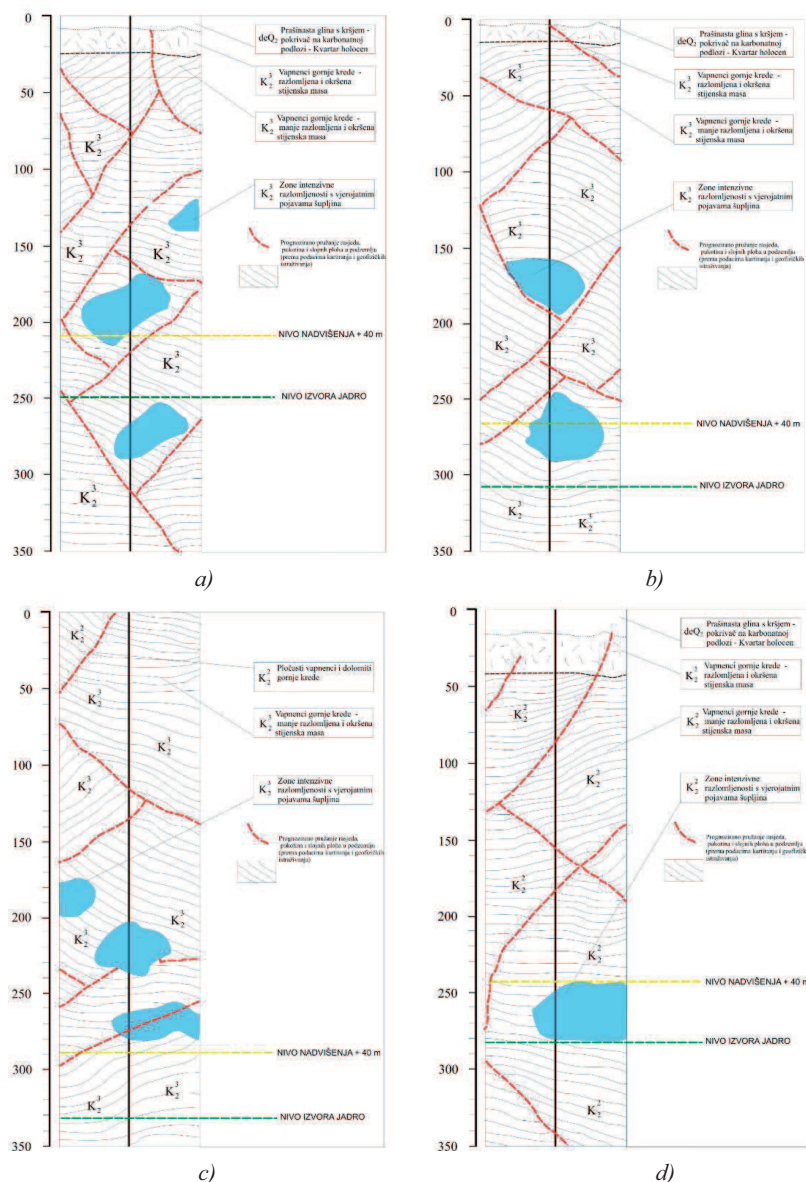
U području Dugopolja mjerenja su obavljena na dva profila: DR-1 u dužini 585 m, i DR – 2 u dužini 515 m. Po trasi profila DR - 1 izvedena su i mjerenja geoelektričnom tomografijom (GT – 1) u dužini od 400 m, a na trasi profila DR – 2 dužina mjerenja geoelektričnom tomografijom (GT – 2) bila je 500 m (slika 1 - a).



Slika 1. Prikaz ucrtanih profila provedenih geofizičkih istraživanja s predloženom lokacijom bušotine na području: a) Dugopolje i b) Bisko (prema: Kapelj i drugi, 2006)

Područje Konjskog je također bilo obuhvaćeno seizmičkim mjerenjima na dva profila, KR – 3 dužine 575 m te KR – 4 dužine 375 m. Po trasi profila KR – 3 obavljena su i mjerenja metodom geoelektrične tomografije (GT – 3) dužine 500 m. Na ovom lokalitetu je bio predviđen i treći profil dužine 250 m, ali se od njega odustalo jer je utvrđeno da tu podzemlje, do zahtijevane dubine, tvore praktički nepropusne naslage fliša. Po njegovoj trasi obavljena su mjerenja samo geoelektričnom tomografijom u dužini od 200 m (GT – 4). Na području Gizdavca snimljena su dva seizmička profila, GR – 5 dužine 725 m i GR – 655 m. U području Biska definirane su trase koje sijeku jedna drugu. Profil BR – 7 u dužini 515 m te BR – 8 u dužini 535 m. Geoelektrična tomografska mjerenja izvedena su po trasama oba profila u dužini od 500 m (oznake GT – 7 i GT – 8) (slika 1 – b). Nakon obrade terenski snimljenih podataka rezultati su interpretirani te su identificirana područja u podzemlju u kojima se očekuje velika razlomljenost stijena i pojava šupljina

koje omogućavaju komunikaciju podzemne vode. Kao krajnji rezultat istraživanja predložene su točke bušenja tako da se na dubinama u području pretpostavljenog vodnog gradijenta probuše spomenute razlomljene i moguće kavernozone stijene, što se vidi iz prognoznih profila istražnih bušotina (slika 2).



Slika 2. Prognozirani hidrogeološki profil projektirane istražno opažачke bušotine a) B-1 Dugopolje; b) B-2 Konjsko; c) B-3 Gizdovac i d) B-4 Bisko (prema: Kapelj i drugi, 2006)

4. IZRADA ISTRAŽNIH BUŠOTINA

S obzirom na to da je predviđeno u bušotine nakon bušenja ugrađivati senzore za stalno praćenje kvalitete vode, bilo je jako važno da se bušenje izvede vrlo odgovorno, kvalitetno i uz minimalnu devijaciju, što je i učinjeno. Po završetku geofizičkih istraživačkih radova pristupilo se najprije izradi istražno-pijezometarske bušotine B-1 na lokaciji Dugopolje. Prilikom izrade te bušotine došlo je do teškoća koje su proizlazile iz projektnog zadatka koji je predvidio intervalno jezgrovanje do dubine 180 m, u cilju uštede sredstava. U praksi ovim načinom došlo je do povećanih troškova zbog stalne zamjene bušačkih garnitura na lokaciji. To je ujedno i produžilo vrijeme izvedbe. Kontinuirano jezgrovanje po cijeloj dubini u prvoj fazi i naknadno proširenje kanala bušotine po cijeloj dubini bilo bi znatno korisnije, a sigurno i financijski isplativije.

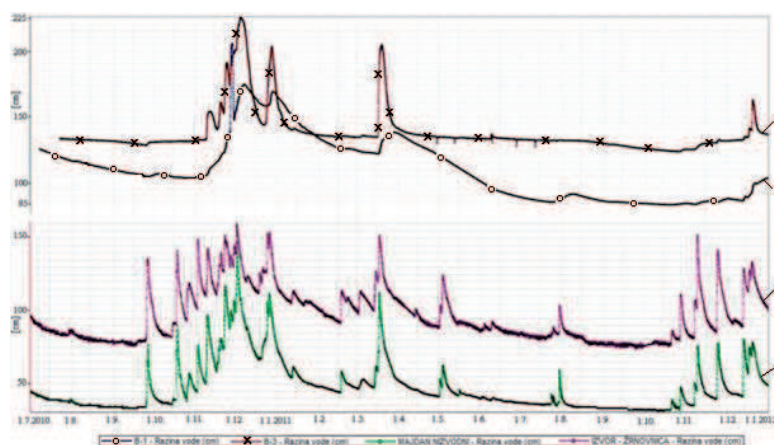
Radi ispitivanja prihvatnog kapaciteta pokrova krškog vodonosnika tijekom bušenja obavljeno je i prikupljanje uzoraka tla i sedimenata u intervalima duž bušotine. Budući da je tijekom bušenja površinski sloj tla bio prilično poremećen, uzorkovanje je započeto tek u intervalima od 50 do 70 cm i od 150 do 170 cm dubine. Uzorci su na mjestu uzorkovanja pohranjeni i otpremljeni u Laboratorij za geokemiju okoliša Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u Varaždinu, gdje su na njima provedena geokemijska ispitivanja (Kapelj i drugi, 2008; Dogančić, 2017).

Osim toga bilo je i problema kod snimanja stanja bušotine. Prije snimanja kamerom, čišćenje bušotine nije najbolje uspjelo, što se odrazilo i na kvalitetu snimanja. Oprema za videoendoskopiju bušotine nije bila odgovarajuća jer je poslužila samo za video snimanje, ali ne i za mjerenje dimenzija i prostornog položaja diskontinuiteta u stijeni. Nekoliko desetaka metara iznad razine podzemne vode kamera je prolazila kroz gustu pjenu. Prisutnost čestica u vodi onemogućilo je kvalitetno snimanje, posebno zbog jake refleksije svjetla. Zbog toga nije bilo moguće vertikalno snimanje, koje u kontinuitetu daje pregled bušotine od 360 °. Pogled kamere morao je biti pod kosim kutom zbog čega cca 180 ° bušotine nije snimano. Nakon toga bila je izvedena bušotina B-3 na lokaciji Gizdovac, a zatim bušotina B-4 na lokaciji Bisko. Bušenje je prošlo bez značajnijih problema, a za bušotine je utvrđeno kako imaju zadovoljavajuću komunikaciju s podzemnom vodom, što i jest njihov glavni cilj. Nakon izvedbe, bušotine su opremljene sondama sa sensorima za mjerenje razina vode, temperature vode, elektrovodljivosti i mutnoće vode, zatim višekanalnim prikupljačem podataka (logger) s GMS/GPRS modemom te akumulatorom. Nakon početnog upuštanja u rad uočeni su neki nedostaci senzora, mjernih sonde te napajanja koji su u toku rada ispravljani (Kapelj i drugi, 2009; 2012).

5. UPRAVLJANJE REZULTATIMA MOTRENJA

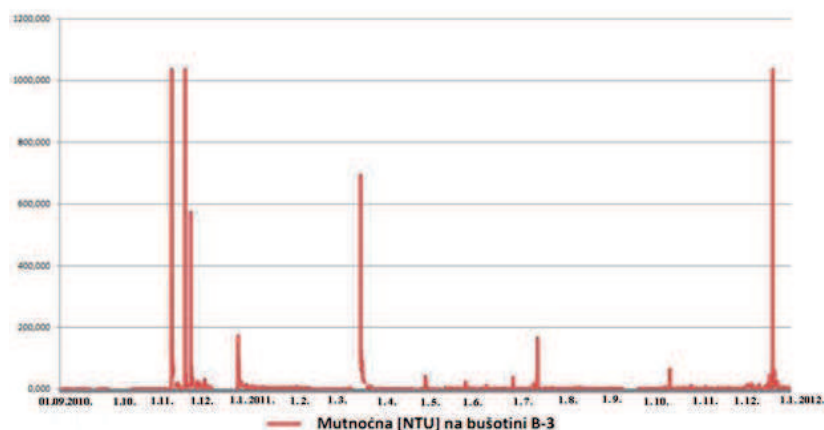
Primjer dostupnih rezultata provedenog monitoringa razina podzemnih voda prikazani su na slici 3. Na dijagramu su paralelno prikazane razine podzemnih voda u bušotinama (gornje dvije krivulje – Dugopolje na slici linija 1, a Gizdovac linija 2) i mjereni vodostaji na rijekama Jadro i Žrnovnica (Jadro linija 3, Žrnovnica linija 4). Razine u bušotinama prikazane su u apsolutnim kotama, a vodostaji u centimetrima. Iz dijagrama je vidljivo kako postoji veliko kolebanje podzemnih voda ovisno o hidrološkim uvjetima na slivu. Također je vidljivo kako izdašnosti izvora rastu u isto vrijeme kao i razine podzemnih

voda (porast se vidi malo ranije što može biti posljedica površinskog otjecanja s izravnog sliva kanala na kojima su postavljeni limnografi za motrenje) i amplitude kolebanja su im gotovo jednakih veličina (pogotovo Jadro i Gizdavac) što potvrđuje brzu podzemnu vodnu vezu i podjednaku količinu dotoka.



Slika 3. Dijagram mjenjenih razina podzemnih voda u bušotinama B-1 i B-3 i mjereni vodostaji na rijekama Jadro i Žrnovnica

Kod bušotine na Dugopolju izmjerene minimalne razine podzemne vode iznose 85 m n.m., a maksimalne 205 m n.m., što ukazuje na veliku amplitudu kolebanja podzemnih voda, a ujedno ukazuje da je u vrijeme visokih voda podzemna voda na samo 30 metara dubine od površine terena. Kod bušotine na Gizdavcu situacija je slična, minimalna kota razine podzemne vode je na 125 m n.m., a maksimalna na 225 m n.m., odnosno minimalna dubina do vode je 35 metara.



Slika 4. Dijagram mjerjenja mutnoće u bušotini B-3

U oba slučaja, za vrijeme obilnih oborina razina podzemne vode se nalazi bliže površini terena i ispire veliku debljinu nesaturirane zone, što je vrlo važno radi procjene ranjivosti i rizika od onečišćenja podzemnih voda te prognoze pojave mutnoće u izvorskim vodama. Osim podataka o razinama podzemne vode u ovom radu korišteni su i podaci monitoringa mutnoće podzemne vode u dubokim istražnim bušotinama. Smatra se kako je to jedan od važnih pokazatelja kakvoće jer ukazuje na odnos količine oborina i kakvoće podzemnih voda (slika 4) (Loborec, 2013).

Iako je većinu vremena u periodu koji je obrađen vrijednost mutnoće ispod 4 NTU jedinica, koliko je propisano tada važećim Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/13) (najčešće između 1 i 2 NTU), graf prikazan na slici 4. prikazuje promjene mutnoće koje ukazuju na drastično povećanje mutnoće u vrijeme podizanja razina podzemnih voda (uslijed obilnih padalina), a javlja se kao posljedica ispiranja tla i nakupljenih sedimenata iz nezasićene zone vodonosnika. Izvedene duboke istražne bušotine osim za kontinuirano mjerenje razine podzemnih voda, namijenjene su i za povremeno uzimanje uzoraka za ispitivanje kakvoće podzemnih voda u slivu, kao i za specifične analize za određene potrebe poput motrenja pronosa trasera na određenim lokacijama ili za npr. izotopne analize. Osim razine podzemne vode, mjerni instrumenti prilagođeni monitoringu kakvoće vode u dubokim bušotinama vrlo uspješno mjere temperaturu vode, el. vodljivost i ukupno otoplenu krutu tvar u podzemnoj vodi. Takav pristup kao i odabir pokazatelja koji se trebaju pratiti unutar cjelina podzemnih voda zahtijeva implementacija nadzornog monitoringa kemijskog statusa podzemnih voda u cjelinama ili grupama cjelina podzemnih voda. Bila bi stoga velika šteta da se izvedene bušotine ne koriste u namijenjenu svrhu, budući da je područje sliva izvora Jadra i Žrnovnice prvo u Hrvatskoj dobilo sustav bušotina koji omogućavaju motrenje količine i kakvoće vode u dubokom krškom podzemlju.

ZAKLJUČAK

Područje istraživanja obuhvaća slivno područje izvora Jadra i Žrnovnice. Izvorske vode Jadra i Žrnovnice uključene su u monitoring kakvoće vode budući da se koriste za potrebe javne vodoopskrbe. Monitoring provodi Zavod za javno zdravstvo Splitsko-dalmatinske županije u mjesečnim intervalima.

Kako bi se dodatno pratilo stanje količine i kakvoće podzemne vode u slivu, planom motrenja predviđena je izrada četiri duboke istražno opažачke bušotine. Bušotina B-1 locirana je na Dugopolju jer je to područje blizu izvorima Jadro i Žrnovnica, a u posljednjih desetak godina doživljava nagli gospodarski razvoj, pa je potrebno pratiti antropogeni utjecaj na kakvoću podzemne vode. Bušotine B-2 i B-3 locirane su duž transverzalne rasjedne zone Muć-Gizdavac-Prugovo-Konjsko-Klis, koja predstavlja pravac najbrže podzemne vodne veze s izvorima Jadro i Žrnovnica. To je ujedno i područje u kojem se koncentriraju tokovi iz zapadnog i sjeverozapadnog dijela sliva. Bušotina B-4 locirana je na Biskom polju, na križanju dviju rasjednih zona, kako bi se omogućilo praćenje onečišćenja i količina voda iz sliva rijeke Cetine. Bušotine B-1 i B-3 su u potpunosti izvedene i opremljene uređajima za kontinuirano praćenje razina podzemne vode, temperature, električne vodljivosti i mutnoće te postoji mogućnost da se uranjajućom crpkom redovito obavlja uzorkovanje vode.

Izvedba istražnih bušotina osim monitoringa omogućuje dobivanje informacija za

procjenu ranjivosti vodonosnog sustava kao i verifikaciju geokemijskog modela. Već tijekom same determinacije jezgre dobivene su vrlo vrijedne informacije o dubini pokrova tla i sedimenta krških polja, dubini epikrške zone, dubini do podzemne vode, ispunjenosti pukotinskih prostora te sastavu ispune, raspodjeli okršnosti podzemlja po dubini itd. Ispitivanjem kemijskog sastava i prihvatnog kapaciteta tla i sedimenta pokrova krškog vodonosnika istraživanja mogu krenuti u različitim smjerovima, a sve s ciljem povećanja stupnja zaštite podzemne vode kao neprocjenjivo vrijednog resursa.

Može se reći kako su u potpunosti ne samo prihvaćene već i nadopunjene osnovne preporuke Okvirne europske direktive o vodama u smislu uspostave kontinuiranog nadzornog monitoringa voda u krškim prostorima Dinarida. Sliv Jadra i Žrnovnice je prvi sliv u Republici Hrvatskoj u kome je uspostavljen takav vid praćenja podzemnih voda, što omogućava dobivanje pravovremenih informacija o količini i kakvoći podzemnih voda važnih za vodoopskrbu grada Splita i šire okolice (Kapelj i drugi, 2008; Kapelj, 2011). I drugi slivovi dubokog krša u Republici Hrvatskoj trebali bi težiti takvom sustavu motrenja kako bi se razina zaštite i upravljanja podzemnim vodama digla na kvalitetniju razinu.

LITERATURA

- [1] Biondić, B., Biondić, R. & Dukarić, F. (1998): *Protection of karst aquifers in the Dinarides in Croatia*, Environmental Geology, 34 (4), 309 – 319.
- [2] Bonacci, O. (1987): *Karst Hydrology*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, 184.
- [3] Zajednička strategija provedbe Okvirne direktive o vodama (2000/60/EC), *ODV CIS Vodič br. 15 Praćenje podzemnih voda*, https://www.voda.hr/sites/default/files/15_-_vodice_o_monitoringu_podzemnih_voda_-_hrv.pdf (04.04.2019.)
- [4] Dogančić, D. (2017): *Modeliranje specifične ranjivosti podzemnih voda u uvjetima krša na području Dugopolja*, Doktorski rad, RGN fakultet SuZg, Zagreb 208 str.
- [5] Fouillac, A. M., Grath, J. & Ward, R. (2009): *Groundwater Monitoring (Water Quality Measurements)*. Ed. Philippe Quevauviller, John Wiley & Sons, ISBN 0470749695, 9780470749692 p. 450.
- [6] Loborec, J. (2013): *Procjena rizika od onečišćenja podzemnih voda u kršu na području sliva izvora Jadra i Žrnovnice*, Doktorski rad, RGN fakultet SuZg, Zagreb 191 str.
- [7] Loborec, J., Kapelj, S. & Novak, H. (2015): *Analysis of ground water pollution hazard in karst: a case study of Jadro and Žrnovnica catchment area*, GRAĐEVINAR, 67 (11), 1093-1103, doi: 10.14256/JCE.1250.2015.
- [8] Kapelj, S., Kapelj, J., Biondić, R., Biondić, B., Kovač, I., Tušar, B., Prelogović, E., Marjanac, T., Andrić, M., Kovačić, D., Strelec, S. & Gazdek, M. (2006): *Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice – Prva faza studijsko istraživačkih radova* EVV:1/2005, Hrvatske vode, Split.
- [9] Kapelj, S., Kapelj, J., Marjanac, T., Prelogović, E., Cvetko-Tešović, B., Biondić, B., Ivanković, T., Jukić, D. & Denić-Jukić, V. (2008): *Studija upravljanja vodama*

sliva Jadra i Žrnovnice – Druga faza studijsko istraživačkih radova EVV:9/2007, Hrvatske vode, Split.

- [10] Kapelj, S., Kapelj, J., Dogančić, D., Loborec, J., Ivanković, T., Cvetko-Tešović, B. & Milanović, D. (2009): *Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice – Treća faza studijsko istraživačkih radova* EVV:21/2008, Hrvatske vode, Split.
- [11] Kapelj, S., Kapelj, J. & Švonja, M. (2011): *Hidrogeološka obilježja sliva Jadra i Žrnovnice*, Tusculum, Vol. 5, 205-216.
- [12] Kapelj, S., Kapelj, J., Dogančić, D. & Loborec, J. (2012): *Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice – Četvrta faza studijsko istraživačkih radova* EVV:21/2008, Hrvatske vode, Split.
- [13] Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (Narodne novine, br. 125/13).
- [14] Direktiva 2000/60/EC Europskog parlamenta i Vijeća kojom se uspostavlja okvir za djelovanje Zajednice na području politike voda, od 23. listopada 2000 (Okvirna direktiva EU o vodama).

AUTORI

doc. dr. sc. Jelena Loborec, dipl. ing. geoteh. ^a

dr. sc. Dragana Dogančić, dipl. ing. geol. ^a

prof. dr. sc. Sanja Kapelj, dipl. ing. geol. ^a

^a Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za hidrotehniku, Hallerova aleja 7, Varaždin, 42000, Hrvatska, jloborec@gfv.hr; skapelj@gfv.hr; ddogan@gfv.hr



**„NOVI ONEČIŠĆIVAČI“ U PODZEMNIM VODAMA
HRVATSKE – PRIMJER PROJEKATA GeoTwinn i
boDEREC-CE**

Jasmina Lukač Reberski, Josip Terzić, Ana Selak, Ivana Boljat

SAŽETAK: Stanje vodnih resursa i pridruženih ekosustava je pod sve većim pritiskom onečišćenja nastalog kao posljedica neadekvatnih i nereguliranih ljudskih aktivnosti, čiji je utjecaj sve izraženiji gledano s aspekta posljedica promjena klimatskih uvjeta. Tehnološki razvoj analitičkih instrumenata i metoda omogućio je određivanje tzv. novih onečišćivača (engl. *emerging contaminants*) odnosno spojeva koji do sada nisu uključeni u redoviti sustav monitoringa, a prepoznat je njihov ekotoksikološki učinak. U širokom spektru utvrđenih spojeva najčešći su pesticidi, farmaceutici, proizvodi za osobnu njegu, industrijski aditivi i njihovi nusprodukti, dodaci hrani, nusprodukti tretiranja vode, surfaktanti, hormoni i dr. Značajke i uvjeti podzemnog toka i transporta novih onečišćivača u kompleksnim krškim sredinama uz definiranje učinkovitih mjera (monitoringa, zabrane, prevencije i sl.) koje će ublažiti posljedice spomenutih negativnih utjecaja na stanje podzemnih vodnih resursa istražuju se u sklopu međunarodnih projekata GeoTwinn (Horizon 2020) i boDEREC-CE (Interreg Central Europe). Suradnja s renomiranim stručnjacima obogatit će dosadašnje spoznaje hrvatskih partnera o ponašanju novih onečišćivača u ovakvim okolišima te doprinijeti zaštiti i očuvanju podzemnih voda kao neophodnog i strateški važnog resursa pitke vode.

KLJUČNE RIJEČI: novi onečišćivači, podzemne vode, krš, uzorkovanje, analize uzoraka vode, GeoTwinn, boDEREC-CE

**“EMERGING CONTAMINANTS” OF GRUNDWATER IN CROATIA –
PROJECTS GeoTwinn AND boDEREC-CE**

ABSTRACT: The status of water resources and associated ecosystems is under a growing pressure from pollution caused by inadequate and unregulated human activities, whose impact is increasingly significant in view of the climate change. The technological development of analytical instruments and methods enabled the identification of “emerging contaminants”, i.e. compounds that are presently not included in the regular monitoring system, although their ecotoxic impact has been recognized. Within a wide spectrum of identified compounds, the most common are pesticides, pharmaceuticals, personal care products, industrial additives and their by-products, food additives, water treatment by-

products, surfactants, hormones, etc. In the scope of the international projects GeoTwinn (Horizon 2020) and boDEREC-CE (Interreg Central Europe), the characteristics and conditions of groundwater flow and the transport of emerging contaminants in complex karstic environments as well as the efficient measures (monitoring, banning, prevention, etc.) to mitigate the consequences of their adverse impacts on groundwater status will be investigated. A cooperation with renowned experts will improve the insights of the Croatian partners in the emerging contaminants' behaviour in these environments and contribute to the protection and conservation of groundwater as a vital, strategically important source of drinking water.

KEYWORDS: emerging contaminants, groundwater, karst, sampling, water analysis, GeoTwinn, boDEREC-CE

1. UVOD

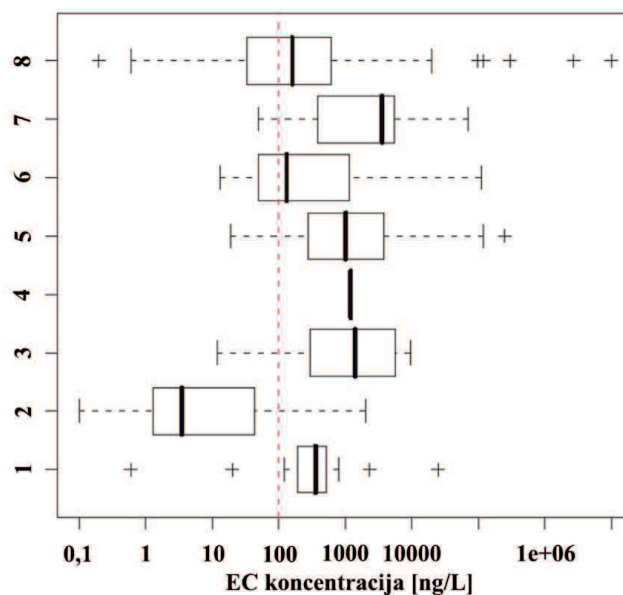
Podzemne vode su najvažniji resurs pitke vode, kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj. Čak 90 % vodoopskrbe u Hrvatskoj ostvaruje se crpljenjem podzemnih voda zbog čega je očuvanje ovog resursa od izuzetne važnosti. Nužnost zaštite proizlazi i iz činjenice kako je okoliš današnjice, posebice vodni ekosustavi, suočen s brojnim negativnim utjecajima izazvanima raznim oblicima ljudske djelatnosti te dodatno pojačanima nepovoljnim klimatskim promjenama. S obzirom na to da su vode u izravnoj vezi s osnovnim klimatskim elementima, promjena klime odražava se na vodnu bilancu odnosno mogućnost korištenja zaliha pitke vode. U tom smislu, osobito je ugroženo priobalno područje Hrvatske. Zadnjih desetljeća povećava se brzina porasta razine oceana (NOAA, 2018), a prema analizi mareografskih podataka utvrđeno je da se trend rasta razine mora za srednju jadransku regiju kreće od 3 – 4 mm/god. Povećanje razine morske vode uz prekomjerno crpljenje tijekom ljetnih mjeseci, posljedično uzrokuje intruzije morske vode u vodonosnik, čiji je prodor dodatno olakšan s obzirom na kršku prirodu. S druge strane, sve učestaliji klimatski ekstremi (DHMZ, 2009) za posljedicu imaju sve veći broj dana kada oborine i temperature prelaze granične vrijednosti. Njihov negativan utjecaj može se odraziti na promjenu režima obnavljanja zaliha podzemnih voda. Ako količine pale oborine prijeđu kapacitet upijanja tla, one površinski otječu prema recipijentu, a izložene su i većoj evaporaciji, što može dovesti do smanjenog prihranjivanja vodonosnika. Pored toga, prema rezultatima prognostičkih modela za pojedine sljevove priobalnog pojasa Hrvatske (Blato na Korčuli, Bokanjačko blato, Vransko jezero) srednji i minimalni godišnji protoci do kraja stoljeća, u slučaju da se ostvare prognozirani klimatski scenariji, smanjit će se na svim lokalitetima za gotovo 30 – 50 % (Rubinić i dr., 2011).

2. NOVI ONEČIŠĆIVAČI

Ozbiljno narušene zalihe podzemnih voda, kakve se prognoziraju za budućnost, više no ikada zahtijevaju učinkovite mjere koje će ublažiti posljedice spomenutih negativnih utjecaja na kvalitetu podzemnih voda. Najnovija tehnološka dostignuća omogućuju da se danas u podzemnim vodama prate tvari koje je donedavno bilo nemoguće određivati zbog ograničenja analitičkih metoda. Riječ je o tzv. novim onečišćivačima (engl. *emerging contaminants*) čija istraživanja u podzemnim vodama kreću devedesetih godina prošlog stoljeća. Brojna su tumačenja i definicije ovog izraza, a danas se pod njim podrazumijevaju

spojevi za koje se ranije nije smatralo ili znalo da su značajni u podzemnim vodama, a koji se sada naširoko otkrivaju te se zna ili sumnja da mogu uzrokovati štetne učinke na ekosustave i ljudsko zdravlje (Stuart, 2012). Izraz se ne odnosi samo na nove onečišćivače, nego i na spojeve koji su, najčešće uslijed razvoja tehnoloških mogućnosti, novootkriveni u okolišu (Lindsey i dr., 2001). NORMAN mreža, osnovana 2005. god. kako bi unaprijedila razmjenu informacija o novim tvarima iz okoliša, pod novim onečišćivačima smatra spojeve koji trenutno nisu uključeni u rutinski monitoring na europskoj razini i koji su potencijalni kandidati za buduće propise, ovisno o istraživanju njihove (eko) toksičnosti, potencijalnih učinaka na zdravlje te praćenju podataka o njihovoj pojavi u različitim dijelovima okoliša (Brack i dr., 2012).

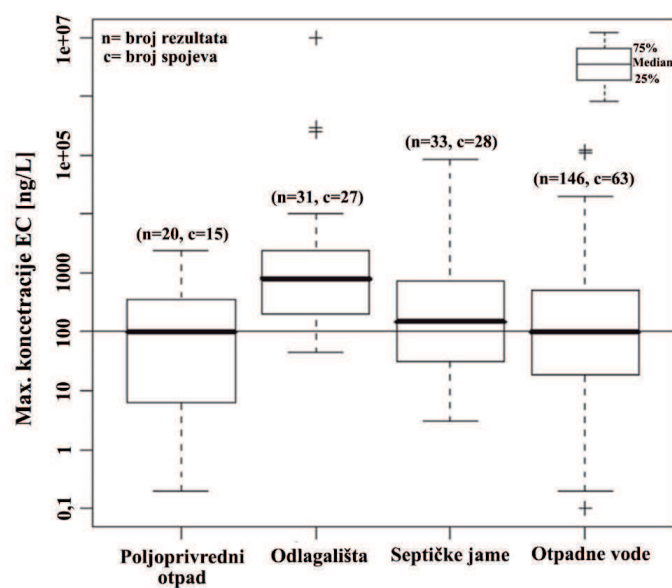
Onečišćenje podzemnih voda novim onečišćivačima stvara sve veću zabrinutost i relativno je slabo istražena u usporedbi s površinskim vodama (Lapworth, 2012). Općenito, koncentracije novih onečišćivača veće su u površinskim nego u podzemnim vodama zbog procesa kojima su izloženi, kao što su sorpcija, razrjeđenje i razgradnja. Brojnim istraživanjima kojima se pratio utjecaj odlagališta otpada utvrđeno je kako se količine novih onečišćivača u podzemnim vodama kreću u značajnim koncentracijama, u rasponu od 10 - 10⁴ ng/L. Koncentracije < 100 ng/L smatraju se preniskima da bi imale akutni utjecaj, no međudjelovanje više spojeva i dugotrajna izloženost njima su zbog nedovoljne istraženosti još uvijek nepoznanica (Lapworth, 2012).



Slika 1. Box plot pojavljivanja pojedinih grupa novih onečišćivača: 1 veterinarski antibiotici i hormoni; 2 steroidi, hormoni i metaboliti; 3 dodaci hrani i umjetni zaslađivači; 4 nedopuštene tvari – kokain; 5 plastifikatori, deterdženti, usporivači plamena; 6 kofein, nikotin i metaboliti; 7 sredstva za njegu tijela, insekticidi; 8 farmaceutici (slika preuzeta iz: Lapworth, 2018)

Novi onečišćivači obuhvaćaju široku paletu spojeva kao što su pesticidi, farmaceutici, proizvodi za osobnu njegu, industrijski aditivi i njihovi nusprodukti, dodaci hrani, nusprodukti tretiranja vode, surfaktanti, hormoni i dr. Među najčešće utvrđenim spojevima su poljoprivredni spojevi i farmaceutici. Iako je onečišćenje okoliša poljoprivrednim spojevima i farmaceuticima dobro poznata činjenica, manje je poznato kako su mnogi pesticidi ili lijekovi spojevi koji u svojoj strukturi sadrže spektar mogućih produkata razgradnje, s potencijalno štetnim ili jednostavno nepoznatim svojstvima. Pod utjecajem svjetla ili prilikom kemijske obrade otpadnih voda mnogi se lijekovi transformiraju u nove strukture o kojima znanost vrlo malo zna (Vrček, 2017).

Izvori onečišćenja mogu se prema porijeklu podijeliti na urbane, poljoprivredne i industrijske (Slika 1). Najveći broj onečišćivača potječe iz otpadnih voda (Slika 2) i to iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda, septičkih jama, bolnica, farmi (uključujući lagune s otpadnim vodama i gnojene površine), potpovršinskih odlagališta kućnog i industrijskog otpada, indirektno putem razmjene površinske-podzemne vode te umjetnim napajanjem vodonosnika. Osim ove podjele, izvori onečišćenja se mogu podijeliti na točkaste i raspršene. Točkasti izvori se znatno jednostavnije prate i reguliraju, dok raspršeni izvori predstavljaju pravi izazov za praćenje, regulaciju i procjenu njihovog utjecaja na resurse podzemnih voda (Grizelj Šimić, 2016). Raspršeni izvori prekrivaju veće površine i teže ih je identificirati zbog manje izravnih/očiglednih veza s onečišćivačem. Međutim, u odnosu na točkaste izvore, difuzni izvori onečišćenja uzrokuju manje opterećenje na okoliš s obzirom na veći potencijal prirodnog prigušenja u tlu i na površini.



Slika 2. Box-plot maksimalnih koncentracija novih onečišćivača u podzemnim vodama s obzirom na izvor onečišćenja (slika preuzeta iz: Lapworth, 2012)

S ciljem zaštite i poboljšanja vodnog okoliša u sklopu Okvirne direktive o vodama (2000/60/EC) te Direktive o standardima kvalitete okoliša (2008/105/EC), definiran je popis prioriteta tvari (lista prioriteta) koje predstavljaju znatan rizik za vodni okoliš. Kriterij na temelju kojega se određuje koje će se tvari uvrstiti na listu prioriteta su rasprostranjenost, pretpostavljene koncentracije u okolišu te njihova ekotoksikološka, farmakološka i fizikalno-kemijska svojstva. Za tvari s liste prioriteta planiraju se mjere s ciljem postupnog ograničenja njihovog ispuštanja, emisija i rasipanja.

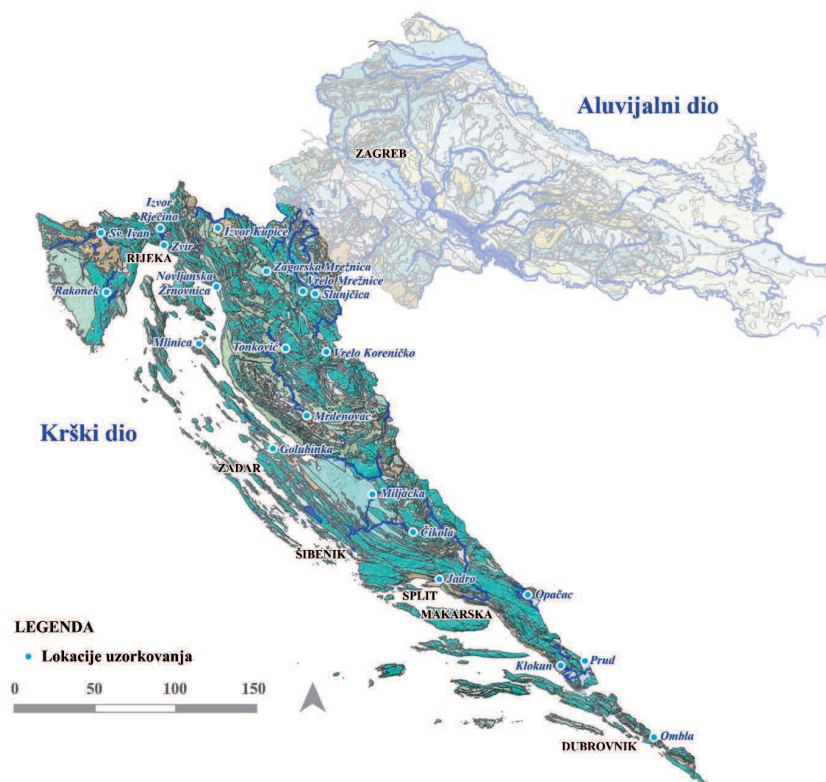
Kako broj postojećih i novootkrivenih onečišćivača kontinuirano raste, pored liste prioriteta, sastavlja se i lista praćenja (engl. *Watch list*, 2013/39/EU) koja sadrži popis tvari koje bi mogle predstavljati značajan rizik za vodni okoliš ili značajan rizik koji se putem njega prenosi te za koje podaci o praćenju nisu dostatni. Za te tvari se uspostavlja monitoring te se, ovisno o rezultatima monitoringa, dodaju na popis prioriteta tvari ili brišu s liste praćenja. Sukladno Direktivi (2013/39/EU), listu praćenja potrebno je ažurirati svake dvije godine.

Direktiva o podzemnim vodama (2006/118/EC, 2014/80/EU) definira standarde kakvoće podzemnih voda i smjernice za uspostavu graničnih vrijednosti za tvari koje onečišćuju podzemne vode te ukazuje na potrebu uspostave liste praćenja koja bi uključila i nove onečišćivače (2014/80/EU). Svrha liste praćenja za podzemne vode je 1) ustanoviti nove onečišćivače za koje se utvrdi da postoji sumnja da ne zadovoljavaju ciljeve zadane Okvirnom direktivom o vodama i 2) pomoć u odabiru tvari kako bi se poboljšao program monitoringa.

3. PROJEKTI GeoTwinn i boDEREC-CE

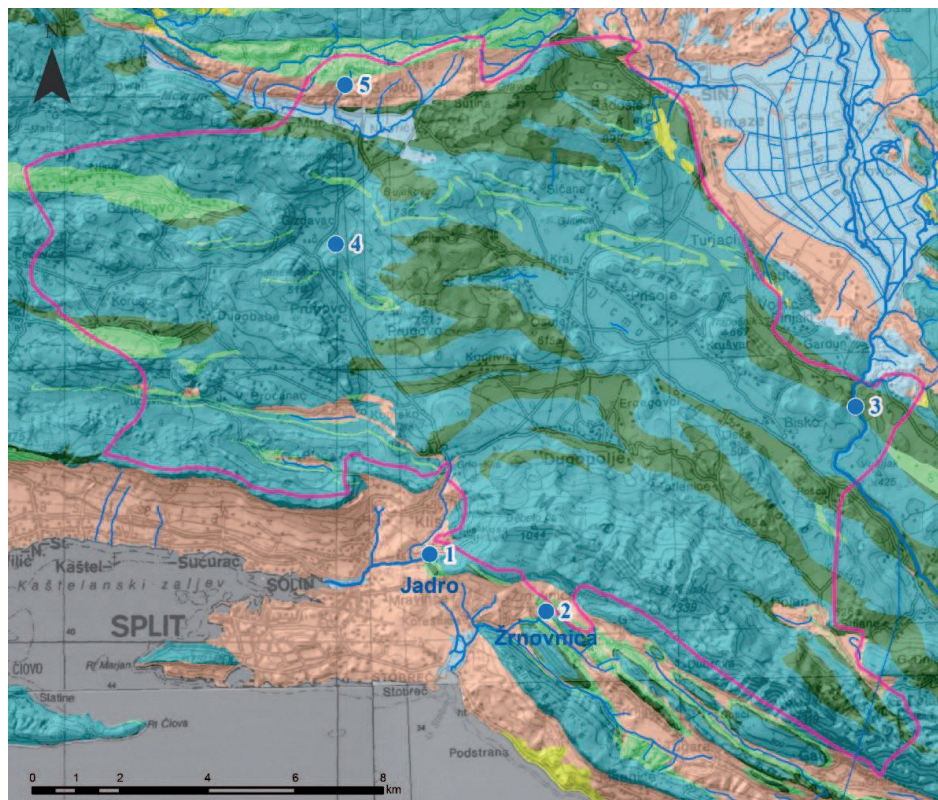
Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju Hrvatskog geološkog instituta sudjeluje na dva međunarodna projekta vezana uz praćenje novih onečišćivača u podzemnim te u manjoj mjeri u površinskim vodama.

Projekt GeoTwinn (Strengthening research in the Croatian Geological Survey: Geoscience-Twinning to develop state-of-the-art subsurface modelling capability and scientific impact, Horizon 2020) nastao je u suradnji Hrvatskog geološkog instituta s dvije vodeće geološke istraživačke institucije, Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) i British Geological Survey of the United Kingdom Research and Innovation (BGS-UKRI). Projekt je započeo u listopadu 2018. godine, a predviđeno vrijeme trajanja je 3 godine. Osnovni cilj projekta je osnaživanje istraživačkog potencijala i sposobnosti istraživača Hrvatskog geološkog instituta. Suradnja se ostvaruje zajedničkim istraživanjem, komunikacijom, međusobnim posjetima te stjecanjem i izmjenom znanja i iskustava s istraživačima iz BGS-a. U okviru radnih paketa provode se 3D geološka istraživanja i modeliranja, identifikacija i analiza geoloških hazarda te jačanje istraživačkog potencijala na polju geotermalne energije. U fokusu radnog paketa WP2 jest upravo napredno modeliranje podzemnog toka i transporta novih onečišćivača. Za pokusno područje odabrano je krško područje Hrvatske, na kojem će se u uvjetima hidroloških maksimuma i minimuma uzorkovati vode izvora koji sudjeluju u sustavu vodoopskrbe (Slika 3). S obzirom na malobrojna provedena istraživanja novih onečišćivača u krškim podzemnim vodama, rezultati ovog projekta uvelike će doprinijeti dosadašnjim spoznajama o njihovom ponašanju u ovakvim okolišima, a posredno omogućiti i nove hidrogeološke spoznaje.



Slika 3. Lokacije uzorkovanja izvora u sklopu GeoTwin projekta

Europski projekt boDEREC-CE (Board for Detection and Assessment of Pharmaceutical Drug Residues in Drinking Water - Capacity Building for Water Management in CE), započeo je u travnju 2019. godine, a sufinanciran je od strane Europskog fonda za regionalni razvoj u okviru programa INTERREG Central Europe 2014-2020. Glavni cilj projekta je razvoj integriranog upravljanja sustavima vodoopskrbe te preporuka za unaprjeđenje postojećih regulativa i standarda za otpadne vode i vode za piće. Preduvjet za ostvarenje postavljenog cilja je međunarodna suradnja te razmjena stručnih znanja i iskustava putem stručnog vijeća kojeg će činiti predstavnici istaknutih znanstvenih institucija i vodovoda. Tijekom trogodišnje implementacije, planirano je putem četiri radna paketa provesti sveobuhvatno istraživanje pojave, utjecaja i transporta novih onečišćujućih tvari iz skupine farmaceutika u podzemnim i površinskim vodama odabranih pilot područja zemalja partnera iz centralne Europe. U Hrvatskoj je odabrano pokusno područje slijeva izvora Jadro i Žrnovnica (Slika 4), a u suradnji s kolegama iz Slovenije na području Hrvatske uzorkovanje će se provesti i u površinskom toku rijeke Save.



Slika 4. Pokusno područje u Hrvatskoj s lokacijama uzorkovanja – slijev izvora Jadro i Žrnovnica

ZAKLJUČAK

Unatoč činjenici kako je stanje kvalitete podzemnih voda na velikom dijelu Republike Hrvatske još uvijek dobro, ono je ugroženo sve većim pritiscima u novije vrijeme. Razvoj tehnologije, koji je omogućio praćenje velikog broja novih potencijalnih onečišćivača, od velikog je značaja za učinkovitije praćenje kvalitete voda kao i za identifikaciju tvari koje se nepovoljno odražavaju na okoliš i ljudsko zdravlje. Međunarodna suradnja i nastojanja stručnjaka u okviru projekata GeoTwinn i boDEREC-CE predstavljaju mali, ali važan korak u globalnom poznavanju novih onečišćujućih tvari u podzemnim vodama koji će doprinijeti zaštiti i očuvanju ovog neophodnog i strateški važnog resursa pitke vode.

LITERATURA

- [1] Brack, W., Dulio, V. & Slobodnik, J. (2012): *The NORMAN Network and its activities on emerging environmental substances with a focus on effect-directed analysis of complex environmental contamination*. Environmental Sciences Europe, 24(1), 29. doi:10.1186/2190-4715-24-29.
- [2] Čupić, S., Domijan, N., Mihanović, H., Mlinar, M., Leder, N. & Gržetić, Z. (2011): *Climate change, sea level rising on the Croatian Adriatic coast, Croatian waters facing the challenge of climate changes*, 5th Croatian water conference with international participation, Opatija, 18.-21.5.2011, 593-600, 2011.
- [3] DHMZ (2009): *Observed climate changes in Croatia*. Fifth National Communication of the Republic of Croatia under the United Nation Framework Convention on the Climate Change (UNFCCC), Zagreb.
- [4] Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.
- [5] Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration.
- [6] Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council.
- [7] Directive 2013/39/EU of the European parliament and of the Council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy.
- [8] Commission Directive 2014/80/EU of 20 June 2014 amending Annex II to Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council on the protection of groundwater against pollution and deterioration Text with EEA relevance.
- [9] Grizelj Šimić, V. (2016): *Kontrola izvora onečišćenja voda*. Hrvatske vode 24 (96), 147-160.
- [10] Lapworth, D. J., Baran, N., Stuart, M. E. & Ward, R. S. (2012): *Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence*. Environmental Pollution, 163, 287–303. doi:10.1016/j.envpol.2011.12.034.
- [11] Lapworth, D. J. (2018): *Emerging Contaminants in Groundwater*. Presentation held within Geo-Twin project, Croatia.
- [12] Lindsey, M.E., Meyer, M. & Thurman, E.M. (2001): *Analysis of trace levels of sulfamamide and tetracycline antimicrobials in groundwater and surface water using solidphase extraction and liquid chromatography/mass spectroscopy*. Analytical Chemistry 73, 4640-4646.
- [13] NOAA (2018): *Is sea level rising?* National Ocean Service website, <https://ocean-service.noaa.gov/facts/sealevel.html>, accessed on 2/3/19.
- [14] Rubinić, J., Horvat, B., Terzić, J & Bošnjak, T. (2011): *Analiza klimatskih promjena / varijacija na pilot područjima u Hrvatskoj*. Hrvatske vode pred izazovom

- klimatskih promjena, 5. hrvatska konferencija o vodama, 18. - 21. svibnja, Opatija.
- [15] Stuart, M., Lapworth, D., Crane, E. & Hart, A. (2012): *Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater*. Science of The Total Environment, 416, 1–21. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.11.072.
- [16] Uredba o standardima kakvoće vode (NN 73/2013, 151/14, 78/15, 61/16 i 80/2018).
- [17] Vrčec, V. (2017): *Farmakoekologija – okolišna sudbina lijekova*, Kem. Ind. 66 (3-4), 135–144.

AUTORI

dr.sc. Jasmina Lukač Reberski ^a

dr.sc. Josip Terzić ^a

Ana Selak mag.ing.geol., mag.ing.prosp.arch. ^a

Ivana Boljat dipl.ing.geol. ^a

^a Hrvatski geološki institut, Milana Sachsa 2, Zagreb 10 000, Hrvatska, jlukac@hgi-cgs.hr, jterzic@hgi-cgs.hr, aselak@hgi-cgs.hr, iboljat@hgi-cgs.hr



R 1.49.

PRISTUP UPRAVLJANJU GEOTERMALNIM I MINERALNIM VODAMA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Daria Čupić, Alena Vlašić, Ozren Larva

SAŽETAK: Na području Republike Hrvatske postoje brojna izvorišta geotermalnih voda, dok su izvorišta mineralnih voda puno rjeđa. Najviše geotermalnih izvora, te brojnih geotermalnih i mineralnih bušotina ima u panonskom dijelu Hrvatske, za razliku od područja krša gdje ih ima svega nekoliko izvora. Prema donedavno važećim propisima upravljanje mineralnim i geotermalnim vodama bilo je regulirano propisima o rudarstvu u nadležnosti ministarstva nadležnog za gospodarstvo. U postupku prenošenja obveza EU vodnog zakonodavstva upravljanje mineralnim i geotermalnim vodama prešlo je u nadležnost Ministarstva zaštite okoliša i energetike. Stoga je donijet novi Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o vodama (NN 46/18) koji je obuhvatio i geotermalne i mineralne vode. Većina postojećih podataka o dosadašnjim istraživanjima geotermalnih i mineralnih voda su do 2017. godine bili u vlasništvu naftne kompanije Ine d.d., koja je imala koncesiju za njihovo istraživanje i korištenje. Za sljedeće plansko razdoblje Hrvatske vode pripremaju niz aktivnosti koje će biti obuhvaćene u Akcijskom planu o geotermalnim i mineralnim vodama. Akcijski plan će sadržati planiranje aktivnosti poput prikupljanja rezultata dosadašnjih istraživanja, način prijenosa podatka, analizu i obradu, te prilagodbu za Plan upravljanja vodnim područjima od 2021. - 2027. U odnosu na vodonosnike koji se koriste za vodoopskrbu, geotermalni i mineralni vodonosnici se nalaze na većim dubinama. To s jedne strane osigurava nižu prirodnu ranjivost, što se očituje u dobroj kakvoći vode bez antropogenog utjecaja, ali s druge strane otežava i poskupljuje istraživanja, što za posljedicu ima razmjerno oskudne spoznaje o hidrogeološkim značajkama tih vodonosnika. U Uredbi o izmjenama i dopunama uredbe o standardu kakvoće voda (NN 80/18) dana je definicija dobrog količinskog stanja i mineralnih i geotermalnih voda. Kriteriji za ocjenu količinskog stanja napravljeni su na temelju podataka o korištenju navedenih voda za energetske potrebe, gdje se prati količina i temperatura zahvaćene vode. Zbog postojanosti kakvoće ovih voda potrebno je pratiti kemijsko stanje vode, ali kroz duža razdoblja, jer su promjene znatno sporije. Zasad se prati kakvoća mineralnih voda ovisno o tome u koje se svrhe upotrebljava. Flaširane mineralne vode prate se prema kriterijima Pravilnika o prirodnim mineralnim, prirodnim izvorskim i stolnim vodama (NN 48/15), a kakvoća vode za balneološke svrhe se prati prema Pravilniku o sanitarno-tehničkim i higijenskim uvjetima bazenskih kupališta te o zdravstvenoj ispravnosti bazenskih voda (NN 107/12, 88/14).

KLJUČNE RIJEČI: geotermalne vode, mineralne vode, Plan upravljanja vodnim područjima

APPROACH TO GEOTHERMAL AND MINERAL WATER MANAGEMENT IN THE REPUBLIC OF CROATIA

ABSTRACT: There are numerous springs of geothermal water in the territory of the Republic of Croatia, whereas mineral springs are much less common. The majority of geothermal springs and numerous geothermal and mineral wells are located in the Pannonian part of Croatia, unlike in the karst areas where there are only several sources. According to the recently valid regulations, the management of mineral and geothermal waters was regulated by the mining regulations under the competence of the ministry responsible for economy. In the process of transferring the obligations under the EU water legislation for the management of mineral and geothermal water, the Ministry of Environmental Protection and Energy has acquired these competences. Therefore, the newly adopted Law on Amendments to the Water Act (OG 46/18) included geothermal and mineral water as well. By 2017, the majority of existing geothermal and mineral water research data were owned by the oil company Ina d.d., which had a concession for their research and use. For the next planning period, Hrvatske vode is preparing a series of activities that will be included in the Action Plan on Geothermal and Mineral Waters. The Action Plan will contain planning activities, such as gathering the results of previous research, data transfer, analysis and processing as well as adaptation for the River Basin Management Plan 2021-2027. Compared to aquifers used for water supply, geothermal and mineral aquifers are located at higher depths. On the one hand, this ensures their lower natural vulnerability, which manifests itself in good water quality without anthropogenic influence. On the other hand, it impedes research and makes it more expensive, resulting in relatively scarce insights into hydrogeological features of these aquifers. The Regulation on Amendments to the Regulation on Water Quality Standards (OG 80/18) provides the definition of good quantity status of mineral and geothermal water. The criteria for the quantity status assessment are based on data on the use of these waters for energy needs, within which the quantity and temperature of the abstracted waters are monitored. Due to the constancy of the quality of these waters, it is necessary to monitor the chemical status of water but over longer time periods, as these changes are considerably slower. At present, mineral water quality is monitored depending on its uses. Bottled mineral water is monitored according to the criteria of the Ordinance on Natural Mineral, Natural Spring and Table Waters (OG 48/15), while the water quality for balneological purposes is monitored under the Ordinance on sanitary-technical and hygienic conditions of swimming pools and on the safety of swimming-pool waters (OG 107/12, 88/14).

KEYWORDS: geothermal water, mineral water, River Basin Management Plan

1. UVOD

Geotermalne i mineralne vode se razlikuju od ostalih podzemnih voda prema količini otopljenih minerala i temperaturi. Njihova pojava uvjetovana je posebnim prirodnim značajkama sredine u kojoj se nalaze i iz kojih potječu. Na području Republike Hrvatske

postoje brojna izvorišta geotermalnih voda, dok su izvorišta mineralnih voda puno rjeđa. Po geološkoj građi ističu se dva bitno različita područja koja se razlikuju i po vrijednostima geotermijskog gradijenta i gustoći toplinskog toka: Dinaridi s vrlo malim brojem pojava mineralnih voda i područje Panonskog bazena sa znatno većim brojem pojava mineraliziranih voda različita kemijskog sastava i temperatura. Na području Panonskog bazena geotermalna se voda uglavnom koristi s izvora i iz plitkih bušotina, a rijetko iz dubokih bušotina, dok su pojave u Dinaridima vrlo rijetke. Usprkos relativno velikom potencijalu, iskorištavanje geotermalnih voda većinom je na niskoj razini, uglavnom za rekreacijske i balneološke svrhe.

Geotermalne i mineralne vode ubrajaju se u obnovljivo i ekološko prirodno bogatstvo koje se na području RH koristi od davnina. U prvo vrijeme termalne vode su se koristile u svrhu zaštite od hladnoće, a tek kasnije su ljudi shvatili da se mogu koristiti za liječenje i u druge namjene. U rimsko doba neke su naše toplice zbog ljekovitosti, pogodne temperature vode te geografskog položaja i drugih osobitosti doživjele snažan procvat. Najpoznatije među njima bile su: Varaždinske, Daruvarske, Krapinske toplice i Topusko. Od Rimljana pa do danas nije se bitno izmijenio oblik korištenja geotermalnih voda. Najčešće se koriste za kupanje, liječenje i rekreaciju, a samo mjestimično za vodoopskrbu te punionice prirodne izvorske vode. Tehnološki zahtjevniji načini korištenja geotermalnih voda primjenjuju se u manjoj mjeri (geotermalna polja Zagreb, Stubičke Toplice, Bizovac te odnedavno Velika Ciglena).

U razdoblju od kraja 19. i početka 20. stoljeća najveći napredak je postignut u korištenju geotermalnih voda u balneološke svrhe. U tom razdoblju razvile su se Varaždinske, Stubičke, Krapinske, Tuheljske, Daruvarske, Istarske, Sutinske i Splitske toplice, Topusko, Lešće, Lipik, Mokošica i dr. Zbog napretka medicinske znanosti i tehnologije, danas se više ne koriste toliko za liječenje raznih bolesti, koliko za medicinsko-terapijsko liječenje i rekreacijski turizam.

Neki geotermalni izvori su presušili, kao npr. Jagunićeve toplice i Harina Zlaka. Geotermalni izvori u Harinoj Zlaci presušili su kada su na slovenskoj strani, uz rijeku Sutlu napravljane Atomske toplice. Slična situacija bila je i sa Šemničkim toplicama gdje su izvori presušili zbog eksploatacije kamena u obližnjem kamenolomu, da bi se kasnije ponovo pojavili.

Krajem 20. stoljeća geotermalne vode su počele pobuđivati interes kao izvor čiste, obnovljive i jeftine energije. Kako je geotermalna voda najefikasniji medij za prenošenje geotermalne energije iz dubine na površinu, to joj je posvećena posebna pažnja pa su od 1980. počela sustavnija istraživanja. To je novi oblik energije, jeftin i obnovljiv, koji za razliku od drugih energenata ne zagađuje okoliš. S obzirom na to da Hrvatska oskudijeva svim konvencionalnim energentima, u budućnosti se mora posvetiti obnovljivim izvorima energije među kojima geotermalna energija zauzima važno mjesto.

Usporedo s geotermalnom vodom započelo je korištenje ljekovitog mulja koji ima čak i jača balneoterapijska svojstva od vode. Tuheljsko peloidno blato ubraja se u najljekovitija blata u našoj zemlji.

Krajem 19. i početkom 20. stoljeća za piće su korištene Apatovačka, Jamnička i Lasinjska kiselica te geotermalna i mineralna voda iz Lipika. Nešto kasnije bilježi se početak iskorištavanja ljekovite jodne vode iz bušotina u Sisku i Vučkovcu. Za vodoopskrbu Križevaca i okolnih sela upotrebljava se geotermalna voda iz Vratna na Kalniku, a i

građani Krapinskih Toplica također svoju geotermalnu vodu koriste kao vodu za piće. Na području sjeverne Hrvatske ima još puno neiskorištenih geotermalnih izvora čija voda, između ostalog, nakon hlađenja može poslužiti i za piće.

2. GEOTERMALNE I MINERALNE VODE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Na temelju brojnih geoloških, hidrogeoloških i geokemijskih istraživanja dokazano je da su sve geotermalne i mineralne vode, koje se pojavljuju na prirodnim izvorima na području Republike Hrvatske, meteorskog porijekla (Pilar, 1884; Miholić, 1940, 1952, 1959; Horvatinčić et al., 1991, 1996; Marković i Kovačić, 2006; Biltuh et al., 2009; Polančec, 2011; Kapelj et al., 2014; Marković et al., 2015). Obnavljanje podzemne vode odvija se na mjestima izbijanja propusnih naslaga na površini terena. Primjerice, na području Panonskog bazena gdje su vodonosnici većinom izgrađeni od karbonatnih stijena trijasko starosti, obnavljanje podzemne vode se odvija u gorskim predjelima sjeverne Hrvatske – na mjestima gdje na površinu izbijaju okršeni trijaski dolomiti i vapnenci te gornjobadske vapnenačke naslage koje su u kontaktu s trijaskim karbonatima.

Osim trijaskih karbonatnih stijena, na području Panonskog bazena vodonosnike geotermalnih i mineralnih voda čine naslage temeljnog gorja, eruptivi i miocenski klastiti. U situacijama gdje se geotermalna voda nalazi na velikim dubinama u zatvorenim vodonosnicima, npr. geotermalni vodonosnici koji su otkriveni zahvaljujući istraživanjima nafte i plina, obnavljanje podzemne vode nema ili je ograničeno na vrlo male količine. Održiva eksploatacija geotermalne vode moguća je u takvim okolnostima pod pretpostavkom reinjektiranja vode u geotermalni vodonosnik.

Na području Dinarida, koji su bitno siromašniji geotermalnim i mineralnim izvorima, glavni vodonosnici su paleogenski i kredni vapnenci koji su uloženi u fliš. Važno je da se geotermalni vodonosnici izmjenjuju s nepropusnim stijenama čime se sprječava miješanje termalnih i hladnih voda.

Podzemne vode kreću se po ukliještenim i boranim vodonosnicima, a zagrijavanje se odvija u dnu potolina, tektonskih graba ili u dubokim sinklinalama, gdje je zbog blizine plohe Mohorovičićevog diskontinuiteta temperatura visoka. U povoljnim hidrogeološkim i strukturno-tektonskim okolnostima omogućeno je pojavljivanje termalne vode na površini terena u vidu izvora. Svi važniji geotermalni izvori u panonskom dijelu Hrvatske izbijaju iz tjemenskih dijelova antiklinala koji su presječeni poprečnim rasjedima. Na putu prema izvoru termalna voda zagrijava okolne stijene i na taj se način hladi, tako da temperatura vode na izvoru ovisi o dužini uzlaznog puta i o eventualnom miješanju s hladnom vodom. Zbog toga je voda iz bušotinskih zahvata, gdje brže i bez hladnih pritoka stiže na površinu, u pravilu znatno toplija od prirodnih izvora.

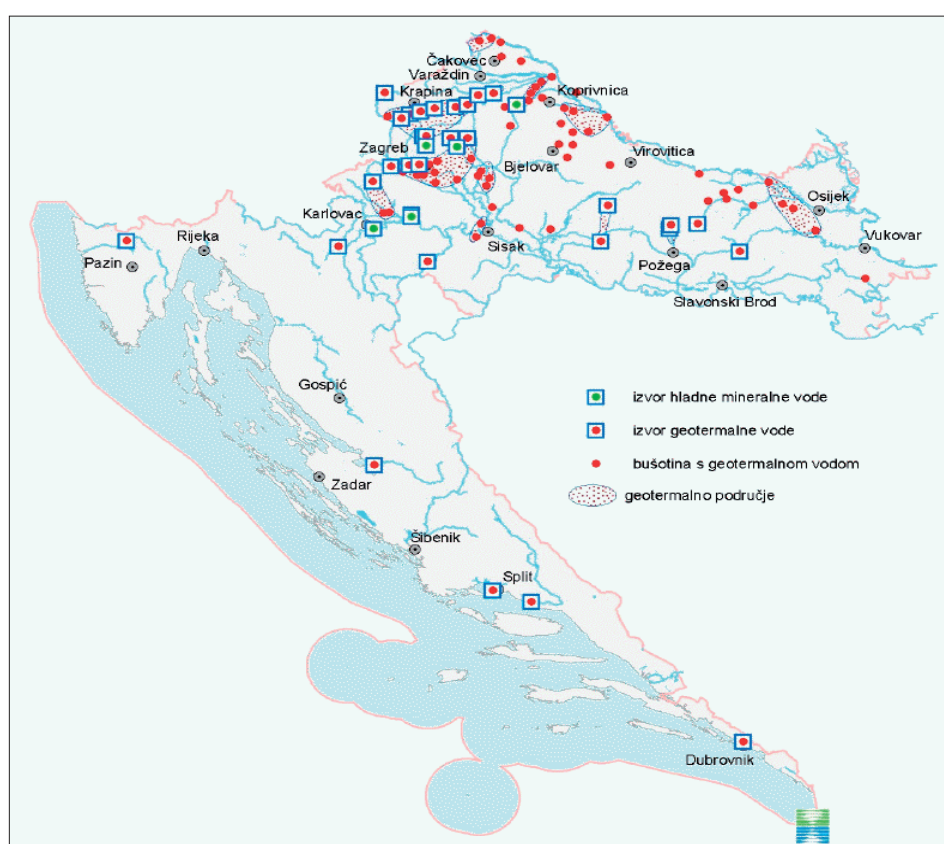
Sustavno mjerene starosti termalnih voda nije rađeno, ali ipak analize za većinu toplica pokazuju da njihove vode spadaju u „mlađe“ fosilne vode jer im se starost kreće od 10.000 – 35.000 godina (Šimunić, 2008). Zbog slabe mineralizacije većina tih voda se može nakon iskorištavanja toplinske energije koristiti i za piće. Najbolji primjeri su grad Križevci i Krapinske Toplice čiji građani već dugi niz godina piju ohlađenu geotermalnu vodu.

U panonskom dijelu Hrvatske postoje i „stare“ fosilne geotermalne, mineralne vode koje su otkrivene zahvaljujući istraživanjima ležišta nafte i plina. Zbog toga se sporadično uz naftna polja razvijaju toplice ili rekreacijski centri koji svoju djelatnost baziraju na

velikoj izdašnosti i dobrim balneološkim svojstvima tih voda (Bizovačke toplice, Sisak i Vučkovec).

Izvori mineralne vode nalaze se u području savskog sliva: Apatovac, Lipik, Glavnica Donja, Slani potok (Medvednica), Kamensko (kraj Karlovca), Jamnica i Lasinja. Hladna mineralna voda iskorištava se na lokalitetima Jamnica u Pokuplju, Apatovac na Kalniku i u Lipiku, gdje se puni u boce i prodaje kao prirodna mineralna voda.

Zbog vrlo dobre kakvoće geotermalnih voda i sve većeg rizika od onečišćenja i lokalnog nedostatka izvora slatkih voda, ohlađena geotermalna voda sve će se više koristiti za piće, kao što je već navedeno u Lipiku, Sv. Jani, Križevcima, Krapinskim Toplicama, Topličici kod Gotalovca i dr.



Slika 1. Lokacije zahvata geotermalnih i mineralnih voda
(Strategija upravljanja vodama)

Prema evidenciji zahvaćenih količina iz 2017. godine za korištenje geotermalnih i mineralnih voda na temelju izdanih 17 koncesija, u navedenoj godini zahvaćeno je oko 1,3 milijuna m³.

Prema Strategiji upravljanja vodama (NN 91/08) na prostoru Hrvatske definirano je petnaest geotermalnih područja:

- Na dravskom slivu to su: Vučkovec, Varaždinske Toplice, Kutnjak - Luljkovec, Hlebine- Molve - Dravka, Istočna Slavonija-sliv Drave,
- Na savskom slivu to su: Hrvatsko zagorje, Zagrebačko geotermalno područje, Ivanićgradsko geotermalno područje, Daruvarsko-lipičko geotermalno područje, Velika, Žumberak i Karlovačka depresija, Sisačko-petrinjsko geotermalno područje, Lešće i Topusko,
- Na području primorsko-istarskih slivova nalazi se Istarsko geotermalno područje.

2.1. Geotermalne vode koje se koriste za balneoterapijske i/ili sportsko-rekreativne svrhe na području Republike Hrvatske

Najpoznatije izvorišta geotermalne vode koja se primarno koristi za balneološke i/ili rekreacijske svrhe su: Bizovačke, Daruvarske toplice, Istarske toplice, Jezerčica, Krapinske toplice, Lešće, Lipik, Sisak, Splitske toplice, Stubičke toplice, Sutinske toplice, Sv. Helena, Sv. Ivan Zelina, Toplice kod sv. Jane, Topusko, Tuheljske toplice, Varaždinske toplice, Velika i Vučkovec.



Slika 2. Lokacije toplica i rekreacijskih centara, izvora geotermalne i mineralne vode i geotermalnih voda iz bušotina (Geotermalne i mineralne vode Republike Hrvatske, Antun Šimunić, 2008)

U daljnjem tekstu dan je opis osnovnih karakteristika najpoznatijih toplica na području Republike Hrvatske, a većinom se temelji na rezultatima istraživanja koje objedinjuje Šimunić (2008) u monografiji geotermalnih i mineralnih voda RH.

1. Bizovačke toplice

Bizovačke toplice nalaze se u blizini Osijeka, na jugoistočnom dijelu izdignute strukture „Bizovac“. Geotermalna voda je akumulirana u raspucanom gnajsu temeljnog gorja i polimiktnim brečama nedeterminirane starosti i crpi se iz dubine između 1768 i 1841 m. Temperatura na ušću bušotine je 96,8 °C s mineralizacijom od 25,29 g/l. Voda iz ovog vodonosnika ima vrlo povoljna balneološka svojstva što je bio temelj razvoja danas već afirmiranih Bizovačkih toplica. Voda je hipertermalna te visoko mineralizirana, a koristi se za liječenje i rehabilitaciju. Prema balneološkoj klasifikaciji voda spada u grupu slanih jodnih hipertermi. Osim u balneološke svrhe voda se koristi i u energetske svrhe sniženjem temperature do 43 °C. Osim toga, iskorištava se i plin izdvojen iz vode.

2. Daruvarske toplice

Daruvarske toplice smještene su u dolini rijeke Toplice koja je smještena između zapadne padine Papuka i Ilovske depresije. Pojava geotermalne vode uvjetovana je geološkom građom i tektonskim odnosima tog područja. U bližoj okolini termalnih izvora nalaze se sedimenti gornjeg trijasa, badena, sarmata, panona i kvartara. Termalna voda, temperature 46,6 °C izbija iz trijaskih vapnenaca i dolomita koji se nalaze ispod 6-13 m debelog riječnog nanosa. Prema svom osnovnom ionskom sastavu pripada CaMg-HCO₃ tipu voda. Prihranjivanje vodonosnika ostvaruje se infiltracijom padalina na padinama Papuka gdje se trijaskie karbonatne stijene nalaze na površini. Na temelju kemijskih analiza termalne vode iz Daruvara zaključuje se da one spadaju u skupinu vadoznih voda (Šimunić A., 2008.) te da imaju slično porijeklo kao i sve geotermalne vode koje se pojavljuju na izvorima u sjevernom dijelu Hrvatske.

3. Istarske toplice

Pojava geotermalne vode u Istarskim toplicama povezana je uz strukturu dubokog listričnog rasjeda duž kojeg su naslage krede vertikalno izdignute za približno 700 m te su u površinskom kontaktu s naslagama eocenskog fliša. Na tom tektonskom kontaktu nalazi se izvor termalne, sumporne i radioaktivne vode čije korištenje u ljekovite svrhe danas čine Istarske toplice modernim terapijskim centrom.

4. Jezerčica

Termalna voda izvorišta Jezerčica u Donjoj Stubici ima temperaturu od 38 °C i pripada CaMg-HCO₃ tipu voda, odnosno hidrokemijskom facijesu. Geotermalna voda je prvotno izvirala u prirodnom bazenu, a sada se crpi iz zdenca. Primarni vodonosnik je izgrađen od trijaskih karbonatnih naslaga, a sekundarni od karbonatnih naslaga badenske starosti. Izvori se nalaze u vru izdignute antiklinalne strukture koja je presječena uzdužnim i poprečnim rasjedom.

5. Krapinske Toplice

Termalna voda u Krapinskim Toplicama izvire iz tri jača i nekoliko slabijih izvora koji su poredani u nizu duž Topličkog potoka. Prema rezultatima starijih istraživanja ukupna izdašnost izvora iznosila je oko 80 l/s, a temperatura vode 39-40 °C. Recentnim mjerenjima utvrđena je ukupna izdašnost izvorišta od 48 L/s i temperaturni raspon između 40 i 42

°C (Larva et al., 2018.). Izvori su smješteni na tjemenu poremećene antiklinale koju izgrađuju stijene gornjeg badena, sarmata, panona i ponta. Jezgru antiklinale čine trijaski dolomiti – primarni vodonosnici geotermalne vode, te donjotrijaski i paleozojski klastiti. Hidrokemijska obilježja termalnih voda Krapinskih Toplica posljedica su mineraloško–petrografskog sastava stijena koje izgrađuju termalni vodonosnik. Izvorske vode prema svom osnovnom ionskom sastavu pripadaju CaMg-HCO₃ tipu voda.

U blizini izvorišta izvedena je 1986. godine istraživačko-eksploatacijska bušotina KRT-1. Temperatura zahvaćene vode iznosila je 45 °C. Pokusnim crpljenjem utvrđen je utjecaj crpljenja na režim istjecanja termalne vode na izvorištu. Bušotina nije privedena eksploataciji.

6. Stubičke Toplice

Stubičke Toplice spadaju među najveća i najpoznatija zdravstveno-turistička središta u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Razlog tome su velike količine geotermalne vode čija je temperatura najviša u sjeverozapadnoj Hrvatskoj - na izvorima iznosi 30-49,8 °C, a u bušotini do 65 °C. Imaju dugogodišnju tradiciju u liječenju reumatskih tegoba, velik broj bazena i blizu su Zagrebu. Bližu okolicu Stubičkih Toplica izgrađuju miocenski klastično-karbonatni sedimenti te aluvijalni i prolivijalno-deluvijalan nanos. Bušenjem su u njihovoj podlozi ustanovljeni srednjotrijaski dolomiti – vodonosnici geotermalne vode te donjotrijaski klastiti. Geotermalna voda je izvivala iz dva veća i nekoliko manjih izvora, koji su presahnuili nakon izgradnje zdenca. Prema osnovnom ionskom sastavu voda pripada CaMg-HCO₃ hidrokemijskom facijesu, a porijeklo joj je vadozno. Pretpostavlja se da se nakuplja na južnim padinama planinskog niza Ivanščica-Strahinščica, a zagrijava se na dnu Konjščinske sinklinale.

7. Topusko

Geotermalni izvori u Topuskom spadaju među najduže iskorištavane izvore u Hrvatskoj. Nalazi rimskih spomenika pokazuju da su ih koristili već stari Rimljani. Područje u bližjoj okolini Topuskog izrađuju kredni klastiti s vulkanitima, gornjomiocenski klastični i karbonatni sedimenti te pliokvartarne i holocenske naslage. Osim navedenih površinskih stijena, u dubini su nabušeni i sivi dolomiti trijasko starosti, koji su glavni vodonosnici geotermalne vode. U Topuskom postoje tri izvorišta s nekoliko većih i manjih geotermalnih izvora. Temperatura vode varira od 49-55 °C, a bušenjem je dobivena voda od 65 °C. Ukupna izdašnost izvora iznosi oko 25 l/s. Prema svom osnovnom ionskom sastavu geotermalna voda pripada CaMgNa-HCO₃SO₄ tipu voda. U blizini ovih geotermalnih voda još uvijek se dozvoljava izgradnja stambenih objekata bez kanalizacije, što predstavlja rizik od onečišćenja vode na izvorištu.

8. Tuheljske Toplice

Geotermalni izvori u Tuheljskim Toplicama pripadaju najizdašnijim izvorima Hrvatskog zagorja, ali usprkos velikim količinama vode oni su dugo vremena bili manje poznati i slabije korišteni od ostalih izvora na tom području. Geotermalna voda izvire iz gornjobadenskih vapnenaca, u čijoj podini se nalaze trijasko karbonatne stijene – glavni vodonosnici geotermalne vode. Pojava izvora uvjetovana je specifičnom geološkom građom bliže okolice Tuheljskih toplica. U tektonskom smislu istraživano područje sastoji se iz jedne bore koja je ispresijecana brojnim rasjedima. Niz od četiri izvora smješten je na sjecištu antiklinale i poprečnog rasjeda. Izvorske vode prema svom osnovnom ionskom

sastavu pripadaju CaMg- HCO₃ tipu voda.

Na području izvorišta nalazi se i bušotina S-6 koja je izbušena 1971. godine. Izbušena je do dubine od 150 m, a dotjecanje termalne vode temperature od 30,1 °C zabilježeno je u intervalu od 13,7 do 53 m. Dotok vode se s dubinom povećavao i kretao se u intervalu od 0,3 do 5,5 L/s.

Osamdesetih godina prošlog stoljeća izvedena je istražna bušotina Tuheljka-1, koja se nalazi oko 700 m sjevernije od izvorišta. Ukupna dubina bušotine je 706 m, a na dubini od 674 m zabilježena je pojava termalne vode čija je temperatura bila 41°C. Zbog zanemarivo više temperature termalne vode u bušotini od one na izvorištu radovi su prekinuti, a bušotina je likvidirana.

Recentnim mjerenjima procijenjena je ukupna izdašnost izvorišta od 70 L/s i temperaturni raspon između 29,5 i 33,1 °C (Marković i Larva, 2018).

9. Varaždinske Toplice

Varaždinske toplice spadaju među najpoznatije, najduže korištene i najveće toplice u Hrvatskoj. Tu prednost im donosi velika izdašnost (45-50 l/s) i visoka temperatura (56,5-57,5°C) glavnog geotermalnog izvora te dobar geografski položaj. Prema arheološkim podacima geotermalni izvori korišteni su od gornjeg pleistocena do danas. Osnova navedenih pogodnosti je geološka građa i specifičan tektonski sklop njihove šire okolice. Geotermalni izvori se nalaze na tjemenu antiklinale koja je presječena poprečnim i uzdužnim rasjedima. Termalna voda izbija iz brečastih, trijaskih dolomita – primarnih vodonosnika koji su prekriveni egerskim klastitima. Prema svom osnovnom ionskom sastavu geotermalna voda pripada NaCaMg-HCO₃SO₄ tipu voda. Visoke koncentracije plina H₂S u termalnoj vodi vjerojatno potječu iz smeđeg ugljena. Naime, velike količine ugljena poznate su na području Ivanščice i Kalničkog gorja, gdje su odložene uz granicu trijaskih dolomita i egerskih klastita. Voda u podzemlju struji po okršnim vapnenačkim dolomitima koji su ukliješteni između donjotrijaskih i neogenskih klastita. Na velikoj dubini voda se zagrijava i mineralizira, te izbija na površinu u tjemenu tektonski razlomljene antiklinale.

2.2. Mineralne vode u Republici Hrvatskoj

Prema Popisu prirodnih mineralnih voda i prirodnih izvorskih voda priznatih u Republici Hrvatskoj (NN 19/18) koje Ministarstvo poljoprivrede dostavlja Europskoj komisiji, navedeni su nazivi i mjesta korištenja samo prirodnih mineralnih voda (tablica 1).

Tablica 1. Prirodne mineralne vode

PRIRODNE MINERALNE VODE		
TRGOVAČKI NAZIV PROIZVODA	NAZIV IZVORA	MJESTO KORIŠTENJA IZVORA
JAMNICA	Janino vrelo	Pisarovina, lokalitet Jamnička kiselica
JANA	Sveta Jana	Gorica Svetojanska
KALNIČKA	Kalnička	Apatovec
LIPičKI STUDENAC GROFOVA VRELA	Antunovo vrelo	Lipik

Dvije najpoznatije mineralne vode u Republici Hrvatskoj su Kalnička – Apatovačka kiselica i Jamnička kiselica.

Kalnička – Apatovačka kiselica

U jarku, zapadno od crkve u Apatovcu izvirala je mineralna voda zvana „Apatovačka kiselica“ a danas poznata kao Kalnička. To je jedan od najranije otkrivenih mineralnih izvora u Hrvatskoj, čija se voda prodavala pod nazivom „Apatovačka kiselica“. Danas je uz nekadašnji mineralni izvor napravljena velika punionica koja osim mineralne puni i slatku vodu. Izvor se nalazi u zdrobljenom bazaltu, a kasnije je u istoj stijeni iskopan prvi zdenac, te izbušene i brojne bušotine. Prema svom osnovnom ionskom sastavu mineralna voda pripada NaCa-HCO₃ tipu voda. Porijeklo vode je dvojako. Jedan dio vode je atmosferskog porijekla koji se nakuplja i mineralizira u kalničkim dijabazima i bazaltima, a drugi je tzv. „petrolejska“ voda koja migrira po egerskim klastitima iz Dravske potoline (Šimunić, 2008). Prema tome se u razlomljenim magmatskim stijenama kod Apatovca miješaju vode različitog porijekla i obogaćuju plinovima (pretežito CO₂). Pretpostavlja se da plinovi probijaju iz dubine, uz rasjednu plohu, ali bi jedan njihov dio mogao potjecati i od naftnih voda iz Dravske potoline. Temperatura u izvoru iznosila je 11,3 -12,2 °C što pokazuje da najveći dio vode ne izvire iz velike dubine.

Jamnička kiselica

Izvori mineralne vode u Jamnici i Lasinji smješteni su na jugoistočnom rubu depresije Crne Mlake. Međusobno su odvojeni rijekom Kupom, tako da se na lijevoj obali nalazi „Jamnička“, a na desnoj manje poznata „Lasinjska kiselica“. Izvori su vezani uz stijene magmatsko-sedimentne formacije i duboke rasjede koji dreniraju vodu prema površini. Jamnička kiselica korištena je za ljekovite kupke i kao pitka kiselica, dok je Lasinjska kiselica upotrebljavana samo za piće. Danas se Jamnička kiselica upotrebljava u velikim količinama, ali samo za piće, dok se Lasinjska kiselica prestala koristiti. Prema svom osnovnom ionskom sastavu vode Jamnice i Lasinje pripadaju NaCa-HCO₃ tipu voda. Karakterizira ih povećan sadržaj slobodnog CO₂ zbog čega se one bitno razlikuju od okolnih površinskih voda. Temperatura vode iznosi oko 15 °C. Bile su uvrštene u niskotemperaturne geotermalne i mineralne fosilne vode. Ipak, dugotrajnost izviranja i eksploatacije kao i 150 godišnja nepromjenjivost kemijskog sastava svjedoče u prilog činjenici da mineralne vode Jamnice i Lasinje nisu postvulkanskog niti fosilnog porijekla, već spadaju u obnovljive vadozne vode. Pojava plinova, pretežito CO₂ najvjerojatnije je uzrokovana silicifikacijom karbonata koja se odvija na velikim dubinama. Njihov izlazak na površinu omogućuju duboki rasjedi, a miješanje s mineralnom vodom odvija se u zdrobljenim vulkanitima. Velik dio mineralne vode ne izbija na površinu već se zadržava u kvartarnom, pjeskovito-šljunčanom horizontu u koji se drenira i voda iz rijeke Kupe. U njemu se nalazi „miješana“ voda koja je zbog piezometarske razine i nepropusne krovine pod pritiskom.

3. PRITISCI NA GEOTERMALNE I MINERALNE VODE I NJIHOVA ZAŠTITA

Zaštita geotermalnih voda ozbiljno je promišljena još koncem 19. stoljeća. Na zahtjev tadašnjih vlasnika toplica i mineralnih izvora Hrvatski državni sabor je 1885. godine donio zakonsku odredbu kojom se provodi „Zaštita ljekovite i mineralne kupelji od

bilo kakove vrste vrtanja, kopanja ili gradnje“. Postojeće spoznaje o geotermalnim i mineralnim vodama ukazuju na to da nije dovoljna samo zaštita izvorišta, već se mora provesti i kompletna zaštita vodonosnika na površini terena, preko podzemnih tokova do izvora. Potencijalnu opasnost, pored ostalog, predstavljaju aktivnosti vezane uz šumarstvo te eksploataciju mineralnih sirovina. Najznačajniji vodonosnici Panonskog bazena su trijaski dolomiti koji u gorskim masivima sjeverne Hrvatske često izbijaju na površinu terena. To su mjesta na kojima se ostvaruje obnavljanje podzemne vode infiltracijom padalina u vodonosnicima slatke i geotermalne, odnosno mineralne vode. Trijaski karbonatni stijene su ujedno i sirovina koja se eksploatira u mnogobrojnim kamenolomima. Nije rijetkost da su uslijed miniranja registrirane promjene izdašnosti pojedinih izvora, npr. na izvorištu termalne vode u Sutinskim toplicama. Postoji i drastičniji primjer u Šemničkim toplicama, gdje je uslijed miniranja izvorište presušilo da bi se nakon nekog vremena termalna voda ponovno pojavila, ali na dva nova izvora. U tom bi smislu preventivno djelovanje u vidu ograničavanja, ili u određenim situacijama i zabrane masovnih miniranja predstavljalo nužnu mjeru s ciljem zaštite količinskog stanja geotermalnih i mineralnih izvorišta.

Uslijed dugogodišnjeg zadržavanja termalne vode u podzemlju i otapanja karbonatnih stijena u vodonosnicima mogu se razviti krški fenomeni poput šupljina, kanala i spilja. Stoga je važno da se na izvorištu ili u njegovoj blizini ne grade veliki i masivni objekti.

U posljednje vrijeme termalnim i mineralnim vodama sjeverne Hrvatske prijeti opasnost od korištenja negativnih naftnih bušotina za odlaganje tehnološkog otpada iz naftne industrije koji se utiskuje u duboke geološke formacije. To ne bi predstavljalo problem kada bi se on odlagao u naftonosne i plinonosne stijene iscrpljenih ležišta, no to najčešće nije tako. Situacija može postati još gora s utiskivanjem i spremanjem niskog i srednje radioaktivnog otpada u negativne naftne bušotine.

Osmišljavanju i provedbi integralne zaštite podzemnih voda, čiji segment su termalne i mineralne vode - još uvijek nedovoljno valorizirano prirodno bogatstvo, mora se pristupiti odmah. To je jedino moguće ako se poštuje postojeća i uspostavi nova zakonska regulativa, što jedino mogu provesti, a po potrebi i sankcionirati nadležna državna tijela.

4. PRISTUP UPRAVLJANJU GEOTERMALNIM I MINERALNIM VODAMA I ZAKONODAVSTVO U RH

Prema donedavno važećim propisima upravljanje mineralnim i geotermalnim vodama bilo je regulirano propisima o rudarstvu u nadležnosti ministarstva nadležnog za gospodarstvo. U postupku prenošenja obveza EU vodnog zakonodavstva upravljanje mineralnim i geotermalnim vodama prešlo je u nadležnost Ministarstva zaštite okoliša i energetike. Stoga je donijet novi Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o vodama (NN 46/18) koji je obuhvatio i geotermalne i mineralne vode. Većina postojećih podataka o dosadašnjim istraživanjima geotermalnih i mineralnih voda su do 2017. godine bili u vlasništvu naftne kompanije Ine d.d., koja je imala koncesiju za njihovo istraživanje i korištenje. Tijekom 2017. godine svi postojeći podaci prenijeti su u arhivu Agencije za ugljikovodike, koja je prema Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN 52/18) nadležna za praćenje djelatnosti istraživanja i eksploatacije geotermalnih voda u energetske svrhe. Za sljedeće plansko razdoblje, Hrvatske vode pripremaju niz aktivnosti koje će biti obuhvaćene u Akcijskom planu o geotermalnim i mineralnim

vodama. Budući da je riječ o velikoj količini neobrađenih podataka, za njihovu obradu potrebno je duže vremensko razdoblje. Akcijski plan će sadržati planiranje aktivnosti poput prikupljanja rezultata dosadašnjih istraživanja, način prijenosa podatka, analizu i obradu, te prilagodbu za Plan upravljanja vodnim područjima od 2021. - 2027. Ti podaci će biti temelj za delineaciju i karakterizaciju geotermalnih i mineralnih vodnih tijela, klasifikaciju sustava za utvrđivanje stanja pripadajućih vodnih tijela, te naposljetku mjere i osnovu za upravljanje, te podlogu propisima. U odnosu na vodonosnike koji se koriste za vodoopskrbu, geotermalni i mineralni vodonosnici se nalaze na većim dubinama. To s jedne strane osigurava nižu prirodnu ranjivost, što se očituje u dobroj kakvoći vode bez antropogenog utjecaja, ali s druge strane otežava i poskupljuje istraživanja što za posljedicu ima razmjerno oskudne spoznaje o hidrogeološkim značajkama tih vodonosnika. U Uredbi o izmjenama i dopunama uredbe o standardu kakvoće voda (NN 80/18) dana je definicija dobrog količinskog stanja i mineralnih i geotermalnih voda. Kriteriji za ocjenu količinskog stanja napravljeni su na temelju podataka o korištenju navedenih voda za energetske potrebe, gdje se prati količina i temperatura zahvaćene vode. Zbog postojanosti kakvoće ovih voda, uzrokovane niskom prirodnom ranjivošću i nemiješanjem s drugim podzemnim vodama, zaključeno je da je potrebno pratiti kemijsko stanje vode, ali kroz duža razdoblja, jer su promjene znatno sporije u odnosu na većinu slatkih podzemnih voda iz plićih vodonosnika koje se koriste za vodoopskrbu. Do sada se pratila kakvoća mineralnih voda ovisno o tome u koje se svrhe upotrebljava. Flaširane mineralne vode prate se prema kriterijima Pravilnika o prirodnim mineralnim, prirodnim izvorskim i stolnim vodama (NN 48/15), a kakvoća vode za balneološke svrhe se prati prema Pravilniku o sanitarno-tehničkim i higijenskim uvjetima bazenskih kupališta te o zdravstvenoj ispravnosti bazenskih voda (NN 107/12, 88/14). Budući da je dokumentacija o geotermalnim i mineralnim vodama opsežna i specifična za svako područje, potrebno je duže vrijeme za izradu pouzdanog i detaljnog klasifikacijskog sustava za količinsko i kemijsko stanje, te je zato potrebno razraditi prijelazni klasifikacijski sustav koji bi se koristio u međuvremenu.

Kako bi se zaštitile cjelokupne podzemne vode, uključujući geotermalne i mineralne vode, potrebno je kompletno prenijeti Direktivu 2006/118/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 12. prosinca 2006. o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja stanja u hrvatsko zakonodavstvo. Prijelazni klasifikacijski sustav za definiranje kemijskog stanja sadržavao bi standarde kakvoće za podzemne vode, kao i specifične onečišćujuće tvari koje su isključivo antropogenog porijekla. Dakle, nitrati i aktivne tvari u pesticidima, uključujući njihove relevantne metabolite, produkte razgradnje i reakcije, te od specifičnih onečišćujućih tvari arsen, kadmij, olovo, živu, amonij i nitrite, te umjetne sintetičke tvari - sumu trikloretilena i tetrakloretilena. Sulfati, kloridi i ukupni fosfor, te električna vodljivost su u geotermalnim i mineralnim vodama često prirodno povišeni i zato ne ukazuju na antropogeno narušavanje kakvoće voda.

ZAKLJUČAK

Korištenje mineralnih i geotermalnih voda u budućnosti će sve više rasti, sukladno iskustvima korištenja takvih voda u drugim europskim zemljama. Država putem svojih institucija potiče višenamjensko korištenje geotermalnih voda, primjerice za medicinske svrhe, turizam, rekreaciju, grijanje objekata, pripremu tople vode, grijanje staklenika,

uzgoj ribe i drugo. Korištenje mineralnih i geotermalnih voda usklađuje se s njihovim ekološkim i drugim karakteristikama kako bi se osigurala njihova održivost. Budući da iskorištavanje geotermalne energije nije visoko dohodovna djelatnost, a njezinim se korištenjem smanjuje potrošnja fosilnih goriva i onečišćenja okoliša, za razvoj njezinog iskorištavanja potrebno je osigurati poticajne mjere u području gospodarskih djelatnosti (industrija, poljoprivreda, turizam i slično).

Geotermalne i mineralne vode potrebno je adekvatno zaštititi, i to područja nakupljanja, podzemne tokove i izvorišta. Također je važno pratiti količinsko i kemijsko stanje, na temelju standarda koji će ukazati na promjene u kvaliteti i kvantiteti, te promjene trendova s uspostavom nadzornog količinskog i kemijskog monitoringa.

LITERATURA

- [1] Bituh, T., Marović, G., Petrincec, B., Senčar, J. & Franulović, I. (2009): *Natural Radioactivity of 226Ra and 228Ra in Thermal and Mineral Waters in Croatia*. Radiation Protection Dosimetry, 133/2; 119-123
- [2] Horvatinčić, N., Srdoč, D., Krajcar Bronić, I., Pezdič, J., Kapelj, S. & Sliepčević, A. (1996): *A study of geothermal waters in Northwest Croatia and East Slovenia*. Isotopes in water resources management, Vol. 2 IAEA (ed). Vienna: IAEA, 470-474.
- [3] Horvatinčić, N., Srdoč, D., Pezdič, J., Chafetz, H., Sliepčević, A., & Krajcar Bronić, I. (1991): *Determination of the origin of geothermal waters in NW Yugoslavia by isotopic methods* (Abstract). XIV International Radiocarbon Conference, Tucson, AZ, USA, 20.05.1991-24.05.1991, in Radiocarbon, 209.
- [4] Kapelj, S., Dragičević, I., Šepetavec, V. & Penava, L. (2014): *Preliminarna istraživanja geoloških, geokemijskih i izotopnih obilježja geotermalnog vodonosnika Lipika // IV. Balneološki skup "Dr. Ivan Šreter" / Kraml Oto (ur.). Lipik : Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Lipik, 79-91.*
- [5] Larva, O., Marković, T. & Mraz, V. (2018): *Krapinske Toplice – količinsko stanje, kakvoća i zaštita termalne vode*. HGI, Zagreb.
- [6] Marković, S. & Kovačić, M. (2006): *Izvorište geotermalne vode u Stubičkim Toplicama*. Hrvatske vode, 55, 173-181.
- [7] Marković, T. & Larva, O. (2018): *Hidrogeološki elaborat za potrebe izdavanja koncesije za termalno izvorište u Tuheljskim Toplicama*. HGI, Zagreb.
- [8] Marković, T., Borović, S. & Larva, O. (2015): *Geochemical characteristics of thermal waters of Hrvatsko zagorje*. Geologia Croatica 68, 1; 67-77
- [9] Miholić, S. (1940): *Kemijska analiza termalnih voda u Hrvatskom zagorju*. Rad Jugosl. akad. znan. umjet., 267, 195-215.
- [10] Miholić, S. (1952): *Kemijski sastav i svojstva mineralnih voda*. God. balneo. klimat. insti. NR Hrvatske, 1, 7-18.
- [11] Miholić, S. (1959): *Istraživanje termalnih vrela hrvatskog zagorja*. Ljetopis Jugosl. akad. znan. umjet., 63, 326-328.
- [12] Polančec, M. (2011): *Primjena prirodnih hidrogeokemijskih i izotopnih trasera u*

istraživanju geotermalnih vodonosnih sustava. Diplomski rad, Geotehnički fakultet u Varaždinu, Sveučilište u Zagrebu, 56 p

- [13] Pilar, G. (1884): *Report about geological and hydrographical relations in the area of Daruvar spa*. Unknown publisher, Daruvar (in German).
- [14] Šimunić, A. (2008): *Geotermalne i mineralne vode Republike Hrvatske* (Geološka monografija). HGI, Zagreb.
- [15] Popis prirodnih mineralnih voda i prirodnih izvorskih voda priznatih u Republici Hrvatskoj (NN 19/18)
- [16] Strategija upravljanja vodama (NN 91/08)

AUTORI

mr.sc. Daria Čupić, dipl. ing. geol. ^a

mr.sc. Alena Vlašić, dipl. ing. bioteh. ^a

dr. sc. Ozren Larva ^b

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10 000 Zagreb, Hrvatska, alena.vlasic@voda.hr, daria.cupic@voda.hr

^b Hrvatski geološki institut, Ulica Milana Sachsa 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska, Larva, Ozren olarva@hgi-cgs.hr



PERSPECTIVES FOR IMPROVING GROUNDWATER PROTECTION ON ALLUVIAL PLAIN IN SLOVENIA

Miha Curk, Matjaž Glavan, Marina Pintar

ABSTRACT: Krško polje is one of several larger agricultural alluvial plains in Slovenia. Due to high nitrate concentrations, its groundwater status is under threat. Due to favourable natural features, agriculture is very intensive and nitrate leaching from agricultural land is considered the main source of pollution. The water protection measures currently in use, which are based on the EU Water Framework Directive, are obviously not sufficient; therefore, a more wholesome framework is needed. The strictness of measures currently varies depending on water protection zones, i.e. it is based on the proximity to groundwater pumping wells. This distribution, however, is probably not optimal, as leaching is not equally intensive on different soil types and in other natural conditions. The same water protection measures are also not equally efficient on different soil types. As a result of such delineation, some vulnerable areas could be excluded from mitigation strategies whereas some non-vulnerable areas could be put under a water protection regime. In this paper, we will present the analysis of the soil types at the Krško polje alluvial plain, coupled with the analysis of the water protection zones. Our aim is to present their interaction and discuss the perspectives of relieving non-vulnerable areas while only maintaining strict water protection measures in places where they are efficient.

KEYWORDS: Nitrate leaching, alluvial plains, agriculture, water protection measures, groundwater, soil types

PERSPEKTIVE POBOLJŠANJA ZAŠTITE PODZEMNIH VODA NA ALUVIJALNOJ RAVNICI U SLOVENIJI

SAŽETAK: Krško polje je jedna od nekoliko većih poljoprivrednih aluvijalnih ravnica u Sloveniji. Zbog visokih koncentracija dušika stanje podzemnih voda na njemu je u opasnosti. Zbog povoljnih prirodnih karakteristika poljoprivreda je vrlo intenzivna, a ispiranje nitrata s poljoprivrednog zemljišta smatra se glavnim izvorom onečišćenja. Trenutno se primjenjuju mjere zaštite vode prema Okvirnoj direktivi o vodama EU, ali one očigledno nisu dovoljne te je stoga potreban cjelovitiji okvir. Strogost mjera trenutno varira u ovisnosti o zonama sanitarne zaštite i zasniva se na blizini crpilišta podzemne vode. Međutim, ta distribucija vjerojatno nije optimalna jer ispiranje nije jednako intenzivno na različitim vrstama tla i u drugim prirodnim uvjetima, a iste mjere zaštite vode nisu niti jednako učinkovite na različitim vrstama tla. Kao rezultat takve delinacije neka

bi ranjiva područja mogla biti isključena iz strategija ublažavanja dok bi neka neranjiva područja mogla biti stavljena pod režim zaštite vode. U ovom radu prikazat ćemo analizu vrsta tla u aluvijalnoj ravnici Krško polje, zajedno s analizom zona sanitarne zaštite. Naš je cilj prikazati njihovo međudjelovanje i razmotriti perspektive rasterećenja neranjivih zona a provedbu strogih mjera zaštite vode samo ondje gdje su učinkovite.

KLJUČNE RIJEČI: ispiranje nitrata, aluvijalna ravnica, poljoprivreda, mjere zaštite vode, podzemne vode, vrste tla

1. INTRODUCTION

Clean water and food are essential for human existence. Slovenia's big reservoirs of drinking water are located under the surface of large alluvial plains like Krško polje in its south-east (SE). These same plains also have the perfect characteristics for intensive agriculture, which means we end up with a dilemma where to draw a line between the ecosystem services of drinking water and food. In Slovenia, as in many parts of the world where the same dilemma is present, protection of groundwater consists of water protection zones (WPZ) and different protection measures. The strictness of measures currently varies depending on level of WPZ, which are located based on proximity to the groundwater pumping wells. However, as groundwater status in many parts of Slovenia, also in Krško polje plain, is not good enough for European Water framework directive (WFD) standards, and the current strategies are not showing much potential for significant improvement of water status, a shift in water protection strategies towards more local, even farm scale strategies is needed (Van Grinsven et al., 2012; Hashemi et al., 2016, Glavan et al., 2017). There is no information on soil profiles dug in the main plain area, so more information about soil water retention capabilities is needed before more local approaches can be implemented.

Brenčič (2018) also pointed out that spatial extent of Slovenian WPZs is probably not optimal, as leaching is not equally intensive on different soil types and other natural features. WPZs in Slovenia were determined based on point source pollution prevention, and seem inadequate for diffuse pollution sources such as agriculture. As a result of such delineation some vulnerable areas could be excluded from mitigation strategies, but equally some non-vulnerable areas could be put under water protection regime. The aim of this paper is to research the different soil types and land use characteristics of the area in order to discuss the extent of WPZ in Krško polje plain.

2. MATERIALS AND METHODS

Krško polje alluvial plain is located in Southeastern Slovenia, close to its border with Croatia. It covers an area of around 80 km², 67% of which is agricultural land. Elevation differences are minimal – in the main plain area there is less than 20 m difference in altitude. Soils in the area were influenced by river Sava that crosses the plain, which reflects in bedrock consisting of gravel and sand. Drinking water in the area comes from groundwater body of Krška kotlina, with only 60 m average depth (Water bodies of groundwater, 2019), while the groundwater itself can rise as high as only 1.17 m below the surface (Hydrologic monitoring of groundwater..., 2018). According to monitoring done by Agency for environment (ARSO) ground water status in the area is considered at

risk of not reaching environmental standards of WFD. One of pumping stations (Drnovo) was shut down a couple years ago as a result of nitrate contaminated ground water.

Analysis of soil types was done by surveying the area and digging three soil profiles to represent each of the three major soil types in the area. Among others, soil samples to determine soil bulk density and saturated hydraulic conductivity, as well as texture were taken as our main concern was the influence on water (and nitrate) movement through soil. Samples were analysed in a laboratory with common methods. Texture was determined following the pipette method for sedimentation analysis, bulk density by drying and weighting the Kopecky cylinders with samples, and hydraulic conductivity by the use of Darcy's apparatus.

ArcGIS ArcMap software was used to analyse spatial extent of soil types, land use and different WPZs (all spatial data is freely obtainable from state agencies websites http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso and http://rkg.gov.si/GERK/WebViewer/#map_x=500000&map_y=100000&map_sc=1828571).

3. RESULTS AND DISCUSSION

There are two main FAO soil classes on Krško polje plain – Dystric Cambisol and Calcaric Fluvisol. In the national soil map (Vrščaj, 1999), Fluvisol is divided into two areas – closer to river Sava on the first terrace the soil is shallower, while on the second terrace the soil is medium deep to deep. Cambisol is common on the third terrace and covers the most of Krško polje plain area. Representative soil profiles were dug for each of mentioned soil types after surveying the area with a soil auger. At all profiles bedrock – sand and gravel in all cases – was reached. Results are presented in table 1. Soil depth ranged from 65 to 130 cm. Texture varied from sandy and silty loam to loam and clay loam. Hydraulic conductivity classes were low or medium and conductivity of separate horizons ranged from 0.14 to over 100 m/day. Arable soil layers on Fluvisols have a much lower hydraulic conductivity than the arable layer on Cambisol, despite the quite similar texture and bulk density. According to the measurements done on soil samples water would spend a day or even more to travel through Fluvisol soil profiles while only a couple hours to travel through Dystric Cambisol profile that is just half as deep. It is not appropriate to generalize this to a larger area, but it can give us an idea that even a more developed soil like Dystric Cambisol can be just as problematic as the Fluvisols which generally consist of more sandy soil.

GIS analysis is summarized in figure 1. All three soil types are present inside the WPZ around pumping stations Brege and Drnovo, but there is just a small percentage of shallow fluvisol, while the majority of WPZ is on medium deep to deep Fluvisol. Cambisol lies underneath the strictest zone 1 around Drnovo pumping station though, and under zone 3, which is the least protected. It would be appropriate to mention that ground water flows from north-west (NW) of the plain in south-easterly direction, which is why the majority of WPZs cover the area NW of pumping stations. A summary of water protection measures for each of the protective regimes, as well as state-wide limitations is presented in table 2.

Analysis of land use shows that the majority of WPZs (with exception of zone 3, where urban land use is widespread too) are almost entirely agricultural. A comparison of both zones 1 shows us that zone 1 around pumping station Brege lies on Fluvisol soil type and

Table 1. Characteristics of three main soil types on Krško polje.

Soil type	Land use	Horizon	Depth [cm]	Texture	Bulk density [g/100ml]	Hydraulic conductivity (m/day)	Hydraulic conductivity (class)
Fluvisol: shallow	Grassland	A1	0-12	Silty Loam	1.45	0.14	Low
		A2	12-26	Loam	1.42	0.21	Low
		I	26-37	Sandy Loam	1.25	36.03	Medium
		II	37-63	Sandy Loam	1.19	5.59	Low
		V	63-100	Sandy Loam	1.19	4.04	Low
		VI	100-130	Sandy Loam	1.22	21.42	Medium
Fluvisol: deep - medium deep	Arable	Ap	0-30	Loam	1.47	0.36	Low
		A1	30-41	Silty Loam	1.43	8.83	Low
		A2	41-75	Silty Loam	1.35	24.07	Medium
		I	75-95	Sandy Loam	1.24	7.61	Low
		II	95-115	Loam	1.05	2.58	Low
		III	115-130	Sandy Loam	1.33	10.02	Medium
Cambisol	Arable	A	0-30	Loam	1.45	102.19	Medium
		Ap	30-52	Clay Loam	1.51	2.05	Low
		Bv	52-65	Clay Loam	1.34	31.22	Medium

is mostly covered in permanent grassland. Zone 1 around pumping station Drnovo, on the other hand, lies on Cambisol soil type, and the prevalent land use is arable land. We cannot say for sure if these differences were the cause of higher concentrations of nitrate in groundwater under pumping station Drnovo though, as there are also other factors involved.

Table 2. Summary of different water protection regimes in use in Krško polje.

WPZ 1	Soil nutrient analysis and corresponding fertilization plan are obligatory. No fresh manures or slurry, no mineral N, no fertigation, no ploughing of permanent grassland, no storage of manure or sewage sludge, nor use of sewage sludge are allowed.
WPZ 2	Soil nutrient analysis and corresponding fertilization plan are obligatory. No storage of manure or sewage sludge, nor use of sewage sludge is allowed.
WPZ 3	Soil nutrient analysis and corresponding fertilization plan are obligatory. No storage of manure or sewage sludge is allowed, but use of only 1 st quality sewage sludge is acceptable.
State wide	Yearly input of nitrogen should stay under 170 kg/ha. Application of liquid manure is prohibited from November 15 till March 1, with some exceptions. Application of mineral N containing fertilizers is prohibited from Oct. 15th till Mar. 1st. Any fertilization is prohibited on flooded, frozen or snow covered ground regardless of these dates.

Judging by common recommendations in literature, that often favour grassland over arable land for water protection areas (Di and Cameron, 2002), one could assume that changing land use type would be an easy solution, especially based on the results of our soil survey, where the Cambisol seems more prone to quicker water movement and consequently leaching of nitrate. However, during our field work we have also been observing some management characteristics in the area and found that many fields with arable rotations are left fallow through winter, with crop residuals on the surface, and

cover crops are also in use occasionally. In arable fields where we've dug the soil profiles harvest residuals were still on the surface when we've taken the samples. Also, a much more integrated approach is needed if we want to tackle this challenge successfully and in a way that would protect the environment, but on the other hand not disregard the importance of balanced development of agriculture. Research done on another alluvial plain (Dravsko polje) in Slovenia (Glavan et al. 2017) has previously shown the current water protection regime used in WPZ 1 to be sufficient at minimizing the pollution, and authors discouraged the further tightening of limitations. They did, however, point out that there is potential for developing 2nd and 3rd zone, as limitations in them do not differ much from the conventional agricultural practices (sewage sludge is not frequently used for fertilization anyway) while these zones cover most of the WPZ area.

Glavan et al. (2017), as well as other authors (Hashemi et al., 2016), have pointed out that more detailed (even up to 1:5000) soil maps should be used when designating water protection measures. Three soil profiles representing the state-of-the-art soil delineation may be too coarse of a resolution for such purposes, because even though we did survey the area with a soil auger before digging each profile, variations in soil depths and characteristics are certainly present. Borders between different soil types may also vary. Improving the accuracy by digging more profiles would be the best option for smaller areas, but on large plains this would require considerably more funds. Expecting that farmers will pay for costly soil analyses on their land themselves is probably too far-fetched, but we believe that funds could be acquired from the EU under different rural development or water protection schemes if there was enough political will. Such a systematic survey of soil characteristics in vulnerable areas would greatly benefit both environment and agriculture, providing clean natural resources and giving farmers better insight into the medium they work with and potentially saving them money by allowing for a more balanced fertilization. With limited information we currently have, such precise management is not yet possible, but there are other ways of eliminating the uncertainty. Use of computer models like Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (Neitsch in sod., 2011) for assessing movement of water and solids through soils is definitely a more elegant route to take, given their wide use and accuracy (Busch et al., 2004; Hesse et al., 2008; Mispan et al., 2015).

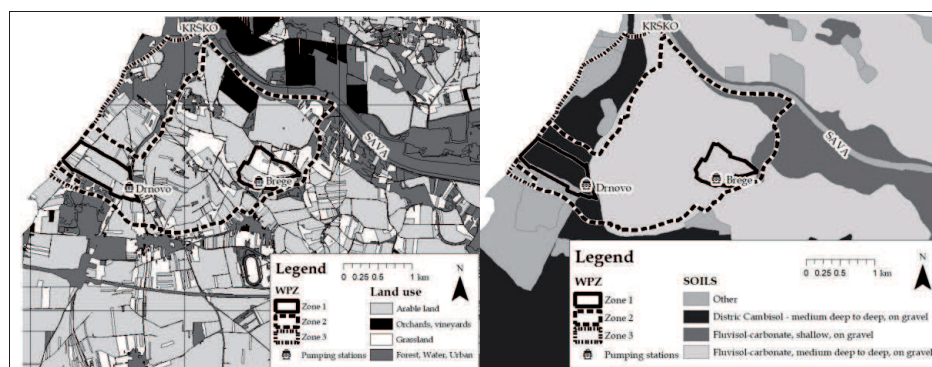


Figure 1. Locations of two main pumping stations with different levels of WPZs on Krško polje. Left map features the main land use types and right map the main soil types.

The next step in our research is to use the already collected data to model water movement and leaching characteristics in the area based on different agricultural production schemes. Using different management and climate scenarios we will be able to get a better understanding of nitrate sources and pathways. Ultimately, we will develop a method for an integrated spatial allocation of water protection measures on Krško polje plain, based on susceptibility of soils for leaching as well as costs connected with different protective measures. With this we hope to find a way to designate the best agrotechnical measure both in its protectiveness and cost effectiveness to each of the soil types in the area. That would be a win-win situation both for agriculture and environment.

CONCLUSION

The study has shown that there are differences in both soil and land use between WPZ 1 around two main drinking water pumping stations in the area – the closed pumping station Drnovo is surrounded by a higher percentage of arable land and is located on a soil with higher hydraulic conductivity. Our research has confirmed what other authors have suggested – that detailed soil maps of vulnerable areas are certainly important for further work. Next step in our research is to use a SWAT model to evaluate nitrate leaching potential of different soil types and management scenarios and develop a method for an integrated spatial allocation of water protection measures based on their environmental and economic efficiency.

REFERENCES

- [1] Brenčič M. (2018): *Vodovarstvena območja – kritični pretres dosedanje prakse pri varovanju virov pitne vode v Sloveniji*. Vodni dnevi 2018. Slovensko društvo za zaščito voda, Portorož, 119–129. Available at: https://drive.google.com/open?id=1Den_hjZkddwdujqg89AadR_YQPk0XgKC.
- [2] Di H. J., Cameron K. C. (2002): *Nitrate leaching in temperate agroecosystems: Sources, factors and mitigating strategies*, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 64(3), 237–256. doi: 10.1023/A:1021471531188.
- [3] Glavan M., Jamšek A., Pintar M. (2017): *Modelling Impact of Adjusted Agricultural Practices on Nitrogen Leaching to Groundwater*, *Water Quality*. Edited by H. Tutu. In Tech, (January), 113–133. doi: 10.5772/66324.
- [4] Van Grinsven H. J. M. et al. (2012): *Management, regulation and environmental impacts of nitrogen fertilization in northwestern Europe under the Nitrates Directive*; A benchmark study, *Biogeosciences*, 9(12), 5143–5160. doi: 10.5194/bg-9-5143-2012.
- [5] Hashemi F. et al. (2016): *Review of scenario analyses to reduce agricultural nitrogen and phosphorus loading to the aquatic environment*, *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 608–626. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.141.
- [6] Mispan M. R. et al. (2015): *Nutrient Transport Modeling : A Review on models capabilities*, *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(9), 908–914.

- [7] Neitsch S., Arnold J. G., Kiniry J., Williams J. et al. (2011): *Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. Texas Water Resources Institute. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.063>
- [8] Busch G., Lübkert B., Alcamo J. (2004): *Future Landscapes: A Review of European scenarios about Land Use and Environment*. European Environmental Agency, Copenhagen.
- [9] Hesse C., Krysanova V., Pazolt J., Hattermann F.F. (2008): *Eco-hydrological modelling in a highly regulated lowland catchment to find measures for improving water quality*. *Ecological Modeling*, 218, 135–148.
- [10] Vrščaj, B. (1999): *Digitalni podatki tal Slovenije*. Zasnova, vsebina in možnosti uporabe Ljubljana, Biotechnical faculty,
- [11] Water bodies of groundwater. Web feature service for spatial data. (2019): ARSO. Available at: http://gis.arso.gov.si/wfs_web/faces/WFSLayersList.jspx (22.2.2019)
- [12] Hydrologic monitoring of groundwater level. Web feature service for spatial data. (2018): ARSO. Available at: http://gis.arso.gov.si/wfs_web/faces/WFSLayersList.jspx (3.11.2018)

AUTORI

Miha Curk, MSc ^a

as. prof.dr.sc. Matjaž Glavan ^a

prof.dr.sc. Marina Pintar ^a

^a Biotechnical faculty, University of Ljubljana; Jamnikarjeva 101, Ljubljana, 1000, Slovenia miha.curk@bf.uni-lj.si, matjaz.glavan@bf.uni-lj.si, marina.pintar@bf.uni-lj.si



R 1.51.

PRIJEDLOG PRIMJENE IMPOSEKSA KOD OCJENE EKOLOŠKOG STANJA PRIOBALNIH VODA JADRANA

**Anita Erdelez, Martina Furdek, Anamaria Štambuk,
Ivan Župan, Melita Peharda**

SAŽETAK: Imposeks, razvoj muških spolnih organa kod ženki prednjoškržnih puževa, najčešće je uzrokovan onečišćenjem mora organokositrovim spojevima iz protuobraštajnih premaza. Visoki stupanj imposeksa može dovesti do sterilnosti ženki i posljedično izumiranja populacije. S gledišta Direktive o vodama i očuvanja raznolikosti i bogatstva bentoske faune, pojava sterilnosti u ženki puževa kao posljedica imposeksa može biti jedan od čimbenika u određivanju granica različitih klasa ekološkog stanja priobalnih voda. Dobro stanje određeno je odsustvom rizika za izumiranje populacije, što, kad je u pitanju imposeks, podrazumijeva barem odsustvo sterilnih ženki. Istraživanja imposeksa na volku *Hexaplex trunculus* na području srednjeg Jadrana provedena 2014. i 2015. godine uz primjenu predloženih graničnih vrijednosti omjera ekološke kakvoće (OEK) pokazuju da na niti jednoj od 19 istraživanih lokacija po biološkom elementu kakvoće koji se temelji na imposeksu nije postignuto stanje priobalnih voda klasificirano kao dobro. Određivanje graničnih vrijednosti OEK-a za bioindikatorske vrste poput volka *H. trunculus* na razini Sredozemlja mogući je sljedeći korak u širem kontekstu korištenja imposeksa kao biomarkera u ocjeni ekološkog stanja priobalnih voda u okviru Direktive o vodama. Prihvatljivi troškovi i jednostavna metodologija istraživanja imposeksa pružaju nove mogućnosti u monitoring programima koji se provode u okviru Direktive o vodama u Jadranu.

KLJUČNE RIJEČI: ekološko stanje priobalnih voda, imposeks, bioindikatorska vrsta, volak *Hexaplex trunculus*, monitoring

PROPOSED APPLICATION OF IMPOSEX IN ECOLOGICAL STATUS ASSESSMENT OF ADRIATIC COASTAL WATERS

ABSTRACT: Imposex, a superimposition of male sex characteristics in female prosobranch gastropods, is most commonly caused by organotins introduced into the marine environment mainly through the application in antifouling coatings. A high degree of imposex may lead to female sterility and, consequently, a population extinction. From the viewpoint of the Water Framework Directive (WFD) that supports the conservation of the diversity and abundance of each population, the appearance of sterility in female

snails as a consequence of imposex can be one of the factors in determining the boundaries of different classes of ecological status in coastal waters. Good status is determined by the absence of risk of a population extinction which, when it comes to imposex, implies at least the absence of sterile females. Investigations of imposex in gastropod *Hexaplex trunculus* in the central Adriatic area conducted in 2014 and 2015 and implementing the proposed Ecological Quality Ratio (EQR) showed that none of the 19 investigated sites achieved good ecological status of the marine environment according to the biological quality element based on imposex. The determination of the EQR values for bioindicators such as *H. trunculus* at the Mediterranean level could be the next step in the broader context of the use of imposex as biomarker in the assessment of the ecological status of coastal waters under the WFD. Eligible costs and a simple methodology of imposex investigations provide new opportunities for monitoring programmes implemented under the WFD in the Adriatic.

KEYWORDS: ecological status of coastal waters, imposex, bioindicator, banded murex *Hexaplex trunculus*, monitoring

1. UVOD

Tijekom sedamdesetih i osamdesetih godina prošlog stoljeća organokositrovi spojevi, prvenstveno tributilkositar (TBT), korišteni su zbog svojih biocidnih svojstava u protuobraštajnim premazima brodova. Premazi s TBT-om imali su trajnost i do 5 godina što je uvelike smanjivalo troškove održavanja brodova i same plovidbe. Široka upotreba ovih premaza smanjena je nakon što je utvrđeno da snažna biocidna svojstva TBT-a imaju negativan učinak na ne ciljane organizme, prvenstveno školjkaše i puževe. Kod kamenica *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) TBT uzrokuje anomalije u rastu, dok se kod mnogih vrsta puževa javlja imposeks. Imposeksom se naziva pojava razvoja muških spolnih organa u ženki prednjoškržnih puževa (Smith, 1971). U visokim stadijima imposeksa dovodi do sterilnosti ženki što za posljedicu može imati izumiranje populacije. S obzirom na rasprostranjenost vrsta koje razvijaju imposeks, radi se o globalnom fenomenu (Tittley-O'Neal i drugi, 2011).

Nakon što je osamdesetih godina prošlog stoljeća prepoznat toksični učinak TBT-a, korištenje organokositrovih spojeva u protuobraštajnim premazima zabranjeno je u mnogim državama svijeta uključivo cijelu Europu (Furdek i drugi, 2012). Organokositrovi spojevi proglašeni su jednim od glavnih onečišćivala u Aneksu VIII Direktive o vodama 2000/60/EC, a TBT jednom od prioriternih tvari u području vodnog gospodarstva (2455/2001/EZ) koju treba pratiti kako bi se ocijenilo kemijsko stanje vodnih tijela. Prisutnost TBT-a u vodama u Republici Hrvatskoj regulirana je propisivanjem standarda kakvoće vodnog okoliša (SKVO) za ocjenu kemijskog stanja voda u vidu prosječne godišnje koncentracije (PGK) i najveće godišnje koncentracije (MGK) tributilkositrovih spojeva kroz Uredbu o standardu kakvoće voda (Narodne novine 73/13, 151/14, 78/15, 61/16 i 80/18). Imajući u vidu da je definirana prosječna godišnja masena koncentracija TBT-a vrlo niska i za priobalne vode iznosi 0,2 ng TBT/l za cijelu Europu, kemijske analize organokositrovih spojeva pri takvim koncentracijama obično je teško provesti čak i kad se radi o najosjetljivijim analitičkim metodama. Kako različite vrste puževa imaju različitu osjetljivost na TBT u smislu pojave imposeksa, niska osjetljivost pojedinih vrsta čini ih dobrim bioindikatorima onečišćenja morskog okoliša TBT-om (Erdelez, 2018). Zbog toga

je imposeks kao biološki odgovor na TBT kod puževa vrijedan alat u procjeni stupnja onečišćenja i utjecaja TBT-a na morski okoliš te je kao takav postao obvezni kriterij unutar OSPAR programa praćenja stanja morskog okoliša sjeveroistočne atlantske obale (OSPAR, 2004).

Budući da imposeks ne predstavlja samo odgovor morskih organizama na onečišćenje TBT-om, već i učinak TBT-a na raznolikost biocenoza, u zadnjih par godina pojavila se ideja o korištenju imposeksa kao jednog od bioloških elemenata kakvoće za potrebe vrednovanja i klasifikacije ekološkog stanja priobalnih voda u programima praćenja stanja voda koje nalaže Direktiva o vodama (npr. WFD-UKTAG, 2014). U ovom radu predstavljena su dosadašnja istraživanja na tu temu i mogućnosti primjene imposeksa kod ocjene ekološkog stanja priobalnih voda Jadrana.

2. IMPOSEKS U KONTEKSTU BIOLOŠKIH ELEMENATA KAKVOĆE PRIOBALNIH VODA

Direktiva o vodama nalaže da zemlje članice moraju težiti postizanju barem dobrog stanja voda, a tamo gdje je stanje voda već sada dobro, treba ga održavati. Konačni cilj Direktive je postići uklanjanje prioriternih opasnih tvari i doprinijeti postizanju koncentracija tvari u morskom okolišu koje su bliske vrijednostima koje se prirodno pojavljuju. Rok za postizanje dobrog stanja (priobalnih) voda bila je 2015. godina.

U Republici Hrvatskoj standard kakvoće voda te elementi za ocjenjivanje stanja voda propisani su Uredbom o standardu kakvoće voda (Narodne novine 73/13, 151/14, 78/15, 61/16 i 80/18). Stanje površinskih voda određuje se na temelju ekološkog i kemijskog stanja voda. Ekološko stanje površinskih voda ocjenjuje se u odnosu na biološke, hidromorfološke i osnovne fizikalno-kemijske i kemijske elemente koji prate biološke elemente. Biološki elementi kakvoće za (površinske) priobalne vode su: fitoplankton, makroalge, morske cvjetnice i makrozoobentos. Za ocjenu ekološkog stanja sukladno Direktivi treba ocijeniti svaki od elemenata biološke kakvoće korištenjem omjera ekološke kakvoće (OEK) kao odnosa između vrijednosti biološkog parametra u određenom vodnom tijelu i vrijednosti za taj parametar u referentnim uvjetima primjenjivim za to vodno tijelo. Ocjena ekološkog stanja temelji se na vrijednostima OEK koje definiraju pet kategorija ekološkog stanja: vrlo dobro ili referentno, dobro, umjereno dobro, loše i vrlo loše. Granične vrijednosti kategorija ekološkog stanja bioloških elemenata kakvoće, izražene kao OEK, propisane su Uredbom za svaku od pet kategorija ekološkog stanja. Omjer ekološke kakvoće kreće se od 0 do 1 pri čemu vrijednost 1 predstavlja referentne uvjete, a vrijednost 0 značajan utjecaj.

Uzimajući u obzir da je osnovna svrha Direktive o vodama očuvanje raznolikosti i bogatstva svake populacije, pojava sterilnosti u ženki puževa kao krajnji stadij razvoja imposeksa može biti jedan od čimbenika u određivanju granica različitih klasa ekološkog stanja vezano uz imposeks. Imposeks se razvija kroz nekoliko stadija i opisuje indeksima imposeksa. Za različite vrste puževa u literaturi su definirane različite klasifikacije stadija imposeksa, a najčešće se radi o 6 do 7 stadija. Niži stadiji predstavljaju početnu pojavu sjemenovoda, dok viši predstavljaju sjemenovod koji je prerastao vaginalni otvor i ponekad doveo do razdjeljivanja kapsularne žlijezde što rezultira sterilitetom ženke. Početne klasifikacije stadija često se s vremenom dopunjavaju budući da se uočavaju podtipovi pojedinih stadija. Na temelju stadija kojima se opisuje razvijenost sjemenovoda

izračunava se indeks VDSI za istraživanu populaciju. Indeks VDSI po definiciji predstavlja srednju vrijednost svih stadija imposeksa u uzorku:

$$VDSI = (\text{suma vrijednosti stadija imposeksa svih ženki}) / (\text{broj ženki u istraživanoj populaciji}) \quad (1)$$

Indeks VDSI koristi se za izračun OEK-a, kad se radi o imposeksu kao mogućem biološkom elementu kakvoće priobalnih voda (WFD-UKTAG, 2014; Laranjeiro i drugi, 2015). Vrijednost OEK izračunava se korištenjem VDSI kako je prikazano u izrazu (2) (WFD-UKTAG, 2014; Laranjeiro i drugi, 2015):

$$OEK = \frac{(M-O)}{M} \quad (2)$$

(*M* = maksimalna vrijednost VDSI koju populacija može postići, *O* = izmjereni VDSI)

S obzirom da različite vrste puževa imaju različitu osjetljivost na TBT i različit razvoj imposeksa, klase ekološkog stanja odnosno granične vrijednosti OEK potrebno je istražiti za svaku pojedinu bioindikatorsku vrstu. U zadnjih par godina u više radova predložene su granične vrijednosti OEK za vrste *Nucella lapillus* (Linnaeus, 1758) (WFD-UKTAG, 2014; Laranjeiro i drugi, 2015; 2018), *Hexaplex trunculus* (Linnaeus, 1758) (Erdelez i drugi, 2017; Cacciatore i drugi, 2018), *Tritia reticulata* (Linnaeus, 1758) (Laranjeiro i drugi, 2015; 2018) i *Nassarius nitidus* (Jeffreys, 1867) (Cacciatore i drugi, 2016).

3. OCJENA STANJA PRIOBALNIH VODA SREDIŠNJEG JADRANA PREMA DOSADAŠNJIM ISTRAŽIVANJIMA IMPOSEKSA

Tijekom 2014. i 2015. godine u središnjem dijelu Jadrana provedeno je istraživanje imposeksa i onečišćenja butilkositrovim spojevima na ukupno 19 postaja (Slike 1. i 2.) na vrsti *H. trunculus*. Tijekom zadnjih nekoliko desetljeća imposeks kod volka *H. trunculus* često je istraživao u vezi s onečišćenjem TBT-om u mnogim zemljama Sredozemlja, a u nekoliko navrata i u Hrvatskoj (Prime i drugi, 2006; Garaventa i drugi, 2006, 2007; Stagličić i drugi, 2008; Carić i drugi, 2016; Erdelez i drugi, 2017; Erdelez, 2018). Istraživanje imposeksa na volku, koje je provedeno 2015. godine, detaljno je opisano u radovima Erdelez i drugi (2017) i Erdelez (2018), a ono iz 2014. u radu Erdelez (2018). U nastavku se daje kratak pregled rezultata istraživanja provedenih 2014. i 2015. godine u Hrvatskoj.

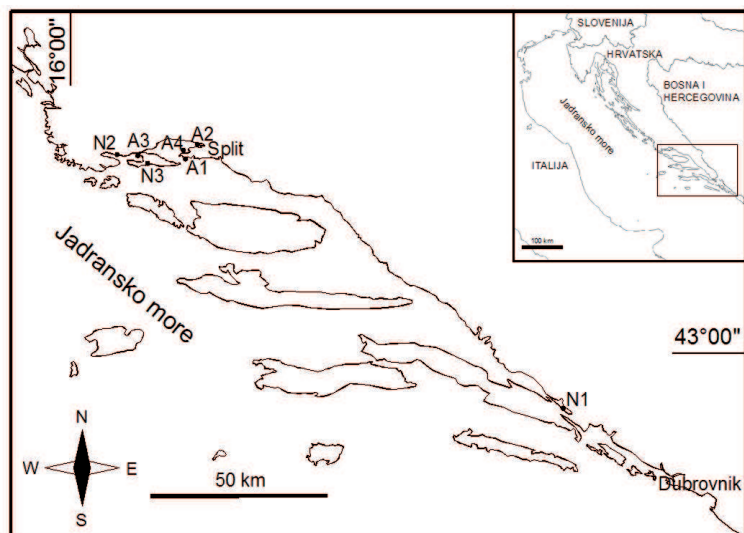
Prvi dio istraživanja proveden je 2014. godine na 6 postaja na širem splitskom području i postaji Mali Ston na ukupno 428 jedinki volka. Drugi dio istraživanja proveden je 2015. godine na 12 postaja od Zadra do Dubrovnika na ukupno 475 jedinki volka. Istraživačke postaje kategorizirane su s obzirom na intenzitet broskog prometa i s time povezanim mogućim onečišćenjem TBT-om. Jedinke volaka prikupljene su ronjenjem na dah i upotrebom autonomnog ronilačkog aparata na dubini 1-10 m. Istraživanje je obuhvatilo istraživanje imposeksa, istraživanje onečišćenosti butilkositrovim spojevima te istraživanje povezanosti imposeksa s onečišćenjem TBT-om. Istraživanje u 2015. godini provedeno je na postajama na kojima je deset godina ranije istraživao imposeks u svrhu utvrđivanja vremenskog trenda pojavljivanja imposeksa. Rezultati istraživanja su

pokazali da je zabrana korištenja TBT-a u protuobraštajnih premazima koja je na snazi od 2006. godine u Republici Hrvatskoj rezultirala smanjenjem razine TBT-a u srednjem Jadranu, no nije rezultirala oporavkom istraživanih populacija volka *H. trunculus* u desetogodišnjem razdoblju od 2005. do 2015. godine, budući da je kod svih istraživanih populacija utvrđena prisutnost imposeksa i to s vrlo visokim udjelom ženki s imposeksom, 88 % i više. Udio sterilnih ženki po postajama kretao se od 0 do 80 %. Istraživanjem je, sukladno rezultatima sličnih istraživanja u svijetu, potvrđena korelacija intenziteta imposeksa s masenim udjelom TBT-a i ukupnih butilkositrovih spojeva u tkivima volka. Da bi se odredilo ekološko stanje priobalnih voda u istraživanim područjima korištenjem imposeksa kao biološkog parametra, definirane su klase ekološkog stanja priobalnih voda koje se baziraju na imposeksu (Tablica 1.) i predložene su granične vrijednosti OEK (Tablica 2.).

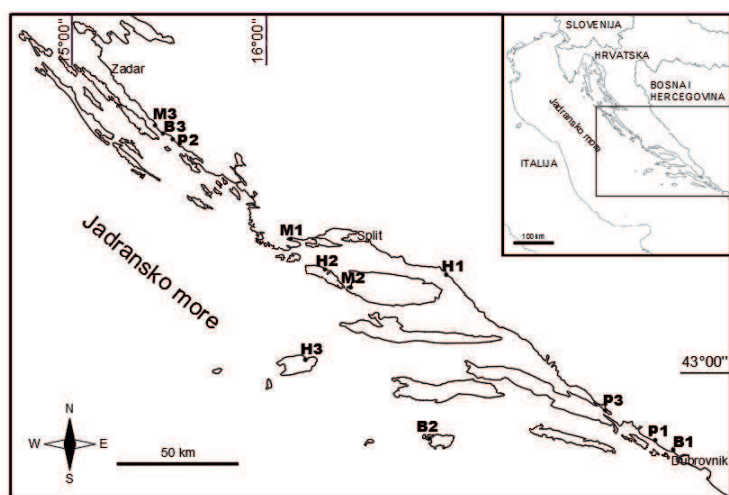
Tablica 1. Opis klase ekološkog stanja priobalnih voda s obzirom na prisutnost imposeksa (prema Erdelez i drugi, 2017)

Klasa ekološkog stanja	Opis klase s obzirom na prisutnost imposeksa u populaciji volka <i>H. trunculus</i>
Vrlo dobro ili referentno stanje	Stanje odgovara nepromijenjenim okolišnim uvjetima i postiže se pri odsutnosti (ili vrlo maloj prisutnosti) antropogenih utjecaja. Radi se o stanju koje odgovara vrlo niskim masenim koncentracijama TBT-a u moru koje su najčešće ispod granica detekcije najosjetljivijih analitičkih metoda
Dobro stanje	Odsustvo rizika za izumiranje populacije, što kad je u pitanju imposeks podrazumijeva barem odsustvo sterilnih ženki.
Umjereno dobro stanje	Stanje podrazumijeva nizak rizik od izumiranja populacije i uključuje pojavu sterilnih ženki.
Loše stanje	Stanje odgovara ozbiljnim devijacijama u bogatstvu populacije uzrokovanim visokim sterilitetom ženki

Na osnovi predloženih OEK klasa za vrstu *H. trunculus* ocijenjeno je ekološko stanje morskog okoliša na području srednjeg Jadrana za 2014. i 2015. godinu s obzirom na stanje populacije volka. Rezultati provedenih istraživanja pokazuju da na niti jednoj od istraživanih lokacija po biološkom elementu kakvoće koji se temelji na imposeksu nije postignuto stanje klasificirano kao dobro pa čak ni u području Malostonskog zaljeva koji predstavlja zaštićeno područje (Erdelez i drugi, 2017; Erdelez, 2018). Sve istraživane nautičke marine (Biograd na Moru, Marina kraj Trogira, Milna na Braču) te lučica u Baškoj Vodi ocijenjene su kao područja lošeg ekološkog stanja priobalnih voda. Sve ostale istraživane postaje, pa i one u kojima je intenzitet brodskog prometa nizak, ocijenjene su kao područja umjereno dobrog ekološkog stanja.



Slika 1. Istraživačke postaje u razdoblju travanj-svibanj 2014. godine: A – postaje s intenzivnim brodskim prometom, N – postaje sa slabijim brodskim prometom (A1 = Split-trajektna luka, A2 = Vranjic, A3 = Trogir-marina, A4 = Split-marina Spinut, N1 = Mali Ston, N2 = Marina-uzgajalište, N3 = Čiovo), (preuzeto iz Erdelez, 2018)



Slika 2. Istraživačke postaje u razdoblju svibanj-lipanj 2015. godine: M – nautičke marine, H – lučice, B – uvale koje se koriste samo sezonski, P – referentne postaje (M1 = Marina, M2 = Milna, M3 = Biograd, H1 = Baška Voda, H2 = Rogač, H3 = Vis, B1 = Zaton, B2 = Lastovo, B3 = Crvena Luka, P1 = Brsečine, P2 = Drage, P3 = Mali Ston), (preuzeto iz Erdelez, 2018)

4. RASPRAVA O MOGUĆNOSTIMA PRIMJENE IMPOSEKSA ZA OCJENU EKOLOŠKOG STANJA VODA

Rezultati istraživanja butilkositrovih spojeva u Jadranu ukazuju na prisutnu izloženost onečišćenju TBT-om (Furdek i drugi, 2012; Erdelez i drugi, 2017). Ovakvo stanje može se povezati s resuspenzijom onečišćenog sedimenta i/ili mogućim novim unosima (Furdek i drugi, 2012) unatoč zabrani koja je na snazi već više od deset godina. Onečišćeni sediment zbog moguće remobilizacije onečišćivala predstavlja stalni rizik za ponovno onečišćenje vodnog stupca. Vrijeme polurazgradnje TBT-a u vodnom stupcu je od nekoliko dana do nekoliko tjedana (Stewart & De Mora, 1990), dok je u sedimentu nekoliko godina (De Mora i drugi, 1995), a prema nekim autorima čak i nekoliko desetljeća (Omae, 2003), pa u sedimentu dolazi do aktivacije mogućeg ponovnog onečišćenja vodnog stupca. Izloženost TBT-u dovodi do razvoja imposeksa kod mnogih vrsta puževa. Imposeks može dovesti do sterilnosti ženki, a sterilnost do izumiranja populacije. Izumiranje populacije predstavlja smanjenje razine raznolikosti i brojnosti svojiti makrozoobentosa i nemogućnost ostvarenja dobrog ekološkog stanja priobalnih voda što je cilj postavljen Direktivom o vodama. Zabrana korištenja organokositrovih spojeva u protuobraštajnim premazima još neko vrijeme neće biti dovoljna mjera za očuvanje morskog okoliša od onečišćenja TBT-om. Čak i kad se pouzdamo u odgovornost lokalnog stanovništva u primjeni propisa, uskladištenost TBT-a u sedimentu na brojnim lokacijama na Jadranu predstavljat će do daljnjeg stalni rizik za osjetljive morske vrste.

Imposeks kao biomarker direktnog učinka TBT-a na živi svijet može se uzeti kao jedan od bioloških parametara u ocjeni stanja voda. Iako je ova ideja već par godina prisutna u svijetu, raspoloživa literatura još je uvijek oskudna u konkretnim i definitivnim smjernicama za primjenu ideje. Erdelez i drugi (2017) po prvi put su definirali početne granične vrijednosti OEK pojedinih klasa ekološkog stanja priobalnih voda za imposeks kod vrste *H. trunculus* (Tablica 2). Za istu vrstu Cacciatore i drugi (2018) predstavili su nešto strože OEK granice (Tablica 2) što opravdavaju ograničenom osjetljivošću ove vrste budući da se sterilnost javlja tek kod masenog udjela TBT-a u moru od 50 ngTBT/l (Abidli i drugi, 2009). Kakogod, predložene granične vrijednosti, kako za vrstu *H. trunculus*, tako i za ostale vrste, predstavljaju tek prvi korak u uspostavljanju OEK klasa za imposeks i trebale bi se potvrditi na temelju puno većeg skupa podataka.

Tablica 2. Predložene vrijednosti OEK definirane za korištenje imposeksa kod vrste *H. trunculus* kao elementa biološke kakvoće za ocjenu klase ekološkog stanja u okviru Direktive o vodama

Klasa ekološkog stanja	Erdelez i drugi (2017)		Cacciatore i drugi (2018)	
	Predložena OEK granične vrijednosti	Odgovarajući VDSI	Predložena OEK granične vrijednosti	Odgovarajući VDSI
Vrlo dobro/Dobro	0,64	<1,8	0,91	0,43
Dobro/Umjereno dobro	0,10	4,5	0,81	0,85
Umjereno dobro/Loše	0,00	5,0	0,53	2,35
Loše/Vrlo loše	odsustvo populacije		0,2	4

Definiranje zajedničke metodologije utvrđivanja OEK klasa za imposeksa na europskoj razini zasigurno bi bilo od iznimne pomoći za nacionalna zakonodavstva.

Istraživanja imposeksa u Hrvatskoj redom su uključivala vrstu *H. trunculus* dok ostala istraživanja u Sredozemlju često uključuju i vrste *Bolinus brandaris* (Linnaeus, 1758) (Chiavarini i drugi, 2003), *Stramonita haemastoma* (Linnaeus, 1767) (Chiavarini i drugi, 2003) i *N. nitidus* (Cacciatore i drugi, 2016). Volak *H. trunculus* je vrsta puža koja je široko rasprostranjena u Jadranu i stoga vrlo praktična za buduća istraživanja. Ova vrsta naseljava litoral, ima ograničenu pokretljivost, nema planktonsku larvalnu fazu i osjetljiva je na TBT. Sve ove značajke čine vrstu *H. trunculus* dobrim bioindikatora onečišćenja TBT-om u Jadranu. Za očekivati je da će buduća istraživanja imposeksa u Jadranu uključivati i druge spomenute vrste.

ZAKLJUČAK

TBT predstavlja jednu od prioritarnih tvari u području vodnog gospodarstva i kao takav jedan od parametara za određivanje kemijskog stanja voda. Toksičnost TBT-a očituje se u prvom redu u njegovom toksičnom učinku na školjkaše i puževe. Monitoringom prisutnosti imposeksa kod ženki puževa dobiva se neposredan uvid u toksični učinak TBT-a na morske organizme. Primjena imposeksa kao jednog od bioloških parametara u ocjeni ekološkog stanja priobalnih voda relativno je nova ideja i kratkoročno pruža nove mogućnosti u monitoring programima koji se provode u okviru Direktive o vodama u Jadranu i svijetu. Ipak, imajući u vidu zabranu korištenja TBT-a, ograničeni poluvijek razgradnje TBT-a u sedimentu, ali i rast svijesti o očuvanju okoliša, istraživanje imposeksa aktualno je samo dok je TBT prisutan u morskom okolišu.

LITERATURA

- [1] Abidli, S., Y. Lahbib & N.T. El Menif (2009): *Effects of TBT on the imposex development, reproduction and mortality in Hexaplex trunculus (Gastropoda: Muricidae)*. J. Mar. Biol. Assoc. U. K., 89: 139-146.
- [2] Cacciatore, F., S. Noventa, C. Antonini, M. Formalewicz, C. Gion, D. Berto, M. Gabellini & R. Boscolo Brusà (2016): *Imposex in Nassarius nitidus* (Jeffreys, 1867) as a possible investigative tool to monitor butyltin contamination according to the Water Framework Directive: a case study in the Venice Lagoon (Italy). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 1–12.
- [3] Cacciatore, F., R. Boscolo Brusà, S. Noventa, C. Antonini, V. Moschino, M. Formalewicz, C. Gion, D. Berto, M. Gabellini & M. G. Marin (2018): *Imposex levels and butyltin compounds (BTs) in Hexaplex trunculus (Linnaeus, 1758) from the northern Adriatic Sea (Italy)*: Ecological risk assessment before and after the ban. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 147: 688-698.
- [4] Carić, H., G. Klobučar & A. Štambuk (2016): *Ecotoxicological risk assessment of antifouling emissions in a cruise ship port*. J. Clean. Prod., 121: 159-168.
- [5] Chiavarini, S., P. Massaniso, P. Nicolai, C. Nobili & R. Morabito (2003): *Butyltins concentration levels and imposex occurrence in snails from the Sicilian coasts (Italy)*. *Chemosphere*, 50: 311-319.

- [6] De Mora, S.J., C. Stewart & D. Philips (1995): *Sources and rate of degradation of tri(n-butyl)tin in marine sediments near Auckland, New Zealand*. Mar. Pollut. Bull., 30: 50-57.
- [7] Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike, OJ L 327, 22.12.2000, 73 pp.
- [8] Erdelez A., M. Furdek Turk, A. Štambuk, I. Župan & M. Peharda (2017): *Ecological quality status of the Adriatic coastal waters evaluated by the organotin pollution biomonitoring*. Marine Pollution Bulletin, 123 (1-2): 313-323.
- [9] Erdelez, A. (2018): *Volak Hexaplex trunculus kao bioindikator onečišćenja u Jadranu*. Doktorska disertacija, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni Odjel za studije mora & Sveučilište u Dubrovniku, 112 pp.
- [10] Furdek, M., M. Vahčić, J. Ščančar, R. Milačić, G. Kniewald & N. Mikac (2012): *Organotin compounds in seawater and Mytilus galloprovincialis mussels along the Croatian Adriatic Coast*. Mar. Pollut. Bull., 64: 189-199.
- [11] Garaventa, F., F. Pellizzato, M. Faimali, A. Terlizzi, D. Medakovic, S. Geraci & B. Pavoni (2006): *Imposex in Hexaplex trunculus at some sites on the North Mediterranean Coast as a base-line for future evaluation of the effectiveness of the total ban on organotin based antifouling paints*. Hydrobiologia, 555: 281-287.
- [12] Garaventa, F., E. Centanni, F. Pellizzato, M. Faimali, A. Terlizzi & B. Pavoni (2007): *Imposex and accumulation of organotin compounds in populations of Hexaplex trunculus (Gastropoda, Muricidae) from the Lagoon of Venice (Italy) and Istrian coast (Croatia)*. Mar. Pollut. Bull., 54: 615-622.
- [13] Laranjeiro, F., P. Sánchez-Marín, S. Galante-Oliveira & C. Barroso (2015): *Tributyltin pollution biomonitoring under the Water Framework Directive: Proposal of a multi-species tool to assess the ecological quality status of EU water bodies*. Ecol. Indic., 57: 525-535.
- [14] Laranjeiro, F., P. Sánchez-Marín, I. Benta Oliveira, S. Galante-Oliveira & C. Barroso (2018): *Environmental quality status of the Portuguese coast regarding TBT pollution – Recommendations for considering imposex monitoring within the scope of the Marine Strategy Framework Directive*. Ecol. Indic., 93: 966-974.
- [15] Odluka br. 2455/2001/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 20. studenoga 2001. o popisu prioritetnih tvari u području vodne politike i o izmjeni Direktive 2000/60/EZ, OJ L 331, 15.12.2001, 5 pp.
- [16] Omae, I. (2003): *Organotin antifouling paints and their alternatives*. Appl. Organomet. Chem., 17: 81-105.
- [17] OSPAR. 2004. OSPAR/ICES Workshop on the evaluation and update of background reference concentrations (B/RCs) and ecotoxicological assessment criteria (EACs) and how these assessment tools should be used in assessing contaminants in water, sediment and biota, Final report, OSPAR Commission.
- [18] Prime, M., M. Peharda, K. Jelić, I. Mladineo & C.A. Richardson (2006): *The oc-*

- currence of imposex in Hexaplex trunculus from the Croatian Adriatic*. Mar. Pollut. Bull., 52: 810-812.
- [19] Smith, B.S. (1971): *Sexuality in the American mud snail, Nassarius obsoletus* Say. J. Mollus. Stud., 39: 377-378.
- [20] Stagličić, N., M. Prime, M. Zoko, Ž. Erak, D. Brajčić, D. Blažević, K. Madirazza, K. Jelić & M. Peharda (2008): *Imposex incidence in Hexaplex trunculus from Kaštela Bay, Adriatic Sea*. Acta Adriat., 49: 159-164.
- [21] Stewart, C. & S.J. De Mora (1990): *A review of the degradation of tri(n butyl)tin in marine environment*. Environ. Technol., 11: 565-570.
- [22] Titley-O'Neal, C.P., K.R. Munkittrick & B.A. MacDonald (2011): *The effect of organotin on female gastropods*. J. Environ. Monit., 13: 2360-2388.
- [23] Uredbu o standardu kakvoće voda. Narodne novine 73/13, 151/14, 78/15, 61/16 i 80/18
- [24] WFD-UKTAG. 2014. UKTAG Coastal Water Assessment Method – Benthic Invertebrate Fauna. Assessment of imposex in *Nucella lapillus*. Water Framework Directive – United Kingdom Technical Advisory Group.

AUTORI

dr. sc. Anita Erdelez ^a

dr. sc. Martina Furdek ^b

doc. dr. sc. Anamaria Štambuk ^c

doc. dr. sc. Ivan Župan ^d

prof. dr. sc. Melita Peharda ^e

^a FIDON d.o.o., Ulica grada Vukovara 271/V, Zagreb, 10000, Hrvatska, anita.erdelez@fidon.hr

^b Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, Zagreb, 10000, Hrvatska, mfurdek@irb.hr

^c Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Roosveltov trg 6, Zagreb, 10000, Hrvatska, anamaria.stambuk@biol.pmf.hr

^d Sveučilište u Zadru, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu, Trg kneza Višeslava 9, Zadar, 23000, Hrvatska, zupan@unizd.hr

^e Institut za oceanografiju i ribarstvo, Šetalište I. Meštrovića 63, Split, 21000, Hrvatska, melita@izor.hr



R 1.52.

PRAĆENJE ZAGAĐENJA OBALNOG PODRUČJA HRVATSKOG JADRANA TRIBUTIL KOSITROVIM SPOJEVIMA

**Martina Furdek Turk, Maja Ivanić, Matic Bergant,
Janez Ščančar, Nevenka Mikac**

SAŽETAK: U sklopu Europske Direktive o vodama 2000/60/EC, tributil kositar (TBT) definiran je kao jedna od prioritetnih onečišćujućih tvari u području vodnog gospodarstva koju treba pratiti kako bi se ocijenilo kemijsko stanje voda, a sve s ciljem njegova uklanjanja iz voda i postizanja dobrog stanja vodenog okoliša. S tim ciljem, u Republici Hrvatskoj provodi se nadzorni i operativni monitoring onečišćenja prijelaznih i priobalnih voda istočnog Jadrana, a u ovom radu prikazani su rezultati monitoringa TBT-a provedenog tijekom 2016. i 2017. godine. Utvrđeno je kako je zagađenje TBT-om na našoj obali još uvijek prisutno unatoč zabrani njegove upotrebe u protuobraštajnim bojama od 2008. godine. Zagađenje sedimenta TBT-om utvrđeno je na ukupno 32 % istraživanih lokacija, dok je na 21 % lokacija prosječna godišnja koncentracija TBT-a u vodenom stupcu bila viša od propisanog standarda kakvoće okoliša (0,2 ng(TBT) L⁻¹) što znači da u tim vodnim tijelima dobro kemijsko stanje voda s obzirom na TBT nije postignuto. Prijelazne vode bile su zagađenije od priobalnih voda, a najzagađenijim područjima pokazala su se ona u blizini velikih gradskih luka, odnosno područja koja su izložena intenzivnijem morskom prometu pa time i većem unosu TBT-a putem protuobraštajnih boja s brodova.

KLJUČNE RIJEČI: tributil kositar (TBT), monitoring, zagađenje, kemijsko stanje voda, Europska direktiva o vodama, istočni Jadran

TBT POLLUTION MONITORING ON THE CROATIAN ADRIATIC COAST

ABSTRACT: As one of the priority pollutants under the EU Water Framework Directive (2000/60/EC), tributyltin (TBT) has to be monitored in order to assess the chemical status of water bodies, which is a prerequisite for its complete removal from water and the achievement of good status of aquatic environment. For this reason, surveillance and operational monitoring of pollution in transitional and coastal waters of the eastern Adriatic is carried out in Croatia. This paper presents the results of TBT monitoring performed during 2016 and 2017. It was established that, despite the 2008 ban on its use in antifouling paints, TBT pollution is still present on our coast. Among the investigated locations,

32 % of the sites showed evidence of sediment pollution with TBT while 21 % of the sites exhibited higher annual average TBT concentration in the water column than permitted according to the environmental quality standard (0.2 ng(TBT) L⁻¹), which indicates that good chemical status with regard to TBT has not been achieved in these water bodies. Transitional waters were more polluted than coastal waters, with the most polluted areas found close to big city ports i.e. areas exposed to intense marine traffic, and, consequently, increased TBT release of antifouling paints from boats.

KEYWORDS: tributyltin (TBT), monitoring, pollution, chemical status of water bodies, Water Framework Directive, eastern Adriatic Sea

1. UVOD

Prisutnost tributil kositra (TBT) u okolišu isključivo je antropogenog karaktera, a u morski okoliš dospijeva putem protuobraštajnih boja s kojima se premazuju brodovi i sva ostala tijela uronjena u vodu kako bi se na njima spriječilo naseljavanje i rast obraštajnih zajednica. Intenzivna primjena TBT-a kao biocidnog sredstva u protuobraštajnim premazima započela je 1960-tih godina, da bi se 30-tak godina kasnije utvrdila njegova izrazita toksičnost prema mnogim morskim organizmima. Najštetnijim toksičnim učinkom smatra se razvoj imposeksa (razvoj muških spolnih karakteristika na ženskim jedinkama) kod gastropoda već pri izrazito niskoj koncentraciji TBT-a u vodi od 1 ng L⁻¹ (Hoch, 2001).

Nakon što je unesen u vodeni okoliš TBT podliježe razgradnji (mikrobiološkoj i fotolitičkoj) u niže alkilirane derivate kositra i anorganski kositar, ali i adsorpciji na partikulatnu tvar čijim taloženjem dospijeva u sediment (Hoch, 2001). Međutim, adsorpcija na čestice sedimenta reverzibilan je proces te uslijed resuspenzije sedimenta može doći do remobilizacije TBT-a i ponovnog zagađenja vodenog stupca (Berg i drugi, 2001). Budući da se TBT u sedimentu sporo razgrađuje ($t_{1/2}$ iznosi nekoliko godina do nekoliko desetaka godina; Furdek i drugi, 2016), zagađeni sediment predstavlja potencijalni dugotrajni izvor zagađenja vodenog okoliša TBT-om.

TBT se danas smatra jednim od najštetnijih antropogenih spojeva ikad namjerno unesenih u vodeni okoliš, a od 2000. godine nalazi na listi prioriternih onečišćivala Europske Unije (2000/62/EC). Prepoznavši štetan učinak TBT-a na okoliš, *International Maritime Organization* (IMO) je 2001. godine donijela Međunarodnu konvenciju o nadzoru uporabe štetnih protuobraštajnih premaza (tzv. AFS konvencija). Prema spomenutoj Konvenciji, od siječnja 2003. godine protuobraštajne boje koje sadrže TBT ne bi smjele biti nanošene na brodove, a najkasnije do siječnja 2008. godine s njih moraju biti u potpunosti uklonjene. Kako bi se omogućila provedba Konvencije, Europski parlament 2003. godine donosi zakon kojim se u država članicama Europske unije zabranjuje uporaba protuobraštajnih boja s TBT-om (EC 782/2003, 76/769/EEC), a njegova upotreba u današnje vrijeme zabranjena je i u mnogim zemljama diljem svijeta (Furdek i drugi, 2012).

AFS konvencija potvrđena je i u Republici Hrvatskoj te je 2006. godine TBT uvršten na Listu opasnih kemikalija čiji je promet zabranjen odnosno ograničen u Hrvatskoj (NN 17/2006). Međutim, tek 2008. godine donesen je Pravilnik o "Uvjetima i načinu održavanja reda u lukama i na ostalim dijelovima unutarnjih morskih voda i teritorijalnih mora Republike Hrvatske" (NN 10/2008) kojim se zabranjuje uplovljavanje brodova, brodica i jahti koji koriste TBT kao biocidno sredstvo u protuobraštajnim bojama u luke Republike Hrvatske.

1.1. Ocjena kemijskog stanja površinskih voda prema Europskoj Direktivi o vodama

U sklopu Europske Direktive o vodama 2000/60/EC, a kojom se nalaže uklanjanje svih prioriternih onečišćivala iz vodenog okoliša s ciljem postizanja njegova dobrog ekološkog i kemijskog stanja, TBT je definiran jednim od prioriternih tvari u području vodnog gospodarstva (2455/2001/EZ) koju treba pratiti kako bi se ocijenilo kemijsko stanje vodnih tijela. U Republici Hrvatskoj elementi za ocjenjivanje stanja voda propisani su Uredbom o standardu kakvoće voda (Narodne novine 73/13, 151/14, 78/15, 61/16 i 80/18). Prema spomenutoj Uredbi prisutnost TBT-a u vodama regulirana je propisivanjem standarda kakvoće okoliša u vidu dozvoljene prosječne godišnje koncentracije (PGK; $0,2 \text{ ng(TBT) L}^{-1}$) i najviše pojedinačne godišnje koncentracije (MGK; $1,5 \text{ ng(TBT) L}^{-1}$) TBT-a u vodi, a dobro kemijsko stanje voda postignuto je kada koncentracija ne prelazi propisani standard kakvoće okoliša.

Kako bi se ostvarili zadani ciljevi, Direktiva nalaže da su države članice dužne osigurati uspostavu programa praćenja ekološkog i kemijskog stanja vodnih tijela. U ovom radu prikazani su rezultati praćenja koncentracije TBT-a u prijelaznim i priobalnim vodama hrvatskog dijela Jadrana u 2016. i 2017. godini te je na temelju izmjerenih koncentracija ocijenjen stupanj zagađenja vodnih tijela TBT-om.

2. METODE

2.1. Uzorkovanje vode i sedimenta

Za lokacije uzorkovanja odabrana su mjesta definirana planom monitoringa prijelaznih i priobalnih voda hrvatskog Jadrana koji se provodi u nadležnosti Hrvatskih voda. Uzorci vode i površinskog sedimenta prikupljeni su duž cijele obale na 26 lokacija u području prijelaznih voda te na 37 lokacija u priobalnim vodama. Uzorci voda s lokacija prijelaznih voda prikupljeni su u svibnju, lipnju, rujnu i prosincu 2016. godine, dok su priobalne vode uzorkovane u veljači, svibnju i rujnu 2017. godine. Na većini lokacija voda je uzorkovana na dvije dubine - u površinskom i pridnom sloju vodenog stupca. Površinski sediment uzorkovan je jednom godišnje na istim lokacijama.

2.2. Analitičke metode za određivanje TBT-a u vodi i sedimentu

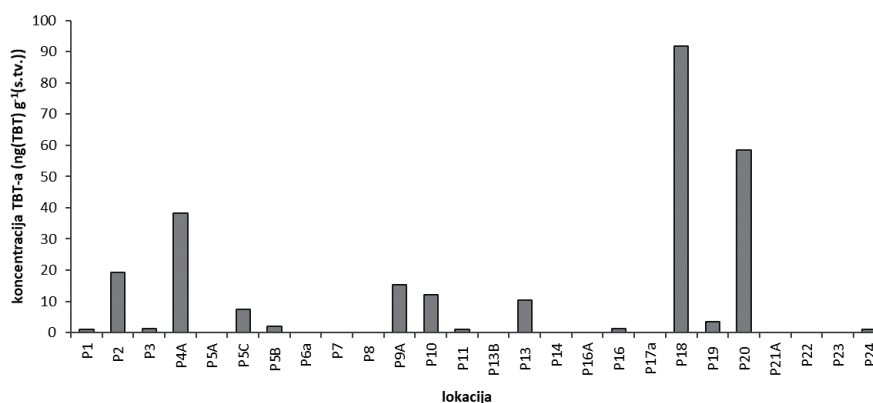
Priprema uzoraka i analitička metoda koja je korištena za određivanje koncentracije TBT-a u vodenim uzorcima u detalje je opisana u radovima Furdek i drugi (2012) i Furdek (2015), a TBT je određivan analitičkom tehnikom plinske kromatografije (GC, Agilent 6890) vezane s masenim spektrometrom uz induktivno spregnutu plazmu (ICP MS, Agilent 7700). Granica detekcije metode iznosi $0,2 \text{ ng (TBT) L}^{-1}$.

Priprema uzoraka i analitička metoda kojom je određivana koncentracija TBT-a u sedimentima u detalje je opisana u radovima Furdek i drugi (2016) i Furdek (2015), a TBT je određivan na plinskom kromatografu (GC, Varian CP-3800) s pulsno-plamenim fotometrijskim detektorom (PFPD, Varian). Granica detekcije metode iznosi $1,0 \text{ ng(TBT) g}^{-1}$ (s.tv.).

3. OCJENA STANJA ZAGAĐENJA PRIJELAZNIH I PRIOBALNIH VODA HRVATSKOG JADRANA TRIBUTIL KOSITROM (TBT-om) U 2016. I 2017. GODINI

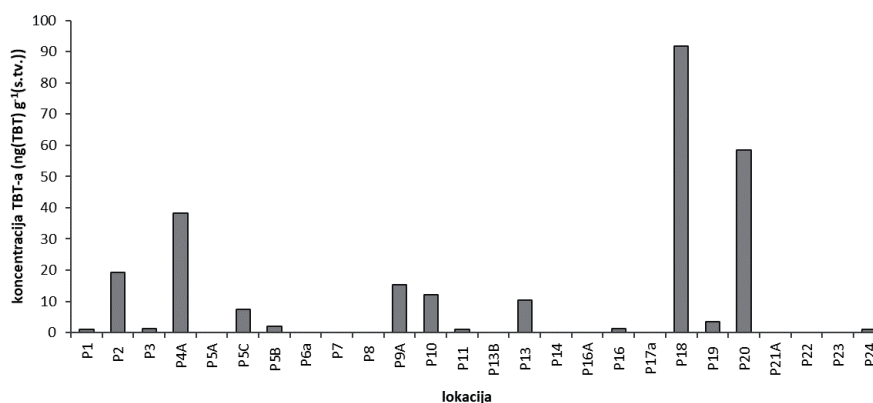
3.1. Ocjena zagađenja na temelju koncentracije TBT-a u sedimentu

Na Slici 1 prikazane su koncentracije TBT-a određene u površinskim sedimentima prijelaznih voda uzorkovanih u 2016. godini. TBT je nađen na 15 od ukupno 26 ispitivanih lokacija (58 % lokacija) u koncentracijama koje su se kretale od 1,1 do 91,8 ng(TBT) g⁻¹, dok je prosječna koncentracija iznosila 17,6±26,2 ng(TBT) g⁻¹. Povišene koncentracije zabilježene su u ušćima rijeka Omble (P2), Neretve (P4A i P5C), Jadrana (P9A i P10), Krke (P13) i Raše (P20), a najviša koncentracija izmjerena je u ušću Rječine (P18).



Slika 1. Koncentracija TBT-a u površinskim sedimentima prijelaznih voda u 2016. godini

Na Slici 2 prikazane su koncentracije TBT-a određene u površinskim sedimentima priobalnih voda u 2017. godini.



Slika 2. Koncentracije TBT-a u površinskim sedimentima priobalnih voda u 2017. godini

TBT je određen na 10 od ukupno 37 (27 %) ispitivanih lokacija, a izmjerene koncentracije iznosile su između 2,2 i 52,0 ng(TBT) g⁻¹, dok je prosječna koncentracija bila 16,5±15,8 ng(TBT) g⁻¹. Najviša koncentracija izmjerena je u Splitskoj luci (O15A), a povišene koncentracije zabilježene su na lokacijama u Kaštelanskom zaljevu (O16), u blizini Trogira (O17A), u Bakarskom zaljevu (O37), u Riječkoj luci (O38) i Riječkom zaljevu (O39) te u Pulskoj luci (O45).

Zagađenje sedimenta TBT-om ustanovljeno je na ukupno 32 % istraživanih lokacija. Iako su prosječne koncentracije TBT-a podjednake u sedimentima prijelaznih i priobalnih voda, na temelju većeg broja zagađenih lokacija u području prijelaznih voda možemo zaključiti da su one u nešto većoj mjeri zagađene TBT-om nego priobalne vode. U oba slučaja najzagađenijim lokacijama pokazale su se one u blizini većih gradskih luka, što je u skladu s očekivanjima, budući da su te lokacije u većoj mjeri izložene intenzivnom morskom prometu.

S obzirom da Uredbom o standardu kakvoće voda u Hrvatskoj nije propisan standard kvalitete okoliša za sediment, ocjenu stupnja zagađenja sedimenta prema prosječnoj godišnjoj (PGK) i najvišoj pojedinačnoj godišnjoj koncentraciji (MGK) nije moguće provesti te je ona provedena koristeći kategorizaciju zagađenja objavljenu u dostupnoj znanstvenoj literaturi (Bakke i drugi, 2010). Procjena zagađenja Jadranskog sedimenta TBT-om prema kriterijima navedenim u spomenutom radu prikazana je u Tablici 1.

Tablica 1. Kategorizacija stupnja zagađenja sedimenta na osnovu koncentracije TBT-a u sedimentu (prema Bakke i drugi, 2010)

Kategorija zagađenja	Raspon koncentracija TBT-a (ng(TBT) g ⁻¹)	Udio lokacija u određenoj kategoriji (%)	
		Prijelazne vode (26 lokacija)	Priobalne vode (37 lokacija)
I. Jako dobro	< 1	42 %	73 %
II. Dobro	1 - 5	27 %	8 %
III. Umjerenost	5 - 20	19 %	11 %
IV. Loše	20 - 100	12 %	8 %
V. Jako loše	> 100	/	/

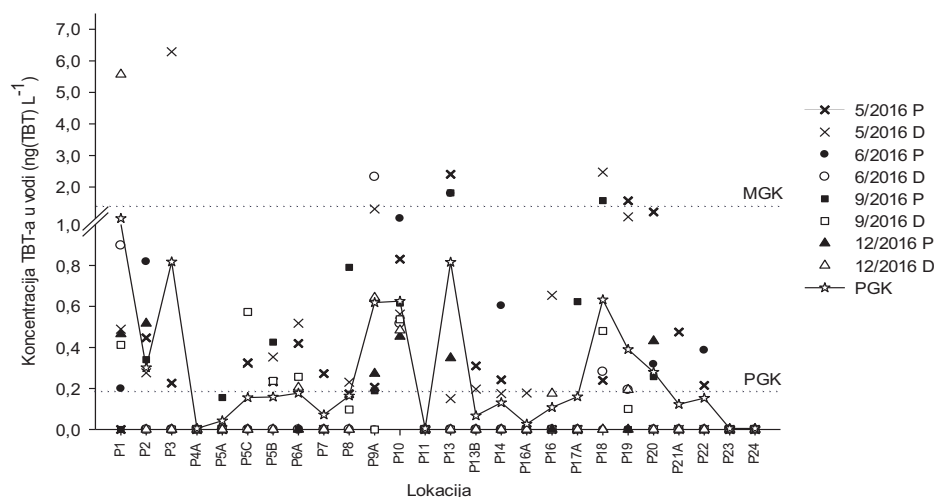
U području prijelaznih voda 69 % lokacija ocijenjeno je nezagađenim (I. i II. kategorija), dok se ukupno 31 % lokacija može smatrati značajno zagađenim TBT-om (III. i IV. kategorija). Status zagađenja priobalnih voda je nešto povoljniji budući da je koncentracija TBT-a bila niža od 1 ng(TBT) g⁻¹ na 73 % lokacija (I. kategorija), dok je 19 % lokacija ocijenjeno zagađenima (III. i IV. kategorija).

Prilikom procjene zagađenja pojedine lokacije na temelju koncentracije TBT-a u sedimentu treba imati na umu da su koncentracije u sedimentu posljedica dugotrajnog unosa TBT-a u morski okoliš i time nisu dobar pokazatelj trenutnog unosa TBT-a na toj lokaciji. Naime, TBT dospjeva u sediment sedimentacijom partikulatne tvari koja se u površinskom sloju sedimenta (0-5 cm) taloži kroz nekoliko godina. Također, u obzir treba uzeti da količina TBT-a vezanog u sedimentu, kao i njegova brzina razgradnje, ovisi o

koncentraciji organske tvari (Furdek i sur., 2016). Sedimenti bogatiji organskom tvari vezat će više TBT-a i u njima će se on sporije razgrađivati te će TBT u tim sedimentima duže biti prisutan (Furdek i sur., 2016). Budući da TBT iz sedimenta može prijeći ponovno u vodeni stupac, zagađeni sedimenti predstavljaju dugotrajni rizik za postizanje i očuvanje dobrog stanja vodenog okoliša i nakon što u potpunosti prestane njegov unos putem protuobraštajnih boja.

3.2. Ocjena zagađenja na temelju koncentracije TBT-a u vodenom stupcu

Na Slici 3 prikazane su koncentracije TBT-a određene u vodenom stupcu prijelaznih voda uzorkovanih u svibnju, lipnju, rujnu i prosincu 2016. godine.

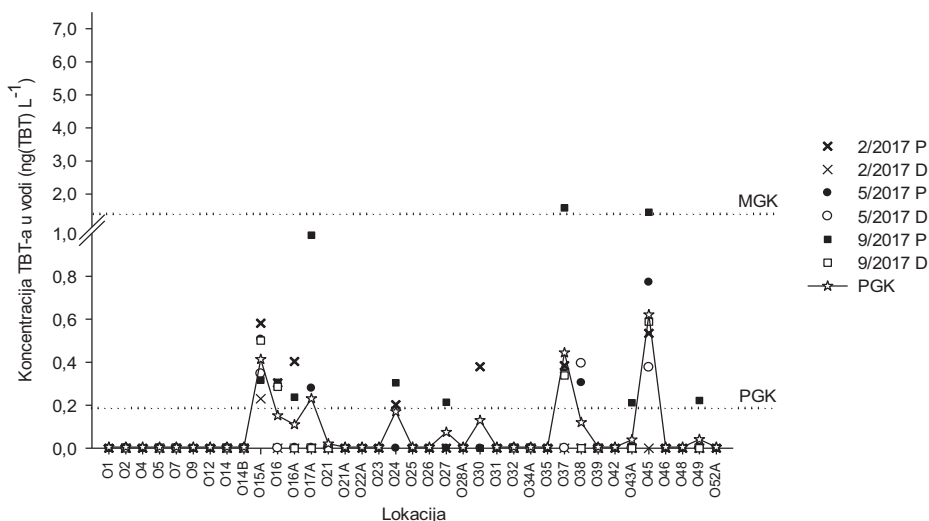


Slika 3. Koncentracije TBT-a u vodenom stupcu prijelaznih voda u 2016. godini (P-površina, D-dno, PGK – dozvoljena prosječna godišnja koncentracija, MGK – najviša dozvoljena pojedinačna koncentracija)

Prisutnost TBT-a zabilježena je na 22 od 26 (85 %) ispitivanih lokacija. Pojedinačne koncentracije kretale su se od $<0,2$ do $6,3 \text{ ng(TBT) L}^{-1}$, a prosječna koncentracija je iznosila $0,31 \pm 0,75 \text{ ng(TBT) L}^{-1}$. Najviša pojedinačna koncentracija izmjerena je u pridnoj vodi u ušću rijeke Neretve (P3), a povišene koncentracije ($>1,0 \text{ ng(TBT) L}^{-1}$) izmjerene su u ušćima rijeke Omble (P1), Jadra (P9A i P10), Krke (P13), Rječine (P18 i P19) i Raše (P20). Prosječne godišnje koncentracije kretale su se između $<0,2$ i $1,0 \text{ ng(TBT) L}^{-1}$, a najviše su zabilježene na istim lokacijama na kojima su zabilježene i maksimalne pojedinačne lokacije, odnosno na istim lokacijama na kojima su određene i povišene koncentracije TBT-a u sedimentu (Slika 1). Time je potvrđena kontinuirana kontaminacija tih vodnih tijela TBT-om kroz cijelu 2016. godinu.

Na Slici 4 prikazane su koncentracije TBT-a određene u vodenom stupcu priobalnih voda uzorkovanih u veljači, svibnju i rujnu 2017. godine. Prisutnost TBT-a zabilježena je na 13 od 37 (35 %) ispitivanih lokacija. Pojedinačne koncentracije TBT-a kretale su se od $<0,2$ do $1,6 \text{ ng(TBT) L}^{-1}$, a prosječna koncentracija je iznosila $0,20 \pm 0,18 \text{ ng(TBT)}$

L⁻¹. Najviše pojedinačne koncentracije izmjerene su u površinskoj vodi na lokacijama u Kaštelanskom zaljevu (O17A), Bakarskom zaljevu (O37) i Pulskoj luci (O45). Prosječne godišnje koncentracije kretale su se između <0,2 i 0,6 ng(TBT) L⁻¹, a najviše su određene u Splitkoj luci (O15A), Bakarskom zaljevu (O37) i u Pulskoj luci (O45).



Slika 4. Koncentracije TBT-a u vodenom stupcu priobalnih voda u 2017. godini (P-površina, D-dno, PGK – dozvoljena prosječna godišnja koncentracija, MGK – najviša dozvoljena pojedinačna koncentracija)

Na temelju izmjerenih koncentracija izvršena je ocjena stupnja zagađenja ispitivanih vodnih tijela. Procjena se temeljila na usporedbi sa standardima kvalitete okoliša, odnosno prosječnom godišnjom koncentracijom (PGK, 0,2 ng(TBT) L⁻¹) i najvišom pojedinačnom godišnjom koncentracijom (MGK, 1,5 ng(TBT) L⁻¹), a koji su propisani Uredbom o standardu kakvoće voda (NN 137/15). U Tablici 2 prikazane su lokacije na kojima su izmjerene koncentracije bile više od propisanih PGK i MGK vrijednosti što znači da na tim lokacijama dobro stanje okoliša nije postignuto s obzirom na koncentraciju TBT-a.

Tablica 1. Lokacije na kojima nije postignuto dobro kemijsko stanje voda u 2016. i 2017. godini.

	> MGK (1,5 ng(TBT) L ⁻¹)	> PGK (0,2 ng(TBT) L ⁻¹)
Prijelazne vode (26 lokacija)	23 % lokacija (P1, P3, P9A, P13, P18, P19)	35 % lokacija (P1, P2, P3, P9A, P10, P13, P18, P19, P20)
Priobalne vode (37 lokacija)	5 % lokacija (O37, O45)	11 % lokacija (O15A, O17A, O37, O45)

Iz Tablice 2 vidljivo je da na 35 % lokacija prijelaznih voda dobro kemijsko stanje voda u 2016. godini nije bilo postignuto, dok su se priobalne vode pokazale manje zagađenima budući da je svega 11 % lokacija u 2017. godini ocijenjeno kao područje lošeg kemijskog stanja s obzirom na TBT. Na istim lokacijama ustanovljeno je i zagađenje sedimenta TBT-om čime je dodatno potvrđeno kako je na tim lokacijama prisutno dugotrajno zagađenje. To su uglavnom lokacije smještene u blizini velikih gradskih luka i manjih lokalnih lučica, a koje su u pravilu izložene intenzivnijem morskom prometu čime postoji i veća vjerojatnost njihova zagađenja TBT-om iz protuobraštajnih boja.

Imajući na umu činjenicu da je razgradnja TBT-a u vodenom stupcu relativno brza ($t_{1/2}$ iznosi nekoliko dana do nekoliko tjedana (Omae, 2003)), izmjerene koncentracije TBT-a u vodenom stupcu ukazuju na moguće korištenje ilegalnih protuobraštajnih boja koje su zabranjene u Hrvatskoj već više od 10 godina. Međutim, u obzir treba uzeti i mogućnost otpuštanja TBT-a sa starih premaza koji nisu u potpunosti uklonjeni s trupova brodova već su samo premazani novim protuobraštajnim premazom. Također, jako je bitno istaknuti i ulogu kontaminiranog sedimenta čijom resuspenzijom može doći do ponovnog zagađenja vodenog stupca (Berg i ostali, 2001; Hoch i Schwesig, 2004). Time se daju objasniti povećane koncentracije TBT-a u pridnenom sloju na lokacijama P1, P3, P9A i P18.

Iako rezultati ovog istraživanja ukazuju da zagađenje hrvatskog Jadrana TBT-om još uvijek postoji, na temelju usporedbe s procjenom zagađenja koja je napravljena za vremenski period 2009. - 2012. godine (Furdek i drugi, 2012; Furdek, 2015) može se zaključiti da se intenzitet zagađenja na hrvatskoj obali ipak smanjuje.

ZAKLJUČAK

Rezultati monitoringa onečišćenja prijelaznih i priobalnih voda u 2016. i 2017. godini pokazali su kako je TBT još uvijek prisutan u prijelaznim i priobalnim vodama istočnog Jadrana unatoč zabrani njegove upotrebe u protuobraštajnim bojama od 2008. godine. Dobro kemijsko stanje okoliša s obzirom na TBT nije postignuto na 13 od ukupno 63 ispitivane lokacije (21 %) što znači da na tim lokacijama nije zadovoljen zadani cilj Europske direktive o vodama da se u 2015. godini postigne dobro stanje okoliša. Radi se uglavnom o područjima uz veće gradske luke i lokalne lučice, koja su izložena intenzivnijem morskom prometu i unosu TBT-a putem protuobraštajnih boja s brodova. Prijelazne vode pokazale su se zagađenijim od priobalnih voda s obzirom da je na 35 % lokacija koncentracija TBT-a u vodenom stupcu bila više od propisanih standarda kakvoće okoliša (PGK i MGK), dok je sediment procijenjen zagađenim na 31 % lokacija. U priobalnim vodama dobro stanje voda postignuto je u većini ispitivanih vodnih tijela (89 % lokacija), međutim zagađenje sedimenta bilo je prisutno na 19 % lokacija.

LITERATURA

- [1] Bakke, T., Källqvist, T., Ruus, A., Breedveld, G.D., Hylland, K., (2010): *Development of sediment quality criteria in Norway*. Journal of Soil and Sediments, 10, 172-178.
- [2] Berg, M., Arnold, C. G., Müller, R. S., Mühlemann, J., Schwarzenbach, R. P., (2001): *Sorption and desorption behaviour of organotin compounds in sediment-pore water systems*. Environmental Science and Technology. 35, 3151-3157.

- [3] Hoch, M., (2001): *Organotin compounds in the environment*, Applied Geochemistry, 16, 719-743.
- [4] Hoch, M., Schwesig, D., (2004): *Parameters controlling the partitioning of tributyltin (TBT) in aquatic systems*. Applied Geochemistry, 19, 323-334.
- [5] Furdek, M., Vahčić, M., Ščančar, J., Milačić, R., Kniewald, G., Mikac, N., (2012): *Organotin compounds in seawater and mussels *Mytilus galloprovincialis* along the Croatian Adriatic coast*. Marine Pollution Bulletin, 64, 189-199.
- [6] Furdek, M., (2015): *Raspodjela i ponašanje organokositrovih spojeva u priobalnom moru istočnoga dijela Jadrana*, doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.
- [7] Furdek, M., Mikac, N., Bueno, M., Tessier, E., Cavalheiro, J., Monperrus, M., (2016): *Organotin persistence in contaminated marine sediments and porewaters: In situ degradation study using species-specific stable isotopic tracers*, Journal of Hazardous Materials, 307, 263-273.
- [8] Omae, I., (2003): *Organotin antifouling paints and their alternatives*. Applied Organometallic Chemistry, 17, 81-105.

AUTORI

dr. sc. Martina Furdek Turk ^a

dr. sc. Maja Ivanić ^a

Matic Bergant ^b,

dr. sc. Janez Ščančar ^b

dr. sc. Nevenka Mikac ^a

^a Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, Zagreb, 10000 Hrvatska, mfurdek@irb.hr, mivanic@irb.hr, mikac@irb.hr

^b Institut Jožef Stefan, Jamova cesta 39, Ljubljana, 1000, Slovenija, matic.bergant@ijs.si, janez.scancar@ijs.si



R 1.53.

**PROMJENE SVOJSTAVA ORGANSKE TVARI U
SJEVERNOM JADRANU: REZULTATI DUGOROČNIH
ISTRAŽIVANJA**

**Jelena Dautović, Vjeročka Vojvodić, Nataša Tepić,
Božena Čosović, Irena Ciglonečki**

SAŽETAK: U vodenom stupcu profila Rovinj-Po (sjeverni Jadran) određivane su koncentracije površinski aktivnih tvari (PAT) i otopljenog (DOC) organskog ugljika u vremenskom razdoblju od 1989.-2017. Rezultati pokazuju kako je sjeverni Jadran vrlo dinamično područje koje karakteriziraju razdoblja visokog i niskog sadržaja organskog ugljika s popratnim promjenama svojstava i reaktivnosti prisutne organske tvari, što je prikazano na primjeru rezultata istraživanja za dvije odabrane, karakteristične godine, 2002. i 2006. 2002. godina bila je obilježena pojavom visokih koncentracija DOC i PATa uslijed prisutnosti hidrofilnijeg, manje adsorbabilnog organskog materijala, dok je u 2006. godini kada su zabilježene najniže vrijednosti DOCa potvrđena prisutnost hidrofobnijeg i svojstvima sličnijeg organskog materijala tipu fulvične kiseline. Pretpostavlja se da su uočene promjene u svojstvima dominantno prisutne organske tvari u sjevernom Jadranu rezultat promjena u zastupljenosti prevladavajućih fitoplanktonskih zajednica kao odgovor ekosustava na promjene hidrografskih prilika.

KLJUČNE RIJEČI: DOC, PAT, NPA, sjeverni Jadran, dugoročna istraživanja

**CHANGES IN ORGANIC MATTER PROPERTIES IN THE NORTH-
ERN ADRIATIC: LONG-TERM INVESTIGATION RESULTS**

ABSTRACT: Dissolved organic carbon (DOC) and surface active substances (SAS) concentrations were determined in the water column of the Rovinj-Po transect (northern Adriatic) during the period 1989 - 2017. The results show that the northern Adriatic is a very dynamic system with alternating periods of high and low organic carbon content, with accompanying changes in the properties and reactivity of the present organic matter (OM), as presented by the investigation results for two selected characteristic years, 2002 and 2006. 2002 was characterized by high DOC and SAS concentrations, indicating the presence of a more hydrophilic, less adsorbable OM. In 2006, when the lowest DOC concentrations were measured, the presence of a more hydrophobic OM was found, similar in properties to fulvic acid. It is assumed that the observed changes in the dominant OM properties are a consequence of the changes in the prevailing phytoplankton communities

as an ecosystem response to the changes in the northern Adriatic hydrography.

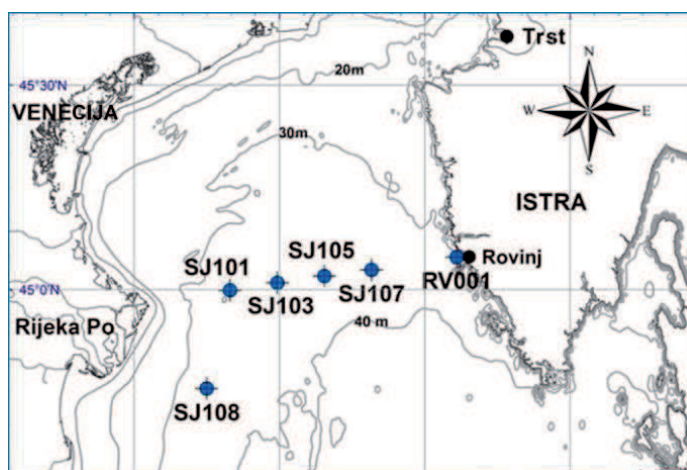
KEYWORDS: DOC, SAS, NSA, northern Adriatic, long-term monitoring

1. UVOD

Mora/oceani jedan su od najvećih spremnika ugljika na planeti, količina ugljika u morima približno je jednaka količini ugljika u atmosferi (Hansell i Carlson, 2002). Otopljeni organski ugljik (DOC) dinamična je komponenta globalnog ciklusa ugljika, izvor je hrane za morske organizme, ishodište je regeneracije hranjivih tvari, ionske izmjene, apsorpcije svjetla i topline te je dobar pokazatelj globalnih promjena (Dautović i drugi, 2017).

Organska tvar (OT) u moru kompleksna je smjesa spojeva (polisaharidi, proteini, humusne tvari) čija je značajna frakcija površinski aktivna (PAT) i kao najreaktivnija komponenta OT koncentrira se na prirodnim granicama faza gdje ima važnu ulogu u mnogobrojnim biogeokemijskim procesima. U površinskom eufotičkom sloju vodenog stupca dominira uglavnom svježe proizvedena OT nastala primarnom produkcijom. Komparativnim pristupom, rezultatima mjerenja DOC i PAT u otopljenoj frakciji OT normalizirana je površinska aktivnost (NPA) kao omjer sadržaja PAT (filtrirana frakcija) i sadržaja DOC ($NPA = PAT / DOC$). NPA može poslužiti kao parametar za grubu karakterizaciju dominantno prisutne organske tvari u prirodnim uzorcima u smislu njezinih svojstava odnosno reaktivnosti, temeljeno na adsorpcijskim svojstvima (hidrofobno-hidrofilno) primjenom elektrokemijskih mjerenja (Ćosović i Vojvodić, 1998).

U ovom radu prikazati će se rezultati dugoročnih istraživanja provedenih u sjevernom Jadranu, na profilu Rovinj – ušće rijeke Po (Slika 1) u razdoblju od 28 godina (1989. – 2017.). Sjeverni Jadran plitko je, poluzatvoreno područje, pod jakim utjecajem slatke vode (uglavnom rijeke Po) te advekcije voda iz srednjeg Jadrana. Karakterizira ga varijabilna i kompleksna cirkulacija vodenih masa koja se odražava na fizičko/kemijske i biološke prilike (Dautović i drugi 2017). Sjeverni Jadran sa svim svojim karakteristikama idealno je područje za istraživanje promjena u okolišu vezano za klimatske i antropogene pritiske.



Slika 1. Postaje u sjevernom Jadranu, profil Rovinj – ušće rijeke Po

2. METODE

Uzorci su prikupljeni niskinovim uzorkivačima jednom mjesečno na 6 postaja (Slika 1) te na 5 dubina (0 m, 5 m, 10 m, 20 m, dno).

Mjerenja koncentracija DOC u uzorcima morske vode vršena su metodom visokotemperaturne katalitičke oksidacije, H₂CO (Dafner i Wangersky, 2002). Otopljeni organski ugljik u uzorku spaljuje se uz prisutnost kisika i katalizatora platine na siliki na temperaturi od 680 °C te se nastali CO₂ detektira nedisperznom infracrvenom detekcijom. Za određivanje i karakterizaciju površinski aktivnih tvari primjenjena je elektrokemijska metoda a.c. voltometrija izmjeničnom strujom, temeljena na mjerenju adsorpcijskih efekata PAT na površini viseće živine kapi kao radne elektrode u uzorku morske vode i u 0,55 M NaCl kao elektrolitu uz odabrane uvjete potencijala adsorpcije (-0,6 V prema Ag/AgCl elektrodi) i vrijeme adsorpcije (15-120 s) uz miješanje (Ćosović i Vojvodić, 1998). Snižanje kapacitetne struje približno je proporcionalno koncentraciji otopljenih i dispergiranih PAT NF u nefiltriranim uzorcima te otopljenih PAT F u filtriranim uzorcima, koji se izražavaju u ekvivalentima odabrane modelne organske tvari tvari, Triton-X-100. Ispitivanjem normalizirane površinske aktivnosti $NPA = \frac{PAT_F(\text{eq. Triton-X-100})}{DOC}$ te usporedbom s modelnim PAT karakterističnim za prirodno prisutne organske tvari u moru (Ćosović i Vojvodić, 1998) omogućeno je bolje razumijevanje prirode dominantnih grupa spojeva PAT u moru, tj procjenjivanje prisustva hidrofilnog i hidrofobnog tipa otopljene organske tvari.

3. REZULTATI I RASPRAVA

Rezultati dugoročnih istraživanja (1989. – 2017.) DOC i PAT prikazani su u Tablici 1 gdje su dane uprosječene vrijednosti za površinski i pridneni sloj.

U tablici su posebno istaknute vrijednosti izmjerenih parametara na postaji SJ108 koja je pod značajnim utjecajem slatke vode, poglavito rijeke Po na zapadu te na postaji SJ107 na istoku transektu. Očekivano, najviše vrijednosti DOC/PAT u sjevernom Jadranu mjerene su u površinskom sloju unutar kojega je opažena i najveća varijabilnost, s opadajućim trendom od zapada prema istoku, odnosno od površine prema dnu. Analiza dugoročnih podataka ukazuje kako se sadržaj i svojstva OT u sjevernom Jadranu mijenjaju na prostornoj (položaj postaja) i vremenskoj skali (mjeseci, sezone, godine) ovisno o utjecaju promjenjivog unosa slatke vode rijekom Po te globalnog utjecaja strujanja vodenih masa koje ulaze u Jadransko more iz Mediterana tijekom različitih tipova cirkulacija u Jonskom moru, BIOS (Dautović i drugi, 2017).

2002. i 2006. godina izabrane su kao statistički značajno različite godine s obzirom na sadržaj DOCa ali i različita svojstva OT (Dautović i sur., 2017). 2002. godina karakterizirana je vrlo visokim sadržajem DOC (1,020-3,250 mg/L, prosječna vrijednost 1,695 mg/L) te istovremeno visokim koncentracijama PAT (do 0,215 mg/L, prosječna vrijednost 0,086 mg/L). 2002. godine zabilježeno je prekomjerno cvjetanje mora praćeno stvaranjem sluzavih nakupina koje su doprinosile povećanim vrijednostima DOC i PAT (Degobbis i drugi, 2005). Za razliku od eutrofne 2002. godine kada su i zabilježeni vrlo visoki protoci rijeke Po, 2006. godina okarakterizirana je pretežno oligotrofnim uvjetima u vodenom stupcu sjevernog Jadrana, kada su izmjerene najniže koncentracije DOC (0,831-2,072 mg/L, prosječna vrijednost 1,068 mg/L) dok se koncentracije PAT nisu

značajno razlikovale u odnosu na 2002. godinu (do 0,225 mg/L, prosječna vrijednost 0,081 mg/L). 2006. godine zabilježeni su vrlo niski protoci rijeke Po.

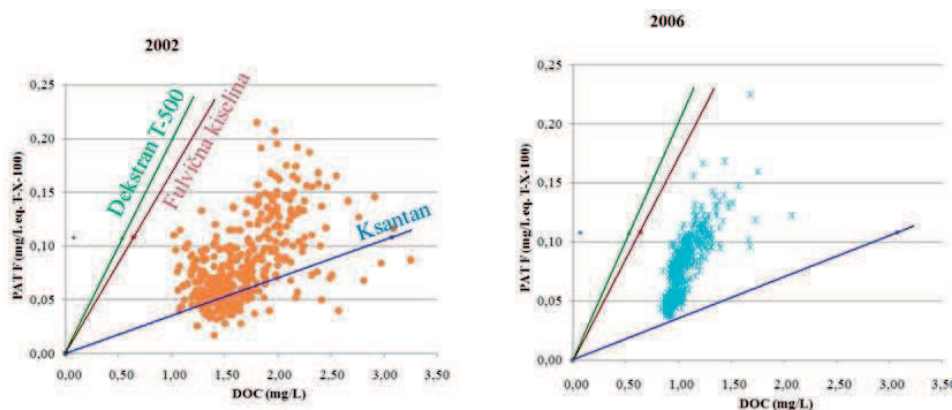
Tablica 1. Srednje vrijednosti i rasponi pojedinih parametara u vodenom stupcu sjevernog Jadrana

		DOC mg/L	PAT F mg/L eq. T-X-100	NPA
sjevni Jadran 2002 0 m	srednja vrijednost	1,965	0,112	0,057
	raspon	1,290 – 2,970	0,028 – 0,215	-
sjevni Jadran 2002 dno	srednja vrijednost	1,429	0,062	0,045
	raspon	1,040 – 2,570	0,017 – 0,120	-
sjevni Jadran 2006 0 m	srednja vrijednost	1,154	0,092	0,078
	raspon	0,831 – 2,072	0,039 – 0,225	-
sjevni Jadran 2006 dno	srednja vrijednost	0,992	0,071	0,071
	raspon	0,858 – 1,199	0,039 – 0,112	-
sjevni Jadran 1989–2017 0 m	srednja vrijednost	1,499	0,116	0,079
	raspon	0,792 – 4,920	0,015 – 0,417	-
sjevni Jadran 1989–2017 dno	srednja vrijednost	1,180	0,077	0,068
	raspon	0,769 – 4,010	0,015 – 0,034	-
SJ108 1989-2017 0 m	srednja vrijednost	1,603	0,135	0,087
	raspon	0,815 – 4,920	0,015 – 0,417	-
SJ108 1989-2017 dno	srednja vrijednost	1,181	0,080	0,071
	raspon	0,772 – 2,740	0,015 – 0,224	-
SJ107 1989-2017 0 m	srednja vrijednost	1,422	0,111	0,079
	raspon	0,800 – 3,093	0,015 – 0,271	-
SJ107 1989-2017 dno	srednja vrijednost	1,147	0,075	0,068
	raspon	0,784 – 2,460	0,015 – 0,230	-

Godišnja raspodjela DOC u vodenom stupcu sjevernog Jadrana također se razlikuje za ove dvije godine pa je tako u 2002. godini zabilježen visok sadržaj DOC kroz sve sezone uz vidljivu razliku koncentracija DOC po dubinama. Godišnja raspodjela sasvim je drugačija u 2006. godini, kada su koncentracije bile puno niže te vrlo uniformne u cijelom vodenom stupcu. Izraženi pikovi DOC su zabilježeni u proljeće i u kasno ljeto i to samo u površinskom sloju.

Kako bi se odredila i usporedila svojstva prisutne organske tvari, analiziran je i prikazan odnos PAT_F - DOC za ove dvije odabrane godine (Slika 2) uz prikaz istog odnosa za

odabrane modele OT karakteristične za prirodne vodene sustave (polimerne molekule ksantana, fulvične kiseline, dekstrana T-500).



Slika 2. Odnos PAT_F -DOC u vodenom stupcu sjevernog Jadrana na profilu Rovinj – ušće rijeke Po (sve postaje sa slike 1) za 2002. i 2006. godinu

Vidljivo je da se vrijednosti PAT_F i DOC grupiraju različito oko odabranih modela u pojedinim godinama, što ukazuje na različitost reaktivnosti odnosno tipa dominantno prisutnog organskog materijala.

Vrijednosti PAT_F - DOC se u 2002. godini grupiraju bliže modelnoj površinski aktivnoj tvari visokomolekularnom ksantanu, što ukazuje na hidrofilniji, manje adsorbabilan i slabije reaktivan organski materijal, uz prosječnu vrijednost NPA od 0,051. Važno je istaknuti kako je u toj godini zabilježena vrlo izražena akumulacija organskog materijala kao posljedica cvjetanja mora praćena stvaranjem velikih sluzavih nakupina organske tvari, mucilage-a (Degobbis i drugi, 2005). Kako je već opisano, u istom području sadržaj DOC bio je visok kroz cijelu godinu bez izraženijih sezonskih oscilacija.

Koncentracije PAT_F u 2006. godini ne razlikuju se značajnije u odnosu na 2002. godinu, dok su koncentracije DOC bile značajno niže. Prisutna OT je, uz višu prosječnu vrijednost NPA u odnosu na 2002. godinu (0,075), u 2006. bila adsorbabilnija odnosno reaktivnija, te po svojstvima bliža modelnoj tvari tipa fulvične kiseline (Slika 2). Uočene promjene najvjerojatnije su povezane s promjenama dominantnih fitoplanktonskih zajednica, od zabilježene dominacije dijatomeja u eutrofnoj 2002. godini, koje prvenstveno u početnoj fazi rasta luče hidrofilniju OT (NPA oko 0,04), (Ciglencečki i drugi, 2018) do pojave značajnog udjela primnezioficeja u 2006. godini (Mikac, 2013) koje luče hidrofobniju OT (NPA oko 0,09). Uočene promjene u skladu su sa zabilježenima promjenama u sastavu fitoplanktonskih populacija u sjevernom Jadranu posebno u periodu od 2002. do 2007. godine, koje pokazuju pomak prema porastu udjela manjih veličinskih frakcija fitoplanktona (Viličić i drugi, 2009; Gašparović, 2012; Marić i drugi, 2012) te prema manjim vrstama unutar mikrofitoplanktonske frakcije (Mozetić i drugi, 2010).

ZAKLJUČAK

U ovom radu je pokazano kako se uz pomoć odnosa PAT_F i DOC tj. prikazom normalizirane površinske aktivnosti (NPA) mogu pratiti promjene u svojstvima odnosno reaktivnosti (hidrofobno–hidrofilno, na osnovu utvrđenih promjena adsorpcijskih svojstava primjenom elektrokemijskih mjerenja) dominantno prisutne OT u moru.

Svojstva OT u sjevernom Jadranu, u dvije odabrane godine, 2002. i 2006. su bitno različita, te se mijenjaju od vrlo hidrofilne, manje reaktivne OT, po svojstvima slične modelnoj tvari polisaharida velike molekularne mase - ksantana (2002. godina) do hidrofobnije, adsorbabilnije i reaktivnije OT po svojstvima sličnije fulvičnoj kiselini i dekstranu T-500 (2006. godina). Pretpostavka je da su navedene promjene u svojstvima direktna posljedica promjena u zastupljenosti pojedinih fitoplanktonskih zajednica u ispitivanom razdoblju uslijed različitih hidrografskih prilika i unosa nutrienata prvenstveno rijekom Po. Promjene tipa OT iskazane promjenom NPA vrijednosti u istraživanom periodu ukazuju na promjene u ekosustavu SJ.

ZAHVALA

Autori zahvaljuju potpori projekata Hrvatske zaklade za znanost, IP-11-2013-1205, SPHERE i IP-2018-01-1717, MARRES.

LITERATURA

- [1] Ciglenečki I., Dautović J., Cvitešić A., Pletikapić G. (2018): *Production of surface active organic material and reduced sulphur species during the growth of marine diatom *Cylindrotheca closterium**, *Croatica Chimica Acta* 91 (4), 1-7
- [2] Čosović, B. i Vojvodić V. (1998): *Voltammetric Analysis of Surface Active Substances in Natural Seawater*, *Electroanalysis* 10(6), 429-434
- [3] Dafner E.V. i Wangersky P.J. (2002): *A brief overview of modern directions in marine DOC studies Part I. – Methodological aspects*, *Journal of Environmental Monitoring* 4, 48-54
- [4] Dautović J., Vojvodić V., Tepić N., Čosović B., Ciglenečki I. (2017): *Dissolved organic carbon as potential indicator of global change: A long-term investigation in the northern Adriatic*, *Science of the Total Environment* 587-588, 185-195
- [5] Degobbis D., Precali R., Ferrari C.R., Djakovac T., Rinaldi A., Ivančić I., Gismondi M., Smolaka N. (2005): *Changes in nutrient concentrations and ratios during mucilage events in the period 1999-2002*, *Science of the Total Environment* 353, 103-114
- [6] Godrijan J. (2015): *Značaj, bioraznolikosti i dinamika kokolitoforida u obalnom području istočnoga dijela sjevernoga Jadrana*, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu
- [7] Gašparović B. (2012): *Decreased production of surface-active organic substances as a consequence of the oligotrophication in the northern Adriatic Sea*, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 115, 33-39
- [8] Hansell D.A., Carlson C.A., *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter*, 1st edition, Academic Press, 2002.

- [9] Mikac I. (2013): *Višegodišnja dinamika fitoplanktonskih pigmenata u sjevernom Jadranu*, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu
- [10] Marić D., Kraus R., Godrijan J., Supić N., Djakovac T., Precali R. (2012): *Phytoplankton response to climatic and anthropogenic influences in the north-eastern Adriatic during the last four decades*, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 115, 98-112
- [11] Mozetić P., Solidoro C., Cossarini G., Socal G., Precali R., Francé J., Bianchi F., De Vittor C., Smolaka N., Fonda Umani S. (2010): *Recent Trends Towards Oligotrophication of the Northern Adriatic: Evidence from Chlorophyll a Time Series*, *Estuaries and Coasts*, 33(2), 362-375
- [12] Viličić D., Djakovac T., Burić Z., Bosak S. (2009): *Composition and annual cycle of phytoplankton assemblages in the northeastern Adriatic Sea*, *Botanica Marina* 52(4), 291-305

AUTORI

dr.sc. Jelena Dautović^a

dr.sc. Vjeročka Vojvodić^a

mr.sc. Nataša Tepić^b

dr.sc. Božena Čosović^a

dr.sc. Irena Ciglencečki^a

^a Institut Ruđer Bošković, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Bijenička 54, Zagreb, Hrvatska, jdautov@irb.hr, vojvodic@irb.hr, cosovic@irb.hr, Irena.Ciglencecki-Jusic@irb.hr

^b Koios consulting Ltd., Kemp House, 152 City Road, London, United Kingdom, tepic@irb.hr



PARTIKULARNI FOSFOR U PRIJELAZNIM I PRIOBALNIM VODAMA SREDNJEG JADRANA

Jere Veža, Grozdan Kušpilić

SAŽETAK: Koncentracije partikularnog fosfora (PP) istraživane su sezonski u vodenom stupcu priobalja srednjeg Jadrana na 7 postaja tijekom 2009. godine te jednokratno u površinskom sloju duž estuarija rijeke Krke. U svim uzorcima morske vode, uz PP, određeni su i standardni oceanografski parametri te koncentracije otopljenih hranjivih soli dušika, fosfora i silicija. Određene koncentracije PP u istraživanom području bile su u rasponu od $0,011 \mu\text{mol dm}^{-3}$ (ušće Neretve) do $0,589 \mu\text{mol dm}^{-3}$ (Šibenski zaljev) i više od koncentracija otopljenog anorganskog P. Statističkom analizom rezultata određena je značajna pozitivna korelacija PP s klorofilom *a* i hranjivim solima silicija te negativna korelacija sa salinitetom. Koncentracije PP, određene u površinskom sloju duž estuarija rijeke Krke, upućuju na njegovo nekonzervativno ponašanje u odnosu na salinitet. U gornjem dijelu estuarija zabilježeno je pozitivno, a u donjem dijelu negativno odstupanje od teoretske raspodjele partikularnog fosfora.

KLJUČNE RIJEČI: fosfor, partikularni fosfor, hranjive soli, Jadransko more, partikularna tvar, vodeni stupac

PARTICULATE PHOSPHORUS IN TRANSITIONAL AND COASTAL WATERS OF THE MIDDLE ADRIATIC

ABSTRACT: Particulate phosphorus (PP) concentrations were investigated seasonally in the water column of the coastal central Adriatic at 7 stations during 2009, and one-time in the surface layer along the estuary of the Krka River. In addition to PP, standard oceanographic parameters and concentrations of dissolved nutrients of nitrogen, phosphorus and silicon were determined in all seawater samples. The concentrations of PP in the investigated area ranged from $0.011 \mu\text{mol dm}^{-3}$ (Neretva Delta) to $0.589 \mu\text{mol dm}^{-3}$ (Šibenik Bay), and are higher than the concentration of dissolved inorganic P. The statistical analysis of the results revealed a significant positive correlation of PP with chlorophyll *a* and silicon nutrient salts and a negative correlation with salinity. The PP concentrations, determined in the surface layer along the estuary of the Krka, indicate its non-conservative behaviour in relation to salinity. In the upper part of the estuary, a positive deviation from the theoretical distribution of PP was recorded whereas a negative deviation was detected in its lower part.

KEYWORDS: phosphorus, particulate phosphorus, nutrients, Adriatic Sea, particulate matter, water column

1. UVOD

Morski autotrofni mikroorganizmi tijekom procesa fotosinteze koriste energiju sunca, otopljene oblike hranjivih soli (fosfati, nitrati, nitriti, amonijeve soli), ugljični dioksid te ostale mikroelemente za rast i izgradnju staničnih struktura. Biološka proizvodnja organske tvari dijelom ovisi o dostupnosti fosfora (P) za rast ovih mikroorganizama koji su neizostavan dio hranidbenog lanca u morskim ekosustavima što se posebno odnosi na Jadransko more gdje je P, a ne dušik ograničavajući čimbenik primarne proizvodnje (Vilibić i drugi, 2012).

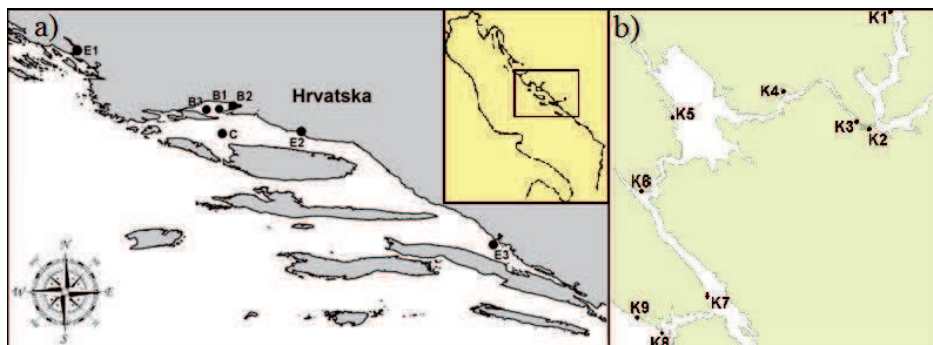
P se u morskom okolišu nalazi u otopljenom stanju, kao anorganski i organski otopljeni P (DIP, DOP) te u čestičnom, odnosno partikularnom obliku (partikularni fosfor - PP). Dosadašnja istraživanja fosfora u području srednjeg Jadrana bila su usmjerena na određivanje prostorne i vremenske raspodjele DIP i DOP u vodenom stupcu (Vilibić i drugi, 2012), protoka DIP između vodenog stupca i sedimenta (Barić i drugi, 2001) i na specijaciju P u sedimentu (Matijević, 2006). Istraživanja PP u vodenom stupcu Jadrana mogu biti važna jer ovaj oblik predstavlja dodatni, dosad neistraženi izvor fosfora za morske organizme.

2. MATERIJALI I METODE

Uzorkovanja morske vode za analizu partikularnog, otopljenog anorganskog i ukupnog fosfora (TP) te ostalih parametara iz vodenog stupca (koncentracije hranjivih soli dušika i silicija te klorofila *a*) kao i mjerenja temperature i saliniteta, provedena su sezonski tijekom 2009. god. u području srednjeg Jadrana. Točke uzorkovanja prikazane su na Slici 2.1.a.

Morska voda uzorkovana je na standardnim oceanografskim dubinama (0,5 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m i 2 m iznad morskog dna) na 7 postaja u priobalju srednjeg Jadrana. Uzorkovanje je provedeno sezonski (siječanj, travanj, kolovoz, studeni) tijekom 2009. god. u području srednjeg Jadrana: priobalni dio Kaštelanskog zaljeva (3 postaje), ušće rijeke Krke, Cetine i Neretve (po jedna postaja) te jedna postaja u Bračkom kanalu (Slika 2.1.a).

Uzorkovanje vode za analizu PP, DIP, TP te saliniteta obavljeno je i na 9 postaja u estuariju rijeke Krke, na dubini od 0,5 m (površinski sloj) jednokratno u ožujku 2016. godine (Slika 2.1.b).



Slika 2.1. Položaj postaja istraživanja partikularnog (PP), otopljenog anorganskog (DIP) i ukupnog fosfora (TP), koncentracija hranjivih soli dušika i silicija, klorofila *a*, temperature i saliniteta u priobalju (postaje E1, C, B1, B2, B3, E2 i E3) (a) i postaja istraživanja koncentracija PP, DIP, TP te saliniteta u estuariju rijeke Krke (postaje K1 do K9) (b).

Koncentracije hranjivih soli (ortofosfati, ortosilikati, nitrati, nitriti, amonijak) određene su na Auto-Analyzer-u III, SEAL Analytical prema Grasshoff i drugi (1983). Određivane koncentracija ukupnog fosfora (TP) i dušika (TN) obavljeno je prema McKelvie i drugi (1995), a PP prema Parsons i drugi (1984). Mjerenja temperature i saliniteta obavljena su CTD (Conductivity Temperature Density Probe) SBE25 multiparametarskom sondom proizvođača SeaBird, SAD. Koncentracije klorofila *a* određene su fluorometrijski prema Strickland i drugi (1972).

3. REZULTATI I RASPRAVA

3.1 Partikularni fosfor u području srednjeg Jadrana

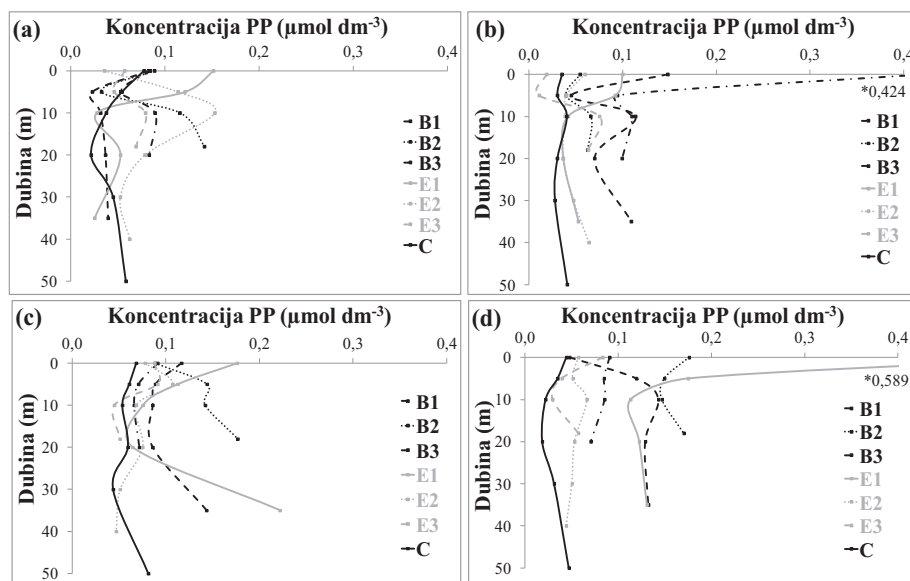
Sezonski te godišnji rasponi kao i srednje vrijednosti sa standardnim devijacijama koncentracija PP, DIP i TP izmjereni u vodenom stupcu priobalja srednjeg Jadrana tijekom 2009. god. prikazani su u Tablici 3.1.1.

Sezonske promjene koncentracija PP u priobalju srednjeg Jadrana pokazuju da je najniža prosječna koncentracija zabilježena tijekom zime ($0,068 \mu\text{mol dm}^{-3}$). U proljeće i ljeto, prosječna koncentracija PP raste, a najviša vrijednost zabilježena je tijekom jeseni ($0,100 \mu\text{mol dm}^{-3}$). Ovakav porast koncentracija PP od zime do jeseni znatno odstupa od promjena prosječnih sezonskih koncentracija DIP (Tablica 3.1.1). Gismondi i drugi (2002) također su pronašli više koncentracije PP u toplijem dijelu godine (lipanj) u odnosu na hladnije razdoblje (veljača) zbog povećanja fitoplanktonske biomase u toplijem dijelu godine.

Tablica 3.1.1. Rasponi koncentracija te srednje vrijednosti (SV) \pm standardna devijacija (SD) (izraženo u $\mu\text{mol dm}^{-3}$) istraživanih oblika fosfora u priobalju srednjeg Jadrana, tijekom pojedinih sezona u 2009. godini.

Oblik fosfora	Sezona	Raspon	SV \pm SD
PP	Zima	0,021 - 0,153	0,068 \pm 0,037
	Proljeće	0,011 - 0,424	0,071 \pm 0,070
	Ljeto	0,044 - 0,222	0,091 \pm 0,042
	Jesen	0,018 - 0,589	0,100 \pm 0,099
	Sve sezone	0,011 - 0,589	0,083 \pm 0,067
DIP	Zima	0,000 - 0,359	0,074 \pm 0,064
	Proljeće	0,001 - 0,232	0,059 \pm 0,046
	Ljeto	0,021 - 0,150	0,057 \pm 0,033
	Jesen	0,009 - 0,124	0,041 \pm 0,032
	Sve sezone	0,000 - 0,359	0,058 \pm 0,047
TP	Zima	0,095 - 0,472	0,179 \pm 0,069
	Proljeće	0,116 - 1,002	0,226 \pm 0,182
	Ljeto	0,051 - 0,400	0,199 \pm 0,091
	Jesen	0,066 - 0,321	0,137 \pm 0,058
	Sve sezone	0,051 - 1,002	0,183 \pm 0,110

Vertikalne raspodjele koncentracija PP u priobalnom području srednjeg Jadrana, tijekom pojedinih sezonskih istraživanja u 2009. godini, prikazane su na Slici 3.1.1.



Slika 3.1.1. Vertikalna raspodjela koncentracija partikularnog fosfora (PP) na postajama priobalja (postaje B1, B2, B3, E1, E2, E3 i C) tijekom zimske (a), proljetne (b), ljetne (c) i jesenske sezone (d) u 2009. godini.

Uočene sezonske promjene u vertikalnoj raspodjeli PP specifične su za pojedine postaje. Povišenja koncentracija PP javljaju se tijekom jedne sezone na postaji B3, odnosno u dvije sezone na postaji B2. Relativno ujednačene koncentracije tijekom cijele godine zabilježene su na postaji C.

Najviše koncentracije PP u priobalju, izmjerene su u Šibenskom zaljevu (postaja E1), najvjerojatnije kao posljedica povećane biomase mikroorganizama uslijed intenzivnije primarne i sekundarne proizvodnje u ovom području, zbog povišenih koncentracija otopljenih hranjivih soli (Bužančić i drugi, 2016). Na postaji B3 u zapadnom dijelu Kaštelanskog zaljeva, zabilježene koncentracije PP uglavnom su niže od $0,1 \mu\text{mol dm}^{-3}$ tijekom cijele godine, osim u proljeće kada je izmjereno $0,424 \mu\text{mol dm}^{-3}$ u površinskom sloju s nižim salinitetom ($S = 33,54$). Postaja B3 nalazi se pored dvaju podzemskih izvora slatke vode, koja je zbog donosa terigenog materijala smanjene prozirnosti, te se po hidrološkim svojstvima (viša temperatura i niži salinitet) razlikuje od okolne morske vode Kaštelanskog zaljeva (Alfirević, 1980). Vjerojatno je da dotok slatke vode u proljeće doprinosi povećanju količine čestica u vodenom stupcu, te posljedično uzrokuje povišenje koncentracija PP.

Najviše prosječne koncentracije PP u svim sezonama, osim u ljetnoj kad je najviša koncentracija PP izmjerena u pridnom (20 – 50 m) sloju, izmjerene su u površinskom sloju (0,5 m) vodenog stupca priobalja. Povišene koncentracije PP u površinskom sloju zabilježili su Giani i drugi (2003), i Gismondi i drugi (2002), u u sjevernom i srednjem Jadranu.

Koncentracije PP u srednjem sloju (10 – 20 m) vodenog stupca svih postaja bile su tijekom godine niže od koncentracija u površinskom i pridnom sloju. U pridnom sloju vodenog stupca uglavnom su određene neznatno povišene koncentracije PP u odnosu na srednji sloj, dok je u ljeto najviša prosječna koncentracija PP u vodenom stupcu određena u pridnom sloju. Povećana abundancija fitoplanktona u pridnom sloju postaja priobalja uobičajena je u ljetnom razdoblju, a javlja se uslijed viših koncentracija otopljenih hranjivih soli u tom dijelu vodenog stupca (Ninčević i drugi, 2002). U istraživanjima autora Yu i drugi (2012), zabilježena je povezanost abundancije fitoplanktona s koncentracijama PP i partikularnog dušika (PN) u vodenom stupcu, što bi moglo objasniti više koncentracije PP u pridnom sloju priobalja srednjeg Jadrana.

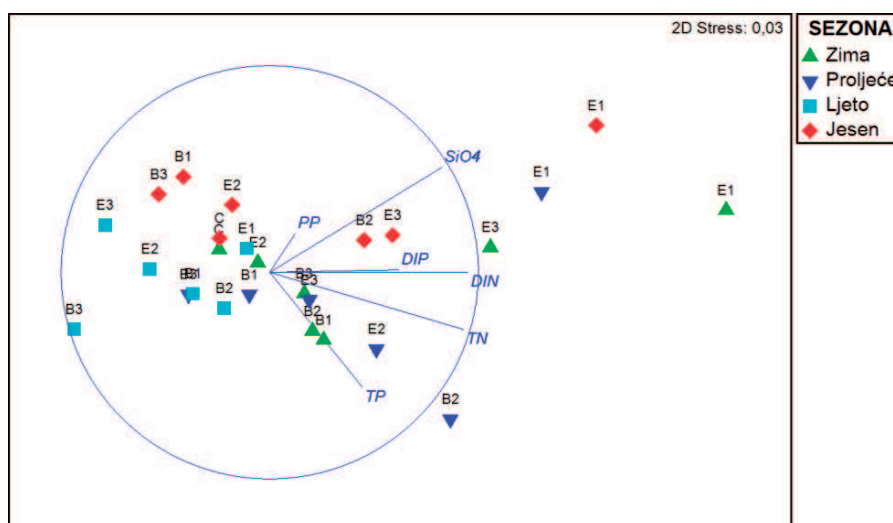
Na postajama B2 i B3 u Kaštelanskom zaljevu tijekom zime koncentracije PP u pridnom sloju bile su znatno više u odnosu na ostale slojeve vodenog stupca najvjerojatnije zbog procesa resuspenzije sedimenta u ovom dijelu godine (Ujević i drugi, 2010), slično kao što su zaključili Gismondi i drugi (2002) za povišene koncentracije PP u sjevernom Jadranu u pridnom sloju. Postaja C u Bračkom kanalu, odstupala je relativno ujednačenim vrijednostima PP u svim slojevima vodenog stupca tijekom četiriju sezona.

Kako bi se istražila povezanost PP s ostalim određivanim parametrima primijenjena je Pearsonova korelacija čiji su koeficijenti korelacije prikazani u Tablici 3.1.2.

Tablica 3.1.2. Rezultati Pearsonove korelacije između parametara određenih u vodenom stupcu istraživanih postaja priobalja srednjeg Jadrana tijekom 2009. godine (jače otisnute vrijednosti označavaju statistički značajne ($p < 0,001$; $N = 136$) korelacije).

	DIP	PP	TP	DIN	TN	SiO ₄	T	S
PP	0,12							
TP	0,32	0,15						
DIN	0,69	0,32	0,53					
TN	0,66	0,25	0,47	0,92				
SiO ₄	0,68	0,46	0,28	0,89	0,83			
T	-0,24	0,06	-0,08	-0,22	-0,32	-0,19		
S	-0,59	-0,59	-0,29	-0,78	-0,76	-0,91	0,11	
Chl <i>a</i>	0,28	0,62	0,34	0,50	0,51	0,52	-0,29	-0,67

Statistički značajne korelacije PP ustanovljene su s klorofilom *a*, salinitetom i ortosilikatom. Najviši koeficijent korelacije ustanovljen je s koncentracijama klorofila *a*, što upućuje na veliki utjecaj fitoplanktonske zajednice na koncentracije PP. Premda je pozitivna veza klorofila *a* zabilježena s većinom istraživanih hranjivih soli (kao i sa salinitetom), najviša vrijednost korelacije za hranjive soli izračunata je za PP, a od ostalih parametara za salinitet. Veza klorofila *a* sa salinitetom je razumljiva, s obzirom na to da se većina postaja priobalja nalazi u blizini ušća rijeka gdje su koncentracije hranjivih soli povišene pa je i intenzitet primarne proizvodnje veći.



Slika 3.1.2. Grupiranje postaja priobalja tijekom istraživanog razdoblja (zima, proljeće, ljeto, jesen) dobiveno MDS metodom na temelju transformiranih vrijednosti koncentracija hranjivih soli (PP, DIP, TP, DIN, TN, ortosilikati) metodom drugog korijena. Superponirani vektori za kemijske parametre prikazuju Pearsonovu korelaciju.

Sličnost među postajama priobalja s obzirom na koncentracije hranjivih soli fosfora, dušika i silicija tijekom različitih sezona istražena je primjenom metode nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (MDS) (Slika 3.1.2). Iz rezultata analize uočava se specifičnost Šibenskog zaljeva (E1) u kojem su zabilježene visoke koncentracije DIN-a i silikata (Euclidean distance, ED=1,5). Nasuprot tomu, postaje u Kaštelanskom zaljevu (postaje B) te postaja u Bračkom kanalu (C) grupirane su u zasebnu skupinu, a karakteriziraju ih niže vrijednosti istraživanih hranjivih soli.

Na temelju rezultata MDS analize (Slika 3.1.2), koncentracije hranjivih soli DIN-a, TN-a i silicija najviše utječu na grupiranje postaja u priobalju. Prema prethodnim istraživanjima otvorenog mora i priobalnih područja Jadrana (Viličić, 2014), koncentracije hranjivih soli DIN-a i ortosilikata više su u područjima pod utjecajem rijeka, zbog riječnog donosa ovih hranjivih soli. Četiri (B2, E1, E2, E3) od ukupno sedam istraživanih postaja u ovom radu smještene su u području ušća rijeka. Ukoliko se promatra položaj postaja u odnosu na vektore hranjivih soli DIN-a i silikata može se zaključiti da je najveći utjecaj ovih hranjivih soli zabilježen na (E1) postaji u Šibenskom zaljevu koja je na MDS dijagramu odvojena od ostalih u svim sezonama, osim ljetne. Šibenski zaljev je pod značajnim utjecajem rijeke Krke, te je već ranije opisan kao područje izrazito visoke biološke proizvodnje (Kušpilić i drugi, 2009). Grupiranje postaja u ljetnom periodu (lijevi dio MDS dijagrama) posljedica je osiromašenja vodenog stupca hranjivim solima zbog ljetne stratifikacije i smanjenog protoka slatke vode. Smanjeni dotok riječne vode u Šibenski i Kaštelanski zaljev uzrokuje i sniženi donos soli DIN-a i silikata. Na grupiranje postaja u Kaštelanskom zaljevu i na ušću Cetine tijekom zime i proljeća (donji dio MDS dijagrama) najviše utječu koncentracije ukupnog dušika i fosfora (TN, TP).

3.2 Partikularni fosfor u površinskom sloju estuarija rijeke Krke

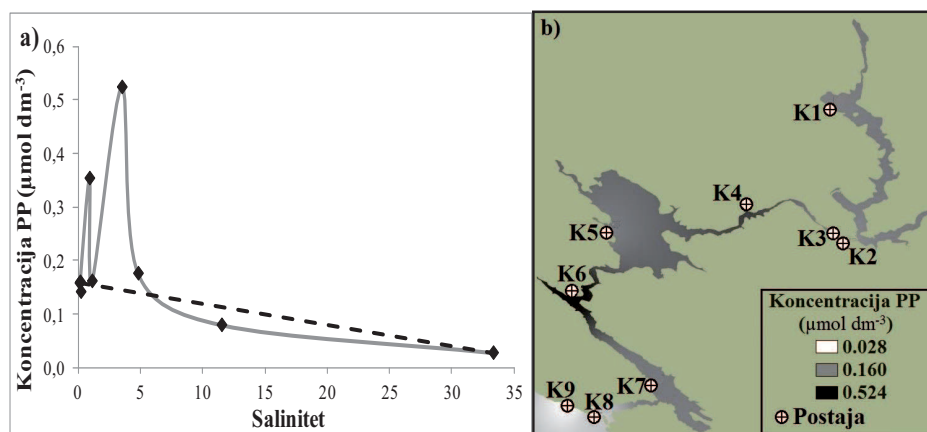
Koncentracije PP, DIP, TP i saliniteta određene u estuariju rijeke Krke u ožujku 2016. god. prikazane su u Tablici 3.2 i na Slici 3.2 gdje su prikazane koncentracije PP u površinskom sloju.

Tablica 3.2. Koncentracije partikularnog fosfora (PP), otopljenog anorganskog (DIP) i ukupnog fosfora (TP) (izraženo u $\mu\text{mol dm}^{-3}$) te salinitet na istraživanim postajama estuarija rijeke Krke tijekom ožujka 2016. godine.

Estuarij	Postaja	PP	DIP	TP	Salinitet
Krka	K1	0,158	0,127	0,631	0,1
	K2	0,142	0,174	0,395	0,2
	K3	0,160	0,165	0,326	0,15
	K4	0,354	0,257	1,048	0,9
	K5	0,162	0,084	0,338	1,1
	K6	0,524	0,097	0,775	3,5
	K7	0,176	0,085	0,371	4,8
	K8	0,080	0,026	0,219	11,5
	K9	0,028	0,010	0,199	33,3

S obzirom na različiti sastav morske i riječne vode (Meybeck i drugi, 1996) do sada su provedena brojna istraživanja kojima je ispitano ponašanje različitih elemenata i spojeva u estuarijima. Rezultati ovih istraživanja pokazuju da se glavni sastojci morske vode u područjima estuarija ponašaju konzervativno (Pal Singh i drugi, 2014), odnosno da je njihov sadržaj u direktnoj vezi sa salinitetom. Istraživanja u estuariju rijeke Krke (Kušpilić, 1996) zabilježila su konzervativno ponašanje bromida u površinskom sloju estuarija.

Nekonzervativno ponašanje hranjivih soli u estuarijima zabilježeno je u istraživanjima Uncles i drugi (2002) koji su naveli biološke procese kao glavne čimbenike odstupanja koncentracija hranjivih soli od teoretskih vrijednosti. Ranija istraživanja (Kušpilić, 1992) su pokazala kako ortosilikati mogu imati konzervativno ponašanje u estuarijima. Istraživanja raspodjele koncentracija PP duž estuarija rijeke Krke ukazuju da ponašanje PP nije konzervativno (Slika 3.2).



Slika 3.2. Koncentracije partikularnog fosfora (PP, $\mu\text{mol dm}^{-3}$) izmjerene tijekom ožujka 2016 u površinskom sloju estuarija rijeke Krke u odnosu na salinitet površinskog sloja (a). Isprekidana crta predstavlja teoretsku raspodjelu PP kod konzervativnog ponašanja. Prostorna raspodjela PP u površinskom sloju estuarija rijeke Krke (b).

U estuariju rijeke Krke najviše koncentracije PP izmjerene su u uskim kanalskim područjima. U gornjem dijelu estuarija rijeke Krke (postaje K4 i K6), površinskog saliniteta do 3,5, izmjerene su znatno veće koncentracije PP u odnosu na očekivane vrijednosti (pri konzervativnom ponašanju, prikazano prekinutim crtama na Slici 3.2), dok su koncentracije u donjem dijelu estuarija (postaje K8 i K9) nešto manje u odnosu na teoretske. Ovakvo stanje ukazuje da se u gornjem dijelu estuarija stvara dodatni PP, koji se u donjem dijelu estuarija gubi. Rezultati monitoringa kemijskog i ekološkog stanja prijelaznih voda (IOR, 2017) ukazuju na niže koncentracije klorofila *a* u gornjem dijelu estuarija rijeke Krke, što ukazuje da biološki procesi nisu glavni uzrok obogaćivanja PP u tom dijelu estuarija, već određeni geokemijski procesi. Istraživanja u sustavu estuarija pokazuju kako se najveće geokemijske promjene oblika P događaju pri niskom salinitetu (< 5), gdje se uslijed miješanja slatke i slane vode odvija proces flokulacije (pahuljičenja)

koloida (Prastka i Malcom, 1994). Za pretpostaviti je da se DIP adsorbira na koloidne što uzrokuje povećanje koncentracija PP u gornjem dijelu estuarija rijeke Krke, dok je gubitak PP u donjem dijelu estuarija posljedica sedimentacije.

ZAKLJUČAK

U priobalnom području srednjeg Jadrana najviše koncentracije PP zabilježene su tijekom jeseni, a najniže tijekom zime. U vodenom stupcu najviše koncentracije PP ustanovljene su u površinskom sloju tijekom većeg dijela godine (proljeće, jesen i zima) uslijed unosa PP-a slatkovodnim dotocima. PP je tijekom sezonskih istraživanja 2009. godine uglavnom bio biološkog podrijetla; analizom korelacije istraživanih parametara ustanovljena je pozitivna korelacija koncentracija PP i klorofila *a*. Koncentracije PP izmjerene u površinskom sloju estuarija rijeke Krke ukazuju na nekonzervativno ponašanje u odnosu na salinitet. Pozitivno odstupanje određeno je do saliniteta 3,5 uslijed geokemijskih procesa flokulacije koloidnih čestica, dok je u donjem dijelu estuarija, sa salinitetom od 3,5 do 33, zabilježeno negativno odstupanje kao posljedica procesa sedimentacije PP.

LITERATURA

- [1] Alfirević, S., (1980): *Contribution on the knowledge of the Kaštela Bay geology*. Acta Adriatica, 21, 43-53.
- [2] Barić, A., Kušpilić, G., Matijević, S., (2002): *Nutrient (N, P, Si) fluxes between marine sediments and water column in coastal and open Adriatic*. Hydrobiologia, 475, 151-159.
- [3] Bužančić, M., Ninčević Gladan, Ž., Marasović, I., Kušpilić, G., Grbec, B., (2016): *Eutrophication influence on phytoplankton community composition in three bays on the eastern Adriatic coast*. Oceanologia, 58, 302-316.
- [4] Giani, M., Savelli, F., Boldrin, A., (2003): *Temporal variability of particulate organic carbon, nitrogen and phosphorus in the Northern Adriatic Sea*. Hydrobiologia, 494, 319-325.
- [5] Gismondi, M., Giani, M., Savelli, F., Boldrin, A. & Rabitti, S., (2002): *Particulate organic matter in northern and central Adriatic*. Chemistry and Ecology, 18, 27-38.
- [6] Grasshoff K., Ehrhardt M., Kremling K., (1983): *Methods of sea water analysis; II edition*, Verlag Chemie, Weinheim, 419
- [7] Institut za oceanografiju i ribarstvo, Institut Ruđer Bošković, Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, (2017): *Rezultati sustavnog istraživanja kakvoće prijelaznih i priobalnih voda u 2016. i 2017 godini. Preliminarni rezultati istraživanja kemijskog i ekološkog stanja prijelaznih voda.*, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split.
- [8] Kušpilić, G., (1992): *The distribution of nutrients in the surface layer of the Krka Estuary*, Rapp. Comm. int. Mer. Medit., 33, 75.
- [9] Kušpilić, G., (1996): *Eine neue elektrochemische Methode zur Bestimmung von Bromidionen in natürlichen Gewässern*. Clean – Soil, Air, Water, 24, 142-146.

- [10] Kušpilić, G., Marasović, I., Krstulović, N., Šolić, M., Ninčević Gladan, Ž., Bojanić, N., Vidjak, O., Matijević, S., (2009): *Restoration potential of eutrophic waters adjacent to large coastal cities: Lessons from the coastal zone of Croatia*. Proceedings of the International workshop on the Impact of large coastal Mediterranean cities on marine ecosystems. (Angelidis, M., Briand, F., Cadiou, J.-F., Kholeif, S., Oh, J., Rodriguez Y Baena, A., Scoullou, M.), Imprimerie MARIM, Toulon, 117-120.
- [11] Matijević, S., (2006): *Raspodjela kemijskih oblika fosfora u sedimentu srednjega Jadrana*. Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- [12] McKelvie, I.D., Peat, D.M.W., Worsfold, P.J., (1995): *Techniques for the quantification and speciation of phosphorus in natural waters*. Analytical Proceedings including Analytical Communications, 32, 437-445.
- [13] Meybeck, M., Friedrich, G., Thomas R., Chapman, D., (1996): *Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, Second Edition*. F & FN Spon, London, 651.
- [14] Ninčević, Ž., Marasović, I., Kušpilić, G., (2002): *Deep chlorophyll maximum at one station in the middle Adriatic Sea*. Journal of Marine Biological Association of the UK, 82, 9-19.
- [15] Pal Singh, S., Kumar Singh, S., Bhushan, R., (2014): *Dissolved Boron in the Tapi, Narmada and the Mandovi Estuaries, the Western Coast of India: Evidence for Conservative Behavior*. Estuaries and Coasts, 37, 1017-1027.
- [16] Parsons, T.R., Maita, Y., Lalli, C.M., (1984): *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press, Oxford, 173.
- [17] Prastka, K.E. i Malcom, S.J., (1994): *Particulate phosphorus in the Humber estuary*. Aquatic Ecology, 28, 397-403.
- [18] Strickland, J.D.H. i Parsons, T.R., (1972): *A practical handbook of seawater analysis, 2nd edn*. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, 310.
- [19] Ujević, I., Kljaković-Gašpić, Z., Bogner, D., (2010): *Influence of suspended matter on cadmium accumulation in sediment from Kaštela Bay, Adriatic Sea, Croatia*. Acta Adriatica, 51, 79-88.
- [20] Uncles, R.J., Fraser, A.I., Butterfield, D., Johnes, P., Harrod, T.R., (2002): *The prediction of nutrients into estuaries and their subsequent behaviour: application to the Tamar and comparison with the Tweed, U.K.* Hydrobiologia, 475, 239-250.
- [21] Vilibić, I., Matijević, S., Šepić, J., (2012): *Changes in the Adriatic oceanographic properties induced by the Eastern Mediterranean Transient*. Biogeosciences., 9, 927-956.
- [22] Viličić, D., (2014): *Specifična oceanološka svojstva hrvatskog dijela Jadrana*. Hrvatske vode, 90, 297-314.
- [23] Yu, Y., Song, J., Li, X., Yuan, H., Li, N., (2012): *Distribution, sources and budgets of particulate phosphorus and nitrogen in the East China Sea*. Continental Shelf Research, 43, 142-155.

AUTORI

Jere Veža, dipl. ing. ^a

dr. sc. Grozdan Kušpilić ^a

^a Institut za oceanografiju i ribarstvo, Šet. I. Meštrovića 63, 21000 Split, Hrvatska,
veza@izor.hr; kuspe@izor.hr



R 1.55.

**MIKROBNA EKOLOGIJA – POKAZATELJ
ZDRAVSTVENOG STANJA MORSKOG OKOLIŠA U
MALOSTONSKOM ZALJEVU**

**Darija Vukić Luši, Anamarija Kolda, Ana Gavrilović, Jura Jug-Dujaković,
Snježana Kazazić, Kristina Pikelj, Irena Vardić Smrzlić, Lorena Perić,
Jakov Žunić, Brigita Hengl, Dražen Knežević, Damir Kapetanović**

SAŽETAK: Malostonski zaljev je poluzatvoreni dio istočnog dijela Jadranskog mora, koji je zbog važnosti za uzgoj kamenica proglašen posebnim rezervatom u moru. Međutim, uzgojne aktivnosti mogu dovesti do promjena u brojnosti mikrobnih vrsta te potencijalno do pojave bolesti kod uzgajanih morskih organizama i/ili njihove zdravstvene neispravnosti pri konzumaciji.

U razdoblju od 2016. - 2018. provedeno je sezonsko istraživanje mikrobioloških pokazatelja morske vode i sedimenta na dvije lokacije Malostonskog zaljeva: u središnjem nenaseljenom dijelu zaljeva u Malostonskom kanalu, kod otoka Pučenjak (OP) te na kaveznom uzgajalištu riba kod otočića Maslinovac (OM).

Rezultati istraživanja su ukazali na sezonske promjene fizikalno-kemijskih i mikrobioloških pokazatelja u vodenom stupcu i sedimentu. U stupcu morske vode kod OP, vrijednosti mikrobioloških pokazatelja, posebno indikatora fekalne kontaminacije, bile su značajno veće nego kod OM. Istovremeno, uzgoj ribe utjecao je na razinu mikrobiološke aktivnosti u morskom sedimentu ispod uzgojnih kaveza.

Veće vrijednosti mikrobioloških pokazatelja kod OP mogle bi biti posljedica povećane mikrobne abundancije do koje dolazi tijekom ili neposredno nakon turističke sezone, a najvjerojatnije su posljedica nepostojanja kanalizacijskog sustava na području ovog posebnog rezervata u moru i/ili donosa onečišćenja dotokom rijeke Neretve.

KLJUČNE RIJEČI: marikultura, ekološki kapacitet morskog okoliša, mikrobiološka kvaliteta plodova mora

**MICROBIAL ECOLOGY – INDICATOR OF MARINE
ENVIRONMENTAL HEALTH IN THE MALI STON BAY**

ABSTRACT: The semi-enclosed Mali Ston Bay in the Eastern Adriatic Sea was declared as a Special Reserve in the Sea due to its importance for shellfish farming. However,

farming activities may lead to changes in the abundance of microbial species, and potentially to diseases of farmed organisms and/or their unsuitability for consumption.

In the period from 2016 to 2018 a seasonal study of seawater and sediment microbiological indicators was conducted at two sites of the Bay: in the central uninhabited part (Malostonski kanal), on the island Pučenjak (OP) and at the fish farm by the islet Maslinovac (OM).

The results of the study pointed to the seasonal changes of physico-chemical and microbiological indicators in the water column and sediment. In the column at OP, the values of microbiological indicators, particularly fecal contamination indicators, were significantly higher than at OM. At the same time, fish farming affected the level of microbiological activity in the sediment under the cages.

The higher values of microbiological indicators in the OP may be due to increased microbial abundance during, or immediately after the tourist season, and most probably are the consequence of the absence of a sewage system in the area, and/or the pollution from the Neretva River.

KEYWORDS: mariculture, ecological carrying capacity of marine environment, microbiological quality of seafood

1. UVOD

Malostonski zaljev nalazi se u duboko usječenom, slabo naseljenom prostoru između kopna i poluotoka Pelješca (Viličić, 2014), na završetku Neretvanskog kanala u koji utječe rijeka Neretva (NN 53/05). Dugačak je 28 km, najveće širine 6,1 km. Zbog velike razvedenosti vanjskog i unutrašnjeg dijela zaljeva ukupna dužina obale je oko 100 km, najveće dubine 29 m. Ekološke prilike u zaljevu najviše ovise o utjecajima s kopna, a manjim dijelom s otvorenog mora. Vanjski i srednji dio zaljeva povremeno je pod jačim, a njegov unutarnji dio pod slabijim utjecajem slatke vode rijeke Neretve, osobito za vrijeme većeg riječnog vodostaja i jačih zapadnih vjetrova (NN 53/05). Prema koncentraciji hranjivih soli i količini fitoplanktona zaljev se može kvalificirati kao prirodno umjereno eutrofan sustav (NN 53/05). Osim vruljama, za ekološke i produkcijske odnose od velikog je značaja donos organske tvari s kopna oborinskim vodama. Zbog svoje relativno velike produktivnosti i značaja za uzgoj školjkaša, Malostonski zaljev je 1983. proglašen rezervatom prirode u moru (NN 53/05).

Osim za uzgoj školjkaša, posebno kamenice, uvjeti okoliša u Malostonskom zaljevu su povoljni i za kavezni uzgoj lubina (*Dicentrarchus labrax*) i orade (*Sparus auratus*). Danas se marikultura smatra značajnom produktivnom granom gospodarstva i stoga je na razini lokalne zajednice u izravnom sukobu s drugim gospodarskim aktivnostima, prvenstveno turizmom. Potencijalni učinci marikulture su raznoliki, od estetskih aspekata do izravnih pojava onečišćenja (Kapetanović i sur., 2013; Maldonado i sur., 2005). Prema Price i sur. (2015) primjena dobre proizvodne prakse (korištenje kvalitetne hrane i redukcija njezinog rasipanja) minimizira negativne učinke farme na kvalitetu okolnog mora te obogaćivanje okolnog vodenog stupca nije moguće detektirati na udaljenostima većoj od 100 m od riblje farme. S druge strane, neravnoteže u morskom ekosustavu, uzrokovane promjenama u brojnosti mikrobnih vrsta, mogu dovesti do pojave bolesti kod uzgajanih riba i/ili uzrokovati njihovu zdravstvenu neispravnost za ljudsku konzumaciju. Kada je

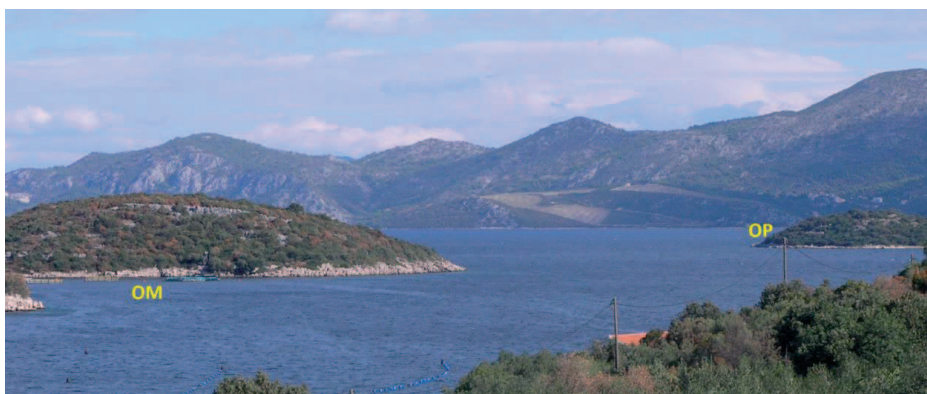
riječ o Malostonskom zaljevu, najvećem uzgojnom području europske plosnate kamenice u Hrvatskoj, kvaliteta mikrobiološke kakvoće mora još je od većeg značaja, budući da se ovi filtratorni organizmi konzumiraju termički neobrađeni.

U cilju utvrđivanja prisutnosti i identifikacije mikroorganizama u različitim sezonama kroz višegodišnje razdoblje (2016. - 2018.) provedeno je detaljno komparativno istraživanje mikrobiološke kakvoće morske vode i sedimenta u središnjem nenaseljenom dijelu Malostonskog zaljeva, kod otoka Pučenjak te na kaveznom uzgajalištu ribe kod otočića Maslinovac.

2. MATERIJAL I METODE

2.1. Uzorkovanje mora i sedimenta

Istraživanje je provedeno u periodu 2016. - 2018. na dvije lokacije u Malostonskom zaljevu, na uzgajalištu riba "Ciplić", kod otočića Maslinovac i na nenaseljenom dijelu zaljeva kod otoka Pučenjak (Slika 1). Uzorkovanje je provedeno na četiri dubine (0,5 m, 5 m i 10 m ispod površine mora te 0,5 m iznad morskog dna), četiri puta godišnje.



Slika 1. Lokacije uzorkovanja u Malostonskom zaljevu kod otočića Maslinovac (OM) i otoka Pučenjak (OP)

Uzorci mora za mikrobiološku i fizikalno-kemijsku analizu, uzeti su uporabom Niskinovog crpca (8 L) iz čamca u sterilne plastične boce (1 L) (Kapetanović i drugi, 2013).

Uzorak sedimenta (10,0 g) aseptično je izvagan i prenesen u sterilnu Phosphate Buffered Saline (100 mL) otopinu – PBS (Merck) za homogenizaciju (Mudryk, 2005). Supernatant je serijski razrijeđen sa sterilnim PBS-om i inokuliran metodom širenja po podlozi.

Mjerenje temperature, otopljenog kisika, pH i saliniteta pomoću Mettler sonde provedeno je *in situ*. U laboratoriju su određeni ukupni dušik i fosfor.

2.2. Mikrobiološka analiza

Ukupan broj bakterija (UBB)

Uzorci mora i sedimenta serijski su razrijeđeni s PBS-om (Merck) za mikrobiološku analizu te su inokulirani metodom širenja na Difco™ Marine Agar 2216 (BD) podlozi i inkubirani na 22°C kroz 3 do 5 dana.

Određivanje fekalnih pokazatelja

Fekalni pokazatelji su određeni uporabom definirane supstrat tehnologije. Colilert™ je korišten za određivanje ukupnih koliformnih bakterija – UKB i *Escherichia coli* – EC, Enterolert-E™ za određivanje enterokoka – ENT, a Pseudalert™ za određivanje *Pseudomonas aeruginosa* – PA (IDEXX).

Vibrio izolacija i prebrojavanje

Selektivna podloga Thiosulphate Citrate Bile Salt Sucrose (Difco™, BD) je korištena za izolaciju vibrija (VIB) iz sedimenta i mora primjenom metode širenja po podlozi (1 mL) (Kapetanović i drugi, 2013). Za brzu identifikaciju izoliranih bakterija korištena je MALDI-TOF (Matrix Assisted Laser Desorption Ionization - Time of Flight; matricom potpomognuta ionizacija desorpcijom laserskog zračenja-analizator masa s vremenom leta) spektrometrija masa (MS).

2.3. Statistička analiza

Statistička obrada rezultata provedena je uporabom statističkih programa SigmaStat 3.5. Značajnost razlika u analiziranim parametrima na istraživanim lokalitetima u Malostonskom zaljevu, dubinama i sezonama određena je pomoću neparametrijskih statističkih testova, primjenom Kruskal-Wallis testa s *post-hoc* Dunnovim testom te Mann-Whitney testom.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Tijekom trogodišnjeg istraživanja u Malostonskom zaljevu (2016.-2018.) uzeto je 80 uzoraka mora i 20 uzoraka sedimenta. U 2016. provedena su dva uzorkovanja: ljetno i jesensko, dok su u 2017. i 2018. provedena uzorkovanja u svim godišnjim dobima.

3.1. Rezultati fizikalno-kemijske analize mora

Vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara analiziranih uzoraka zadovoljavaju potrebe za uzgoju morskih vrsta riba, uz zabilježene sezonske razlike na istraživanim lokalitetima.

3.2. Rezultati analize mora

Tijekom uzorkovanja nisu utvrđene statistički značajne razlike između različitih dubina uzorkovanja u vrijednostima mikrobioloških pokazatelja.

Od ispitanih fekalnih indikatorskih bakterija (FIB = UKB+EC+ENT), značajno veći broj UKB utvrđen je 2016. na lokaciji kod otoka Pučenjak ($p < 0,05$). U brojevima UBB i VIB nisu utvrđene statistički značajne razlike.

Statističkom analizom rezultata na pojedinoj lokaciji po godinama, utvrđeno je da kod otočića Maslinovac nema statistički značajne razlike u broju UKB, ENT i PA, dok se broj EC i VIB u uzorcima iz 2018. statistički značajno razlikuje u odnosu na 2017., kao i UBB 2018. u odnosu na 2016. ($p < 0,05$). Kod otoka Pučenjak utvrđena je statistički značajna razlika broja UKB u 2016. u odnosu na 2017. ($p < 0,05$), kao i broja EC u 2018. u odnosu na 2016. i 2017. ($p < 0,05$) te UBB u 2018. u odnosu na 2016. ($p < 0,05$), dok u brojevima ENT, PA i VIB nema razlike.

Promatraju li se sezonske razlike u analiziranim pokazateljima kvalitete mora, značajno veći broj UKB zabilježen je u ljeto 2016. i VIB u jesen 2016. kod otoka Pučenjak u odnosu na broj UKB i VIB kod otočića Maslinovac, kao i broja EC u moru kod otočića Maslinovac u odnosu na broj EC u moru kod otoka Pučenjak u ljeto 2018. ($p < 0,05$). Sezonski utjecaj također je zabilježen na broju UKB i EC u 2017. i 2018. Broj UKB bio je značajno veći u jesen 2017. u odnosu na proljeće na obje lokacije u Malostonskom zaljevu ($p < 0,05$). U 2018. broj UKB utvrđen u ljetnom uzorkovanju statistički je značajno veći u odnosu na broj UKB u proljeće i jesen kod otoka Pučenjak, kao i kod otočića Maslinovac u jesen iste godine ($p < 0,05$).

3.3. Rezultati analize sedimenta

U uzorcima sedimenta ispitani su isti mikrobiološki pokazatelji kao i u uzorcima vode, a dobivene vrijednosti su u sedimentu uglavnom veće od vrijednosti utvrđenih u morskom stupcu, ali bez statistički značajne razlike. U pogledu fekalnih pokazatelja nije utvrđena statistički značajna razlika između dvije lokacije uzorkovanja.

Prema rezultatima ispitivanja na pojedinoj lokaciji tijekom tri godine utvrđeno je da u sedimentu kod otočića Maslinovac i otoka Pučenjak postoji statistički značajna razlika broja VIB u 2017. u odnosu na 2016. ($p < 0,05$), a kod otočića Maslinovac i u pogledu UBB u 2017. u odnosu na 2016. ($p < 0,05$).

Povećanje UBB u sedimentu, s istovremenim povećanjem UBB u morskom stupcu upućuje na organsko obogaćenje na lokacijama uzorkovanja (Kapetanović i drugi, 2013). Utvrđeni broj VIB u sedimentu kod otoka Pučenjak su u sve tri godine uzorkovanja veće od broja VIB u sedimentu kod otočića Maslinovac, pri čemu je razlika u 2017. i statistički značajna ($p < 0,05$).

Dobiveni rezultati ukazuju da uočene razlike u vrijednostima ispitivanih pokazatelja nisu posljedica marikulturnih aktivnosti, kao što je opisano u sličnim istraživanjima u Mediteranu (Maldonado i drugi, 2005), obzirom na ograničeni utjecaj farme na stupac mora i sediment u neposrednoj blizini (Kapetanović i drugi, 2013).

Identifikacija *Vibrio*

Bakterije roda *Vibrio* su utvrđene tijekom cijelog istraživanja u uzorcima mora i sedimenta na obje lokacije u Malostonskom zaljevu. Ukupno je tijekom tri godine istraživanja izolirano i s uporabom MALDI-TOF MS-a identificirano 15 vrsta iz roda *Vibrio*. Od posebnog značenja su vrste koje su istovremeno izolirane iz uzoraka sedimenta i stupca mora na svakoj od lokacija uzorkovanja. Tako su na lokaciji kod otoka Pučenjaka u sedimentu i moru dominantne vrste: *V. pomeroi* (24,7 %), *V. chagasii* (16,9 %), *V. gigantis* (15,7 %), *V. harveyi* (12,4 %), *V. tasmaniensis* (7,9 %), *V. parahaemolyticus* (4,5 %), *V. pelagius* (3,4 %) i *V. fortis* (2,2 %). Istovremeno, na drugoj lokaciji u Malostonskom zaljevu kod otočića Maslinovac gdje je smješteno kavezno uzgajalište ribe u uzorcima sedimenta i mora dominiraju vrste: *V. pomeroi* (21,3 %), *V. harveyi* (20,0 %), *V. tasmaniensis* (16,0 %), *V. gigantis* (13,3 %), *V. alginolyticus* (6,7 %) i *V. chagasii* (5,3 %).

Navedene izolirane i identificirane vrste iz roda *Vibrio*, značajne su s aspekta javnog zdravlja. Trovanja s hranom, uzrokovana s vrstom *V. parahaemolyticus* obično su učestale tijekom ljetnih mjeseci, povezane s konzumacijom različite hrane porijeklom iz

mora: rakovi, škampi, dagnje, ribe i kamenice (Wang i drugi, 2015).

V. alginolyticus, koji je izoliran iz sedimenta i mora na lokaciji s marikulturnom proizvodnjom, ne samo da uzrokuje vibriozu u morskih riba nego može izazvati trovanja u ljudi s morskim plodovima ili crijevne infekcije kod ljudi nakon konzumacije sirovih ili nedovoljno kuhanih morskih proizvoda (Cao i sur., 2018).

ZAKLJUČAK

Veće vrijednosti mikrobioloških pokazatelja u središnjem dijelu Malostonskog zaljeva mogle bi biti posljedica povećane mikrobne abundancije do koje dolazi tijekom ili neposredno nakon turističke sezone, najvjerojatnije kao posljedica neizgrađenosti kanalizacijskog sustava na ovom području i/ili donosa onečišćenja dotokom rijeke Neretve. Dobiveni rezultati ukazuju na značaj kontrole kvalitete morske vode za upravljanje marikulturnim aktivnostima u zaljevskom morskom okolišu.

ZAHVALA

Ovaj rad je u potpunosti financiran od strane Hrvatske zaklade za znanost u sklopu istraživačkog projekta IP-09-2014-3494: Mikrobna ekologija voda kao pokazatelj zdravstvenog stanja okoliša – AQUAHEALTH.

LITERATURA

- [1] Cao J., Zhang J., Ma L., Li L., Zhang W., Li J. (2018). *Identification of fish source Vibrio alginolyticus and evaluation of its bacterial ghosts vaccine immune effects*. MicrobiologyOpen. 7:e576. <https://doi.org/10.1002/mbo3.576> (26.03.2019.)
- [2] Kapetanović D., Dragun Z., Vardić Smrzlić I., Valić D., Teskeredžić E. (2013). *The influence of European sea bass farming on the level of heterotrophic bacteria in marine water assessed by SimPlate substrate test*. Fresen. Environ. Bull. 22, 1274–1279.
- [3] Maldonado, M., Carmona, M.C., Escheverría, Y. and Riesgo, A. (2005). *The environmental impact of Mediterranean cage fish farms at semi exposed locations: does it need a reassessment?* Helgoland Mar. Res., 59: 121-135.
- [4] Mantzavrakos E., Kornaros M., Lyberatos G., Kaspiris P. (2007). *Impacts of a marine fish farm in Argolikos Gulf (Greece) on the water column and the sediment*. Desalination 210: 110–124.
- [5] Mudryk Z.J. (2005). *Occurrence and distribution antibiotic resistance of heterotrophic bacteria isolated from a marine beach*. Mar Poll Bull. 50, 80–86.
- [6] NN 53/05 (2005) *Plan praćenja kvalitete mora i školjkaša na područjima uzgoja, izlova i ponovnog polaganja školjkaša*, Narodne Novine
- [7] Price, C., Black, K.D., Hargrave, B.T., Morris, J.A.Jr. (2015). *Marine cage culture and the environment: effects on water quality and primary production*. Aquacult Environ Interact, 6, 151–174.

- [8] Wang R., Zhong Y., Gu X., Yuan Y., Saeed A.F., Wang S. (2015). *The pathogenesis, detection, and prevention of Vibrio parahaemolyticus*. *Front. Microbiol.* 6:144. doi: 10.3389/fmicb.2015.00144

AUTORI

Darija Vukić Lušić ^{a,b}

Anamarija Kolda ^c

Ana Gavrilović ^d

Jura Jug-Dujaković ^e

Snježana Kazazić ^c

Kristina Pikelj ^f

Irena Vardić Smrzlić ^c

Lorena Perić ^c

Jakov Žunić ^c

Brigita Hengl ^g

Dražen Knežević ^g

Damir Kapetanović ^{c*}

* Dopisni autor

^a Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet, Braće Branchetta 20, Rijeka, Hrvatska, darija.vukic.lusic@medri.uniri.hr

^b Nastavni Zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije, Krešimirova 52 a, 51 000 Rijeka, Hrvatska, darija@zzjzpgz.hr

^c Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska, Anamarija.Kolda@irb.hr, Snjezana.Kazazic@irb.hr, Irena.Vardic.Smrzlic@irb.hr, Lorena.Peric@irb.hr, Jakov.Zunic@irb.hr, Damir.Kapetanovic@irb.hr

^d Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000, Zagreb, Hrvatska, agavrilovic@hotmail.com

^e Sustainable Aquaculture Systems Inc., 715 Pittstown Road, Frenchtown, NJ 08825, USA, jura_jd@hotmail.com

^f Prirodoslovno - matematički fakultet, Geološki Odsjek, Horvatovac 102A, 10000 Zagreb, Hrvatska, kpikelj@geol.pmf.hr

^g Hrvatska agencija za poljoprivredu i hranu, Centar za sigurnost hrane, Ivana Gundulića 36b, 31000, Osijek, Hrvatska, brigita.hengl@hapih.hr, drazen.knezevic@hapih.hr



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

TEMA 2.

**SUSTAVI UREĐENJA
I KORIŠTENJA VODA I ZEMLJIŠTA -
STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI**

Recenzenti:

**Roko Andričević, Marijan Babić, Darko Barbalić, Sanja Barbalić, Danko Biondić,
Gorana Ćosić - Flajsig, Goran Granić, Danko Holjević, Ivana Ivanković, Marko
Josipović, Barbara Karleuša, Neven Kuspilić, Jure Margeta, Josip Marušić, Zoran
Nakić, Nevenka Ožanić, Željko Pavlin, Mladen Petričec, Davor Romić, Marija
Romić, Marija Šperac, Dušan Trninić**



R 2.01.

NOVELACIJA PRETHODNE PROCJENE RIZIKA OD POPLAVA

Darko Barbalić, Sanja Barbalić, Danko Biondić

SAŽETAK: U radu se opisuje novelacija Prethodne procjene rizika od poplava za Hrvatsku i metodologija njezine izrade. Prethodna procjena rizika od poplava je 2018. godine izrađena na temelju odredbi Zakona o vodama, u kojeg je transponirana EU Direktiva o procjeni i upravljanju rizicima od poplava. Ovaj početni korak u pripremi drugog Plana upravljanja rizicima od poplava, predstavlja „filter” čija je uloga da se nastavak planskih aktivnosti usmjeri na dijelove državnog kopnenog teritorija koji su proglašeni područjima s potencijalno značajnim rizicima od poplava.

KLJUČNE RIJEČI: prethodna procjena rizika od poplava, Plan upravljanja vodnim područjima, poplava

UPDATE OF THE PRELIMINARY FLOOD RISK ASSESSMENT

ABSTRACT: The paper describes the update of the Preliminary Flood Risk Assessment for Croatia and the methodology of its development. The Preliminary Flood Risk Assessment 2018 was developed pursuant to the provisions of the Water Act, which transposed the EU Directive on the assessment and management of flood risks. This initial step in the preparation of the second Flood Risk Management Plan is a “filter” whose role is to direct the continuation of the planning activities to the parts of the national continental territory that are declared areas of potential significant flood risk.

KEYWORDS: Preliminary Flood Risk Assessment, River Basin Management Plan, Flood

1. UVOD

Hrvatska ima dugu i vrlo uspješnu tradiciju i praksu upravljanja rizicima, a naročito opasnostima od poplava. Ulaskom u Europsku uniju te implementacijom Direktive o procjeni i upravljanju rizicima od poplava (2007, Direktiva), stvoren je novi okvir koji osigurava alate za sagledavanje rizika od poplava iz mnogo šire perspektive, ali i zahtjeva vrlo dinamično i odgovorno planiranje i izvješćivanje prema unaprijed zadanim propozicijama. Treba naglasiti da navedeni okvir predstavlja i „prozor u svijet” hrvatskog upravljanja rizicima od poplava, jer omogućuje vrlo jednostavne usporedbe na međunarodnoj razini, kao i procjenu uspješnosti pojedinih zemalja, što onda u konačnici dovodi i do

prilagođavanja zajedničkih europskih politika pojedinim državama članicama. Planske aktivnosti upravljanja rizicima od poplava podrazumijevaju tri osnovna koraka koji se ponavljaju u 6-godišnjim ciklusima i to:

- Izrada Prethodne procjene rizika od poplava i definiranje područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava,
- Kartiranje opasnosti od poplava i rizika od poplava na područjima s potencijalno značajnim rizicima od poplava te
- Izrada Plana upravljanja rizicima od poplava, koji uključuje i program mjera a u Hrvatskoj je sastavni dio Plana upravljanja vodnim područjima.

Donošenjem Plana upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. (2016, Biondić i drugi, 2016) Hrvatska je uspješno završila prvi planski ciklus te je u tijeku, osim provođenja mjera definiranih planom i priprema planskih dokumenata za potrebe drugog planskog ciklusa od 2022. do 2027. godine. U ovom radu su prikazane aktivnosti na izradi Prethodne procjene rizika od poplava za potrebe drugog planskog ciklusa, sa naglaskom na provedenim unaprjeđenjima.

2. SADRŽAJ PRETHODNE PROCJENE RIZIKA OD POPLAVA

Sadržaj Prethodne procjene rizika od poplava i pristup njenoj izradi su dosta precizno definirani člankom 4, Direktive i postavljaju vrlo čvrstu obavezu za izrađivača, na osnovi koje se naknadno ocjenjuje i sukladnost dokumenta. Najvažniji elementi Prethodne procjene rizika od poplava su:

- karte vodnog područja sa granicama riječnih slivova, podslivova, obalnih područja, s prikazom topografije i namjenom zemljišta,
- opis značajnijih poplava koje su se dogodile u prošlosti,
- procjena mogućih štetnih posljedica budućih poplava za zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarsku aktivnost, što je više moguće uzimajući u obzir čimbenike kao što su topografija, položaj vodotoka i njihove općenite hidrološke i geomorfološke karakteristike, uključujući poplavna područja kao prirodna retencijska područja, učinkovitost postojeće izgrađene infrastrukture za zaštitu od poplava, položaj naseljenih područja, područja gospodarske aktivnosti i dugoročni razvoj događaja, uključujući učinke klimatskih promjena na pojavu poplava.

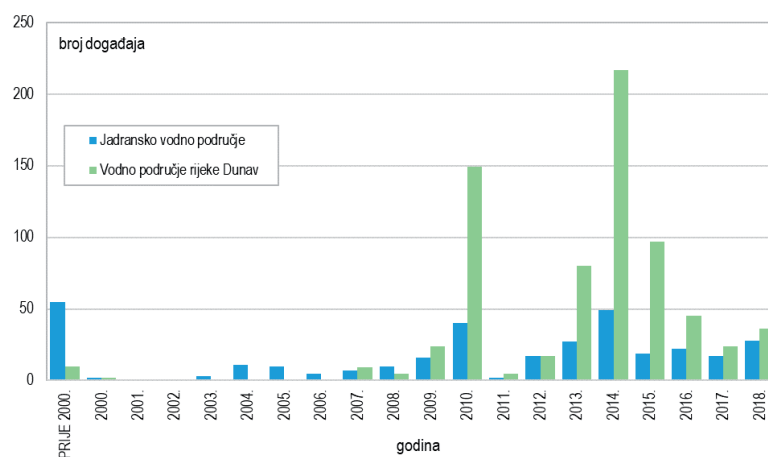
Pri novelaciji dokumenta je praćena ova podjela, a dokumentu je dodano još i poglavlje koje se bavi određivanjem „područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava“ što je sljedeći korak u planskom ciklusu i logički se nadovezuje na Prethodnu procjenu.

Prvi obavezni element procjene zasniva se uglavnom na generalnom opisu vodnih područja, pa je preuzet iz već usvojenih dokumenata i ne sadrži neke bitno novije informacije u odnosu na njih. Ostali elementi su prikazani detaljnije u nastavku.

3. OPIS POPLAVA KOJE SU SE DOGODILE U PROŠLOSTI

Opis značajnijih poplava koje su se dogodile u prošlosti, drugi obavezni element Prethodne procjene, sačinjen je na osnovi Registra poplavnih događaja koji se već duži niz godina održava u Hrvatskim vodama (Vukmanić i drugi, 2013). Trenutno se u Registru nalaze 1.062 poplavna događaja, od XVIII. stoljeća na ovamo, pri čemu su podaci

počevši s 2010. godinom potpuniji. Prema Registru, godine s najviše poplavnih događaja su 2010. i 2014. i to na oba vodna područja, pri čemu je ova razlika izraženija na vodnom području rijeke Dunav (Slika 1).



Slika 1. Broj poplava u Registru poplavnih događaja po godinama

Svakako, u razdoblju između dva ciklusa, najpogubnija je bila poplava Save na području Županijske Posavine iz svibnja 2014. godine, kada su se nakon dugo godina dogodile i dvije ljudske žrtve. Analiza podataka iz Registra pokazuje da je najviše poplava ostavilo štetne posljedice na gospodarstvo, a značajan dio poplava nije imao štetne posljedice.

4. PROCJENA MOGUĆIH ŠTETNIH POSLJEDICA POPLAVA

4.1. Polazište i metodologija

U odnosu na dokument iz prethodnog planskog ciklusa (2013, Barbalić i drugi, 2015a), metodologija procjene preliminarnog rizika je pretrpjela određene izmjene kako bi se postigla veća sistematičnost i teorijska utemeljenost, omogućilo korištenje suvremenijeg skupa podataka te dodatno prilagodila hrvatskim specifičnostima u upravljanju rizicima od poplava.

Zadržani su postojeći elementi za prethodnu procjenu rizika od poplava. Elementi su područja administrativnih naselja, kojima je obuhvaćen cjelokupni kopneni teritorij Hrvatske. Kako bi se postigla sukladnost elemenata sa jedinicama upravljanja, odnosno vodnim područjima, naselja koja prelaze granice vodnih područja i podslivova su podijeljena na dva ili više elemenata koji se nalaze samo na jednoj jedinici upravljanja i samo jednom podslivu. Također, s obzirom da je utvrđena, sa stanovišta rizika od poplava, velika razlika između kopnenih i otočnih dijelova nekih naselja na obali mora, kao pojedini elementi su izdvojeni i dijelovi administrativnih naselja odvojenih morem. Ukupni broj tako definiranih elemenata je 8.760, s prosječnom površinom od oko 6,5 km². Procjena preliminarnog rizika je provedena za svaki element te je prilagođena:

- Principu predostrožnosti,
- Kompleksnosti različitih fenomena plavljenja,
- Različitoj prostornoj razlučivosti dostupnih relevantnih podataka,
- Iskustvu djelatnika sustava za obranu od poplava,
- Načelima upravljanja rizicima od poplava u Hrvatskoj,
- Ostalim upravljačkim aspektima koji nisu direktno vezani za kvantifikaciju rizika od poplava te
- Namjeni procjene - određivanju područja potencijalno značajnih rizika od poplava za koje se izrađuje Plan upravljanja rizicima od poplava.

Pri tome, svakako treba voditi računa da se metodologija i rezultati ovdje prikazane procjene preliminarnog rizika ne mogu promatrati izvan konteksta njihove namjene i svrhe, a također ne mogu biti supstitucija za procjenu rizika od poplava. Procjena je provedena u dva koraka i to:

1. Procjena preliminarnog rizika od poplava,
2. Korekcija procijenjenog preliminarnog rizika od poplava.

Procjena preliminarnog rizika od poplava, prvi korak, zasniva se generalno na općoj definiciji rizika kao umnoška vjerojatnosti pojave događaja i intenziteta njegove štetne posljedice uz korištenje matrice rizika (2010 i Barbalić i drugi, 2016) dorađene u skladu s polazištima i specifičnim potrebama. Kako bi se sagledali i ostali relevantni aspekti rizika od poplava koje nije bilo moguće direktno uključiti u ovaj proračun, u drugom koraku je provedena korekcija procijenjenog preliminarnog rizika, bazirana na stručnoj procjeni značaja dodatnih faktora na rezultate prvog koraka.

4.2. Opasnost od poplava - vjerojatnost pojave događaja

Za potrebe Prethodne procjene rizika od poplava 2013., opasnost od poplava je procijenjena na osnovi podataka o potencijalnim poplavnim područjima i učestalo plavljenim područjima, koji su pripremljeni za potrebe Strategije upravljanja vodama (2008) i dorađene za potrebe Prethodne procjene rizika od poplava (2013). Tijekom 2014. godine, u sklopu prvog planskog ciklusa upravljanja rizicima od poplava, provedeno je opsežno kartiranje opasnosti od poplava na područjima potencijalno značajnih rizika od poplava (Barbalić i drugi 2015b), čime je u mnogome povećana podatkovna osnova za procjenu potencijalnih rizika u sklopu novelacije Prethodne procjene rizika od poplava. Karte su objavljene i dostupne su javnosti na mrežnoj stranici <http://korp.voda.hr/>.

4.3. Receptori rizika od poplava - moguće štetne posljedice

Podaci o receptorima rizika od poplava prate zahtjeve Direktive i odnose se na stanovništvo, okoliš, kulturnu baštinu te ekonomske aktivnosti.

Korištena su dva izvora podataka o stanovništvu. Prvenstveno, to su podaci o broju stanovnika u naseljima, prema popisu stanovništva iz 2011. godine. Osim toga korišteni su još podaci prikupljeni za Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021., a koji se odnose na lokacije na kojima se nalaze veće koncentracije pripadnika ranjivijeg dijela populacije, i to bolnice, domovi umirovljenika, osnovne škole i dječji vrtići. S obzirom da se neki od elemenata za analizu razlikuju od odgovarajućih naselja, za njih je broj

stanovnika određen na osnovu prostorne disagregacije korištenjem ostalih dostupnih informacija.

Utjecaj poplava na okoliš može biti višestruk i višedimenzionalan. Pri tome svakako treba voditi računa da su velike vode dio prirodnog režima, koji može biti i koristan za održavanje dobrog ekološkog stanja voda i bioraznolikost. Radi toga, u kontekstu ovog dokumenta i imajući u vidu kompleksnost samog fenomena, pod štetnim posljedicama poplava na okoliš se prvenstveno promatra narušavanje stanja okoliša uslijed incidentnog zagađenja vode i posredno, poplavljenog područja. S obzirom na prostorni položaj relevantnih zaštićenih područja te ekološko i kemijsko stanje vodnih tijela, na ovoj razini razrade nije bilo moguće odrediti dijelove Hrvatske koji bi mogli biti izloženi plavljenju zagađenim vodama bez značajnijih negativnih posljedica. Radi toga je očigledno da zaštititi ekološkog stanja voda, odnosno okoliša treba pristupiti prvenstveno i prioritetno sa stanovišta sprječavanja unosa štetnih tvari u okoliš (što bliže izvoru zagađenja). Posljedično su u analizi preliminarnog rizika kao najveće moguće štetne posljedice poplava adresirane poplave IED i SEVESO postrojenja te naselja kao područja na kojima osim ljudskih i materijalnih šteta može doći do značajnijeg emitiranja zagađenja u vodeni okoliš.

Štetne posljedice poplava na kulturnu baštinu u Prethodnoj procjeni rizika od poplava 2013. nisu uzete u obzir. U ovoj novelaciji, obrađeni su podaci o nepokretnim kulturnim dobrima iz Registra kulturnih dobara Republike Hrvatske kojeg vodi Ministarstvo kulture i koji sadrži preko 6.000 upisa s naseljem kao prostornom odrednicom. Njima su pridružena i kulturna dobra Republike Hrvatske na UNESCO-ovom popisu svjetske baštine, čiji je prostorni položaj precizno određen, pa je korištena je njihova točna lokacija.

Gospodarske i poslovne aktivnosti provode se na vrlo širokim područjima, vrlo su kompleksne te se područja na kojima se provode ne mogu jednoznačno definirati. Također, osim utjecaja na gospodarstvo, poplave na takvim područjima najčešće značajno utječu i na druge aspekte - zagađenje okoliša, ljudske žrtve, a štete su karakterizirane i velikim udjelom indirektnih (primjerice prekid prometa ili prijenosa električne energije). Imajući u vidu sve navedeno, gospodarske aktivnosti su promatrane kroz:

- poslovna i proizvodna područja, uključujući i urbana,
- transportnu infrastrukturu,
- IED i SEVESO postrojenja,
- gradilišta i mjesta eksploatacije mineralnih sirovina te
- poljoprivredne površine.

Treba naglasiti da je većina informacija izvedena iz Corine LC zemljišnog pokrova, što unosi određene nepouzdanosti u interpretaciju radi relativno male prostorne razlučivosti. U budućnosti bi svakako bilo uputno poboljšati prostorne informacije o korištenju prostora za gospodarske odnosno ekonomske aktivnosti.

4.4. Budući razvoj događaja

Dugoročni budući razvoj događaja je promatran iz dva aspekta i to:

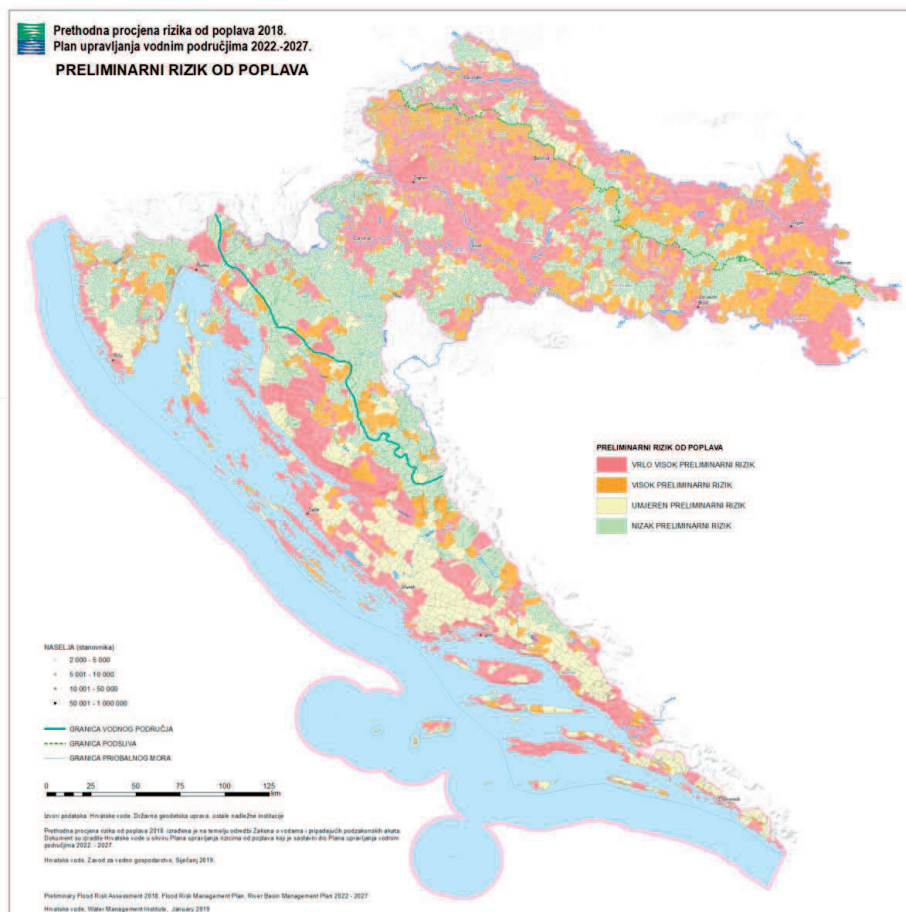
- klimatskih promjena (vjerojatnost pojave događaja),
- razvojnih aktivnosti (moguće štetne posljedice događaja).

Državni hidrometeorološki zavod je napravio velike napore na analizi klimatskih promjena za potrebe Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama (2017). Na osnovi rezultata tih modelskih istraživanja, kao i dodatnih analiza, napravljena je stručna procjena utjecaja klimatskih promjena na rizike od poplava, pri čemu je zaključeno da je najugroženiji pojas uz morsku obalu, kako zbog mogućeg značajnog povećanja oborine tijekom zime, tako i zbog moguće pojave kaskadnih i drugih efekata (primjerice pogoršanje uvjeta otjecanja uslijed posljedica šumskih požara).

Pokazalo se da je predviđanje budućih razvojnih (gospodarskih i poslovnih) aktivnosti u prostoru mnogo složenije i nepouzdanije od predviđanja primjerice klimatskih promjena, naročito imajući u vidu i poduzetničku komponentu, koja je vrlo osjetljiva na neke „vanjske“ signale koje nije bilo moguće obuhvatiti u sklopu ove procjene. Radi toga, kao indikator razvoja, iskorištene su informacije o prostornoj zastupljenosti lokacija za koje se provode (prethodni) postupci o utjecaju zahvata na okoliš, prirodu ili stanje voda. Za te potrebe je provedena sistematizacija odgovora na zahtjeve za pristup informacijama Hrvatskih voda putem kojih se izdaju navedene informacije.

5. REZULTATI PRETHODNE PROCJENE

Rezultati procjene preliminarnih rizika i njihove korekcije prikazani su kartografski na slici 2.



Slika 2. Kartografski prikaz preliminarnog rizika

Na osnovi ovih rezultata, za prijedlog područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava su određena područja s vrlo visokim i visokim preliminarnim rizikom, odnosno 3.583 (41 %) elemenata za analizu koji sadrže:

Na vodnom području rijeke Dunav 22.151 km² (63 % površine vodnog područja), odnosno 2.559.973 stanovnika (88 % stanovnika vodnog područja),

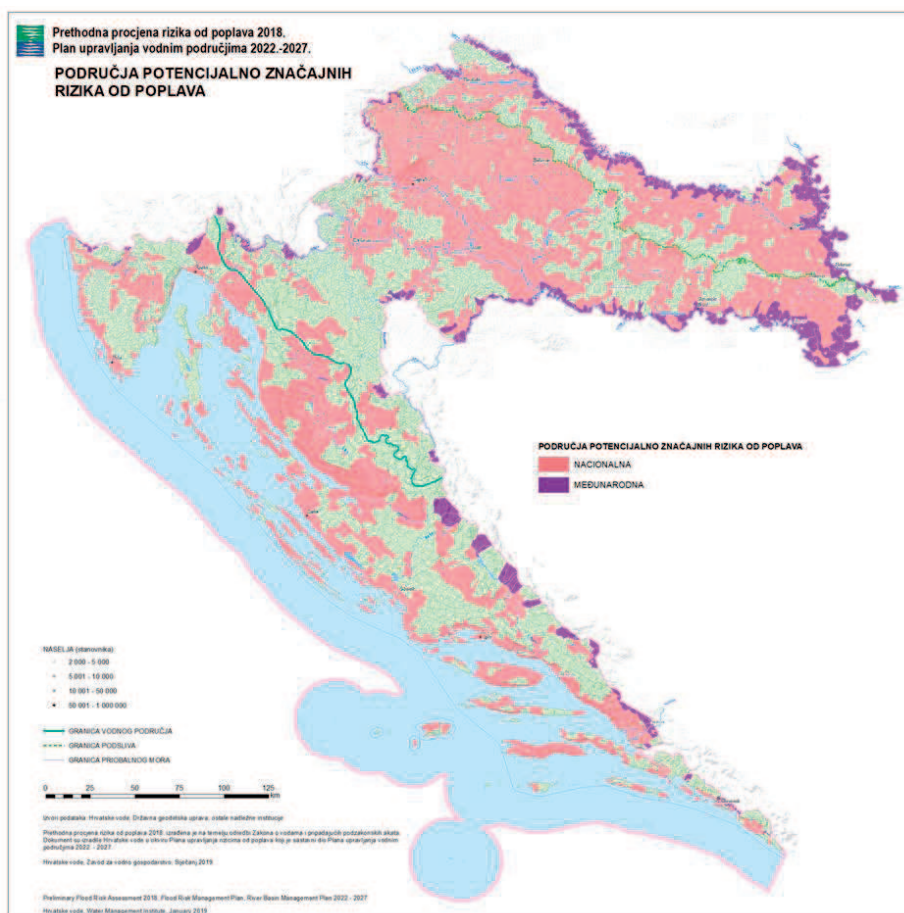
Na jadranskom vodnom području 10.856 km² (51 % površine vodnog područja) odnosno 1.150.464 stanovnika (83 % stanovnika vodnog područja).

Na otocima teritorijalnog mora, koji nisu razvrstani u vodna područja, takva područja nisu detektirana, što je i očekivano. Dakle, na razini Hrvatske prijedlogom područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava (vrlo visoki i visoki potencijalni rizik) je obuhvaćeno 33.006 km², odnosno 58 % površine te 3.710.437, odnosno 87 % stanovnika.

6. POTENCIJALNO ZNAČAJNI RIZICI OD POPLAVA

Određivanje područja potencijalno značajnih rizika od poplava predstavlja posljednji korak u planskom ciklusu kada se rizici od poplava na isti način promatraju na cjelokupnom državnom teritoriju. U nastavku ciklusa žarište planskih aktivnosti se premješta na područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava za koja se izrađuju karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava i Plan upravljanja rizicima od poplava.

Rezultati Prethodne procjene rizika od poplava su polazna osnova za određivanje područja potencijalno značajnih rizika od poplava. Kako bi se povećala pouzdanost procesa i izbjegle moguće greške te uzelo u obzir iskustvo, stručne prosudbe i znanje stručnih službi Hrvatskih voda za obranu od poplava i upravljanju rizicima od poplava, proveden je proces verifikacije rezultata.



Slika 3. Kartografski prikaz verificiranih područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava

Na vodnom području rijeke Dunav od ukupno 5.504 elementa za analizu, verifikacijom je njih 136, odnosno 0,5 % promijenilo status. Na jadranskom vodnom području, promjena je bilo nešto više, pa je tako status promijenilo 136 od 3.232 elementa za analizu, odnosno 4 %. Na razini Republike Hrvatske, status je promijenilo manje od 2 % elemenata, pa se može zaključiti da je ukupna procjena potencijalnih rizika provedena uspješno, usprkos pratećim manjkavostima prvenstveno ulaznih podataka.

Konačna karta područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava, s kojom Hrvatska ulazi u sljedeći planski ciklus upravljanja rizicima od poplava prikazana je na slici 3. Verifikacijom je ukupna površina područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava povećana za oko 2 % dok se ukupni broj stanovnika koji se nalaze na njima nije bitnije promijenio.

ZAKLJUČAK

Tehnički i stručni dio novelacije Prethodne procjene rizika od poplava i područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava je uspješno dovršen.

Na osnovi njenih rezultata, može se zaključiti da će karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava te Plan upravljanja rizicima od poplava 2022. - 2027. obuhvatiti 60 % površine i 87 % stanovništva Hrvatske. U odnosu na dokument iz 2013. godine, novelacijom se površina područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava povećala za 6 %, a broj obuhvaćenih stanovnika za 5 %.

Iako Prethodna procjena rizika od poplava slovi kao relativno jednostavan, kratak i manje značajan dokument, pokazalo se da ukoliko se uzmu u obzir svi zakonski zahtjevi, komentari Europske komisije, potrebne stručne podloge i argumentacija primijenjenih metoda i postupaka, izrada prateće baze podataka za izvješćivanje i sve ostalo potrebno, ovaj pothvat svakako zahtjeva alociranje bitnih resursa i ne može se promatrati kao usputna obveza.

Sljedeći korak, dopuna i dorada karata opasnosti od poplava te izrada novih karata rizika od poplava je još zahtjevniji i zahtjeva niz predradnji kako vezanih kako za hidrološko - hidrauličko modeliranje, tako i za izradu mnogo pouzdanijih podloga vezanih za receptore rizika od poplava, što bi u konačnici omogućilo značajno pouzdanije rezultate kartiranja te efikasnije i usmjerenije programiranje mjera za smanjenje rizika od poplava u trećem koraku ciklusa, izradi Plana. S obzirom da su navedeni dokumenti ilustracija hrvatskog upravljanja rizicima od poplava i daju mogućnost usporedbi na međunarodnoj razini, kao i procjenu uspješnosti te utječu na prilagođavanja zajedničkih europskih politika pojedinim državama članicama, nužno je alocirati dostatne resurse za njihovu pripremu.

LITERATURA

- [1] (2007): Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks.
- [2] Zakon o vodama (Narodne novine, br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14 i 46/18).
- [3] (2008): Strategija upravljanja vodama, (Narodne novine, broj 91/08).
- [4] (2010): Commission Staff Working Paper, Risk Assessment and Mapping Guide-

- lines for Disaster Management, Brussels, 21.12.2010, SEC(2010) 1626 final.
- [5] (2013): Prethodna procjena rizika od poplava, <http://korp.voda.hr/>, 2. svibnja 2019., Hrvatske vode, Zagreb.
- [6] (2016): Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021., (Narodne novine, broj 66/16).
- [7] (2017): Projekt programa Prijelazni instrument tehničke pomoći EU: Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike (MZOE), Zagreb.
- [8] Barbalić, D, Biondić, D, Barbalić, S (2015a): Prethodna procjena rizika od poplava, Zbornik radova 6. hrvatske konferencije o vodama, Opatija.
- [9] Barbalić, D, Biondić, D, Majerović, T, Vukmanić, L (2015b): Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava, Zbornik radova 6. hrvatske konferencije o vodama, Opatija.
- [10] Barbalić, D, Vukmanić, L, Biondić, D (2019a): Pregled poplavnih događaja prema registru poplavnih događaja, Zbornik 7. Hrvatska konferencija o vodama, Opatija.
- [11] Barbalić, M, Polić, S, Barbalić, D, Vukmanić, L, Majerović, T (2016): Procjena rizika od poplava izazvanih izlivanjem kopnenih vodenih tijela za potrebe procjene rizika od katastrofa, Sabor hrvatskih graditelja 2016, Zbornik radova, Cavtat.
- [12] Barbalić, M, Barbalić, D, Medić, Đ, Biondić, D (2019b): Plan upravljanja vodnim područjima u praksi - informacije o vodnim tijelima i rizicima od poplava, Zbornik 7. Hrvatska konferencija o vodama, Opatija.
- [13] Biondić, D, Barbalić, S, Barbalić, D, Grizelj Šimić, V (2016): Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021., Sabor hrvatskih graditelja 2016, Zbornik radova, Cavtat.
- [14] Vukmanić, L, Rosandić, T, Barbalić, D (2013): WEB GIS registar poplavnih događaja, Hrvatska vodoprivreda, broj 204, godište XXI, Zagreb.

AUTORI

dr. sc Darko Barbalić, dipl. ing. građ. ^a

mr.sc Sanja Barbalić, dipl. ing. građ. ^a

dr. sc. Danko Biondić, dipl. ing. građ. ^b

^a Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska, darko.barbalic@voda.hr, sanja.barbalic@voda.hr

^b Hrvatske vode, Sektor razvitka, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska, danko.biondic@voda.hr



R 2.02.

PREGLED POPLAVNIH DOGAĐAJA PREMA REGISTRU POPLAVNIH DOGAĐAJA

Darko Barbalić, Luka Vukmanić, Danko Biondić

SAŽETAK: Hrvatska je započela drugi ciklus planiranja upravljanja rizicima od poplava izradom Prethodne procjene rizika od poplava 2018. Jedan od najvažnijih elemenata Prethodne procjene rizika od poplava je registar poplavnih događaja koji je dopunjen tako da trenutno sadrži informacije o više od tisuću poplavnih događaja koji su se javili u razdoblju od 17. stoljeća do danas te usuglašen sa trenutnim zahtjevima izvješćivanja prema Europskoj komisiji. U radu su prikazani sistematizirani podaci o poplavama iz Registra te dane preporuke za njegovo daljnje neophodno unaprjeđenje.

KLJUČNE RIJEČI: poplava, Registar poplavnih događaja, Prethodna procjena rizika od poplava, Direktiva o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima

OVERVIEW OF FLOOD EVENTS BASED ON THE DATABASE OF FLOOD EVENTS

ABSTRACT: Croatia started the second cycle of flood risk management planning with the development of the Preliminary Flood Risk Assessment 2018. One of the major elements of the Assessment is the database of flood events, which has been supplemented to currently contain information about more than a thousand flood events that occurred in the period from the 17th century to the present time and harmonized with the current reporting requirements towards the European Commission. The paper presents systemized flood data from the database of flood events and recommendations for its necessary further improvements.

KEYWORDS: Flood, database of flood events, Preliminary Flood Risk Assessment, Flood Directive

1. UVOD

Republika Hrvatska je započela drugi ciklus planiranja upravljanja rizicima od poplava izradom Prethodne procjene rizika od poplava 2018. prema zahtjevima definiranim Direktivom o procjeni i upravljanju rizicima od poplava (Directive, 2007, FD). Njom je, između ostalog, definiran zahtjev za prikupljanjem informacija o:

- poplavama koje su se dogodile u prošlosti i koje su imale velike štetne učinke na zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarsku aktivnost i za koje je vjerojatnost sličnih budućih događaja i dalje relevantna, uključujući opis prostora koji su obuhvaćale i puteva otjecanja poplavnih voda, te procjenu štetnih učinaka koje su prouzročile,
- većim poplavama u prošlosti, kada je moguće predvidjeti da bi slični događaji u budućnosti mogli imati velike štetne posljedice,

za što su definirani i odgovarajući formati izvješćivanja (CIS, 2018). Hrvatske vode provode aktivnosti prikupljanja i sistematizacije postojećih informacija o poplavama kako bi ispunile navedene zahtjeve, ali se pokazalo da prikupljene informacije omogućuju i novi pogled na poplavne događaje i rizike od poplava, pa je stoga u nastavku napravljen njihov prikaz.

2. REGISTAR POPLAVNIH DOGAĐAJA

Hrvatska ima vrlo dugu, uspješnu tradiciju i detaljno razrađenu praksu operativne obrane od poplava u sklopu koje za svaki velikovodni ili poplavni događaj, Hrvatske vode prikupljaju i sistematiziraju niz informacija iz svoje nadležnosti. Međutim, FD zahtjeva promatranje poplava iz nešto šireg aspekta koji nadilazi tradicionalna izvješća. Radi toga se, od stupanja na snagu FD, stalno dorađuje sustav prikupljanja informacija o poplavnim događajima - Registar poplavnih događaja, kako bi se što uspješnije i efikasnije prikupljale što pouzdanije informacije o svim bitnim aspektima poplavnih događaja (Vukmanić i suradnici, 2013). Tako su za prikupljanje prostornih informacija o poplavnim događajima u Glavni provedbeni plan obrane od poplava (Hrvatske vode, 2018) uvršteni obrasci PD1, PD2, PD3, PD4 i PD5 koji se nalaze u prilogu 4. U suradnji s Državnom upravom za zaštitu i spašavanje, koristi se sustav Copernicus (Copernicus Emergency Management Service, 2019) za satelitsko snimanje poplavnih događaja, pa se tako u Registru nalaze i satelitske snimke poplavnih događaja na širem području Zagreba iz 2010. godine, Siska i Metkovića iz 2013. godine, Rajevog Sela i Gunje iz 2014. godine i drugih. Kako bi se proširila dostupnost informacija, Registar je povezan s geoportalom Hrvatskih voda, a omogućeno je i generiranje „pdf“ dokumenata o poplavnim događajima, što povećava čitljivost prikupljenih podataka, kao i uključivanje dodatnih informacija kao što su fotografije, službena izvješća i drugo.

Prve informacije unesene su u Registar poplavnih događaja za potrebe Prethodne procjene rizika od poplava 2013. (Hrvatske vode, 2013), a sakupili su ih i obradili djelatnici vodnogospodarskih odjela Hrvatskih voda. Informacije o poplavama mora su preuzete iz studije Hrvatskog hidrografskog instituta (Hrvatski hidrografski institut, 2013). Za potrebe Prethodne procjene rizika od poplava 2018. podaci su dopunjeni recentnim poplavnim događajima od 2011. godine na ovamo.

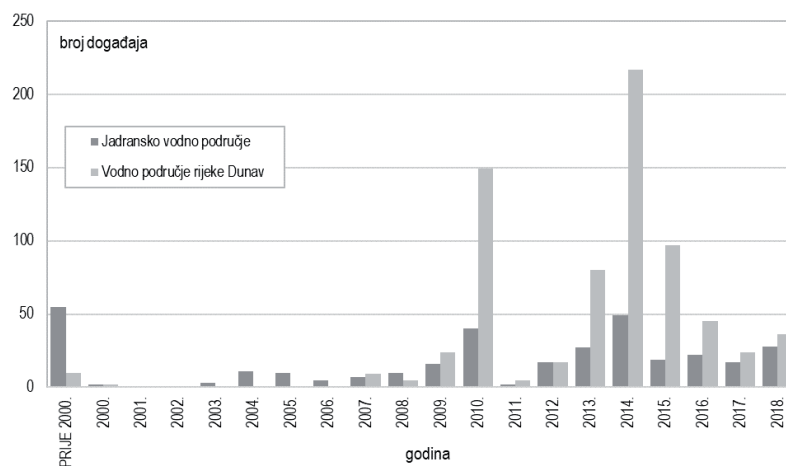
3. POPLAVNI DOGAĐAJI

Za potrebe Prethodne procjene rizika od poplava 2018., Registar je dopunjen s 800 događaja, pa se trenutno u Registru nalaze ukupno 1.062 poplavna događaja, od XVIII. stoljeća na ovamo (Slika 1).



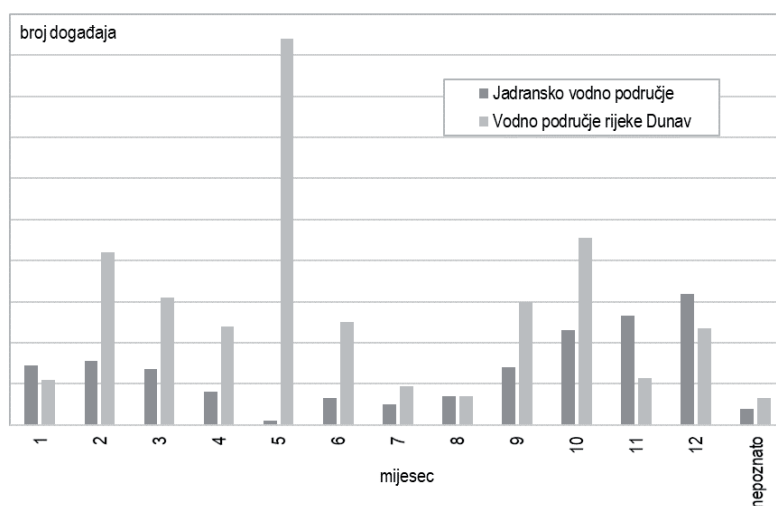
Slika 1. Zabilježeni poplavni događaji

Prikupljeni podaci nakon 2010. godine bitno su potpuniji. Prema Registru, godine sa najviše poplavnih događaja bile su 2010. i 2014. i to na oba vodna područja, pri čemu je daleko više poplavnih događaja bilo na vodnom području rijeke Dunav (Slika 2).



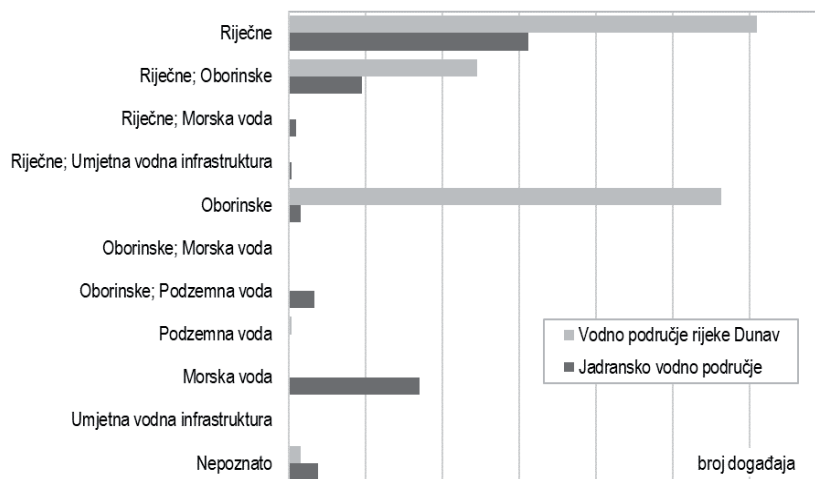
Slika 2. Poplavni događaji po godinama

Poplave na jadranskom vodnom području najčešće se javljaju krajem godine. Na vodnom području rijeke Dunav, poplave se najčešće javljaju u proljeće i jesen, a naročito tijekom svibnja (Slika 3).



Slika 3. Unutargodišnji raspored poplavnih događaja

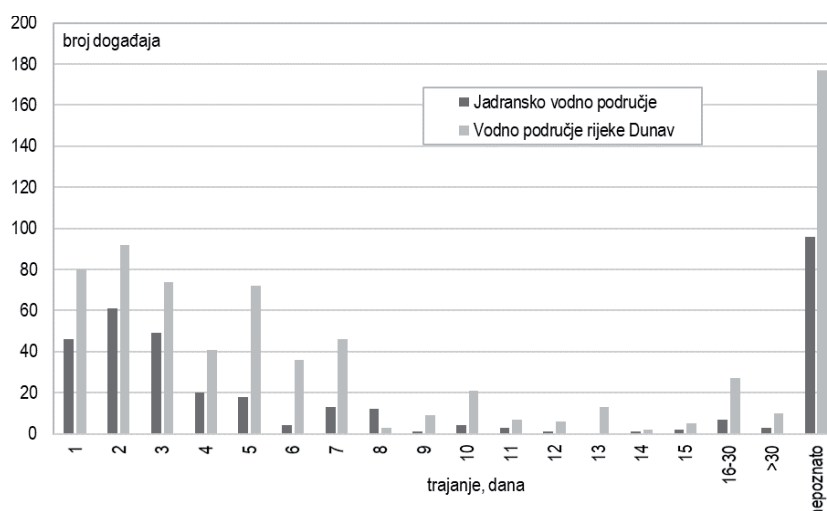
Daleko najučestalije su poplave koje su uzrokovane izlivanjem vodotoka i kišom, te na jadranskom vodnom području i izlivanjem mora (Slika 4).



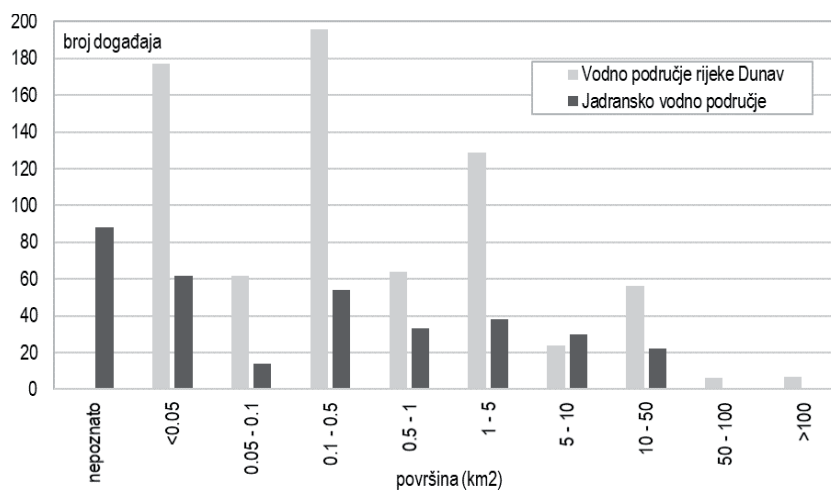
Slika 4. Uzroci plavljenja

Na jadranskom vodnom području, prosječna poplava traje 4,5 dana i ima površinu oko 2,8 km². Za vodno područje rijeke Dunav, što je i za očekivati, karakteristično je nešto dulje prosječno trajanje poplave od 5,8 dana i bitno veća prosječna površina poplave od 4,8 km² (Slike 5 i 6).

Površinom najveća poplava zabilježena u Registru je ona od 13. veljače 2014. koja je pogodila općine i gradove Barilović, Draganić, Duga Resa, Jastrebarsko, Karlovac, Klinča Sela, Krnjak, Lasinja, Ozalj, Pisarovina i Vojnić. Na jadranskom vodnom području je površinom najveća poplava od 22. listopada 1993. koja je pogodila općine i gradove Barban, Cerovlje, Gračišće, Kršan, Labin, Pićan, Raša i Sveta Nedjelja.

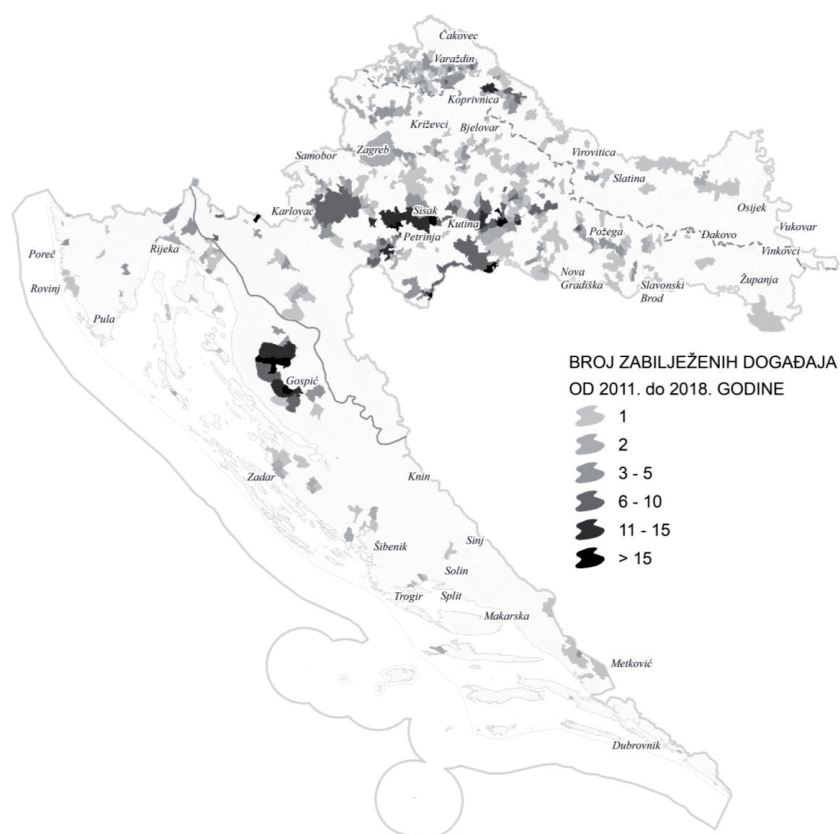


Slika 5. Trajanje poplavnih događaja



Slika 6. Površina poplavnih događaja

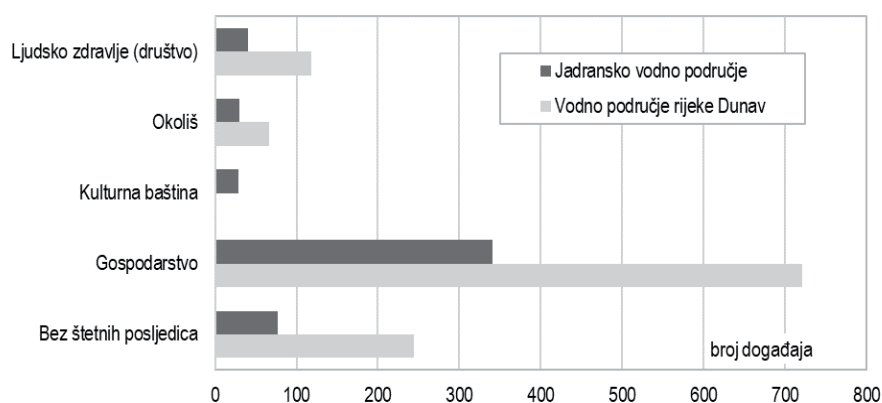
Ukoliko se promatra razdoblje nakon izrade prethodnog dokumenta, za koje su podaci mnogo konzistentniji (od 2011. godine do danas), najviše poplava na jadranskom vodnom području je pogodilo naselja Bakovac Kosinjski, Gornji Kosinj, Mlakva, Donje Pazarište, Podastrana, Smiljan, Debelo Brdo, Ličko Lešće i Gospić. Na vodnom području rijeke Dunav, u istom vremenskom razdoblju, najčešće ugrožena poplavama bila su naselja Međurić, Sisak, Veliko Vukovje, Zapeć, Blaževci, Slana, Stankovac, Hrvatska Dubica, Donje Jame, Dvor, Banova Jaruga, Trepča i Zbjegovača (Slika 7).



Slika 7. Učestalost poplavnih događaja

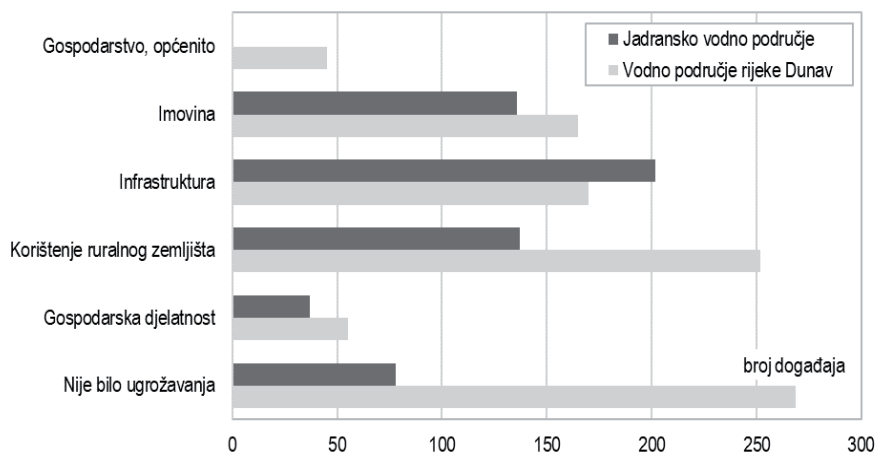
Štetne posljedice poplava su sistematizirane prema vodiču za izvješćivanje Europske komisije (CIS, 2018). Svakako najpogubnija poplava u posljednjem vremenskom razdoblju bila je ona koja je zadesila Županjsku Posavinu u svibnju 2014. godine sa dvije ljudske žrtve.

Očigledno je da je najviše poplavnih događaja ostavilo štetne posljedice na gospodarstvo, a u velikom broju slučajeva štetne posljedice poplava nisu zabilježene (Slika 8).



Slika 8. Štetne posljedice poplava

Ako se detaljnije raščlani najzastupljenija kategorija štetnih posljedica „gospodarstvo“, poplave su u vrlo sličnim omjerima štetno djelovale na potkategorije „korištenja ruralnog zemljišta“, odnosno poljoprivrednu proizvodnju te kategorije „infrastruktura“ i „imovina“, kako su one definirane u vodiču (Slika 9).



Slika 9. Učestalost poplavnih događaja

Svakako treba imati u vidu da su ovdje iznesene informacije rezultat obrade vremenski vrlo ograničenog skupa podataka.

ZAKLJUČAK

Hrvatske vode su uspješno uspostavile sustav za prikupljanje podataka o zabilježenim poplavama - Registar poplavnih događaja. Trenutno se u Registru nalaze podaci o 1.062 poplavna događaja, od XVIII. stoljeća na ovamo. Osim za potrebe Prethodnih procjena rizika od poplava, informacije su iskorištene i za niz drugih dokumenata kao što su Procjena rizika od katastrofa (Vlada Republike Hrvatske, 2016) ili Nacrt izvješća o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2019). Usprkos relativno ograničenom vremenskom rasponu pouzdanih podataka, čini se da se već naziru značajni obrasci koji mogu poslužiti za bolje razumijevanje rizika od poplava. Kako bi se cjelokupni sustav unaprijedio, treba poduzeti niz aktivnosti kao primjerice:

još jače osnažiti sustav prikupljanja informacija o zabilježenim poplavama, te podatke unositi u Registar odmah nakon poplavnog događaja, kako bi se mogli obraditi i koristiti prema potrebi i u periodima između izrada Prethodnih procjena rizika od poplava. Radi toga održavanje ovog registra treba formalizirati kao stalnu obavezu, napraviti poveznicu s aktivnostima koje se provode tijekom operativne obrane od poplava za vrijeme velikovodnih situacija, a kada se nije dogodila poplava, kako bi se dobila puna slika funkcioniranja sustava obrane od poplava i njegove efikasnosti, razviti jasnije kriterije za definiranje poplavnih događaja, te prateće informacije kako bi se što više izbjegla subjektivnost,

osmisliti način za sustavan pristup bilježenja informacija o poplavama uzrokovanim morem i poplavama uzrokovanim kišama jakih intenziteta,

pokušati, što više je moguće, kvantificirati štetne posljedice poplava, te provesti detaljnije analize hidrološko/hidrauličkih karakteristika poplavnih događaja i njihovih štetnih posljedica kako bi se polučile dodatne informacije za korištenje u budućnosti,

uklopiti Registar zabilježenih poplava u sustav kojim se distribuiraju informacije o vodnim tijelima i rizicima od poplava, putem Zakona o pravu na pristup informacijama, dopuniti Registar sa najznačajnijim poplavama iz prošlosti koje još nisu upisane u Registar.

Implementacijom ovih poboljšanja kao i daljnjim radom na dopunjavanju Registra, nakon novih poplavnih događaja, za pretpostaviti je, da će se stvoriti još korisniji sustav za praćenje poplava koji u mnogome može pomoći efikasnijem upravljanju rizicima od poplava.

ZAHVALA

Autori se zahvaljuju djelatnicima Hrvatskih voda koji su sudjelovali u popunjavanju Registra poplavnih događaja tijekom kampanja organiziranih za potrebe izrade dokumenata Prethodna procjena rizika od poplava 2013. i 2018., kao i svim ostalim koji su doprinijeli da Registar zaživi i sadrži što relevantnije informacije.

LITERATURA

- [1] (2007): Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks.
- [2] (2013): Poplave mora na priobalnim područjima, Hrvatski hidrografski institut, Split.

- [3] (2013): Prethodna procjena rizika od poplava, <http://korp.voda.hr/>, 20. travnja 2019., Hrvatske vode, Zagreb.
- [4] Vukmanić L., Rosandić T., Barbalić D. (2013): Web GIS registar poplavnih događaja, Hrvatska vodoprivreda, Broj 204, godište XXI, ISSN 1330-321X I UDK 628.1.
- [5] (2016): Procjena rizika od katastrofa za Republiku Hrvatsku, http://www.platforma.hr/images/dokumenti/Procjena_rizika_RH_FINAL.pdf, 20. travnja 2019., Vlada Republike Hrvatske, Zagreb.
- [6] (2018): Draft final Floods Directive Reporting Guidance, Version no: v.3.0, CIS.
- [7] (2018): Glavni provedbeni plan obrane od poplava, Hrvatske vode, <https://www.voda.hr/hr/glavni-provedbeni-plan-obrane-od-poplava>, 20. travnja 2019.
- [8] (2019): Copernicus Emergency Management Service. Directorate Space, Security and Migration, European Commission Joint Research Centre (EC JRC), n.d. Web. 12 March 2019. <https://emergency.copernicus.eu/>.
- [9] (2019): Nacrt izvješća o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj, 2018. (za razdoblje od 2013. do 2016.), u pripremi, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Zagreb.

AUTORI

dr. sc. Darko Barbalić ^a

Luka Vukmanić ^a

dr. sc. Danko Biondić ^b

^a Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska, darko.barbalic@voda.hr, luka.vukmanic@voda.hr

^b Hrvatske vode, Sektor razvitka, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10 000, Hrvatska, danko.biondic@voda.hr



R 2.03.

**DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR ESTIMATING
THE BENEFITS OF STRUCTURAL AND NON -
STRUCTURAL MEASURES FOR FLOOD RISK
REDUCTION**

**Andrej Vidmar, Katarina Zabret, Klaudija Sapač,
Petra Pergar, Andrej Kryžanowski**

ABSTRACT: Floods are the most frequent natural disasters and cannot be prevented. However, we can mitigate their consequences by implementing flood protection measures, which have to be economically sound. Therefore, when planning such measures, we have to know how to reduce the damage caused by floods and increase the actual benefits of the implemented measures. In the presented project, we upgraded the existing unified method for Slovenia. This method covers flood damage in different sectors (people and health, cultural heritage, natural environment, residential, agricultural and business sectors). For each of the sectors, a simple equation is used to calculate the damage cost, taking into account the strength, duration and dimension of the expected flood event with different return periods as well as exposure, vulnerability and values of the exposed elements in the targeted area. To estimate these values, both data from the census and market values were used. Using the proposed methodology, an application was developed based on the geographic information system. According to their type, the input data are based on three main forms: point, (poly)line, and (multi)polygon. Separate databases were established for each type of data. The developed application was tested in three flood areas in Slovenia. According to the results, it was adjusted for use by various groups of users.

KEYWORDS: floods, flood damage, application, methodology, benefits, costs

**IZRADA APLIKACIJE ZA PROCJENU KORISTI GRAĐEVINSKIH I
NEGRAĐEVINSKIH MJERA ZA SMANJENJE RIZIKA OD POPLAVA**

SAŽETAK: Poplave su najčešće prirodne nepogode i ne mogu se spriječiti. Međutim, njihove posljedice možemo ublažiti primjenom mjera zaštite od poplava, koje moraju biti ekonomski izvodljive. Stoga pri planiranju takvih mjera moramo znati kako smanjiti štetu prouzročenu poplavama, a povećati stvarne koristi od provođenja mjera. U prikazanom projektu smo unaprijedili postojeću jedinstvenu metodu za Sloveniju. Ova metoda obuhvaća štetu od poplava u različitim sektorima (ljudi i zdravlje, kulturno nasljeđe,

prirodni okoliš, stambeni, poljoprivredni i poslovni sektor). Za svaki od tih sektora primjenjuje se jednostavna jednačba za izračunavanje troškova štete, uzimajući pri tom u obzir snagu, trajanje i dimenziju očekivanog poplavnog događaja s različitim povratnim razdobljima i izloženošću, ranjivošću i vrijednostima izloženih elemenata na ciljanom području. U svrhu procjene tih vrijednosti koristili smo podatke iz popisa stanovništva i tržišne vrijednosti. Primjenom predložene metodologije izradili smo aplikaciju zasnovanu na geografskom informacijskom sustavu. Prema tipu, ulazni podaci imaju tri glavna oblika: točkasti, (poli)linijski i (multi)poligonski. Za svaki tip podataka uspostavljene su posebne baze podataka. Izrađena aplikacija je testirana na tri poplavna područja u Sloveniji. Prema rezultatima je prilagođena za upotrebu raznih skupina korisnika.

KLJUČNE RIJEČI: poplave, štete od poplava, aplikacija, metodologija, koristi, troškovi

1. INTRODUCTION

The main purpose of the Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks (hereinafter Flood Directive) is to reduce the risks of adverse consequences associated with floods, especially for human health, the environment, cultural heritage, and economic activity in all Member States of the European Union. In recent years, the efforts to reduce flood risk have focused on flood damage assessment, since in this way decision and policy makers can receive important information for effective flood risk management (Merz et al., 2010).

Therefore, in Europe and worldwide many different methodologies have been developed for flood damage assessment, which are fundamentally different depending on whether we are assessing the damage based on the data from past flood events (empirical data) or whether we are assessing the potential damage in the future (synthetic data) (Meyer et al., 2013). For assessing the expected or potential damage in the future, many models are in use, since their structure, input, and output data depend not only on the data availability but also on the model purpose (Jongman et al., 2012). For example, the Multi-Coloured Manual (Penning-Roswell et al., 2005) is regarded as one of the most advanced methods for flood damage assessment, as absolute flood damage curves are taken into account in the calculation. In Germany FLEMOps and FLEMOcs (Thieken et al., 2008; Kreibich et al., 2010) models were developed for direct monetary estimation of damage in the private and commercial sector, respectively. In Croatia NACER model was developed (Vidmar et al., 2015; Zabret et al., 2018) where damage assessment is possible for seven different sectors. For each of the sectors, economic or market values, the number of exposed elements, and the depth-damage curves were determined. In the framework of the EU's Joint Research Centre, a pan-European model was developed for estimating flood damage at the macro level of all 27 EU Member States (Huizinga, 2007).

Notwithstanding the abundance of existing models, studies have shown that is not recommended to directly transfer a model developed for a specific area in a different area, as errors in damage assessment can be large (e.g. Kreibich and Neuhold, 2012).

In 2014, a methodology for assessing the benefits of structural and non-structural measures to reduce flood risk (IzVRS, 2014) was developed in Slovenia. The expected flood damage before and after implementing flood protection measures (benefits) can be calculated for 4 sectors: human health, the environment, cultural heritage, and economic activ-

ity. However, in 2017, the Ministry of the Environment and Spatial Planning recognized the need to review and upgrade the methodology. Improvements of the methodology were needed to take into account the latest data on flood damage, especially that to cultural heritage, public infrastructure, watercourses, and water infrastructure.

In this paper, we present the upgraded methodology and the KRPAN application that was developed based on this methodology. In Slovenian KRPAN stands for Kumulativni Računi Poplavnih škod in ANalize (*Cumulative Calculation of Flood Damage and Analyses*). The input data that are used to calculate the expected flood damage are presented and the results of the calculation example are explained. Last but not least, challenges for future improvements of the methodology, and consequently of KRPAN, are given.

2. METHODOLOGY

2.1 Basis for methodology development

The development of the methodology was based on seven major starting points:

Expected flood damage calculations are shown by sectors and the method is applicable for the entire territory of the Republic of Slovenia. Calculation parameters are set in a way that does not favour individual entities depending on the location.

The method and the application are based on the relevant data that are freely available and/or that were obtained from the competent ministries, including those belonging to the category of personal data. Due to the General Data Protection Regulation (GDPR) some of the data need to be masked or generalized so they are not visible in the results display. The values of sector components are determined on the basis of known price lists (e.g., price list for inventory damage in case of natural disasters in the Republic of Slovenia – AJDA application).

The assessment of the expected flood damage is objective. However, in analysing individual cases, there are still open options that may be included additionally by the auditor for explaining the importance of the suggested protection measure for development or protection of the area.

In the economic cost-benefit analysis of measures to reduce flood risk, there is no human health sector, as was the case with the original method (IzVRS, 2014).

KRPAN is a support tool for experts deciding about the suitability of project solutions in the process of economic and financial report preparation as required by the Decree on the Uniform Methodology for the Preparation and Treatment of Investment Documentation in the Field of Public Finance.

All data are used in accordance with the regulations and requirements of the database administrators and those who provided the data for the needs of developing this methodology and KRPAN.

2.2 General equation for assessing the expected flood damage

For each of the sectors (environment, cultural heritage, economic activity) a simple equation (1) is used for assessing the expected damage (ED) due to a flood event with return period T in a given area:

$$ED = S \times D \times E \times Vu \times Va, \quad (1)$$

where S represents the strength of the event (water depth and/or velocity), D is dimension (number or size of the exposed element in a given area), E is exposure (probability that an individual sector element will be present in a given area in a given time), V_u is vulnerability (structural damage of the individual element), and V_a is the economic value of the individual element in a given area.

The method for the environment domain takes into account the parameters and values for determining the aesthetic value of the environment and biodiversity-dependent services. The values also cover intangible damages (i.e. environmental goods and services that have no market prices) using the Contingent Valuation Method from the literature (IzVRS, 2014, Markantonis et al., 2013). Damages to cultural heritage cover tangible damages based on average damages recorded in the AJDA application and intangible damages based on the magnitude of tangible damages and an additional factor for intangible damage (Dassanayake et al., 2012), for which V_u of the individual elements of cultural assets were proposed already in 2011 (Adamič et al., 2011). Tangible damage to structures, equipment and other fixtures of residential buildings is based on depth-damage curves (FEMA, 2014). Additionally, intangible damages due to replacement housing are determined for residential buildings. The method also covers tangible damages to vehicles and the cost of cleaning urban and other external surfaces next to the buildings. Tangible damages to business entities, i.e. structural damages based on depth-damage curves are determined (FEMA, 2014). Damages to equipment, machinery, and stocks and damages due to loss in revenue are determined in four company size classes according to average recorded damages during past events. Based on the recorded damages in the AJDA application we determined the average expected damage to watercourses, for various flood event magnitudes (Q_{10} , Q_{100} , Q_{500}). The tangible damage to public infrastructure is determined as the average of recorded damages in AJDA. For critical sections where public infrastructure collapse is possible a higher vulnerability factor is set. Damages to agricultural land and crops are based on the parameters used in the original method (Glavan et al., 2012; IzVRS, 2014). Based on the proposed method it is possible to determine the benefits of non-structural measures, and benefits of the measures of flood forecasting and the issuing of alerts, awareness-raising, sealing, and adjustments of buildings. This application may also provide a useful tool for assessing the benefit of non-structural measures in spatial planning.

3. APPLICATION

3.1 Input data

The development of the methodology, and consequently of KR PAN, was based primarily on the data availability. In particular, the optimization of large-scale databases was a key process, as this enables the application to be used on personal computers (on 64-bit operating systems). The established relational database allows periodic updating of input data. All built-in GIS tools that are necessary for the operation of KR PAN are freely available (e.g. SAGA (Conrad et al., 2015), GDAL). Display of output results is possible with the widely used Google Earth application, as well as with other GIS or CAD open-source tools. In order to establish KR PAN in the GIS tools, in the first step it was necessary to divide input data into three types, namely polygons, lines, and points:

- **Polygon layers** cover spatial data such as the Buildings Cadastre, land use, and other data that are not geolocated (cars, tourists, etc.) or cannot be included in the software environment due to the legal restrictions on database usage (number of residents per building, etc.). For this purpose, the polygon layer of a “spatial district” is used as a basic statistical unit, facilitating links with other databases. The basic spatial layer thus takes into account over 1.3 million of complex polygons. Damage to cultural heritage is provided as a separate polygon layer in the application. For the damage calculations, the application only takes into account those data whose attribute values relate to the spatial districts considered. Such data preparation allows for optimisation of calculation capacities, which permits the running of calculations on regular computers.
- **Line layers** are based on the data from the Cadastre of Public Infrastructure Works, such as public roads, utility network, and energy network, and provide the basis to determine damage to separate entities. Similarly, to the polygon layer, the spatial layer is set up by capturing line data, totalling at over 100,000 records in this data layer. For the calculations, the application takes into account only those attribute data that relate to the selected calculation area – spatial district – considered. As a separate line layer the application includes the calculation of damage to rivers, which is shown separately from other calculations.
- **The point data** included in the application cover industrial facilities, passenger cars, and compensations for lacking a habitable residence. The availability of the databases is restricted as regards the usage of personal data (population records, employment), for which there are legal provisions on personal data protection in place. Therefore, personal data (population, passenger cars) are included as a generalisation, calculated from the total number of entities present in a spatial district. In the application, legal entities are considered in terms of the size of the enterprises and the associated spatial district. The point data layer includes around 500,000 entries.

3.2 Annual damage curve

KRPAN enables calculation of flood damage estimation for any area in Slovenia. If we have data of several flood events with the associated probability of occurrence and the associated extent of damage caused by the event, we can construct a curve of the expected damage as a function of the probability of occurrence of events. The expected damage is higher in events with low probability of occurrence, and *vice versa*. To construct a curve, we need at least 3 points (Figure 1). With more events data, the actual curve provides a better approximation. In Slovenia, flood hazard maps are prepared for discharges with return periods of 10, 100, and 500 years. Therefore, KRPAN was developed to allow for the calculation of expected annual damage based on these maps.

3.3 Calculation steps

We can divide the calculation procedure into 2 major steps:

- **Step 1 - Definition of the calculation area:** The application allows for the input of the calculation area in Google Earth environment or using any other GIS tool. Nation-

al flood hazards maps can be used to define the area concerned, which are as a rule used to analyse flood damage prior to introducing flood mitigation measures, and detailed flood hazards maps used for analyses after the measures have been put in place. The desired area can be manually selected in Google Earth directly, if there are no flood maps available. The calculation area has to be saved in the *shapefile* format for further calculation steps.

- **Step 2 - Calculation in KRPAN:** Once the study area is saved in the appropriate format, the user can continue with the calculation process in the application. The flood damage calculation is always run for the cases, i.e. before and after the planned measure. The application allows for two methods of damage calculations: when water depth is provided, damage is calculated using damage curves for known water depths during flood events. When the water depth is not known, the application calculates damage using damage curves by adopting the default average depth of floods in Slovenia (0.62 m). KRPAN is designed as a console application, which means that it is used via a text-only computer interface (command-line interface, CLI). Because the calculation of the expected flood damage is a complex task due to the amount of data to be processed in the background, the use of this type of an application is more appropriate than using a program with a graphical user interface (GUI). The CLI program allows faster completion of the tasks and it takes a lot less computer system resources than GUI (e.g. Mauro, 2018).

3.4 Results

The result of the calculation can be displayed in the GIS (at the element level of detail) or in MS Excel. Figure 2 shows the graphical representation of the input data, which are then shown on the screen in the Google Earth environment as polygons, lines, or point. By clicking the selected element a table is generated showing the basic attribute data (basic information on the structure, zoned land use, damage class) and the amount of damage in a flood event for each element separately. If the user was calculating the expected annual damage, MS Excel summary table is generated automatically (Figure 3).

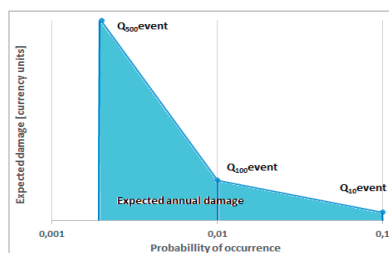


Figure 1. Example of expected annual damage curve based on three points

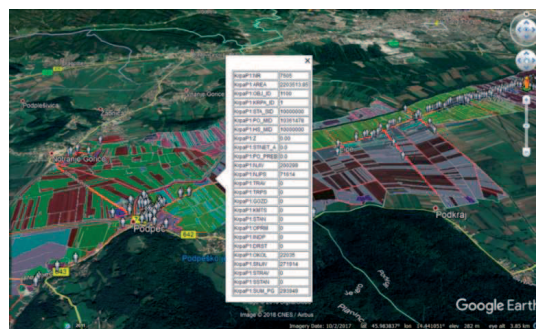


Figure 2. Display of the assessed flood damage in the Google Earth application at the element level of detail

The final table shows damage calculations by taking into account the size of floods occurring with various probabilities (10-, 100-, and 500-year return periods) and the expected annual damage per individual element at risk and the expected total annual damage in the area concerned. The benefit of the planned measure for damage reduction during floods is evaluated as the difference between the expected damage prior to the measure and the expected damage after the measures have been put in place.

3.5 Results analysis

The largest percentage of the estimated flood damage represent damage to the building structure (~60 %), followed by economic damage (~30 %), while damages in other sectors do not exceed 10 % in total.

Računsko območje: Ocenjeno število ogroženecv:	lokacija			
	0	113	120	
OGROŽENO	Škoda_Q010(€)	Škoda_Q100(€)	Škoda_Q500(€)	PLŠ(€)
KULTURNA DEDIŠČINA - Profana stavbna dediščina	0	13.728	27.451	782
INFRASTRUKTURA - Državne ceste	2.906	74.020	97.697	4.149
INFRASTRUKTURA - Lokalne ceste	0	16.297	32.917	930
INFRASTRUKTURA - Gozdne ceste	636	65	249	33
INFRASTRUKTURA - Elektroenergetsko podzemno omrežje	2.751	20.528	21.466	1.216
INFRASTRUKTURA - Vodovodno omrežje	16.384	43.970	45.135	3.072
INFRASTRUKTURA - Kanalizacijsko omrežje	1.607	28.549	30.848	1.595
KMETIJSTVO - Njiva	12.313	16.235	16.536	1.416
KMETIJSTVO - Posevki_njiva	8.804	11.611	11.826	1.012
KMETIJSTVO - Travnik	2.398	4.465	4.675	345
KMETIJSTVO - Posevki_travnik	7.410	13.806	14.452	1.068
KMETIJSTVO - Gozd	139	267	335	21
GRAJENE POVRŠINE - Čiščenje in dekontaminacija	5.379	68.794	77.087	3.921
GRAJENE POVRŠINE - Osebna vozila	8.185	104.715	117.334	5.969
STAVBE - Konstrukcija, kmetijska oprema in mehanizacija	0	239.874	255.855	12.777
STAVBE - Konstrukcija stanovanjske stavbe	1.399	1.301.625	1.313.414	69.096
STAVBE - Oprema stanovanjske stavbe	823	765.915	772.852	40.658
STAVBE - Konstrukcija industrijske in poslovne	0	49.762	49.762	2.637
STAVBE - Konstrukcija druge stavbe, pomožne	1.814	96.132	95.644	5.175
OKOLJE - Estetska vrednost, biodiverzitet	29.175	47.280	49.394	3.827
PROMET - Osebna vozila	0	71.820	76.074	3.823
STANOVANJA - Prebivalci nadomestno začasno bivanje	0	67.808	71.827	3.610
IND. IN POSL. SUBJEKTI - Oprema, stroji in zaloge_mikro družba	0	5.600	5.600	297
IND. IN POSL. SUBJEKTI - Oprema, stroji in zaloge_majhna družba	0	16.000	16.000	848
IND. IN POSL. SUBJEKTI - Izpad prihodkov_mikro družba	0	1.400	1.400	74
IND. IN POSL. SUBJEKTI - Izpad prihodkov_majhna družba	0	11.200	11.200	594
VODE - Vodotoki	50.028	247.185	768.026	17.435
Skupno (€)	152.151	3.338.651	3.985.056	186.380
Nepredvidene škode 10% (€)	301.396	6.589.554	398.506	18.638
SKUPNA PRIČAKOVANA LETNA ŠKODA (zaokroženo na 000 €)	454.000	9.928.000	4.384.000	205.000

Figure 3. Summary of the assessed flood damage in an excel table. Results are given per sector and per events with 10-, 100-, and 500-year return periods. In the last column (PLŠ), the expected annual flood damage is calculated

Therefore, for calculating flood damage to the building structure, we checked the adequacy of the methodology and KRPA in two ways: 1) by comparing the selected construction price with the NACER model, 2) by comparing the results with the AJDA data (URSZR, 2018). The selected construction price in KRPA is 800 EUR/m² by taking into account the vulnerability factor, which is comparable with the price in the NACER model for the Republic of Croatia, where the value was 780 EUR/m² (5.700 kn) (Brilly et al., 2014). The estimated flood damage by considering the flood damage curve at the average

depth of flood water in Slovenia (i.e. 0.62 m) on the construction of the building amounts to 170 EUR/m². The estimated damage is comparable with the data from AJDA reports on the flood damage from past events and with the costs reported in the restoration project after the flood event in Kostanjevica na Krki, Slovenia.

CONCLUSIONS

One of the main advantages of the proposed upgraded methodology is its transferability to the entire territory of the Republic of Slovenia. We would like to point out that despite the in-depth preparation and extensive work involved in the development of this methodology and KRPAN, the results must be evaluated from objective and professional points of view. As some data had to be generalised or they were not available, the result of the calculation is an estimate of the expected future damage if a flood event with a return period T occurs in a specific area rather than the actual amount of the expected damage. The use of the method and the application is primarily intended for decision and policy makers in managing the risks associated with flood damage, in order to determine the relevance of the proposed flood protection measures. Some flood protection measures may not be of benefit to a wider society, but are important for the local community, and *vice versa*.

There are still some challenges for the future improvement of the methodology, and thus of KRPAN, especially in terms of automated updating of data. The application is designed in a way that allows for its usage, without limitations, also outside Slovenian territory. As a pre-requisite, spatial data must be appropriately processed and adjusted according to the characteristics and availability of databases for the area concerned.

Acknowledgment: The authors acknowledge the financial support from the Slovenian Research Agency and Ministry of the Environment and Spatial Planning (project No. V2-1733).

REFERENCES

- [1] Adamič, T., Britovšek, T., Đurovič, B., Grobovšek, J., Kovačec Naglič, K., Miklavčič Pintarič, M., Pediček Terseglav, D., (2011): Ocena poplavnega škodnega potenciala nepremične kulturne dediščine (Assessment of Flood Loss Potential of Immovable Cultural Heritage, in Slovenian). Poročilo delovne skupine Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Ministrstva za kulturo, Direktorata za kulturno dediščino, INDOK centra in Inštituta za vode Republike Slovenije.
- [2] Brilly, M., Hozjan, U., Vidmar, A., Zabret, K., Gole, A., Kryžanowski A., (2014): *Ekonomski aspekti procjene potencialnih poplavnih šteta: konačno izvješće*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2014. 97 str.
- [3] Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., Böhner, J., (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, *Geosci. Model Dev.*, 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.
- [4] Dassanayake, D., Burzel, A., Oumeraci, H., (2012): *Evaluation of Cultural Losses. XtremRisk Progress Report*. Leichtweiß-Institute for Hydraulic Engineering and

Water Resources, Technische Universität Braunschweig.

- [5] Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. Official Journal of the European Union, L 288, 27–34.
- [6] FEMA, (2014): *Flood Model Technical Manual*, HAZUS-MH. http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1820-25045-8292/hzmh2_1_fl_tm.pdf (accessed 7 March 2014)
- [7] Glavan, M., Cvejić, R., Udovč, A., Pintar, M., (2012): Prostorsko in ekonomsko vrednotenje vpliva suhih zadrževalnikov na kmetijstvo. 23. Mišičev vodarski dan.
- [8] IzVRS, (2014): *Priprava ekonomskih vsebin načrtov zmanjševanja poplaven ogroženosti (Poročilo o realizaciji naloge I/2/3)*. Inštitut za vode Republike Slovenije (in Slovenian).
- [9] Huizinga, H. J., (2007): *Flood damage functions for EU member states*. HKV Consultants, Implemented in the framework of the contract #382442-F1SC awarded by the European Commission – Joint Research Centre.
- [10] Jongman, B., Kreibich, H., Apel, H., Barredo, J.I., Bates, P.D., Feyen, L., Gericke, A., Neal, J., Aerts, J.C.J.H., Ward, P.J, (2012): Comparative flood damage model assessment: towards a European approach. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 3733–3752.
- [11] Kreibich, H., Seifert, I., Merz, B. & Thielen, A. H., (2010): Development of FLEMOcs – a new model for the estimation of flood losses in the commercial sector. *Hydrol. Sci. J.* 55(8), 1302–1314.
- [12] Kreibich, H., Neuhold, C., (2012): *Cross-country transferability of flood damage models for residential buildings*. Proceedings of the EGU General Assembly, Vienna, Austria, 2012, 1915.
- [13] Markantonis, V., Meyer, V., Lienhoop, N., (2013): Evaluation of the environmental impacts of extreme floods in the Evros River basin using Contingent Valuation Method. *Nat. Hazards* 69: 1535-1549.
- [14] Mauro, A., (2018): CLI vs. GUI for VMware Admins. StarWind Blog. <https://www.starwindsoftware.com/blog/cli-vs-gui-for-vmware-admins> (Accessed on: 26 February 2019)
- [15] Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., Thielen, A., (2010): Assessment of economic flood damage. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10, 169–1724.
- [16] Meyer, V., Becker, N., Markantonis, V., Schwarze, R., et al., (2013): Assessing the costs of natural hazards – state of the art and knowledge gaps. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 1351–1373.
- [17] Penning-Rowsell, E., Johnson, C., Tunstall, S., Tapsell, S., Morris, J., Chatterton, J., Green, C., (2005): *The Benefits of Flood and Coastal Risk Management: A Manual of Assessment Techniques*. Middlesex Univ. Press, UK.
- [18] Thielen, A. H., Olschewski, A., Kreibich, H., Kobsch, S., Merz, B., (2008): Devel-

- opment and evaluation of FLEMOps – a new Flood Loss Estimation MOdel for the private sector. In: *Flood Recovery, Innovation and Response* edited by: Proverbs, D., Brebbia, C. A., and Penning-Rowsell, E., WIT Press, 315–324.
- [19] URSZR, (2018): Sistem za ocenjevanje škod AJDA. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje. <http://ajda.sos112.si/Ajda/>
- [20] Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ (Uradni list RS, št. 60/06, 54/10 in 27/16).
- [21] Vidmar, A., Zabret, K., Hozjan, U., Gole, A. Kryžanowski, A., Brilly, M. NACER: *Model for flood damage assessment*. In: V: Biondić, D. Holjević, Vizner, M (Eds.). Hrvatske vode na investicijskom valu : zbornik radova = Croatian waters on the investment wave : proceedings, 6th Hrvatska konferencija o vodama s međunarodnim sudjelovanjem, Opatija 20. - 23. svibnja (May) 2015. Zagreb: Hrvatske vode. 2015, str. 593-602.
- [22] Zabret, K., Hozjan, U., Kryžanowski, A., Brilly, M., Vidmar, A., (2018): Development of model for the estimation of direct flood damage including the movable property. *J. Flood Risk Manag.* 11, 527–540.

AUTORI

viš. pred. mag. Andrej Vidmar, univ. dipl. inž. grad. ^a

asist. dr. Katarina Zabret ^a

asist. Klaudija Sapač, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.

Petra Pergar, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž. ^b

doc. dr. Andrej Kryžanowski, univ. dipl. inž. grad. ^a

^a University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Jamova 2, Ljubljana, Slovenia, andrej.vidmar@fgg.uni-lj.si, katarina.zabret@fgg.uni-lj.si, klaudija.sapac@fgg.uni-lj.si, andrej.kryzanowski@fgg.uni-lj.si

^b Inštitut za prostorski razvoj, Verovškova 64, Ljubljana, Slovenia, petra.pergar@luz.si



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

R 2.04.

**VODNO GOSPODARSTVO I ZAŠTITA PRIRODE –
ZAJEDNIČKO OČUVANJE VODENIH EKOSUSTAVA**

**Marija Sabolić, Ramona Topić, Aljoša Duplić,
Petra Lunko, Daniela Schneider, Neven Trenc**

SAŽETAK: Ministarstvo zaštite okoliša i energetike (MZOE) sudjeluje u postupku ocjene i izdavanju mjera očuvanja prirode za godišnje Programe radova održavanja voda. Suradnja vodnog i sektora zaštite prirode na Programima započela je 2011. godine te su kroz nju definirani tipski radovi i raspravljane mjere očuvanja. Za 11 skupina tipskih radova MZOE je temeljem rezultata provedenih konzultativnih radionica i niza primjera dobre prakse iz literature, utvrdilo 70 tipiziranih mjera očuvanja te preporuka, koje se odnose se na ukupnu bioraznolikost. S obzirom na to da nije postojao dokument kojim bi se pojasnili opisi radova i propisane mjere očuvanja, u samoj provedbi Programa od 2012. godine pojavljuju se poteškoće koje se odnose na različito tumačenje i neodgovarajuću provedbu mjera, što posljedično može dovesti do negativnih utjecaja na bioraznolikost. Kako bi se poboljšala provedba i učinkovitost mjera očuvanja MZOE je kroz projekt „Razvoj okvira za upravljanje ekološkom mrežom Natura 2000” predvidio niz aktivnosti koje obuhvaćaju radne sastanke s dionicima u svrhu poboljšanja dijaloga o problematici vezanoj uz provođenje specifičnih mjera. Aktivnosti obuhvaćaju i moguće izmjene tipizacije radova, reviziju postojećih mjera očuvanja, izradu priručnika s detaljnim opisom načina provođenja mjera očuvanja, edukaciju dionika te monitoring učinkovitosti mjera očuvanja na 10 pilot područja.

KLJUČNE RIJEČI: održavanje voda, mjere očuvanja slatkovodnih ekosustava, Natura 2000

**WATER MANAGEMENT AND NATURE PROTECTION – JOINT CON-
SERVATION OF FRESHWATER ECOSYSTEMS**

ABSTRACT: The Ministry of Environment and Energy (MEE) participates in the process of appropriate assessment and issuing of nature conservation measures for annual Water Maintenance Programs. The cooperation between the water management and the nature protection sectors on the assessment of Programs started in 2011, through which types of maintenance works and conservation measures were discussed and defined. Based on the results of the conducted consultative workshops and a set of good practice examples from the literature, for 11 groups of works the MEE has identified 70 specified conservation

measures and recommendations referring to overall biodiversity. Since there is no document explaining maintenance works and conservation measures in detail, there have been certain difficulties in the implementation of the Program since 2012, related to different interpretations and inadequate implementation of measures, which can consequently lead to negative impacts on biodiversity. In order to improve the implementation and effectiveness of conservation measures, through the project "Development of Natura 2000 Management Framework" MEE envisaged a series of activities that include stakeholder workshops in order to improve the dialogue. Activities also include a potential revision of maintenance works and conservation measures, preparation of a manual with detailed description of works and measures, education of stakeholders, and monitoring of the effectiveness of measures in 10 pilot areas.

KEYWORDS: maintenance works, conservation measures for freshwater ecosystems, Natura 2000

1. UVOD

U Republici Hrvatskoj ocjena prihvatljivosti za ekološku mrežu i izdavanje mjera očuvanja slatkovodnih ekosustava (uvjeta zaštite prirode) za Program radova održavanja u području zaštite od štetnog djelovanja voda (u daljnjem tekstu „Program”) provodi se od 2012. godine. Kao priprema provođenju samog postupka, 2011. godine započeta je suradnja vodnog sektora i sektora zaštite prirode, kada je održan niz radnih sastanaka na kojima se raspravljalo o tipizaciji radova koje podrazumijeva Program te definiranju specifičnih mjera očuvanja slatkovodnih ekosustava za te radove. Kao rezultat navedenih radnih sastanaka definirano je 11 skupina tipskih radova koje se odnose na sljedeće radove: uklanjanje otpadnog materijala, naplavina i nanosa, uklanjanje vegetacije košnjom i/ili krčenjem, provedbu selektivne sječe šiblja i/ili stabala, uzgoj vegetacije zasijavanjem i sadnjom, održavanje (popravke oštećenja) postojećih vodnih i drugih građevina, obnovu ili izvedbu manjih i jednostavnih vodnih, regulacijskih i drugih građevina te hitne intervencije. Sukladno dogovoru između sektora voda i sektora zaštite prirode 2018. godine iz Programa su izuzeti radovi koji se odnose na izgradnju novih vodnih i regulacijskih građevina te hitne intervencije. Mjere očuvanja slatkovodnih ekosustava te o njima ovisnih vrsta i stanišnih tipova definirane su temeljem primjera dobre prakse iz literature te kroz suradnju i dogovor oba sektora. Ovaj pristup prepoznat je i od strane Europske komisije kao primjer dobre prakse provođenja ocjene prihvatljivosti planskog dokumenta za ekološku mrežu (Roth, 2014). Program se odnosi na cijelo područje Republike Hrvatske te obuhvaća 34 branjena područja kojim upravlja šest Vodnogospodarskih odjela. Broj lokacija obuhvaćenih Programom od 2012. do 2018. godine kretao se od oko 3000 do 5500 godišnje, dok je broj radova godišnje iznosio od oko 5500 do 7500 (Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, 2018). Do 2019. godine Program se donosio godišnje, dok se od 2019. godine donosi za četverogodišnje razdoblje, zbog čega obuhvaća i veći broj lokacija i radova. U okviru ocjene Programa provodi se i konzultativni postupak u kojem svoje mišljenje i sugestije daju i javne ustanove za upravljanje zaštićenim područjima.

2. OPKK PROJEKT “RAZVOJ OKVIRA ZA UPRAVLJANJE EKOLOŠKOM MREŽOM NATURA 2000”

U provedbi samog Programa od 2012. godine do danas pojavili su se određeni problemi, prvenstveno vezani uz tumačenje i primjenu propisanih mjera očuvanja slatkovodnih ekosustava. To se primjerice odnosi na tumačenje tipskih radova, obuhvat i način provođenja radova (npr. košnje i/ili sječe unutar vodotoka, sanacije oštećenja korita vodotoka), korištenje primjerenih tipova mehanizacije ovisno o prisutnim vrstama, ali i na nepostojanje mjera koje bi bile dovoljno specifične za određene tipove vodotoka, poput suhih bujica. Također, određeni problemi javljaju se i zbog nepostojanja odgovarajućih mjera očuvanja za različite biogeografske regije. S obzirom na navedeno, kao i činjenicu da se veliki broj vodotoka te o njima ovisnih ekosustava nalazi unutar područja ekološke mreže Natura 2000, prepoznata je potreba za razradom i revizijom već postojećeg uspostavljenog sustava tipskih radova i mjera, edukacijom svih dionika koji sudjeluju u postupku ocjene, provođenju radova i primjeni mjera te praćenju njihove provedbe. Potreba za stalnim poboljšavanjem mjera očuvanja, kao i praćenja njihovog provođenja i uspješnosti te izdavanjem priručnika i smjernica o ekološki prihvatljivijim načinima održavanja vodotoka prepoznata je i u Analizi stanja prirode u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2008. - 2012. (Državni zavod za zaštitu prirode, 2014.). Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Uprava za zaštitu prirode (dalje u tekstu MZOE-UZP) je temeljem Operativnog programa „Konkurentnost i kohezija“ osiguralo korištenje bespovratnih sredstava Europske unije (dalje u tekstu: EU) za programsko razdoblje 2014.-2020., za osiguravanje provedbe projekata koji će se financirati iz Investicijskog prioriteta 6iii „Zaštita i obnova bioraznolikosti i tla te promicanje usluga ekosustava, uključujući Natura 2000 i zelenu infrastrukturu“ (IP 6iii), specifičnog cilja (SC) „Uspostava okvira za održivo upravljanje bioraznolikošću (primarno ekološkom mrežom Natura 2000)“ (SC 6iii2). Pripremom i provedbom projekata kojima se doprinosi postizanju ciljeva očuvanja bioraznolikosti, obuhvaćenih Strategijom EU o bioraznolikosti do 2020, osiguravaju se preduvjeti za ispunjavanje obveza koje proizlaze iz EU zakonodavstva iz područja zaštite prirode. Slijedom toga, u sklopu Operativnog programa „Konkurentnost i kohezija“ osmišljen je projekt “Razvoj okvira za upravljanje ekološkom mrežom Natura 2000”, u okviru kojeg je razrađen element “Praćenje učinkovitosti mjera očuvanja slatkovodnih ekosustava i izrada Priručnika”. Osim ranije navedenih izazova u provedbi Programa, ovaj element ima za cilj i poboljšati međusektorsku suradnju između sektora voda i sektora zaštite prirode, kroz zajednički rad na provedbi obveza koje proizlaze iz EU zakonodavstva. Aktivnosti elementa “Praćenje učinkovitosti mjera očuvanja slatkovodnih ekosustava i izrada Priručnika” podrazumijevaju radne sastanke s dionicima, reviziju postojećih mjera očuvanja, izradu Priručnika i Terenskog priručnika, edukaciju dionika te monitoring učinkovitosti mjera očuvanja slatkovodnih ekosustava na najmanje 10 pilot područja, a njihovo provođenje predviđeno je do kraja 2022. godine.

2.1. Radni sastanci s dionicima, revizija postojećih mjera očuvanja te izrada Priručnika i Terenskog priručnika

S obzirom na to da su Hrvatske vode suradnik na projektu, prije provođenja ostalih aktivnosti, održat će se radni sastanci na razini vodnogospodarskih odjela te vodnogospo-

darskih ispostava, a kako bi se dobio uvid u problematiku s kojom se susreću dionici prilikom provedbe Programa. U tu svrhu angažirat će se i dva vanjska stručnjaka, jedan hidrolog i jedan biolog s radnim iskustvom iz područja vezanog uz projekte upravljanja vodama, hidromorfološkog poboljšanja i revitalizacije vodotoka te primjene mjera očuvanja vezanih uz radove održavanja vodotoka u europskim zemljama, a u svrhu zaštite od štetnog djelovanja voda. Za reviziju mjera očuvanja angažirat će se stručnjaci za pojedine taksonomske skupine te će se mjere, sukladno potrebama iskazanima na radnim sastancima u dogovoru s ovim stručnjacima, revidirati. Svi prikupljeni podatci vezani uz provedbu radova i primjenu mjera očuvanja, kao i napravljena revizija, koristit će se u svrhu izrade priručnika. Priručnik je predviđen kao opširniji dokument u kojem će se detaljno obraditi pojedini tipski radovi i mjere očuvanja, kao i podatci o bioraznolikosti, dok će Terenski priručnik biti njegova sažeta verzija namijenjena prvenstveno izvođačima radova na terenu, a kako bi što lakše mogli primijeniti propisane mjere očuvanja.

2.2 Edukacija dionika

Nakon izrade Priručnika predviđena je edukacija svih dionika provedbom konzultativnih radionica na kojima će se raspravljati pojedini aspekti Priručnika, kao i pojedini aspekti mjera očuvanja slatkovodnih ekosustava. Ukupno će se provesti 13 radionica u šest gradova (Zagreb, Osijek, Slavonski Brod, Rijeka, Varaždin, Split), na kojima je predviđeno sudjelovanje oko 500 sudionika iz sektora vodnog gospodarstva i sektora zaštite prirode, uključujući izvođače radova i djelatnike Hrvatskih voda, javnih ustanova za upravljanje zaštićenim područjima, MZOE, inspekcije zaštite prirode i županijskih upravnih odjela. Također, unutar aktivnosti edukacije predviđeno je i studijsko putovanje u jednu od zemalja Europske unije gdje postoji dobra praksa primjene mjera očuvanja slatkovodnih ekosustava prilikom radova zaštite od štetnog djelovanja voda i radova održavanja voda. Studijsko putovanje dat će uvid u praksu primjene ovih mjera, kao i sličnosti i razlike s mjerama koje se propisuju u Hrvatskoj te mogućnosti za njihovu modifikaciju.

2.3 Monitoring učinkovitosti mjera očuvanja slatkovodnih ekosustava

Kako Republika Hrvatska do sada nije uspostavila sustav praćenja učinkovitosti mjera očuvanja koje se propisuju za Program, Projekt će obuhvatiti primjer odabranih mjera očuvanja za slatkovodne ekosustave. Aktivnosti koje se provode temeljem Programa predstavljaju dobar temelj za postavljanje sustava praćenja. U svrhu procjene učinkovitosti mjera očuvanja, na 10 pilot područja vezanih uz slatkovodne ekosustave provest će se praćenje i evaluacija predviđene metodologije (odnosno praćenje učinkovitosti mjera očuvanja), na osnovu čega će se prilagoditi mjere očuvanja za sljedeće programsko razdoblje.

ZAKLJUČAK

Projekt "Razvoj okvira za upravljanje ekološkom mrežom Natura 2000", odnosno njegov element "Praćenje učinkovitosti mjera očuvanja slatkovodnih ekosustava i izrada Priručnika" doprinijet će boljoj međusektorskoj suradnji sektora voda i sektora zaštite prirode, uspostavi bolje komunikacije među svim dionicima u procesima izrade, ocjene, primjene i praćenja provođenja Programa, učinkovitijem provođenju radova održavanja

voda u području zaštite od štetnog djelovanja voda i boljoj primjeni mjera očuvanja slatkovodnih ekosustava, a svime time i očuvanju bioraznolikosti te osiguravanju usluga slatkovodnih ekosustava.

LITERATURA

- [1] Državni zavod za zaštitu prirode (2014): *Analiza stanja prirode u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2008. - 2012.*, Zagreb.
- [2] Hrvatska agencija za okoliš i prirodu (2018): *Izvješće o stanju prirode u Republici Hrvatskoj za razdoblje od 2013. do 2017. godine*, Zagreb.
- [3] Roth, P (2014): *Case 7: Adopting a strategic approach to AA for the national programme for annual water maintenance works (Croatia)*, Case studies on the Article 6.3 permit procedure under the Habitats Directive (Sundset, K), Ecosystems LTD for the European Commission, Brussels, pp 33-38, <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6d41e638-13bb-44f8-ae2-801aff9ac1a0/language-en> (25.3.2019.)

AUTORI

Marija Sabolić, mag.oecol. et prot.nat. ^a

Ramona Topić, dipl.ing.biol. ^a

dr.sc. Aljoša Duplić ^a

dr.sc. Petra Lunko ^a

mr.sc. Daniela Schneider ^a

mr.sc. Neven Trenc ^a

^a Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Radnička cesta 80/7, 10000 Zagreb, Hrvatska, marija.sabolic@mzoe.hr, ramona.topic@mzoe.hr, aljosa.duplic@mzoe.hr, petra.lunko@mzoe.hr, daniela.schneider@mzoe.hr, neven.trenc@mzoe.hr



R 2.05.

OBRANA OD POPLAVA U SKLOPU ZAŠTITE PRIRODE

Tomislav Novosel

SAŽETAK: Poplave su se događale u prošlosti, događaju se u sadašnjosti, a možemo reći kako će se zasigurno događati i u budućnosti. Apsolutne sigurnosti od pojave poplava nema niti će je ikada biti. Tako je i u Hrvatskoj za obranu od poplava izgrađeno oko 4.100 kilometara nasipa, koje je naravno potrebno stalno održavati, a s vremenom je pojedine kritične dionice potrebno i rekonstruirati, odnosno ojačati i nadvisiti, što dakako iziskuje velike troškove na godišnjoj razini.

Ipak u Hrvatskoj se srećom velika važnost u obrani od poplava još uvijek pridaje očuvanju prostranih prirodnih poplavnih područja, odnosno prirodnih retencija, koje su u stanju prihvatiti velike količine poplavnih voda i na taj način značajno umanjiti ukupne rizike od pojave poplava. Tako su prirodna i poluprirodna poplavna područja Odranskog, Lonjskog i Mokrog polja te Kopačkog rita u stanju prihvatiti i više od 2 milijarde kubnih metara poplavnih savskih, kupačkih, unskih i dunavskih voda.

Prema podacima Hrvatskih voda iz ožujka 2017. godine, sveukupni broj izgrađenih brdskih retencija u Republici Hrvatskoj je 61, dok nizinskih ima 18 ukupnog kapaciteta većeg od 2,2 milijarde m³.

Ne treba zanemariti niti činjenicu kako su takva područja često i prirodna staništa za brojne biljne i životinjske vrste. Tako su Kopački rit i Lonjsko polje ujedno i poznati parkovi prirode i to ne samo u Hrvatskoj, nego i u cijelom podunavskom porječju.

KLJUČNE RIJEČI: poplave, prirodna poplavna područja, brdske i nizinske retencije, parkovi prirode

FLOOD PROTECTION AS PART OF NATURE PROTECTION

ABSTRACT: Floods occurred in the past, they occur in the present and they will indeed occur in the future. Absolute safety from flood occurrence has never existed nor will it ever exist. In Croatia, about 4100 km of embankments have been built for flood protection, which have to be constantly maintained and, eventually, their critical sections have to be reconstructed i.e. strengthened and superelevated, resulting in high annual costs.

Fortunately, Croatia still considers the conservation of spacious natural floodplains i.e. natural retention basins that have the capacity to receive huge floodwater quantities and significantly reduce the overall flood risks, of great importance for flood protection. The natural and semi-natural floodplains, such as Odransko, Lonjsko and Mokro polje (fields)

and Kopački rit, can receive more than 2 billion m³ of the Sava, Kupa, Una and Danube floodwater.

According to Hrvatske vode data from March 2017, there are 61 highland retention basins and 18 lowland retention basins with a total capacity exceeding 2.2 billion m³ in the Republic of Croatia.

It should be noted that such areas are often natural habitats of numerous plant and animal species. Both Kopački rit and Lonjsko polje are well-known nature parks, not only in Croatia but in the entire Danube basin as well.

KEYWORDS: floods, natural floodplains, highland (mountain) and lowland retention basins, nature parks

1. UVOD

Retencije. Akumulacije. Puno ljudi i dan-danas još uvijek miješa ova dva pojma, što i nije za zamjeriti jer običnom čovjeku ova dva tipa građevine naoko izgledaju dosta slično. Naime, kada su pune vode, i retencije i akumulacije izgledaju poput jezera. Osnovna razlika između ova dva tipa građevina jest ta da se akumulacije koriste za pohranjivanje (skladištenje) vode kada je ima u izobilju, a onda se ta ista voda može iskoristiti u vrijeme nedostatka vode dok se retencije koriste samo za privremeno zadržavanje poplavnih voda, koje se odmah nakon prolaska velikih voda ispuštaju natrag u vodotok. Dakle, retencije služe isključivo za zaštitu od poplava, dok akumulacije najčešće imaju više namjena i osim za zaštitu od poplava često se koriste i za vodoopskrbu, navodnjavanje, industriju, ribnjačarstvo, turizam, a osnovna namjena velike većine velikih akumulacija, odnosno akumulacija hidroelektrana je i proizvodnja električne energije. Ukratko, možemo reći kako se u akumulacijama uvijek nalazi određena količina vode, dok su retencije većim dijelom godine prazne.

2. RETENCIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Dva su osnovna tipa retencija: čelne i bočne retencije. Čelne retencije nalaze se na samom vodotoku, a nastaju kao rezultat pregrađivanja korita vodotoka, odnosno izgradnjom brane na vodotoku. Ovakav tip retencija najčešće se izvodi u gornjim dijelovima sliva te se ovakve retencije često nazivaju i brdskim retencijama. Punjenje ovog tipa retencije odvija se nekontrolirano dok se izlaz vode iz retencijskog prostora kontrolira pomoću regulacijskog zatvarača i na taj način se područje nizvodno od retencije štiti od poplavnih voda. Najinteresantniji primjer ovakvog tipa retencija u Republici Hrvatskoj su retencije izgrađene za zaštitu grada Zagreba od bujičnih potoka s južnih padina Medvednice, čijem je plavljenju Zagreb u prošlosti bio jako izložen. Sredinom sedamdesetih godina prošlog stoljeća sazrijeva ideja o izgradnji retencija na ovim bujicama, a razrada je dana u Vodoprivrednoj osnovi grada Zagreba, 1981. godine. Prva retencija izgrađena je 1976., a posljednja je dovršena 2001. godine. Do danas ih je izgrađeno ukupno 19, a sveukupno je planirano izgraditi 39, čime bi Zagreb bio zaštićen od stogodišnjih velikih voda. Najveća retencija po zapremini je Jazbina s kapacitetom nešto većim od 480 tisuća m³ (slika 1), a najviša retencija u smislu retencije čija brana ima najveću visinu je Lagvić s branom višom od 27 metara (slika 2). Vodotoci na kojima su retencije izgrađene regulirani su u svom nizvodnom toku, a završavaju ili u kanalizacijskom sustavu grada Zagreba koji

ima ograničen kapacitet ili pak u rijeci Savi. Najinteresantnije od svega jest kako se većina ovih retencija izvrsno uklapa u prirodni šumski okoliš te velika većina slučajnih prolaznika, planinara, šetača ili izletnika vjerojatno niti ne zna da prolazi pored retencije iako zasigurno primjećuje nekakve betonske građevine tipa preljev, brzotok ili slapište. U nastavku se daje tablični prikaz izgrađenih retencija na Medvednici (tablica 1).

Tablica 1. Pregled izgrađenih retencija na Medvednici

	Retencija	Vodotok	Godina izgradnje	Visina brane (m)	Retencijski volumen (m ³)
1	Bidrovec I	Bidrovec - Trnava	1976	6	11.000
2	Štefanovec II	Štefanovec	1982	7,4	209.000
3	Kustošak E	Mali potok - Kustošak	1982	11,9	28.600
4	Dubravica I	Markovec - Dubravica	1983	12,8	32.000
5	Kustošak F III	Kustošak	1983	13,4	43.000
6	Črnomerec	Črnomerec	1984	12	148.000
7	Vidovec II	Vidovec - Trnava	1984	8,9	27.300
8	Čokot	Mikulić potok - Vrapčak	1985	26	208.000
9	Sopot	Vrapčak	1985	23	163.480
10	Kuniščak	Kuniščak	1986	12,6	54.000
11	Fučkov Jarek	Fučkov Jarek	1986	11	27.600
12	Lagvić	Kraljevečki potok	1991	27,6	127.000
13	Pusti Dol	Pustodol	1992	26,5	134.000
14	Jazbina	Bliznec	1997	16,3	481.300
15	Jelenovac I	Jelenovac	1996	14,1	52.380
16	Vidovec II	Vidovec - Trnava	1999	13,8	169.200
17	Bidrovec II	Bidrovec - Trnava	1999	13,9	164.150
18	Jezerčica	Jezerčica - Čučerska Reka	1999	10	14.540
19	Trnava	Trnava	2001	12,5	135.000
Ukupno:					2.229.550

Prema podacima Hrvatskih voda iz ožujka 2017. godine, sveukupni broj izgrađenih retencija čelnog tipa u Republici Hrvatskoj je 61 (VGO Varaždin – 7, VGO Osijek – 14, VGO Zagreb – 20, VGO Slavonski Brod – 5, VGO Rijeka – 13, VGO Split – 2). Bitno je uočiti kako retencije postoje na područjima svih VGO-a, a među najinteresantnijima, iako i među najmanjima, su svakako one izgrađene za zaštitu grada Cresa od bujičnih poplava s okolnih brda. Te dvije su ujedno i jedine retencije na našim otocima (slika 3).



Slika 1. Retencija Jazbina na potoku Bliznec



Slika 2. Brana retencije Lagvić



Slika 3. Retencije C1 i C2 za zaštitu od bujičnih poplava grada Cresa na otoku Cresu

Drugi tip retencija obično nazivamo bočnim retencijama jer se grade, odnosno lociraju paralelno s vodotokom. Ovakav tip retencija najčešće se gradi u srednjim tokovima vodotoka, odnosno na mjestima gdje su riječne doline relativno široke te se ovakve retencije često nazivaju i nizinskim retencijama. Nizinske retencije u pravilu su puno većeg kapaciteta od brdskih retencija, a zauzimaju i puno veću površinu zaplavnog prostora. Veličina retencije, odnosno retencijskog prostora određuje se ovisno o hidrološkim prilikama, veličini raspoloživog prostora i veličini maksimalnog protoka koji može prihvatiti vodotok nizvodno od retencije. Punjenje ovog tipa retencija može biti potpuno nekontrolirano, ali isto tako i potpuno kontrolirano pomoću zapornica na upusno-ispusnim ustavama u nasipu. Najčešći slučaj je ipak djelomična kontrola punjenja retencija jer se retencijski prostor, osim putem preljeva i ustava, obično zapunjava i svojim vlastitim prirodnim vodotocima koji protječu kroz retencijski prostor. Pražnjenje se također može odvijati nekontrolirano iako je naravno puno bolje tehničko rješenje ukoliko se ono odvija potpuno kontrolirano ustavama.

U Republici Hrvatskoj velika većina nizinskih retencija puni se i prazni potpuno nekontrolirano, što zbog konfiguracije terena, što zbog nedostatka financijskih sredstava za izgradnju ustava. Djelomična kontrola postoji samo u retencijskom sustavu Lonjskog polja gdje se velike količine voda rijeke Save putem ustava Prevlaka (slika 4) i Trebež prvo upuštaju u Lonjsko polje, a zatim putem ustave Trebež kontrolirano i ispuštaju iz Lonjskog polja. Najočitiiji primjer kako je dobro imati mogućnost kontrole nad upuštanjem odnosno ispuštanjem iz retencijskog prostora je Odransko polje. Naime, Odransko polje je retencija smještena u desnom savskom zaobalju, puni se savskim vodama preko preljeva Jankomir putem oteretnog kanala Sava-Odra te na ušću rijeke Odre u rijeku Kupu, povratnim vodama rijeke Kupe. Stanjem u retenciji se, dakle, ne može upravljati. Na sjeveru ju omeđuju savski nasipi i obodni nasipi za zaštitu triju sela: Trebarjeva Desnog, Martinske Vesi Desne i Tišina Kaptolske, te nasip oko sela Lekenika. Kapacitet retencije

Odranskog polja je nešto veći od 300 milijuna m³, a čak i to se pokazalo nedostatnim tijekom veljače 2014. godine kada su poplavne vode u Odranskom polju stigle nadomak Velike Gorice i poplavile nekoliko desetaka kuća na području Čička Poljane. Ovakav scenarij vjerojatno se je mogao i izbjeći da je postojala ustava na ušću rijeke Odre u rijeku Kupu kojom bi se kontrolirano vršilo upuštanje voda iz rijeke Kupe u Odransko polje.

Prema podacima Hrvatskih voda iz ožujka 2017. godine, sveukupni broj izgrađenih nizinskih retencija u Republici Hrvatskoj je 18 ukupnog kapaciteta većeg od 2,2 milijarde m³. Najznačajniji retencijski sustavi su svakako Lonjsko polje kapaciteta oko 600 milijuna m³ (slika 5), Mokro polje (450 milijuna m³), Odransko polje (300 milijuna m³), Žutica (105 milijuna m³), Zelenik (95 milijuna m³), Trstik (50 milijuna m³) i Opeka (40 milijuna m³). Sve ove nabrojene retencije predstavljaju sustav obrane od poplava Srednjeg posavlja kojim se zapravo direktno štiti cijelo područje nizvodno od grada Zagreba sve do Jasenovca, a zasigurno ima utjecaja i na sniženje vodostaja rijeke Save i dalje, nizvodno. Što se pak tiče retencije Kupčina, njezin poplavni potencijal od 110 milijuna m³ trenutno se ne može iskoristiti jer karlovački dio sustava obrane od poplava nije završen. Retencija Kupčina ustvari predstavlja nizinsko šumsko poplavno područje u lijevom zaobalju kanala Kupa-Kupa i njezina planirana funkcija je vezana uz prihvrat velikih voda iz kanala Kupa-Kupa, a koji će biti moguće prihvatiti tek nakon planirane izgradnje ustave i bočnog preljeva na kanalu Kupa-Kupa. Stavljanjem retencije Kupčina u funkciju očekuje se znatno smanjenje rizika od pojave poplava na širem karlovačkom području. Od ostalih nizinskih retencija valja spomenuti i prirodnu retenciju Lipovo polje u Kosinjskoj dolini gdje do plavljenja dolazi gotovo svake godine prilikom otapanja snijega s područja Velebita zbog ograničenosti kapaciteta ponora rijeke Like. Ne smije se zaboraviti spomenuti niti Kopački rit, čije se prirodno poplavno područje prostire na preko 12 tisuća hektara. Naravno, poplavljenost površina u Kopačkom ritu umnogome ovisi o vodostaju Dunava, iako su poplave moguće i uslijed dugotrajnih i obilnih oborina. Iznimna vrijednost cjelokupnog sustava i brdskih i nizinskih retencija (slika 6) pokazuje se prilikom svake obrane od poplave. Tako je bilo i zadnji put tijekom ožujka 2018. godine kada su samo savske retencije (Lonjsko polje, Mokro polje, Odransko polje i Zelenik) zajedno prihvatile više od 1,6 milijardi m³ vode i na taj način znatno doprinijele smanjenju rizika od poplava i izravno utjecale na uspješnost provedbi mjera obrane od poplava. Potrebno je napomenuti kako je prošle godine izgradnjom i nadvišenjem južnog nasipa retencije Lonjsko polje dodatno povećan kapacitet retencije za 120 milijuna m³, što se pokazalo od iznimne važnosti tijekom provedbi mjera obrane od poplava budući da je za dva do tri dana omogućeno dodatno akumuliranje, odnosno neispuštanje poplavnih voda iz retencijskog bazena Lonjskog polja neposredno uzvodno od Jasenovca i što je sigurno spriječilo da vodostaji na području Jasenovca budu viši od ionako dosad maksimalno zabilježenih +928 cm.

Ne smije se zanemariti niti iznimno veliki značaj retencija u smislu zaštite prirode. Tako su Lonjsko polje i Kopački rit ujedno i parkovi prirode. Kopački rit ujedno je i najstariji park prirode u Republici Hrvatskoj. Najveće je rastilište i mrijestilište slatkovodne ribe u Podunavlju i najvažniji ornitološki rezervat u Hrvatskoj. U njemu se svake godine gnijezdi oko 140 vrsta ptica, a velika bioraznolikost od 2000 bioloških vrsta odraz je bogate flore i faune parka (<https://pp-kopacki-rit.hr/>). S druge pak strane, park prirode Lonjsko polje prostire se na preko 50 tisuća hektara i kao takav najveće je zaštićeno močvarno

područje ne samo u Republici Hrvatskoj već i u cijelom podunavskom porječju (<http://www.pp-lonjsko-polje.hr/>). Hrvatske vode imaju izuzetno dobru suradnju s institucijama koje upravljaju parkovima prirode. Posebno se to odnosi na park prirode Lonjsko polje kada tijekom ljetnog sušnog razdoblja i ukoliko ne prijete poplave, Hrvatske vode imaju mogućnost zatvaranjem ustave Trebež malo povisiti razinu vode i na taj način barem malo povećati poplavljenost površina u samom polju te olakšati život mnogobrojnim žednim i gladnim biljkama i životinjama.



Slika 4. Kontrolirano upuštanje velikih voda rijeke Save putem ustave Prevlaka u prirodno poplavna područja Lonjskog polja



Slika 5. Poplavno šumsko područje Lonjskog polja uz Istočni nasip retencije



Slika 6. Prostorni prikaz retencija na području Republike Hrvatske

ZAKLJUČAK

Na kraju možemo zaključiti kako se u zadnjih 15-ak godina primjećuje sve veći efekt klimatskih promjena širom svijeta, ali isto tako i na području Republike Hrvatske. Sve učestalije se izmjenjuje ekstremno sušna i ekstremno kišna razdoblja. Naravno, sve to se odražava i na hidrološke cikluse vodotoka tijekom godine te se događaju sve učestalije pojave velikih vodnih valova. Tako su u zadnjih 15-ak godina na gotovo svim rijekama i mjernim postajama u Republici Hrvatskoj premašeni maksimalno zabilježeni vodostaji u povijesti, uključujući i najnoviji na rijeci Savi u Jasenovcu iz ožujka ove godine koji je nadmašio stari maksimum iz davne 1970. godine za čak 21 centimetar.

S obzirom na najave i dugoročne prognoze za očekivati je kako će se trend klimatskih promjena i izraženih hidroloških ekstrema nastaviti. Stoga je nužna prilagodba na navedene pojave, što zahtijeva žurnu sanaciju, rekonstrukciju i gradnju pojedinih dionica nasipa, kao i drugih regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina, uključujući naravno i retencije, a sve u cilju smanjenja rizika od pojave poplava i njihovih posljedica. U tu svrhu Hrvatske vode pokrenule su projekte rekonstrukcije i ojačanja lijevoobalnih savskih nasipa na području Županijske Posavine, odnosno od državne granice s Republikom Srbijom do Stare Gradiške (više od 300 milijuna kuna) te izgradnju kompletnog sustava obrane od poplava na širem karlovačkom području (670 milijuna kuna), kao i zaštitu od poplava na području grada Ogulina (120 milijuna kuna), odnosno sveukupno 1,1 milijardi kuna. Sustav obrane od poplava grada Karlovca podrazumijeva i stavljanje retencije Kupčina u potpunu funkciju, dok zaštita od poplava grada Ogulina uključuje i izgradnju retencije Hreljin Ogulinski na rijeci Dobri. Naravno, uz ove dvije spomenute, potrebno je nastaviti s izgradnjom i drugih retencija prema višegodišnjem programu gradnje i strategiji upravljanja vodama kako bi se što više smanjio rizik od pojave poplava.

Potrebno je također dodatno razvijati i unapređivati međunarodnu vodno-gospodarsku suradnju kvalitetna vodno gospodarska suradnja može bitno utjecati na smanjenje rizika od poplava. U tom smislu potrebno je više pažnje posvećivati i ulagati u međunarodne projekte jer se na kraju uvijek ispostavi da je točna ona izreka „svi mi živimo nizvodno“.

LITERATURA

- [1] Novosel T., „Svi mi živimo nizvodno - retencije u obrani od poplava“, Časopis Hrvatska vodoprivreda (2018./ 224), stranice 28-32

AUTOR

Tomislav Novosel, dipl. ing. građ. ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, tomlav.novosel@voda.hr



R 2.06.

PRIMJENA VIŠEKRITERIJSKE ANALIZE U UPRAVLJANJU PODRUČJIMA IZLOŽENIM EROZIJSKIM PROCESIMA

Ines Marasović, Barbara Karleuša, Nevena Dragičević

SAŽETAK: U ovom radu prikazat će se mogućnosti primjene metoda višekriterijske analize (VKA) u upravljanju područjima izloženim erozijskim procesima uzrokovanih vodom na temelju analize recentne literature i istraživanja. Analiza je pokazala da je primjenu metoda VKA moguće podijeliti prema vrsti problema koji se rješava na: identifikaciju žarišnih područja ugroženih erozijom i odabir najbolje metode za zaštitu od erozije. Može se zaključiti da su najčešće korištene VKA metode PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), ELECTRE (ELimination and (Et) Choice Translating Reality), AHP (Analytic Hierarchy Process) i SAW (Simple Additive Weighting), često u kombinaciji sa ArcGIS-om.

KLJUČNE RIJEČI: višekriterijska analiza, erozija, voda, upravljanje

APPLICATION OF MULTI-CRITERIA ANALYSIS IN THE MANAGEMENT OF AREAS EXPOSED TO EROSION PROCESSES

ABSTRACT: This paper presents the application of multi-criteria analysis (MCA) methods in the management of areas exposed to erosion processes caused by water, and is based on recent literature and research analysis. The analysis has shown that the application of the MCA methods can be divided according to the type of problem in two groups: identification of the focal areas affected by erosion and selection of the best erosion protection method. It can be concluded that most commonly used MCA methods are PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), ELECTRE (ELimination and (Et) Choice Translating Reality), AHP (Analytic Hierarchy Process) and SAW (Simple Additive Weighting), often combined with ArcGIS.

KEYWORDS: multi-criteria analysis, erosion, water, management

1. UVOD

U današnje vrijeme, degradacija tla erozijom predstavlja ozbiljan problem. Erozijom je do sada nepovratno uništeno 430 milijuna hektara poljoprivrednog zemljišta što predstavlja

oko 30 % ukupnih obradivih površina na Zemlji (Kisić i sur., 2005).

Osim problema nepovratnog gubitka tla, transportirani erozijski nanos, ukoliko se radi o tretiranom tlu, predstavlja veliki problem za okoliš i slivne vode. Takav je nanos obogaćen velikom količinom hranjivih tvari, posebice nitrata, ali i pesticida. Ukoliko navedene tvari dođu u doticaj s vodom, smanjuju upotrebljivost vode u konvencionalne svrhe – za piće i uzgoj ribe te dolazi do cjelokupnog poremećaja biološke ravnoteže sa teško predvidivim posljedicama (Kisić i sur., 2000).

Najopasniji i najznačajniji proces oštećenja tla na području Hrvatske predstavlja erozija vodom koja utječe na gospodarski razvoj, posebice na poljoprivredu i šumarstvo. Gubitkom tla nakon erozije smanjuje se površina potrebna za obradu i biljnu proizvodnju te se smanjuje dubina tla. Također dolazi do porasta čestica u kanalima, rijekama, jezerima i akumulacijama, zagađenja površinskih i podzemnih voda. Odnosenje oraničnog sloja tla u vode može prouzročiti njihovu eutrofikaciju. Ukoliko se erozijski procesi dešavaju u sušnim razdobljima pogoduje se dezertifikacijskim procesima (Husnjak i Bogunović, 2002).

Unos erozijskog nanosa u akumulacije može dovesti do skraćanja njihovog vijeka korištenja (Holjević, 2010).

Do degradacijskih procesa tla može doći na prirodan način ili ih može prozročiti čovjek zbog neodgovarajućeg načina korištenja i upravljanja zemljištem.

Upravo na područjima potencijalno ugroženim erozijskim procesima potrebno je pomno planirati upravljanje tlama i vodama. Zaštita od erozije mora biti usmjerena na zaštitu samih tala od njihove daljnje degradacije te zaštitu voda od onečišćenja i većih količina transportiranog erozijskog nanosa. Sam koncept upravljanja tlama i vodama na takvom području mora obuhvatiti aktivnosti i mjere ne samo na obradivim površinama, koje su u pravilu najizloženije erozijskim procesima, već i na neobradivom tlu i urbanim površinama. U svijetu se primjenjuje niz različitih strukturalnih i nestrukturalnih mjera usmjerenih ka ublažavanju i prevenciji erozijskih procesa. Odabir adekvatnih mjera i njihova primjena na području od interesa veoma je kompleksna i ovisi o nizu čimbenika, a odabir treba temeljiti na većem broju različitih kriterija. Jedan od alata za pomoć pri izboru odgovarajućih i prihvatljivih mjera ublažavanja i prevencije od erozije je višekriterijska analiza.

Spomenuti alat, uz primjenu odgovarajućih kriterija, pruža i mogućnost definiranja područja potencijalno ugrožena erozijskim procesima te rangiranja područja prema intenzitetu (razini potencijala) erozije.

Cilj primjene takvog alata je olakšati donositeljima odluka konačni izbor mjera, kao i područja njihove primjene te omogućiti jednostavnije i efikasnije planiranje aktivnosti na samom području interesa. Navedeno je temelj održivog gospodarenja vodama i tlama na nekom području.

U ovom radu prikazat će se primjena metoda višekriterijske analize (VKA) u upravljanju područjima izloženim erozijskim procesima uzrokovanih vodom na temelju analize recentne literature i istraživanja (Marasović, 2018).

2. VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA

S aspekta opisivanja višekriterijskog odlučivanja matematičkim modelom postoje dvije vrste višekriterijskih problema (Nikolić i Borović, 1996; Weng i sur. 2010):

- višeciljno odlučivanje (VCO),
- višeatributivno odlučivanje (VAO) ili višekriterijska analiza/višekriterijska optimalizacija (VKA) / (VKO).

Višekriterijska analiza se može definirati kao model donošenja odluka koji se sastoji od (Hajkowicz i Collins, 2007):

- skupa varijanti koje treba rangirati ili sortirati donositelj odluke,
- skupa kriterija, većinom su to razno-dimenzionalni kriteriji koji se stoga mogu vrednovati samo različitim mjernim jedinicama,
- vrijednosti (ocjena) svake varijante po svakom kriteriju.

U metode višekriterijske analize ubrajaju se metoda dominacije, maxmin, minmax, konjunktivna i disjunktivna metoda, leksikografska metoda, metoda jednostavnih aditivnih težina (engl. Simple Additive Weighting, SAW), metoda hijerarhijski aditivnih težina, metoda višeatributivne teorije korisnosti/vrijednosti (engl. Multi Attribute Utility/Value Theory, MAUT/MAVT), ELECTRE (Elimination and (Et) Choice Translating Reality), TOPSIS (Technique for order Preference by Similarity to Ideal Solution), hijerarhijska trade off metoda, LINMAP (Linear Programming Techniques fom Multidimensional Analysis of Preference), PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), AHP (Analitic Hierarchy Process), ANP (Analytic Network Process), VIKOR (višekriterijsko kompromisno rangiranje) i dr.

3. PRIMJERI KORIŠTENJA VIŠEKRIERIJSKE ANALIZE U UPRAVLJANJU PODRUČJIMA IZLOŽENIM EROZIJSKIM PROCESIMA

Analizom raspoložive literature izdvojeno je osam radova u kojima se višekriterijska analiza primjenjuje za rješavanje erozijske problematike te se može zaključiti kako je ona široko primjenjiva. Najvažni elementi primjene VKA u analiziranim radovima prikazani su u Tablici 1.

U analiziranim radovima, VKA se primjenjivala za rješavanje dvije vrste problema:

- identifikaciju žarišnih područja ugroženih erozijom,
- odabir najbolje metode zaštite od erozije.

Najčešće su korištene PROMETHEE, ELECTRE, AHP i SAW metode. Osim navedenih metoda koriste se ANP metoda i metoda težinskog preklapanja. U slučajevima kada je trebalo kartografski prikazati područja ugrožena erozijom ili rangirati područja ili slivove po stupnju ugroženosti, VKA metode se kombiniraju s GIS-om. Prednost kombiniranja metoda VKA i GIS-a je mogućnost vizualizacije varijanata što je neophodno ukoliko se mora identificirati određeno područje. Takva nova generacija sustava predstavlja prostorne sustave za potporu pri odlučivanju (engl. spatial decision support system).

Iz Tablice 1. razvidno je da je primjena VKA na predmetnoj problematici aktualna s obzirom da recentnost objavljivanja analiziranih radova (razdoblje 2010-2017) kao i široko rasprostranjena (Srbija, Francuska, Malezija, Indija, Trska, Alžir, Etiopija, Argentina). U Tablici 1. navedeni su: autori rada/istraživanja, područje obuhvata, problem, cilj primjene VKA, odabrane metode, kriteriji, rezultati i zaključci proizašli iz istraživanja. Analizom tih radova mogu se istaknuti određene prednosti i nedostaci primjene metoda VKA u

upravljanju područjima izloženim eroziji.

Prednosti koje su se pokazale kod višekriterijske analize u primjeni rješavanja erozijskih problema su:

- istodobno uzimanje u obzir različitih kriterija čime se izbjegava donošenje odluka na temelju jednog kriterija,
- omogućavanje odlučivanja kada se procjenju varijante vrednovane sukobljenim kriterijima,
- metoda je transparentna i eksplicitna,
- može se koristiti pri usuglašavanju stajališta različitih dionika u procjeni,
- olakšava komunikaciju između donositelja odluka i šire zajednice.

Tablica 1. Analiza radova/istraživanja u kojima su metode VKA primjenjene na problemima upravljanja područjima izloženim erozijskim procesima

LITERATURA	PODRUČJE OBUHVATA	PROBLEM	CILJ PRIMJENE VIŠEKRITERIJSKE ANALIZE	ODABRANE METODE	KRITERIJI	REZULTATI	ZAKLJUČCI
Vulević i Dragović, 2017	Srbija, sliv Topčiderske rijeke	Erozija tla koja uzrokuje značajan gubitak tla i povećava rizik od poplava	Rangiranje slivova od najviše do najmanje ranjivih u svrhu pružanja informacija za planiranje upravljanja vodama i smanjenje štednog djelovanja erozije	PROMETHEE II, ArcGis (AHP za određivanje važnosti kriterija)	Vegetacija, padaline, erodibilnost tla, topografija	Identifikacija najranjivijih područja - dobivanje vrijednih informacija koje se mogu implementirati u planiranje upravljanja vodnim resursima te u zaštitne mjere od erozije i bujica	PROMETHEE II metoda omogućava potpuno rangiranje vodnih područja ugroženih erozijskih procesima te pomaže donositelju odluka pri odlučivanju gdje implementirati mjere zaštite od erozije i bujica
Macary i sur., 2010	Francuska (Normandija), sliv rijeke Oir (pritoka rijeke Setune)	Suspendirane krute tvari kao posljedica erozije stvaraju problem u vodnim tijelima što narušava funkcioniranje ekosistema	Pružiti donositeljima odluka informacije koje će im pomoći pri donošenju odluka o razvoju regije, upravljanju resursima i zaštiti područja	ELECTRE III, ArcGis	Nagib zemljišta, povezanost zemljišta i vodnih tijela, mikro topografija, korištenje zemljišta, stupanj oštećenja obale	Ustanovljena su područja koja imaju najveći rizik od erozije, dobiveni podaci služe lokalnim dionicima kao pomoć pri donošenju odluka u planiranju razvoja analiziranog kraja	ELECTRE III se pokazala kao efikasan alat u prognoziranju okolišnih problema, prednost metode je neograničen broj kriterija i mogućnost kvalitativnog i kvantitativnog iskazivanja kriterija i njihove važnosti.
Jaiswal i sur., 2015	Indija	Erozija tla uzrokuje oštećenja nasipa, odnošenje hranjivih tvari i druge okolišne probleme	Identifikacija erozijski ranjivih slivova kako bi se moglo početi s primjenom metoda za prevenciju erozije i sanaciju područja	AHP, ArcGis	Gubitak tla, prinos sedimenata, produkcija sedimenata, transport sedimenata, nagib, drenaža, upotreba kanala, faktor oblika, cirkulacija; definirane su težine kriterija	Identificirana su najugroženija područja (preko 117 km ² , više od 20 slivova je potrebno staviti u program zaštite od erozije).	AHP model se pokazao kao primjenjiva tehnika za donošenje kompleksnih odluka i pruža sveobuhvatan i racionalan okvir za strukturiranje problema i kvantificiranje njegovih elemenata te za procjenu rješenja erozijskih problema.
Hasbaia i sur. 2017	Alžir, slivno područje Hodna	Velika erodibilnost područja što može uzrokovati poplave, taloženja i povećanje slanosti	Mapiranje osjetljivosti područja na eroziju	SAW, ArcGis	Topografija, geologija, iskorištenost tla, klima (maksimalna dnevna padalina); definirane su težine kriterija	Dobivena karta erozijske osjetljivosti analiziranog područja prema 3 klase: niska osjetljivost, srednja osjetljivost i visoka osjetljivost	Mapiranje najranjivijih područja pomaže u reduciranju erozijskog fenomena. Rezultati istraživanja su kvalitetna podloga za proučavanje neistraženih područja te njihovi rezultati mogu biti od velike koristi pri analiziranju drugih slivova.

Assefa i sur., 2015	Etiopija, slivno područje Koga	Erozija tla predstavlja prijetnju ekosustavu; uništavanje produktivnog sloja tla, smanjenje poljoprivredne produkcije, zatrpavanje brana erozijskim nanosom	Identifikacija žarišnih područja erozije	Težinsko preklapanje, ArcGIS	Topografija, potencijalne lokacije jaruga, iskorištenost tla, tlo; definirane su težine kriterija	Mapiranje i klasifikacija regija osjetljivih na eroziju: vrlo osjetljiva, umjereno osjetljiva, rubno osjetljiva, neosjetljiva	Kombinacija višekriterijske analize težinskim preklapanjem u GIS-u se pokazala kao dobrom metodom za procjenu rizika od erozije; rezultati su pouzdaniji što su ulazni podaci detaljniji pa se za buduća istraživanja preporučaju snimke iz GIS-a što veće rezolucije.
Grau i sur., 2010	Argentina, sliv rijeke Bermejo	Formiranje meandara koji se u kišnom periodu pretvaraju u golemo vodno područje što za posljedicu ima eroziju i troškove sanacije	Dobivanje najbolje alternative za smanjenje utjecaja erozije	ELECTRE, PROMETHEE, AHP	Erozija vodom, eolska erozija, implementacija alternativa, vodni resursi, ekonomska dobit, ljudski doprinos, okolišni utjecaj, socijalna prihvatljivost	Izbor metode za prevenciju erozije za svako od 6 analiziranih područja, usporedba metoda za svako analizirano područje	Objedinjavanje rezultata između tri različite metode je pokazalo visoku razinu konzistentnosti unatoč složenosti sustava koji se proučava što pokazuje da se zadovoljavajući rezultati mogu dobiti koristeći bilo koje od tri navedene metode.
Al-Hadu i sur., 2011	Malezija	Generiranje velike količine erodiranog materijala koji se nanosi u vodna tijela u blizini kao posljedica građevinskih radova i padalina	Odabir najbolje mjere zaštite gradilišta od erozije za svaku pojedinu fazu gradnje koja će koristiti inženjerima i izvodačima i spriječiti degradaciju ekosustava	SAW	Tehnički, ekonomski, okolišni, socijalni; definirane su težine kriterija	Detaljna razrada mjera zaštite od erozije za 3 glavne faze izvođenja radova na gradilištu te nekoliko podfaza čiji rezultati mogu biti primijenjeni na ostalim Malezijskim gradilištima	Rezultati predstavljaju temelj za uspostavljanje sustava za potporu odlučivanja kontrole erozije i sedimenata za svaku fazu izgradnje na gradilištu.
Demirel i Tuzun, 2011	Turska	Procjena najbolje metode za spriječavanje erozije	Evaluacija metoda za procjenu erozije i odabir najpovoljnije metode	ANP	Klima, topografija, karakteristike tla, iskorištenost i pokrivenost tla, ljudska aktivnost	Rangiranje četiri analizirane metode za prevenciju erozije (pošumljavanje, terasiranje, gradnja vjetorbrana, primjena odgovarajućih poljoprivrednih tehnika) od kojih se primjena odgovarajućih poljoprivrednih tehnika pokazala najboljom, za različite profile donositelja odluka	ANP model se pokazao dobrim modelom za analizu ovakvih vrsta problema zbog mogućnosti kontrole optimalnog rješenja budući da metoda vrednuje rezultate prema različitim profilima donositelja odluka (pesimističan, umjeren ili optimističan).

Iako se višekriterijska optimizacija pokazala kao dobra metoda nameću se pojedini nedostaci te metode:

- racionalna debata o različitim prednostima i nedostacima predloženih varijanti se može svesti na raspravu o apstraktnim brojevima,
- postoji mogućnost stvaranja pogrešnog dojma točnosti predstavljanjem kvantitativnih podataka tj. ukupne ocjene, takve brojke ponekad sakrivaju činjenicu da višekriterijska analiza ovisi često o subjektivnim procjenama,
- postoji mogućnost manipulacije u primjeni postupaka višekriterijske analize,
- kod uzimanja u obzir društvenog ili socijalnog aspekta sagledavani su samo pojedini segmenti (zdravlje, sigurnost, rizik odabira rješenja) dok se ponekad izostavlja drugi dio društvenog aspekta (radna mjesta ili društveni standard) koji bi bilo bilo nužno uključiti u višekriterijsku analizu, od osam analiziranih studija samo jedna uzima u obzir kriterij povećanja radnih mjesta.

ZAKLJUČAK

U konačnici se može zaključiti da se VKA pokazala primjenjivom za dvije vrste problema: indentifikaciju žarišnih područja ugroženih erozijom i odabir najbolje metode zaštite od erozije između više ponuđenih metoda. Primjena metoda VKA na predmetnoj problematici je aktualna i široko rasprostranjena po svijetu.

Primjenjuje se više metoda VKA (ELECTRE, AHP, ANP, PROMETHEE, SAW), vrlo često u kombinaciji s ArcGIS-om.

Temeljem analize istraživanja prikazanih u Tablici 1. istaknute su utvrđene prednosti i nedostaci primjene VKA metoda u upravljanju područjima izloženim erozijskim procesima.

ZAHVALA

Objavu rada sufinanciralo je Sveučilište u Rijeci kroz projekt: *Održivo upravljanje riječnim slivom implementacijom inovativnih metodologija, pristupa i alata (UNIRI-TEHNIC-18-129)*.

LITERATURA

- [1] Kisić, I., (2016): *Antropogena erozija tla*, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- [2] Kisić, I., Bašić, F., Butorac, A., Mesić, M., Nestroy, O., Sabolić, M., (2005): *Erozija tla vodom pri različitim načinima obrade*, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- [3] Husnjak S., Bogunović M., (2002): *Opasnost od erozije tla vodom na poljoprivrednom zemljištu u agroregijama Hrvatske*, Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva, 64/5-6, 267-280.
- [4] Kisić, I. i sur., (2000): *Procjena rizika od erozije na tlima Vinodolske kotline*, Agriculturae Conspectus Scientificus, 65/4, 199-211.
- [5] Holjević D., (2010): *Vrednovanje parametara erozije tla genetskim algoritmom*, disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

- [6] Marasović, I., (2018): *Primjena višekriterijske analize u upravljanju područjima izloženim erozijskim procesima*, diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet.
- [7] Nikolić, I., Borović, S., (1996): *Višekriterijska optimizacija: metode, primjena u logistici, softver*, Centar vojnih škola Vojske Jugoslavije, Beograd.
- [8] Weng, S.Q., Huang, G.H., Li, Y.P., (2010): *An integrated scenario-based multi-criteria decision support system for water resources management and planning-A case study in the Haihe River Basin*, Experts Systems with Applications, Elsevier, 37/12, 8242-8254.
- [9] Hajkowicz, S., Collins, K. (2007): *A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management*, Water Resources Management, 21/ 9, 1553-1566.
- [10] Vulević T., Dragović N., (2017): *Multi-criteria decision analysis for sub-watersheds ranking via the PROMETHEE method*, International Soil and Water Conservation research, 5/1, 50-55 <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.01.003>.
- [11] Macary F., Ombredane D., Uny D., (2010): *A multicriteria spatial analysis of erosion risk into small watersheds in the low Normandy bocage (France) by ELECTRE III method coupled with a GIS*, International Journal of Multicriteria Decision Making, 10/1, DOI:10.1504/IJMCDM.2010.033685.
- [12] Al – Hadu R. A. I., Sidek M. L., Desa M. N. M., Basri. A. E. N., (2011): *Multi criteria analysis in invironmental management: Selecting the best stormwater erosion and sediment control measue in Malaysian construction sites*, International Journal of Energy and Environment, 2/5, 853-862.
- [13] Jaiswal R. K., Ghosh N. C., Galkate R. V., Thomas T., (2015): *Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) for watershed Prioritization*, International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE 2015), Aquatic Proceedings, 4, 1553-1560.
- [14] Demirel T., Tuzun S., (2011): *Multi Criteria Evaluation of the Methods for Preventing Soil Erosion Using Fuzzy ANP: The Case of Turkey*, Proceedings of the World Congress on Engineering, 2.
- [15] Hasbaia, M., Dougha, M., Benjedou, F., (2016): *Saudi Arabia Erosion Sensitivity Mapping Using a Multi-Criteria Approach under GIS Environment The Case od the Semiarid Hodna Basin in Central Algeria*, 7 International Conference on Water Resources and Arid Environments (ICWRAE 7), Saudi Arabia, 7, 145-150.
- [16] Assefa T. T., Jha K. M., Tilahun A. S., (2015): *Identification of Erosion Hotspot Area using GIS and MCE Technique for Koga Watershed in the Upper Blue Nil Basin, Ethiopia*, American Journal of Environmental Sciences, 11/4, 245-255, DOI: 10.3844/ajessp.2015.245.255.
- [17] Grau J. B., Anton J. M., Tarquis, Colombo F., Rios de los L., Cisneros J. M., (2010): *An application of mathematical models to select the optimal alternative for an integral plan to desertification and erosion control (Chaco Area – Salta Province – Argentina)*, Biogeosciences, 7, 3421-3433 doi:10.5194/bg-7-3421-2010.

AUTORI

Ines Marasović ^a

prof. dr. sc. Barbara Karleuša ^b

doc. dr. sc. Nevena Dragičević ^c

^a Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet; Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, inesmarasovic@gmail.com

^b Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet; Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, barbara.karleusa@uniri.hr

^c Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet; Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, nevena.dragicevic@uniri.hr



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

R 2.07.

PROJEKT „FRISCO 1“

Sanda Kolarić Buconjić, Zoran Marković

SAŽETAK: Projekt FRISCO 1 (Prekogranično usklađeno slovensko - hrvatsko smanjenje rizika od poplava 1 - negrađevinske mjere) je strateški projekt, koji ima za cilj smanjenje rizika od poplava na slivovima rijeka Dragonje, Kupe, Sutle, Bregane te na dijelovima slivova rijeka Drave i Mure, a provodi se u okviru Programa prekogranične suradnje Slovenija - Hrvatska 2014. - 2020. INTERREG V - A. Planirani fokus projekta FRISCO 1 (Flood **R**isk Slovenia - Croatia **O**perations 1) su problemi riječnih slivova i upravljanja rizicima od poplava koje je moguće riješiti samo zajedničkim intervencijama slovenskih i hrvatskih institucija na području voda. Putem svoje Prioritetne osi 1., Integrirano upravljanje rizicima od poplava na prekograničnim riječnim slivovima, Program suradnje pruža ovim institucijama jedinstvenu priliku za poboljšanje prekograničnog upravljanja rizicima od poplava i smanjivanje rizika od poplava. Projektom FRISCO 1 će se ostvariti dva cilja: poboljšanje koordiniranog upravljanja rizicima od poplava i smanjenje rizika od poplava provedbom negrađevinskih mjera te izrada (studijsko - projektne) dokumentacije za optimalne građevinske mjere koje će biti provedene u kasnijem strateškom projektu (ili više njih). Glavni neposredni rezultati će biti skupovi zajedničkih modela, karata i alata za svaki od šest ciljnih prekograničnih riječnih slivova (Kupa/Kolpa, Sutla/Sotla, Drava, Mura, Dragonja i Bregana) s povezanom projektnom dokumentacijom za optimalne građevinske mjere, poboljšani fizički sustavi uzbunjivanja te neposredni rezultati koji se odnose na aktivnosti podizanja svijesti/jačanja kapaciteta. Projektom će se rješavati potrebe širokog opsega ciljnih grupa, a konačni krajnji korisnik projekta je pogođeno stanovništvo. Ciljevi projekta mogu se ostvariti samo prekograničnom suradnjom, jer sukladno Direktivi o procjeni i upravljanju rizicima od poplava planiranje upravljanja rizicima od poplava treba izvršiti primjenom pristupa riječnog sliva, kako bi se definirale i provele optimalne mjere. Projekt je originalan zbog svoje sveobuhvatnosti, kako u pogledu prostornog obuhvata (svi prekogranični riječni slivovi), tako i u pogledu opsega mjera (sve glavne negrađevinske mjere koje obuhvaćaju pripravnost, prevenciju i odgovor).

KLJUČNE RIJEČI: Program suradnje INTERREG Slovenija - Hrvatska, prekogranični riječni slivovi, rizik od poplava, negrađevinske mjere

PROJECT "FRISCO 1"

ABSTRACT: The project FRISCO 1 (Cross-border harmonised Slovenia-Croatia flood risk reduction 1 – non-structural measures) is a strategic project whose purpose is flood risk reduction in the Dragonja, Kupa, Sutla, Bregana and parts of Drava and Mura river basins. It is implemented within the Cooperation Programme INTERREG V-A Slovenia – Croatia 2014 – 2020. The planned focus of the project FRISCO 1 (Flood Risk Slovenia - Croatia Operations 1) are problems in river basins and flood risk management that can be solved only by joint interventions of the Slovenian and Croatian institutions in the water field. Through its Priority Axis 1, Integrated flood risk management in transboundary river basins, the Cooperation Programme offers these institutions a unique opportunity to improve transboundary flood risk management and flood risk reduction. The project FRISCO 1 aims to achieve two goals: improvement of coordinated flood risk management and flood risk reduction using non-structural measures and the development of (study/design) documentation for optimal structural measures to be implemented in a subsequent strategic project (or several projects). The main direct project results will be groups of joint models, maps and tools for each of the six target transboundary river basins (Kupa/Kolpa, Sutla/Sotla, Drava, Mura, Dragonja and Bregana) with associated project documentation for optimal structural measures, improved physical alarm systems and direct results related to awareness raising /capacity building activities. The project will address the needs of a wide range of target groups, and the final beneficiary of the project is the affected population. The project goals can be achieved only through cross-border cooperation since, in accordance with the Directive on the assessment and management of flood risks, flood risk management should be planned by applying the river basin approach in order to define and implement optimal measures. The project is original due to its comprehensiveness, both in terms of its spatial scope (all transboundary river basins) and in terms of its scope of measures (all main non-structural measures that include readiness, prevention and response).

KEYWORDS: Cooperation Programme INTERREG V-A Slovenia – Croatia, transboundary river basins, flood risk, non-structural measures

1. UVOD

Projekt FRISCO 1 „Prekogranično usklađeno slovensko - hrvatsko smanjenje rizika od poplava - negrađevinske mjere“ akronima FRISCO 1 (Flood Risk Slovenia - Croatia Operations 1) je jedan od četiri strateška FRISCO projekta, usmjerenih na razvoj i unapređenje negrađevinskih mjera smanjenja rizika od poplava na prekograničnim slivovima Dragonje, Kupe, Sutle, Bregane te na dijelovima prekograničnih slivova Drave i Mure, koji se provodi u okviru Programa prekogranične suradnje INTERREG V - A Slovenija - Hrvatska za razdoblje 2014. - 2020.

Prekogranična suradnja sa zajedničkim djelovanjem od velike je važnosti u području rješavanja rizika od poplava u pograničnim područjima, budući da samo zajednički pristupi mogu pružiti učinkovita rješenja. U FRISCO projektima odražavaju se zajednički interesi obje države i kontrolira se rizik od poplava, koje ne poznaje granicu, što znači da ih bez suradnje nije moguće riješiti.

U trenutku prijave Projekta, programsko područje se suočilo s teškim poplavama duž Drave, Save i Kupe. Prijetnja od poplava na prekograničnim riječnim slivovima povećana je zbog nedostatka pouzdanih podataka za precizno modeliranje opasnosti od poplava, nepostojanja metodološkog okvira za zajedničko hidrološko prognoziranje, pravovremene informacije o vodnim tokovima, razmjene podataka i suradnje s obzirom na sustav za pravovremeno upozorenje.

FRISCO 1 se odnosi na razvoj negrađevinskih mjera u cilju smanjenja rizika od poplava i unapređenja sustava upravljanja rizicima od poplava. Razmjena podataka, unaprijeđeno i prekogranično usklađeno modeliranje i prognoziranje poplava, kartiranje opasnosti i rizika od poplava i drugo, osiguralo je potrebne studijske podloge i dokumentaciju, a sve u svrhu prekogranično usklađenih građevinskih mjera koje se provode u drugoj fazi projekta FRISCO, odnosno kroz strukturne FRISCO 2 projekte predviđene za provedbu na prekograničnim slivovima Kupe, Sutle, Drave i Mure.

U okviru Programa suradnje INTERREG V - A Slovenija - Hrvatska u prvom, drugom i trećem roku otvorenog poziva odobrena su 34 projekta. U okviru prioritetne osi 1 odobrena su i ugovorena četiri strateška projekta: FRISCO 1, FRISCO 2.1, FRISCO 2.2 i FRISCO 2.3 projekt. Ugovaranjem tri strukturna FRISCO 2 projekta koji proizlaze iz projekta FRISCO 1, u okviru Programa suradnje Slovenija - Hrvatska ugovoreno je 100 % raspoloživih sredstava, što ga čini jednim od najuspješnijih programa na razini Europske unije.

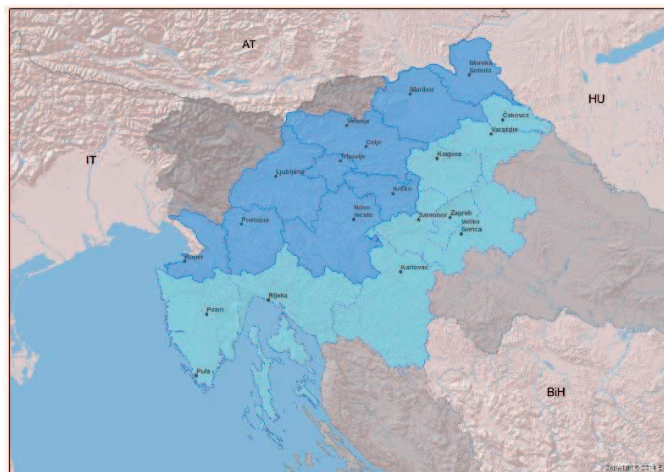
U okviru projekta FRISCO 1 predviđene su i aktivnosti za podizanje svijesti javnosti o rizicima od poplava, jačanje kapaciteta nadležnih institucija za unaprijeđeno prekogranično upravljanje rizicima od poplava te uspostava, odnosno unapređenje sustava ranog uzbunjivanja koje će doprinijeti povećanju otpornosti sustava u slučaju poplavnog događaja, kao i smanjenju rizika od poplava.

Glavni cilj mjera predviđenih kroz FRISCO projekte je zaštita ljudskih života, imovine i smanjenje šteta u slučaju poplava. Pored unapređenja u upravljanju rizicima od poplava na odabranim prekograničnim slivovima, unaprijedit će se i uvjeti za održivi razvoj turizma te za očuvanje bogate biološke raznolikosti pograničnog područja.

2. PROJEKT FRISCO 1

2.1. Kontekst

Program prekogranične suradnje Slovenija - Hrvatska 2014. - 2020. INTERREG V - A je zajednički program dviju država članica EU, Slovenije i Hrvatske. Programsko područje obuhvaća 17 NUTS 3 regija - statističke regije u Sloveniji i županije u Hrvatskoj (slika 1.).



Slika 1. Programsko područje

Projekt FRISCO 1 je odobren 11. travnja 2016. na 2. sastanku Odbora za praćenje u Lovranu, Hrvatska.

Službeni naziv projekta glasi:

EN: *Cross - Border Harmonized Slovenian - Croatian Flood Risk Reduction 1 - Non - Structural Measures;*

SI: *Čezmejno usklajeno SI - HR smanjševanje poplavne ogroženosti 1 - negradbeni ukrepi;*

HR: *Prekogranično usklađeno SI - HR smanjenje rizika od poplava 1 - negrađevinske mjere.*

Provodi se u razdoblju od tri godine (11. travnja 2016. - 10. travnja 2019. / 10. kolovoza 2019.), a sve u skladu s Projektnom prijavom.

Ukupni proračun projekta iznosi 4.070.950 eura, od čega 85 % prihvatljivih troškova financira Europski fond za regionalni razvoj (ERDF), a preostalih 15 % financiraju projektni partneri.

Programom upravlja zajednička provedbena struktura koja uključuje: Upravljačko tijelo, Zajedničko tajništvo, Nacionalna tijela, Prvostupajnske kontrole, Odbor za praćenje, Tijelo za ovjeravanje i Revizorsko tijelo.

Upravljačko tijelo Programa suradnje je Odjel za upravljanje prekograničnim programima u okviru Ureda Vlade Republike Slovenije za razvoj i europsku kohezijsku politiku sa sjedištem u Ljubljani. Pripremu i provedbu Programa koordiniraju i nacionalna tijela partnerskih zemalja, i to, Ministarstvo regionalnoga razvoja i fondova Europske unije Republike Hrvatske te Odjel za europsku teritorijalnu suradnju u okviru Ureda Vlade Republike Slovenije za razvoj i europsku kohezijsku politiku. Upravljačko tijelo odgovorno je za upravljanje i provedbu programa u skladu s načelom dobrog financijskog upravljanja i u skladu s propisima EU o upravljanju sredstvima iz Europskog fonda za regionalni razvoj (ERDF).

Zajedničko tajništvo pomaže Upravljačkom tijelu i Odboru za praćenje u izvršavanju njihovih zadataka i bavi se svakodnevnom provedbom Programa. Također pruža

informacije i pomoć prijaviteljima i partnerima na projektima.

Tijelo za ovjeravanje je Javni fond za regionalni razvoj Republike Slovenije.

Revizorsko tijelo (tijelo za reviziju je Ministarstvo financija Republike Slovenije, Ured za nadzor proračuna Republike Slovenije i Agencija za reviziju sustava provedbe programa Europske unije Republike Hrvatske).

Projekt FRISCO 1 je strateški projekt povezan sa sljedećom komponentom Programa:

- Tematski cilj 5: Promicanje prilagodbe na klimatske promjene, sprečavanje rizika i upravljanje rizicima.
 - Prioritetna os 1. - Integrirano upravljanje rizicima od poplava na prekograničnim riječnim slivovima.
Programski prioritet ulaganja: Promicanje ulaganja radi suočavanja sa specifičnim rizicima, omogućujući spremnost na katastrofe i razvijajući sustave za upravljanje katastrofama.
 - Specifični cilj: Smanjivanje rizika od poplava na prekograničnim slivovima rijeka Dragonje, Kupe, Sutle, Drave, Mure i Bregane.

Projektjni partneri su:



2.2. Rezultati provedbe projekta

Glavni cilj mjera predviđenih kroz FRISCO 1 projekt je zaštita ljudskih života, imovine i smanjenje šteta u slučaju poplava. Pored unapređenja negrađevinskih mjera u upravljanju rizicima od poplava na odabranim prekograničnim slivovima rijeka Dragonje, Kupe, Sutle, Drave, Mure i Bregane (slika 2.), unaprijedit će se i uvjeti za održivi razvoj turizma te očuvanje bogate biološke raznolikost pograničnog područja, između ostalog projekt također doprinosi i ciljevima EUSDR-a (EU Strategy for the Danube Region).



Slika 2. Slivna područja

Tablica 1. Aktivnosti i isporučevine po tehničkim radnim paketima

	Joint Tool1	Joint Tool2	Joint Model1	Joint Model2	Joint Map1	Joint Map2	Structural Project Documentation
Wp T1 Kolpa/ Kupa	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Wp T2 Sotla/ Sutla	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Wp T3 Drava	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Wp T4 Mura	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Wp T5 Dragonja	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
Wp T6 Bregana	☑	☑	☑	☑	☑	☑	

- Sustav ranog uzbunjivanja o poplavama (nadogradnja sustava prognožiranja i uzbunjivanja).

Državna uprava za zaštitu i spašavanje je u okviru realizacije predviđenih aktivnosti instalirala sirene na svih 6 riječnih slivova na hrvatskoj strani. Uprava Republike

Slovenije za zaštitu in reševanje (URSZR), kao institucija u sastavu Ministarstva za obrambo Republike Slovenije, podliježe posebnim propisima vezanima uz postupke javne nabave te se instaliranje sirena na slovenskoj strani očekuje u lipnju 2019. godine.

- Podizanje svijesti javnosti o rizicima od poplava i institucionalno jačanje sustava upravljanja rizicima od poplava.

Izuzetno velika aktivnost je na jačanju svijesti javnosti s posebnim naglaskom na mlađu populaciju. Na svih šest riječnih slivova, u obje države, održane su radionice za odrasle i za djecu (osnovna škola). U okviru provedbe aktivnosti osmišljena su i korištena razna didaktička pomagala (trodimenzionalni modeli odgovarajućeg mjerila, bojanica, IT igrica s kvizom, film „Kako živjeti s poplavama“) (slika 3.).



Slika 3. Edukativni materijal

2.3. Provedba projekta

Projekt FRISCO 1 se provodi kroz sljedećih deset radnih paketa:

- | | |
|----|--|
| M | Upravljanje projektom (Vođenje projekta), |
| C | Komunikacija, |
| T1 | Zajednički alati, modeli, karte i projekti za Kupu/Kolpu, |
| T2 | Zajednički alati, modeli, karte i projekti za Sutlu/Sotlu, |
| T3 | Zajednički alati, modeli, karte i projekti za Dravu, |
| T4 | Zajednički alati, modeli, karte i projekti za Muru, |
| T5 | Zajednički alati, modeli i karte za Dragonju, |
| T6 | Zajednički alati, modeli i karte za Breganu, |
| T7 | Fizički sustavi uzbunjivanja o poplavama, |
| T8 | Podizanje svijesti i jačanje kapaciteta. |

2.3.1. Radni paket upravljanje projektom

U okviru radnog paketa M - Upravljanje projektom je predviđeno sedam glavnih aktivnosti:

- Plan upravljanja projektom,
- Strateška koordinacija,
- Tehnička koordinacija,
- Upravljanje rizicima i kvalitetom,
- Financijsko upravljanje,
- Izvješćivanje,
- Arhiviranje i zatvaranje projekta.

2.3.2. Radni paket komunikacija

U okviru radnog paketa C - Komunikacija je predviđeno pet glavnih aktivnosti:

- Početne aktivnosti, uključujući i komunikacije - analiza predviđenih ciljeva i rezultata, komunikacijski plan,
- Objave,
- Javni događaji,
- Promotivni materijal - logotip sa sloganom (slika 4.),
- Digitalne aktivnosti - kao jedna od prvih digitalnih aktivnosti uspostavljena je mrežna stranica projekta (<https://frisco-project.eu>) čiji se sadržaj tijekom provedbe projekta stalno održava i ažurira. Mrežna stranica projekta dionicima, ciljnim grupama i široj javnosti pruža informacije o projektu i njegovoj provedbi.



Slika 4. Logotip sa sloganom „Prekograničnom suradnjom do manjih poplavnih rizika“

2.3.3. Zajednički alati, modeli, karte i projekti na prekograničnim slivovima rijeka Dragonje, Kupe, Sutle, Drave, Mure i Bregane

U okviru radnih paketa Zajednički alati, modeli, karte i projekti predviđeno je sedam glavnih aktivnosti:

1. ALAT 1: Baza podataka - Unaprijeđene baze podataka za upravljanje rizicima od poplava (hidrografski atlas, hidrološka baza, geodetske podloge, GIS i slično).
Izrada zajedničkih alata (Prikupljanje podataka za svako slivno područje) - u okviru ove aktivnosti su zajednički i usklađeno prikupljeni podaci (hidrološki, meteorološki, hidrogeografski terenski, batimetrijski, topografski i dr.), provedena su mjerenja

poprečnih i uzdužnih profila glavnih vodotoka te su usuglašene projektne vrijednosti protoka za poboljšanje zajedničkog upravljanja rizicima od poplava u promatranim slivovima rijeka u budućnosti.



Slika 5. Hidrografski atlasi prekograničnih riječnih slivova

2. ALAT 2: Prekogranično usklađene studije upravljanja poplavnim rizicima - Faza 1.: Predinvesticijska studija; Faza 2: Studija izvedivosti za kratkoročne mjere; Studija o prekogranično usklađenom upravljanju rizicima od poplava - zajednička studija sliva
Izrada zajedničkih alata (Izrada zajedničke prekogranično usklađene studije integriranog upravljanja rizicima od poplava za svako slivno područje) - u okviru ove aktivnosti su uz suradnju odgovornih institucija iz Slovenije i Hrvatske u području upravljanja vodama izrađene zajedničke prekogranično usklađene studije integriranog upravljanja rizicima od poplava za svako slivno područje, kojom su utvrđene građevinske i negrađevinske mjere zaštite od poplava koje je potrebno provesti u cilju smanjenja postojećih rizika od poplava.
3. MODEL 1: Hidraulički model
Izrada zajedničkih modela (Izrada i unapređenje hidrauličkih modela na svakom slivnom području) - u okviru ove aktivnosti su izrađeni novi, odnosno kvalitativno su unaprijeđeni postojeći hidraulički modeli koji su korišteni u izradi studije integriranog upravljanja rizicima od poplava, kao i tijekom izrade karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava.
4. MODEL 2: Prognostički model
Izrada zajedničkih modela (Izrada i unapređenje hidroloških modela za prognoziranje poplava na svakom slivnom području) - u okviru ove aktivnosti su izrađeni novi, odnosno unaprijeđeni postojeći hidrološki modeli na, koji će biti podloga za kvalitetnije prognoziranje poplavnih događaja i pravovremeno uzbunjivanje i obavješćivanje
5. KARTE 1: Karte opasnosti od poplava - Unaprijeđene i prekogranično usklađene karte opasnosti i karte rizika od poplava
Temeljem prikupljenih i razmijenjenih podataka po slivnim područjima navedenih prekograničnih vodotoka (hidrološki podaci, podaci o profilima i dr.) te novog unaprijeđenog hidrauličkog modela za slivno područje „rijeka“ izrađene su prekogranično usklađene karte opasnosti od poplava za područja koja su Programom

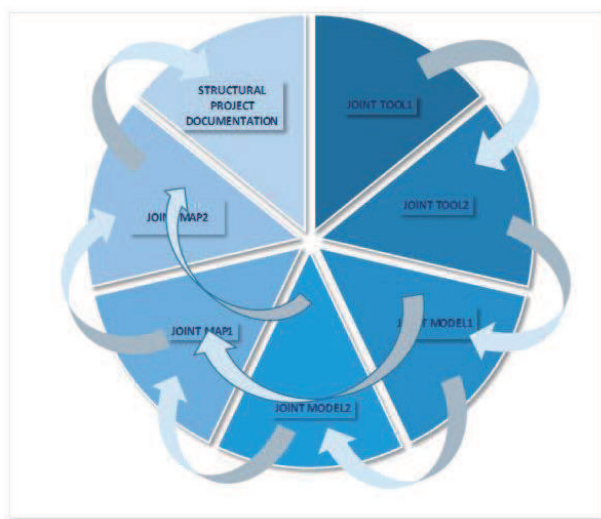
identificirana kao područja s rizicima od poplava prekogranične razine.

6. KARTE 2: Karte rizika od poplava

Temeljem izrađenih karata opasnosti od poplava i bilateralno utvrđene metodologije za prikaz ugroženosti od poplava izrađene su usklađene karte rizika od poplava za slivno područje „rijeka“.

7. PROJEKTNJA DOKUMENTACIJA: Zajednički projekti (priprema projektne i druge dokumentacije)

Izrada projektne dokumentacije za građevinske mjere zaštite od poplava na slivnim područjima rijeka Kupe, Drave, Mure i Sutle - u okviru ove aktivnosti se temeljem postignutih dogovora i usuglašene metodologije putem studije integriranog upravljanja rizicima od poplava za svako slivno područje pristupilo izradi propisane dokumentacije vezano uz prostorno uređenje, građenje, financiranje, zaštitu okoliša i druge potrebne dokumentacije, propisane sukladno važećem nacionalnom zakonodavstvu, kojima će se značajnije smanjiti preliminarno utvrđeni rizici od poplava.



Slika 6. Shematski prikaz aktivnosti po tehničkim radnim paketima

2.3.4. Radni paket Fizički sustavi uzbunjivanja o poplavama

U okviru ovog radnog paketa predviđene su tri glavne aktivnosti:

- Analiza postojećeg stanja za uzbunjivanje - proveden je pregled i popis resursa postojećeg sustava za uzbunjivanje,
- Odabir lokacija sirena,
- Instalacija novih sirena - nabavljena je i instalirana oprema za uzbunjivanje na opasnost od poplava (24 sirene).
- Rezultat je učinkovit sustav uzbunjivanja u prekograničnim riječnim slivovima.

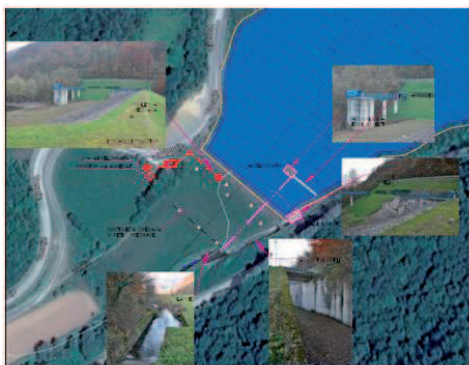
2.3.5. Radni paket Podizanje svijesti i jačanje kapaciteta

U okviru ovog radnog paketa predviđene su tri glavne aktivnosti:

1. Podizanje svijesti i institucionalno jačanje o rizicima od poplava za različite ciljne skupine - u okviru ove aktivnosti održane su brojne radionice za podizanje svijesti, odnosno događaji za razne rizične skupine vezano uz poplave (građani, gospodarski subjekti i drugi) na slivnim područjima rijeka Dragonja, Kupa, Bregana, Sutla, Drava i Mura, u Sloveniji i Hrvatskoj, a posebna pažnja je posvećena mladima (osnovnim i srednjim školama).
Mjere institucionalnog jačanja za učinkovitije upravljanje rizicima od poplava - već samo sudjelovanje u projektu doprinijelo je jačanju kapaciteta, kao i razvoju dodatnih znanja i sposobnosti osoblja uključenih institucija Projektnih partnera, nadležnih za upravljanje vodama, odnosno za upravljanje rizicima od poplava. Na samom početku provedbe projekta, provedena je anketa vezano uz dobivanje slike o postojećim znanjima i sposobnostima osoblja uključenog u provedbu projekta FRISCO 1, kroz.
2. Popunjavanje inicijalnih upitnika, temeljem kojih je izrađena analiza potreba s prijedlogom mjera i aktivnosti za podizanje svijesti i institucionalno jačanje provedbenih timova projektnih partnera.
3. Poboljšanje upravljanja rizicima od poplava na prekograničnim slivovima - u okviru ove aktivnosti su identificirana i analizirana moguća pitanja i poteškoće u prekograničnom upravljanju rizicima od poplava. U praktičnim slučajevima, odnosno u kontekstu provedbe projektnih aktivnosti identificirani su institucionalni, upravni, tehnički i drugi nedostaci koji će se mjerama provedbe projekta nastojati unaprijediti.

3. FRISCO 2 PROJEKTI

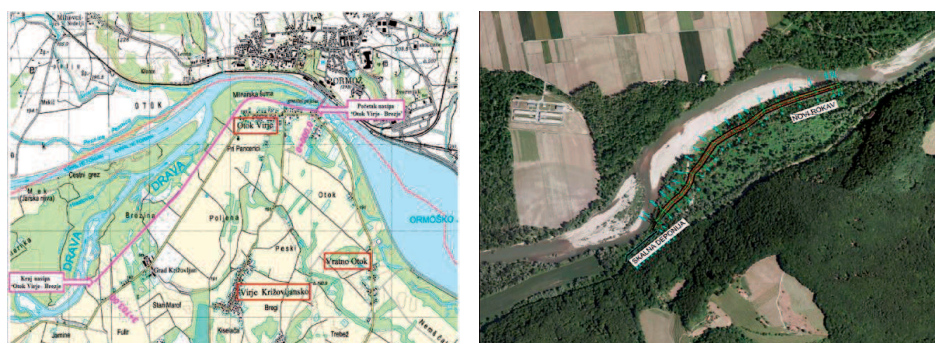
Važan dio aktivnosti FRISCO 1 projekta je priprema novih i dovršenje postojećih stručnih podloga i dokumentacije za provedbu prekogranično usklađenih građevinskih mjera na zajedničkim prekograničnim slivovima, koje se planiraju provoditi nastavno kroz FRISCO 2 projekt. FRISCO 2 projekt procijenjene vrijednosti od oko 7 milijuna eura provodi se u okviru istog Programa prekogranične suradnje Slovenija - Hrvatska za programsko razdoblje 2014. - 2020., u sljedećem koraku kao II. faza provedbe Prekograničnog programa, Prioritetne osi 1, Integrirano upravljanje rizicima od poplava na prekograničnim riječnim slivovima.



Slika 7. SLO - HR 384 Modernizacija i nadgradnja pregrade Vonaře (Sutla) - FRISCO 2.1



Slika 8. SLO - HR 486 Rekonstrukcija nasipa Sveti Martin na Muri (Mura) i rekonstrukcija nasipa Mura (Benica) - Ledava - FRISCO 2.2



Slika 9. SLO - HR 489 Rekonstrukcija nasipa Otok Virje - Brezje (Drava) i rekonstrukcija kanala na desnoj obali rijeke Drave kod naselja Mala Vas - FRISCO 2.3



Slika 10. SLO - HR489 Rekonstrukcija i nadogradnja zaštitnog zida u Hrvatskom (Kupa) i rekonstrukcija i nadogradnja zaštitnog zida u Kuželju - FRISCO 2.3

4. IZAZOVI - DOSTIZANJE PROGRAMSKIH POKAZATELJA

Program suradnje INTEREG - V - A Slovenija - Hrvatska je glavni dokument koji postavlja okvir za prekograničnu suradnju Slovenije i Hrvatske. Ostvarenje rezultata provedbe projekta u okviru programa suradnje prati se sljedećim pokazateljima:

Tablica 2. Pokazatelji programskog ishoda

Oznaka	Pokazatelj	Mjerna jedinica	Ciljna vrijednost (2023)	Izvor podataka	Učestalost izvještavanja
CO20	Stanovništvo koje ostvaruje korist od mjera zaštite od poplava	Osoba	1,500	Nadzorni sustav	Jednom godišnje
5b-1	Prekogranični riječni slivovi s razvijenim zajedničkim alatima, modelima i kartama za upravljanje rizicima od poplava	Broj	6	Nadzorni sustav	Jednom godišnje
5b-2	Provedene pilot strukturne mjere za smanjenje rizika od poplava prekograničnih riječnih slivova	Broj	4	Nadzorni sustav	Jednom godišnje
5b-3	Osobe s povećanim profesionalnim kapacitetom zbog sudjelovanja u prekograničnim aktivnostima upravljanja rizicima od poplava prekograničnih rijeka i riječnih slivova	Broj	20	Nadzorni sustav	Jednom godišnje

Tablica 3. Okvir uspješnosti prioritetne osi

PAx	Vrsta pokazatelja	Oznaka	Pokazatelj ili ključni provedbeni korak	Mjerna jedinica	Kontrolna točka 2018	Krajnji cilj (2023)	Izvor podataka
1	Financijski	5b-FI	Isplate: ovjeren ukupni iznos prihvatljivih troškova	EUR	1,720,000EUR	11,795,950 EUR	Nadzorni sustav
1	Pokazatelj ostvarenja	5b-2	Provedene pilot strukturne mjere za smanjenje rizika od poplava prekograničnih riječnih slivova	Broj	0	4	Nadzorni sustav
1	Ključni provedbeni korak	5b-KI	Prekogranični riječni slivovi na kojima su radovi počeli	Broj	1	4	Nadzorni sustav

ZAKLJUČAK

Tijekom provedbe projekta, kao preduvjet za provedbu pojedinih aktivnosti predviđena je izrada bilateralno usklađenih metodologija. Iste su bile polazište pri donošenju ključnih odluka. Riječ je o 4 bilateralno usklađene metodologije:

- zajednička bilateralno usklađena metodologija hidrauličkog modeliranja prekograničnih rijeka,
- zajednička bilateralno usklađena metodologija izrade karata opasnosti od poplava,
- zajednička bilateralno usklađena metodologija izrade karata rizika od poplava,
- zajednička bilateralno usklađena metodologija ekonomske procjene poplavnih šteta na prekograničnim slivovima.

Prijavnim dokumentima predviđeno je da ih odobri Stalna hrvatsko - slovenska komisija za vodno gospodarstvo.

Prijava, provedba (i praćenje provedbe) strateških FRISCO projekata je zahtjevno, a time i izazovno, jer FRISCO 1 projekt obuhvaća suradnju 8 projektnih partnera čije je suradnja dodatno obogaćena uslugama konzultanata. Obzirom da su sve aktivnosti uzročno posljedično povezane, kašnjenje u provedbi jedne aktivnosti "povlači" kašnjenje u svim ostalim aktivnostima. Nadalje, osim što su radni paketi podijeljeni na slivove za koje su nadležni slovenski, odnosno hrvatski partneri, unutar aktivnosti sliva događa se i podjela na hrvatsku, odnosno slovensku nadležnost nad aktivnošću.

Rezultati rada po radnim paketima i tehničkim aktivnostima prolaze iterativni postupak usklađivanja unutar radne grupe sastavljene od projektnih partnera.

Izvrješćivanje po projektnim razdobljima sastoji se od partnerskog izvješćivanja gdje svaki partner za sebe podnosi izvješće po aktivnostima na kojima je radio u predmetnom razdoblju i za koje potražuje sredstva te projektno izvješće za koje je odgovoran vodeći partner. Partnerska izvješća upućena su nacionalnim kontrolorima i oni, prvostupanjski,

odobravaju izvješća. Vodeći partner je odgovoran za povlačenje sredstava iz EFRD-a, odnosno projektno izvješće mora biti jasno i jednoznačno sa svim potrebnim prilogima, pravitcima i isporučevinama, tako da se prikazana i potraživana sredstva ne smatraju upitnima.

Ostvarenje financijskih pokazatelja kod ovakvih projekata je ocijenjeno rizičnim iz razloga što se niz aktivnosti ugovara putem postupaka javne nabave, a koji su opterećeni žalbenim postupcima.

Odobrenjem tri FRISCO 2 strukturalna projekta, na četiri prekogranična sliva, projektni partneri su ostvarili sve zahtjeve navedene u projektnoj prijavi. Provedba FRISCO 2 projekata odvija se uz suradnju dva projektna partnera, Hrvatskih voda i Direkcije Republike Slovenije za vode.

Projekti prekogranične suradnje prvenstveno trebaju biti definirani i vođeni u skladu s tehničko - ekonomskim kriterijima za dobrobit ljudi koji žive na pograničnom području. Provedba ovakvih projekata, osim provedbe samih projekata, predstavlja veliko iskustvo i daje dodatnu dimenziju inženjerima i stručnjacima svih profila.

LITERATURA

- [1] Pri pisanju rada korištene su osobne podloge i podaci prikupljeni pri izvještavanju Odbora za praćenje te pri održavanju godišnjih sastanaka projektnih partnera.
- [2] <http://www.si-hr.eu/hr2/program/program-sodelovanja/> (27.04.2019.)
- [3] <https://strukturnifondovi.hr/program-prekograncne-suradnje-interreg-v-a-slovenija-hrvatska-2014-2020/> (27.04.2019)

AUTORI

Sanda Kolarić Buconjić, dipl. ing. građ., univ. spec. aedif. ^a

Zoran Marković, struč. spec. ing. aedif. ^a

^a Hrvatske vode, Jedinica za pripremu i provedbu EU projekata zaštite od štetnog djelovanja voda, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, kbsanda@voda.hr, zoran.markovic@voda.hr



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE NA INVESTICIJSKOM VALU

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

R 2.08.

MONITORING PROPISANIH UVJETA ZAŠTITE PRIRODE PRILIKOM REKONSTRUKCIJE MURSKOG NASIPA

Goran Martinez

SAŽETAK: Radovi na rekonstrukciji glavnog morskog nasipa od stacionaže km. 16+400 do km. 22+594 u Goričanu započeli su u srpnju 2016. godine. Tijekom pripreme dokumentacije potrebne za ishođenje građevinske dozvole, Upravni odjel za prostorno uređenje, gradnju i zaštitu okoliša Međimurske županije je svojim Rješenjem utvrdio uvjete zaštite prirode. Projekt se financirao (kreditirao) sredstvima Razvojne banke vijeća Europe (CEB-a). Tehnička misija CEB banke imala je za cilj utvrditi provedbu mjera ublažavanja utjecaja na okoliš koje se trenutno provode ili koje su predviđene za podprojekte za koje je nužna procjena utjecaja na okoliš i/ili procjena utjecaja na okoliš i prirodu te raspraviti postoji li potreba ažuriranja ili nadopune tih dokumenata s obzirom na promjene u zakonodavnom okviru ili promjene stanja područja zahvaćenog projektom. Tijekom izvođenja radova praćeno je poštivanje uvjeta zaštite prirode putem propisanog obrasca.

KLJUČNE RIJEČI: zaštita prirode, CEB, monitoring

MONITORING OF THE PRESCRIBED NATURE PROTECTION CONDITIONS DURING THE RECONSTRUCTION OF THE MURA EMBANKMENT

ABSTRACT: The works on the reconstruction of the main Mura embankment from chainage km 16+400 to km 22+594 in Goričan started in July 2016. During the preparation of the necessary documentation for obtaining a building permit, the Administrative department for spatial planning, construction and environmental protection of the Međimurje County adopted a Decision establishing the nature protection requirements. The project was financed (through a loan) by the Council of Europe Development Bank (CEB). The technical mission of the CEB Bank was to review the implementation of the existing environmental impact mitigation measures or measures established for sub-projects requiring an environmental impact assessment and/or environmental and nature impact assessment, and to discuss whether there was a need for updating or supplementing these documents in view of the legislative framework changes or changes in the state of the area affected by the project. During the implementation of works, the observance of the nature protection conditions was monitored through a prescribed form.

KEYWORDS: nature protection, CEB, monitoring

1. UVOD

Međimurska županija, Upravni odjel za prostorno uređenje, gradnju i zaštitu okoliša, Odsjek za zaštitu okoliša i prirode povodom zahtjeva Hrvatskih voda, Vodnogospodarskog odjela za Muru i gornju Dravu, nakon provedenog postupka ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš s utjecajem zahvata na ekološku mrežu za zahvat "Rekonstrukcija glavnog Murskog nasipa km 16,4 – 22,6" donio je Rješenje (Klasa: UP/1-351-03/13-03/1; Urbroj: 2109/1-09-3/01-14-14, od 18.07.2014.) da za namjeravani zahvat nije potrebno provesti postupak procjene utjecaja na okoliš, da je namjeravani zahvat prihvatljiv za ekološku mrežu i nije potrebno provoditi Glavnu ocjenu zahvata s ocjenom drugih pogodnih mogućnosti.

U postupku utvrđivanja uvjeta zaštite prirode, na zahtjev Hrvatskih voda Vodnogospodarskog odjela za Muru i gornju Dravu, Međimurska županija, Upravni odjel za prostorno uređenje, gradnju i zaštitu okoliša, Odsjek za zaštitu okoliša i prirode donosi Rješenje (Klasa: UP/I-612-07/15-03/29; Urbroj: 2109/1-09-3/01-15-02, od 16.07.2015.) u kojem utvrđuje uvjete zaštite prirode.

2. MONITORING PRILIKOM IZVOĐENJA RADOVA

2.1. Opis postojećeg stanja

Postojeći desnoobalni nasip rijeke Mure (glavni murski nasip) građevina je u funkciji obrane od poplava (slika 1.), izgrađena u razdoblju između 1960. i 1970. godine, ukupne duljine 36,9 km. Glavni murski nasip brani nisko područje, poglavito poljoprivredne površine i šume, te osam naselja: Donju Dubravu, Donji Vidovec, Kotoribu, Goričan, Domašinec, Dekanovec, Novakovec i Podturen. Trasa nasipa položena je tako da se početak nasipa veže na lijevi usporni nasip vodotoka Bistrec neposredno kod ušća vodotoka Bistrec u rijeku Muru i ide uz desnu obalu Mure sve do visoke obale kod mjesta Novakovec.



Slika 1.
Situacija murskog nasipa

Niveleta krune nasipa određena je u odnosu na mjerodavnu 100-godišnju veliku vodu $Q_{100}=1.650 \text{ m}^3/\text{s}$ (vodokaz Goričan). Širina krune nasipa je 3.0 m, a nagib pokosa je obostrano približno 1:2. Obzirom na materijal od kojeg je građen nasip, na ovoj dionici možemo definirati četiri cjeline:

- Dionica od mosta na cesti Goričan – Letenje do spoja s autocestom, na kojoj je nasip izveden od mješavine praha i prašinastog pijeska s manjom količinom šljunka,
- Dionica od autoceste do ušća Trnave, nasip je izveden od gline srednje plastičnosti,
- Dionica od ušća Trnave stac. ~km. 19+300 u duljini od oko 1.0 km nizvodno do stac. ~km. 18+300, nasip je izveden od dobro građiranog šljunka,
- Dionica od stac. ~ km. 18+300 do km. 16+400 nasip je izveden od mješavine praha i prašinastog pijeska.

Visina nasipa je približno 1.5 do 3.0 m, a nasip je temeljen na slojevima gline ili prašinastog pijeska debljine 0.5 m do 3.0 m. Ispod ovih slojeva gline i prašinastog pijeska nalazi se sloj dobro građiranog šljunka. Ovaj sloj šljunka nalazi se na dubini od 1.5 m do 4.0 m ispod razine terena u osi nasipa. Kruna murskog nasipa kod mosta na cesti Goričan – Letenje na stac. km 22+540 je 145.05 m n.m.

Visine nasipa uz rijeku Muru određivale su se u doba izgradnje (60-tih godina prošlog stoljeća) prema najvišim tada zabilježenim vodostajima. Prema međudržavnim dogovorima Hrvatske s Mađarskom i Slovenijom, kota krune nasipa uz Muru bila je vezana uz nivo velike vode iz srpnja 1972. godine, tako da je niveleta krune nasipa nadvisivala taj vodostaj za 1.0 m.

U međuvremenu je izrađeno nekoliko hidroloških analiza koje su pokazale da visine nasipa koje su prethodno usvojene, ne zadovoljavaju stvarnim uvjetima. Potvrda ovih analiza bio je nailazak velikog vodnog vala u kolovozu 2005. godine, kada se uočilo da nasipi nemaju dovoljno sigurnosno nadvišenje. Tada je došlo i do prelijevanja nasipa u općinama Mursko Središće i Podturen, što je uzrokovalo štetu procijenjenu na sedam milijuna kuna. Djelatnici DHMZ-a su tada kroz opažanja putem mreže svojih hidroloških postaja na Muri i Dravi, te izravnim mjerenjima koje je provela njihova terenska ekipa, došli do izuzetno važnih podataka koji do tada još nisu bili izmjereni niti zabilježeni na hidrološkim postajama Mursko Središće i Goričan na rijeci Muri. Na hidrološkoj postaji Mursko Središće, 23. kolovoza 2005. godine izmjeren je protok od $1.090 \text{ m}^3/\text{s}$ pri vodostaju od 498 cm. U Goričanu je sljedeći dan, 24. kolovoza 2005. godine, izmjeren protok od $1.179 \text{ m}^3/\text{s}$ pri vodostaju 505 cm. Važno je naglasiti da su vodomjerenja izvršena u vrhu ili neznatno niže od samog vrha vodnog vala na obje hidrološke postaje. Protok rijeke Mure u profilima Mursko Središće i Goričan mogao je biti još za približno $200 \text{ m}^3/\text{s}$ veći, no zbog prelijevanja nasipa na dvije lokacije uzvodno u Sloveniji, protok Mure kroz Hrvatsku je smanjen za navedenu količinu.

2.2. Opseg rekonstrukcije

Kota krune rekonstruiranog nasipa rezultat je dogovora između nadležnih institucija Hrvatske i Mađarske, a bazirana je na izmjerenim vodostajima velike vode iz 2005. godine, prema kriteriju da kruna rekonstruiranog nasipa bude minimalno 1.0 m iznad maksimalnog vodostaja zabilježenog 2005. godine.

Rekonstrukcija se sastoji od nadvišenja nasipa, proširenja krune s 3.0 m na 4.0 m i

ublažavanja postojećih pokosa na nagib 1:3. Proširenje nasipa izvodi se na uzvodnu stranu od mosta na cesti Goričan – Letenje do ušća Trnave, dok se nizvodno od ušća Trnave proširenje izvodi na zračnu stranu postojećeg nasipa.

2.3. Monitoring

Tijekom izvođenja radova ovlaštena osoba nositelja zahvata je tijekom 2017. i 2018. godine obavila monitoring propisanih uvjeta zaštite prirode. Prvi monitoring se obavio na lokaciji izvođenja radova 22. ožujka 2017. godine te se tom prilikom ispunio obrazac za monitoring (Slika 2.) Navedeni obrazac sadrži ime projekta, oznaku projekta, ime nositelja zahvata, Natura 2000 područje kojem pripada lokacija izvođenja radova, naziv dokumenta kojim su utvrđeni uvjeti zaštite prirode, datum monitoringa, ime ovlaštene osobe koja je obavila monitoring i tablicu uvjeta zaštite prirode s rubrikom u kojoj se potvrđuje da li se propisani uvjeti poštuju ili ne.

Rješenjem su utvrđeni sljedeći uvjeti zaštite prirode:

- radove krčenja postojeće vegetacije treba provesti izvan razdoblja gniježđenja ptica i povećane aktivnosti drugih životinja (od početka kolovoza do početka ožujka),
- radni pojas i organizaciju gradilišta treba ograničiti na najmanju potrebnu širinu koja je nužna za kretanje strojeva kako bi se izbjeglo nepotrebno krčenje vegetacije,
- izvan radnog pojasa lokacije zahvata nije dozvoljeno krčiti ili oštećivati drveće i grmlje te radnim strojevima zadirati u šumska i osjetljiva nešumska staništa (lokve, vlažne livade i sl.),
- višak iskopanog materijala koji se eventualno neće ugraditi u nasip smije se odložiti isključivo na branjenoj strani nasipa gdje nema rizika od otplavlivanja materijala ili se treba deponirati na za to predviđenim lokacijama. Ovaj materijal ne smije se odlagati na šumskim niti osjetljivim nešumskim površinama (vlažne livade i sl.),
- u slučaju pojave invazivnih stranih biljnih vrsta (ambrozije, poduzeti uklanjanje i drugih) na području radnog pojasa, prostoru za smještaj mehanizacije i drugim površinama gradilišta, poduzeti uklanjanje svih jedinki stranih biljnih vrsta. Mjeru provoditi do uspostave autohtone travne vegetacije po završetku zatravljanja pokosa i krune nasipa,
- na području obuhvata zahvata nije prihvatljivo skladištiti stvari štetne za okoliš (pogonska goriva, maziva, PVC materijale, materijale podložne koroziji i dr.),
- za pristup lokaciji zahvata te dopremu strojeva, alata i opreme koristiti postojeće putove, bez dodatnog oštećenja livadnih i šumskih površina,
- sav otpad koji će nastati tijekom obavljanja pojedinih radova sakupljati odvojeno i zbrinuti putem ovlaštene osobe.

OBRAZAC ZA MONITORING PROPISANIH UVJETA ZAŠTITE PRIRODE

Ime projekta: "Rekonstrukcija glavnog Murskog nasipa km 16+400 do 22+600 k.o. Goričan"

Oznaka projekta: CEB23

Nositelj zahvata: Hrvatske vode, VGO Varaždin

Natura 2000 područje: HR 2000364 Mura

Rješenje zaštite prirode - Klasa: UP/I-612-07/15-03/29, Urbroj: 2109/1-09-3/01-15-02 od 16.07.2015

Izdano od strane Odjela za prostorno uređenje, gradnju i zaštitu okoliša Medimurske županije

Datum monitoringa propisanih uvjeta :

22.03.2017.

Monitorig obavio:

GABRIJ MARTINEZ, dipl. ing. građ.

Rbr.	Uvjeti zaštite prirode	Poštovanje propisanih uvjeta		Napomena
		Da	Ne	
1	Radovi na krčenju postojeće vegetacije se izvode sukladno uvjetima zaštite prirode	✓		Radovi izvedeni, do početka očišćenja terena se ne izvode.
2	Organizacija gradilišta i radni pojas zadovoljava propisane uvjete	✓		
3	Višak iskopanog materijala i materijala za građenje deponiran sukladno zahtjevima	✓		
4	Poduzeto uklanjanje invazivnih biljnih vrsta u području gradilišnih površina sukladno propisanim zahtjevima		✓	Nema invazivnih biljnih vrsta
5	Skladištenje stvari štetnih za okoliš na području obuhvata zahvata		✓	
6	Za pristup lokaciji zahvata korišteni postojeći putevi bez dodatnog oštećenja livadnih i šumskih površina.	✓		
7	Otpad nastao tijekom pojedinih radova skupljen i zbrinut od strane ovlaštene osobe.	✓		Nije bilo takvog otpada
8	Obavijest Nositelja zahvata najmanje 7 dana prije izvođenja radova prema nadležnoj javnoj ustanovi za zaštitu prirode.	✓		
9	Održavanje reda od strane nositelja zahvata unutar zaštićenog područja za vrijeme radova	✓		
10	Da li je nastala šteta na zaštićenom području tijekom izvođenja radova za koju je odgovoran nositelj zahvata.		✓	

Ovlaštena osoba nositelja zahvata:



Slika 2. Obrazac za monitoring propisanih uvjeta zaštite prirode

ZAKLJUČAK

Tijekom izvođenja radova pratilo se poštivanje utvrđenih uvjeta zaštite prirode. Utvrđeni uvjeti zaštite prirode praćeni su putem propisanog obrasca od strane CEB-a. Monitoring je obavljen u šest navrata (tri puta u 2017. godini i tri puta u 2018. godini) i pri tome je utvrđeno da se radovi na krćenju provode u zimskim mjesecima, da se višak materijala deponira sukladno zahtjevima, da su za pristup lokaciji korišćeni postojećí putovi, da je otpad nastao tijekom izvođenja radova propisno zbrinut, da se održava red od strane nositelja zahvata unutar zaštićenog područja i da je o početku zahvata pravovremeno obaviješćena Javna ustanova za zašćitu prirode.

Prilikom izvođenja projekta surađuje se s Javnim ustanovama za zašćitu prirode i zajedno s njima prati poštivanje propisanih uvjeta zaštite prirode, što potvrđuje zajedničko djelovanje Javnih ustanova za zašćitu prirode i Hrvatskih voda u provođenju zaštite okoliša i prirode.

LITERATURA

- [1] Marasović, M., (2014): *Rekonstrukcija nasipa od stacionaže 16+400 do 22+546*, Elektroprojekt d.d., Zagreb.

AUTOR

Goran Martinez, dipl.ing.građ. ^a

^a Hrvatske vode, VGO za Muru i gornju Dravu, Međimurska 26b, Varaždin, 42000, Hrvatska, goran.martinez@voda.hr



R 2.09.

REVITALIZACIJA RUKAVACA NA RIJECI DRAVI U SKLOPU DRAVA LIFE PROJEKTA

**Matko Bišćan, Kruna Marković, Berislav Marković, Perica Bušić,
Marijana Kotaran Munda, Renata Vidaković Šutić**

SAŽETAK: Projektom “DRAVA LIFE – Integralno upravljanje rijekom” planira se obnoviti staništa na sedam lokacija rijeke Drave kroz obnovu starih i kreiranje novih rukavaca. Osnovni cilj projekta je stvaranje dodatnih vodnih tokova te povećanje dinamičkih hidromorfoloških procesa koji će potaknuti stvaranje novih riječnih staništa na rijeci Dravi, a koja će ujedno koristiti i u zaštiti od poplava. Rezultati projekta omogućiti će povećavanje razine svijesti o ekološkoj mreži NATURA 2000, uspostavljanje prekogranične suradnje te smanjenje uznemiravanja faune od strane ljudskih aktivnosti. Ovaj rad obuhvaća 4 lokacije, i to rukavce Otok Virje (C1), Stara Drava Varaždin (C2), Miholjački Martinci (C3) i Podravska Moslavina (C4). Prvotno je dan opis postojećeg stanja 4 rukavca s osobitom pažnjom na terenska istraživanja biote. Zatim se za rukavce C1, C2 i C6 navode planirana “zelena” tehnička rješenja budućeg stanja koja omogućavaju protočnosti istih u svim hidrološkim režimima. Za rukavac C7 predlaže se isti zadržati u trenutnom stanju budući da je stanje zadovoljavajuće. U konačnici se otvara pitanje prihvatljivog stupnja ljudske intervencije u okoliš.

KLJUČNE RIJEČI: Drava, revitalizacija, zelena tehnička rješenja, prirodna staništa

REVITALIZATION OF THE DRAVA SIDE CHANNELS WITHIN THE DRAVA LIFE PROJECT

ABSTRACT: The “DRAVA LIFE - Integral River Management” project will restore habitats in seven locations on the Drava River through the reconstruction of the old side channels and the creation of the new ones. The main objective of the project is creating additional water flows and increasing the dynamics of hydromorphological processes that will stimulate the creation of new river habitats on the Drava River, which will be used for flood protection as well. The project results will raise awareness of the NATURA 2000 ecological network, establish cross-border cooperation and reduce anthropogenic impact on the fauna. The scope of the project includes 4 locations – the side channels Otok Virje (C1), Stara Drava Varaždin (C2), Miholjački Martinci (C3) and Podravina Moslavina (C4). The paper gives a description of the current condition of all 4 side channels, with a particular focus on biological field research. “Green” technical solutions that will facili-

tate flow in all hydrological regimes are planned for side channels C1, C2 and C6 whereas side channel C7 is intended to stay in its current state. Finally, the paper raises the issue of the suitable level of human intervention in the environment.

KEYWORDS: Drava, revitalization, “green” technical solutions, natural habitat

1. UVOD

Projekt “DRAVA LIFE – Integralno upravljanje rijekom” planira ekološku revitalizaciju staništa na Dravi. Revitalizacija podrazumijeva obnovu starih i kreiranje novih rukavaca na sedam lokacija unutar toka rijeke Drave s ciljem vraćanja izvornih ekoloških uvjeta riječnog ekosustava i pripadajućih vlažnih staništa. Pojam “stanište” pri izričaju “revitalizacija staništa” unutar ovog rada, odnosi se na područja slične vegetacije, a ne zemljišnog pokrova kao u pojmu “stanišni tip” (Miller i Hobbs 2007).

Projekt se provod kroz međusektorsku suradnju Hrvatskih voda kao glavnog nositelja projekta te partnera WWF Austrija, Udruge za zaštitu prirode i okoliša Zeleni Osijek, Javne ustanove za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode i ekološkom mrežom Virovitičko – podravske županije, Javne ustanove za upravljanje zaštićenim prirodnim vrijednostima na području Koprivničko – križevačke županije i Javne ustanove za upravljanje zaštićenim prirodnim vrijednostima na području Varaždinske županije.

Pored povećavanja razine svijesti o ekološkoj mreži NATURA 2000, uspostavljanja prekogranične suradnje, smanjenja uznemiravanja faune od strane ljudskih aktivnosti, osnovni cilj DRAVA LIFE projekta je stvaranje dodatnih vodnih tokova i povećanje dinamičkih hidromorfoloških procesa koji će potaknuti stvaranje novih riječnih staništa za flor i faunu na rijeci Dravi, a koja će ujedno koristiti i u zaštiti od poplava.

Kako bi planiranje budućih aktivnosti u svim sektorima bilo dugotrajno održivo te imalo što manji negativni učinak na ekološke sustave i biološku raznolikost potrebno je pojačati međusektorsku suradnju u što ranijoj fazi donošenja strateških dokumenata. Zajedničkim aktivnostima zaštite biološke raznolikosti i obrane od poplava moguće je štiti kompletan ekosustav, no otvara se pitanje prihvatljivog stupnja ljudske intervencije u okoliš. Stoga, jačanje otpornosti okoliša uključuje razvoj kvalitetne infrastrukture i prostornog planiranja, usvajanje i provedbu integriranih, odgovornih politika i planova te pristupa temeljenih na očuvanju ekosustava.

2. RUKAVCI RIJEKE DRAVE – POSTOJEĆE STANJE I PLANIRANA REVITALIZACIJA

Predmet ovog rada su četiri rukavca na Dravi (Slika 1), i to kako slijedi: Otok Virje – C1 (312 – 314,3 rkm), Stara Drava Varaždin – C2 (289,3 – 292 rkm), Miholjački Martinci – C6 (104 – 106 rkm) i Podravska Moslavina – C7 (96 – 98 rkm). Predmetni rukavci rijeke Drave nalaze se unutar četiri područja ekološke mreže¹ te regionalnog parka Mura-Drava.

¹ Rukavci C1 i C2 nalaze se unutar područja ekološke mreže HR2001307 Drava – akumulacije i HR1000013 Dravske akumulacije, dok se rukavci C6 i C7 nalaze unutar područja ekološke mreže HR5000015 Srednji tok Drave (od Terezinog polja do Donjeg Miholjca) i HR1000015 Srednji tok Drave.



Slika 1. Lokacije rukavaca Otok Virje – C1, Stara Drava Varaždin – C2, Miholjački Martinci – C6 i Podravska Moslavina – C7

Na predmetnim lokacijama postoji djelomična protočnost rukavaca u smislu trajanja i kontinuiteta. Zbog takvog vodnog režima, pojedina staništa rukavaca su sukcesijski uznapredovala ili u potpunosti suha. Razlozi zatečenih promjena stanišnih uvjeta su antropogeno uzrokovane promjene hidromorfoloških značajki rijeke Drave, što se prvenstveno odnosi na izgradnju retencija te obaloutvrda. Iznimka je rukavac C7 koji uslijed postojeće retencije i dalje ima zadovoljavajuće stanje bioraznolikosti. Stoga, niže se daje pregled postojećeg stanja na predmetnim lokacijama te planirana "zelena" tehnička rješenja. U konačnici, unutar rasprave, otvara se pitanje prihvatljivog stupnja ljudske intervencije u okoliš.

Radi praćenja uspješnosti Drava LIFE projekta i ispunjenja projektnih ciljeva, odrađen je biotički monitoring nultog stanja flore i staništa te kopnene i slatkovodne faune na svih šest rukavaca prije izvođenja planiranih radova (Peternel, i dr., 2018). Također, za potrebe izrade Studija Glavne ocjene prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu za lokacije rukavaca C1 i C2 (Marković, i dr., 2018^a) te lokacije rukavaca C6 i C7 (Marković, i dr., 2018^b) odrađena su terenska istraživanja sa naglaskom na ciljne vrste i stanišne tipove (Jelić, i dr., 2018^a), (Jelić, i dr., 2018^b), (Mikulić, i dr., 2018^a), (Mikulić, i dr., 2018^b).

2.1. Postojeće stanje

Iako povijesne karte dokazuju da je **rukavac C1** nekada bio dio toka rijeke Drave, sada sa svoje uzvodne strane nije spojen s rijekom Dravom. Trenutno je uzvodni dio rukavca uglavnom suh, područje oko rukavca obraslo visokom vegetacijom, kasne sukcesijske faze. Trenutno voda ulazi u rukavac s nizvodne strane tvoreći povremene ujezerene površine, gdje se, uz nasip, nalazi i manji nekadašnji rukavac, a sada mrtvaja, također karakterizirana ujezerenim vodenim staništima. Za **rukavac C2** povijesne karte dokazuju da je nekada bio dio toka rijeke Drave, no sada je područje rukavca većinom suho i obraslo vegetacijom kasne sukcesijske faze. Iznimka je krajnji nizvodni dio rukavca koji je sada mrtvaja.

Terenskim istraživanjem rukavca C1 i C2 pronađene su ciljne vrste područja ekološke

mreže HR2001307² i HR1000013³. Osim ciljnih vrsta uočene su i karakteristične vrste i to herpetofaune (zelena žaba (*Pelophylax sp.*), šumska smeđa žaba (*Rana dalmatina*), zelembać/livadna gušterica (*Lacerta sp.*)) kao i primjerice tragovi lisice (*Vulpes vulpes*) te bizamskog štakora (*Ondatra zibethicus*).

Nadalje, povijesne karte dokazuju da je **rukavac C6** postojeći i otvoren već duži niz godina, pri čemu se u sadašnjem stanju sa svoje uzvodne strane nalazi poprečna pregrada. Predmetna je izgrađena od kamenog materijala, duljine oko 200 m, visine oko 4 m na najvišem dijelu. Područje oko rukavca je trenutno obraslo visokom vegetacijom na obalama strmije konkavne strane, dok je položaj obala konveksne strane karakterizirana staništima polegnutih muljevitih obala. Također je i **rukavac C7** u zatečenom stanju već duži vremenski period (min. 80 godina), no informacije o točnom vremenu gradnje postojećih poprečnih pragova nisu poznate. Trenutno je područje oko rukavca, posebice strmih obala, obraslo visokom vegetacijom sa pojasom grmlja i drveća, dok je položaj obala karakterizirana staništima polegnutih muljevitih obala. Posebice je zanimljivo stanište prostranog pješčanog spruda na ušću rukavca u rijeku Dravu.

Terenskim istraživanjem rukavaca C6 i C7 pronađene su ciljne vrste područja ekološke mreže HR5000015⁴ i HR1000015⁵. Osim ciljnih vrsta, uočeni su tragovi bizamskog štakora (*Ondatra zibethicus*) kao i karakteristične vrste gmazova (bjelouška (*Natrix natrix*), ribarica (*Natrix tessellata*), zelembać/livadna gušterica (*Lacerta sp.*)) i vodozemaca (zelena žaba (*Pelophylax sp.*), šumska smeđa žaba (*Rana dalmatina*), hibrid crvenog i žutog mukača (*Bombina bombina x variegata*)).

2.2. Planirano stanje

Glavna svrha zahvata obnove rukavaca je dovođenje vode u rukavac kod manjih protoka rijeke u svrhu povećanja morfološke dinamike u rukavcu i koritu za mogućnost stvaranja novih staništa za ptice na obalama rijeke i koritu rukavca (strme obale i sprudovi). Niže se navode planirani radovi na četiri predmetna rukavca kako bi se osigurala protočnost i osvježavanje rukavca vodom iz rijeke Drave u svim hidrološkim uvjetima⁶:

- 2 *bjeloperajna krkušica (Romanogobio vladykovi), bolen (Aspius aspius) i dabar (Castor fiber) i to nastamba te vidra (Lutra lutra). Zastupljen je ciljni stanišni tip Aluvijalne šume (Alno-Padion, Alnion incanae, Salicion albae). Ciljni stanišni tip Nizinske košanice (Alopecurus pratensis, Sanguisorba officinalis) nije zastupljen na lokacijama rukavaca C1 i C2.*
- 3 *velika bijela čaplja (Casmerodius albus), mali vranc (Phalacrocorax pygmaeus), vodomar (Alcedo atthis), patka batoglavica (Bucephala clangula), mala prutka (Actitis hypoleucos), divlja patka (Anas platyrhynchos), crna roda (Ciconia nigra), mala bijela čaplja (Egretta garzetta), liska (Fulica atra) te crvenokljuni labud (Cygnus olor).*
- 4 *obična lisanka (Unio crassus), bolen (Aspius aspius), dabar (Castor fiber), vidra (Lutra lutra), vijun (Cobitis elongatoides), bjeloperajna krkušica (Romanogobio vladykovi), gavčica (Rhodeus amarus), Aluvijalne šume (Alno-Padion, Alnion incanae, Salicion albae). Dunavska paklara je također prisutna na ovom području (Jelić, Jelić, Žutinić, & Čaleta, 2012), ali nije zabilježena u ovom istraživanju.*
- 5 *siva žuna (Picus camus), gak (Nycticorax nycticorax), štekavac (Haliaeetus albicilla), mala bijela čaplja (Egretta garzetta), crvenoglavi djetlić (Dendrocygna media), vodomar (Alcedo atthis), mala prutka (Actitis hypoleucos), bjelovrata muharica (Ficedula albicollis), batoglavica (Bucephala clangula) te divlja patka (Anas platyrhynchos).*
- 6 *osobito za vrijeme dugih sušnih razdoblja kada trenutno ne postoji protočnost kroz rukavce*

rukavac C1: odabir optimalne trase rukavca, uređenje kote iskopa, uzdužnog pada i širine dna korita, uređenje ulaza u rukavac, uređenje izlaza iz rukavca, zaštita od erozije biološkom vodogradnjom, uklanjanje vegetacije uzduž lijeve obale rukavca i u području mosta kao i uklanjanje postojeće obaloutvrde te proširenje korita;

rukavac C2: uređenje kote iskopa, uzdužnog pada te širine dna korita, uređenje ulaza u rukavac, uređenje izlaza iz rukavca, zaštita od erozije biološkom vodogradnjom, uklanjanjem vegetacije i gornjeg sloja tla na lijevoj obali korita „Stara Drava“ kao i uklanjanjem dijela praga P7;

rukavac C6: uklanjanje postojećeg praga na ulazu u rukavac, izgradnja biološke vodogradnje, izgradnja skrivenih pera i deponija te novih prirodnih staništa za gniježđenje bregunica i vodomara;

rukavac C7: sukladno razrađenim varijantnim rješenjima, analizi podataka terenskih istraživanja predlaže se lokaciju rukavca zadržati u trenutnom stanju te je predložena varijanta ne činiti ništa.

Kod uređenja obala rukavaca planirani su različiti nagibi obala rukavca (1:2 i 1:4), kako bi se mogla sukcesivno razviti i različita staništa što pogoduje ciljnim vrstama. Iako tršćaci trenutno nisu prisutni na lokaciji, važan su stanišni tip u ovom području, jer su prostor gniježđenja ptica močvarica, hranjenja, skrivanja i razmnožavanja riba, vodozemaca, gmazova i sisavaca te imaju izrazitu estetsku i krajobraznu vrijednost u prostoru stoga će se predmetnim blažim nagibom stvoriti uvjeti za njihovo nastajanje.

Kako je cilj LIFE projekta stvaranje novih staništa te osiguravanje prirodnosti rijeke Drave i njenih rukavaca, a sukladno i (HAOP, 2015), zaštita privatnih parcela od erozivnih procesa planirana je korištenjem biološke vodogradnje. Naime, primjena biotehničkih metoda (npr. kombinacija kamenog nabačaja i vegetacije (eng. *Joint planting*), drveni sanduci (eng. *live cribwall*), zagrmljeni madraci (eng. *brushmattress*)) omogućava stvaranje prirodnih i neravnih površine obala budući da na glatkim površinama (npr. kamen povezan betonom, betonski zidovi) nema važnih mikro staništa, niti povezanosti s podzemnim vodama i okolnim poluvodenim staništima. Stoga su u ovom projektu planirani drveni sanduci (eng. *live cribwall*) koji se sastoje od drvenih trupaca, živog granja, zemlje, kamenja i balvana kojima se izgrađuje obala i omogućava ozelenjavanje obale kao i dopuštanje prirodne sukcesije. Predmetna vodogradnja se može izgraditi kao vertikalni zid, pri čemu zauzima malo prostora, a osigurava stabilnost obale. Također, drveni sanduci omogućuju staništa u obliku malih rupa i „džepova“, koja su iznimno važna za riblju mlad i beskralješnjake jer poplave mogu odnijeti mlade ribe (mlađ) i jedinke vrsta koje su loši plivači te uzrokovati velike gubitke za populacije.

Kako bi se zadržala trenutna gnjezdišta bregunica, vodomara i pčelarica, a zaštitile privatne parcele, ovim projektom je planirana varijanta izvedbe 8 skrivenih pera i 2 deponije⁷ u desnoj obali rukavca C6. Pera i deponije će dozvoliti trenutnu eroziju postojeće obale rukavca do 50 m u zaobalje (zaštita privatnih parcela) čime će se zadržati trenutna gnjezdišta ptica u samoj obali rukavca. Skrivena pera bi se izvela od kamena iz postojećeg praga koji se uklanja, postavljena tako da između njih neće doći do pojačane erozije obale. Uzvodno i nizvodno od grupe od 8 pera, sa ciljem ograničavanja erozije na tim dionicama predviđa se izvedba uzdužnih deponija od kamena iz postojećeg praga

⁷ Deponije = regulacijske građevine kamenih naslaga izvan glavnog korita čija je namjena sprečavanje daljnje erozije obale (stabilizacija obale na projektiranom položaju).

koji se uklanja.

Kako bi se stvorila dodatna prirodna staništa za gniježđenje bregunica i vodomara na području rukavca C6 predviđa se uređenje obale na nekoliko lokacija na lijevoj strani rukavca C6. Naime, ista će se urediti na način da se vertikalno skida tanak sloj zemlje, korijenja i postojeće vegetacije da bude vidljiva "gola zemlja". Time se postiže vertikalna strma obala očišćena od vegetacije. Predmetne lokacije su odabrane obzirom na postojeće trenutno prirodno strme obale rukavca koje će i erodirati nakon micanja praga na ulazu u rukavac te će nakon uklanjanja vegetacije postati potencijalno novo gnjezdilište predmetnih ciljnih vrsta.

Važno je napomenuti da su planirane i mjere ublažavanja (npr. obustavljanje radova u kritičnim vremenskim periodima, prevencija od unosa invazivnih vrsta, stvaranje mikrostaništa) koje će svojim djelovanjem umanjiti potencijalni negativan utjecaj na ciljne stanište tipove, vrste kao i staništa ciljnih vrsta sukladno regulativi.

3. RASPRAVA

Projekti očuvanja bioraznolikosti uslijed aktivne ljudske aktivnosti u ekosustav mogu se podijeliti na projekte revitalizacije/restauracije (eng. *restoration*), reintrodukcije (eng. *reintroduction*) i projekte "divlje prirode" (eng. *rewilding*). Projekt ekološke restauracije staništa podrazumijeva vraćanje ekosustava unatrag kakav je bio, projekt reintrodukcije vraća vrstu tamo gdje je nekad živjela, a projekti *rewilding*-a vraćaju upravljano područje natrag u divljinu tzv. "divlju prirodu" (Corlett, 2016). Također, revitalizacija se tradicionalno usredotočila na obnovu vegetacije i staništa, s uglavnom pasivnim pristupom obnovi populacija životinja (Perring, i dr., 2015), dok su reintrodukcijom i srodnim aktivnostima dominirale životinje, osobito kralježnjaci. Stoga, budući da se projektom "DRAVA LIFE" planiraju obnoviti rukavci rijeke Drave kako bi se na predmetne vratili uvjeti riječnog ekosustava s pripadajućim vlažnim staništima, predmetni projekt definiramo kao projekt ekološke revitalizacije.

No, između stručnjaka zaštite prirode postoji otvorena rasprava o tome kako održati trenutno stanje bioraznolikosti. Razmišljanja se kreću od manjih intervencija u okolišu, pa do prihvaćanja sve radikalnijih alternativa. Radikalne aktivnosti mogu uključivati premještanje autohtonih vrsta izvan njihovog prirodnog ekosustava, kao i unos alohtonih vrsta kako bi zamijenile niše izumrlih, pa do stvaranja novih dominantnih ekosustava (npr. uslijed sukcesije) (Corlett, 2016). Također je otvorena rasprava o tome i koje je stanje bioraznolikosti referentno tj. "prirodno". Buduće će se rasprave vjerojatno voditi oko definiranja prihvatljivog stupnja ljudske intervencije u okolišu koji je poželjan, budući da se "divlja priroda" smatra sve važnijim atributom. Predmetna problematika može se prikazati kroz primjer rasprostranjenosti travnjačkih staništa kroz povijest, a što je indirektno vezano i za ovaj projekt "DRAVA LIFE". Naime u pogledu podrijetla, travnjaci se mogu raspodijeliti u (i) prirodne travnjake, unaprijed određene ekološkim uvjetima i divljim biljojedima; (ii) poluprirodne travnjake, povezane s dugoročnom ljudskom djelatnosti od početka poljoprivrede tijekom mezolitičko-neolitske tranzicije; i (iii) poboljšani (intenzivni) travnjaci, proizvod suvremene poljoprivrede na temelju zasijanih i visoko produktivnih krmnih trava i leguminoza (Hejcman, i dr., 2013). Dakle, prirodna travnjačka staništa bila su prisutna i prije pojave čovjeka (Uno, i dr., 2016). No, uslijed promjena klime i utjecaja čovjeka dolazi do promjena stanišnih tipova. Stoga je

otvoreno pitanje, koja su staništa "prirodna" na odabranoj lokaciji, tj. koji tip staništa ćemo očuvati ili revitalizacijom vratiti. Aktualni koncept zaštite prirode koncentrira se na zaštitu trenutnog stanja bioraznolikosti, stoga su, primjerice na području Europske unije, definirana ciljna staništa i ciljne vrste koje se štite kroz NATURA 2000 područja⁸. Sukladno navedenom, i projekt DRAVA LIFE pratio je predmetni koncept, stoga se revitalizacija staništa rukavaca unutar ovog projekta koncentrirala na revitalizaciju staništa definiranih zadanim Direktivama Europske unije.

Ne postoji segment čovjekovog djelovanja koji nema direktan ili indirektan utjecaj na biološku raznolikost i na ekološke sustave. Poznavanje problematike prostora, metodologije planiranja i usklađivanja često suprotstavljenih interesa u prostoru kroz izradu prostornih planova sve češće postaje nedovoljan. Nužan je niz novih znanja, vještina i navika koje je potrebno usvojiti, a koje integriraju multidisciplinarni i ekološki održiv pristup jer koraci ka smanjenju pritiska na bioraznolikost mogu potaknuti širok raspon društvenih korist.

ZAKLJUČAK

Za odabrana tehnička rješenja rukavaca C1, C2 i C6 planirani su uvjeti protočnosti rukavca u svim hidrološkim režimima. Planirane su također i dinamične obale rukavaca, zaštita erozije obale pomoću biološke vodogradnje, zaštita postojećih te stvaranje novih prirodnih staništa za ciljne te karakteristične vrste vlažnih staništa. Za rukavac C7 predlaže se isti zadržati u trenutnom stanju budući da je stanje zadovoljavajuće.

Analizom planiranih radnji potrebnih da se ostvare ciljevi LIFE projekta definirane su tri ključne grupe mogućih načina djelovanja zahvata (uklanjanje vegetacije, prokop i uređenje rukavaca, stalan tok) koje bi potencijalno mogle ugroziti ciljna staništa i vrste te staništa ciljnih vrsta područja ekološke mreže NATURA 2000. No, primjenom planiranih mjera ublažavanja zaključeno je da će promjene pozitivno utjecati na ciljna staništa i vrste kao i staništa ciljnih vrsta, budući da će biti omogućen uvjet protočnosti rukavca u svim hidrološkim režimima, uz neznčajnu promjenu razine vode rijeke Drave. Naime, planirani zahvat revitalizacije će dugoročno pozitivno utjecati na ciljna staništa i vrste kao i staništa ciljnih vrsta zbog poboljšanja stanišnih uvjeta u rukavcu.

⁸ Direktiva o zaštiti ptica (Council Directive 79/409/EEC; 2009/147/EC), Direktiva očuvanja prirodnih staništa i divlje faune i flore (Council Directive 92/43/EEC)

LITERATURA

- [1] Corlett, R. T. (2016): *Restoration, Reintroduction, and Rewilding in a Changing World*. Trends in Ecology & Evolution, 453-462.
- [2] HAOP. (2015): *Stručne smjernice - upravljanje rijekama*. Zagreb: Twinning Light projekt EU HR/2011/IB/EN/02 TWL.
- [3] Hejzman, M., Hejzmanova, P., Pavlu, V., & Benes, J. (2013): *Origin and history of grasslands in Central Europe - a review*. Grass and Forage Science, 345-363.
- [4] Jelić, D., Špelić, I., Vucić, M., & Orlović, A. (2018a): *Terenski izvještaj - LIFE projekt „LIFE Drava – Integrirano upravljanje rijekama“ - lokacije C1 i C2*. Zagreb: Hrvatsko društvo za biološka istraživanja.
- [5] Jelić, D., Špelić, I., Vucić, M., & Orlović, A. (2018b): *Terenski izvještaj - LIFE projekt „LIFE Drava – Integrirano upravljanje rijekama“ - lokacije C6 i C7*. Zagreb: Hrvatsko društvo za biološka istraživanja.
- [6] Jelić, M., Jelić, D., Žutinić, P., & Čaleta, M. (2012): *Značajke faune riba donjeg toka rijeke Drave i okolnih poplavnih staništa kod Donjeg Miholjca (Istočna Hrvatska)*. Croatian Journal of Fisheries, 153-167.
- [7] Marković, B., Bišćan, M., Marković, K., Stankić, I., Ruždjak, D., Stanec, D., i dr. (2018a): *Glavna ocjena prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu - C1 & C2*. Zagreb: EKONERG d.o.o.
- [8] Marković, B., Bišćan, M., Marković, K., Stankić, I., Ruždjak, D., Stanec, D., i dr. (2018b): *Glavna ocjena prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu - C6 & C7*. Zagreb: EKONERG d.o.o.
- [9] Mikulić, K., Kapelj, S., Ječmenica, B., & Katanović, I. (2018b): *Izveštaj o mogućim utjecajima zahvata restauracija rukavaca Drave na ptice srednjeg toka Drave (C6)*. Zagreb: Udruga BIOM.
- [10] Mikulić, K., Kapelj, S., Ječmenica, B., & Katanović, I. (2018a): *Izveštaj o mogućim utjecajima zahvata restauracija rukavaca Drave na ptice Dravskih akumulacija (C1/C2)*. Zagreb: Udruga BIOM.
- [11] Miller, J. R., & Hobbs, R. J. (2007): *Habitat Restoration—Do We Know What We're Doing?* Restoration Ecology, 15(3), 382-390.
- [12] Perring, M. P., Standish, R. J., Price, J. N., Craig, M. D., Erickson, T. E., Ruthrof, K. X., i dr. (2015): *Advances in restoration ecology: rising to the challenges of the coming decades*. Ecosphere, 6 (8).
- [13] Petrnel, H., Popijač, A., Patčev, E., Jelić, D., & Antonić, O. (2018): *Preliminarni izvještaj: rezultati monitoringa uoči obnove*. Zagreb: Geonatura d.o.o., Zelena infrastruktura d.o.o.
- [14] Uno, K., Polissar, P., Jackson, K., deMenocal, P. (2016): *Neogene biomarker record of vegetation change in eastern Africa*. PNAS, 6355–6363.

AUTORI

Matko Bišćan, mag.oecol. et prot.nat. ^a

Kruna Marković, mag.ing.sliv., MSc ^a

Berislav Marković, mag.ing.prosp.arch. ^a

Perica Bušić, dipl. ing. građ. ^b

Marijana Kotaran Munda, dipl. ing. građ. ^b

Renata Vidaković Šutić, dipl. ing. građ. ^b

^a Ekonerg d.o.o., Koranska cesta 5, 10 000 Zagreb, Republika Hrvatska, matko.biscan@ekonerg.hr, kruna.markovic@ekonerg.hr, berislav.markovic@ekonerg.hr

^b Institut za elektroprivredu d.d., Koturaška cesta 51, 10 000 Zagreb, Republika Hrvatska, perica.busic@ie-zagreb.hr, marijana.kotaran-munda@ie-zagreb.hr, renata.sutic@ie-zagreb.hr



R 2.10.

PROVJERA UČINKOVITOSTI SUSTAVA ZA OBRANU OD POPLAVA NA RIJECI DRAVI KORIŠTENJEM 2D MODELA

Renata Vidaković Šutić

SAŽETAK: Učestalost i trajanje visokih vodostaja rijeke Drave na dionici od ušća Mure do ušća kanala Rog – Strug, zabilježenih proteklih godina potaknuli su nastojanja za povećanjem razine sigurnosti od poplava u lijevom i desnom dravskom zaobalju koji se nalaze na teritoriju RH. Sadašnji sustav za zaštitu od poplava na predmetnom području sastoji se od lijevoobalnih i desnoobalnih zaštitnih nasipa izgrađenih šezdesetih i sedamdesetih godina 20. stoljeća.

Uvažavajući izgradnju hidroenergetskih građevina na uzvodnim dionicama Drave i Mure, proširenje naselja na područje bliže rijeci, morfološku dinamiku rijeke i klimatske promjene kao čimbenike koji utječu na današnji hidrološki režim velikih voda, izrađena je analiza protočnosti korita i inundacije rijeke Drave na predmetnoj dionici u zatečenim uvjetima i procjena pouzdanosti postojećih nasipa na protoke velikih voda. Na osnovi rezultata analize postojećeg stanja izrađen je prijedlog dopune trase nasipa za zaštitu od ekstremno velikih voda te provjera učinkovitosti sustava u predloženom stanju.

Za analize je korišten matematički dvodimenzionalni hidrodinamički model, koji dobro opisuje hidrološke situacije za koje se smjer tečenja ne može unaprijed predvidjeti. To posebno dolazi do izražaja u modeliranju velikih voda, kada dolazi do izlivanja vode izvan korita u široku inundaciju ili prelijevanja nasipa.

U radu će se dati osvrt na metodologiju izrade, rezultate i učinak kontinuirane linije nasipa za zaštitu od poplava u zaobalju Drave na predmetnom području.

KLJUČNE RIJEČI: hidrodinamički 2D model, velike vode, nasipi za obranu od poplava, rijeka Drava

EFFICIENCY ASSESMENT OF THE DRAVA RIVER FLOOD PROTECTION SYSTEM USING 2D MODELLING

ABSTRACT: The frequency and duration of high water levels of the Drava River in the section from the Mura confluence to the confluence of the Rog – Strug canal recorded during the past several years have initiated the efforts to improve flood safety in the left and right Drava hinterland on the territory of Republic Croatia. The current flood protection system in this area consists of embankments on the left and right Drava river banks built in 1960s and 1970s.

Taking into consideration the construction of hydropower facilities in the upstream Drava and Mura sections, settlement expansion to areas closer to the river, its morphological dynamics and climate change as the factors affecting the present flood regime, an analysis of the flow in the riverbed and inundations of the Drava in the studied section was carried out and the reliability of the existing embankments in flood conditions was assessed. Based on the results of the analysis, a proposal to extend the embankment line and improve protection from extreme flood events was developed, including an assessment of the proposed system.

A 2D hydrodynamic mathematical model was applied since it is very effective in hydrological scenarios where flow direction cannot be predicted, which is particularly marked in flood modelling, when floodwater flows from the riverbed into a wide inundation or when embankments overflow.

The paper will give an overview of the used methodology, results and effectiveness of a continuous embankment line in the Drava hinterland of the studied area.

KEYWORDS: 2D hydrodynamic model, flood events, embankments, Drava River

1. UVOD

Područje analize, čiji su rezultati prikazani u ovom radu, obuhvaća dionicu rijeke Drave od ušća Mure do ušća kanala Rog – Strug, duljine oko 60 km te pripadno zaobalje na kojem se bilježi izlivanje i zadržavanje velikih voda.

Na predmetnom području je izgrađen sustav zaštite od poplava koji se sastoji od lijevoobalnog dravskog nasipa Repaš – Botovo i desnoobalnih dravskih nasipa: Legrad – Selnica, Ledine – Komatnica, Novo Virje – Crnec i Brodić – Zgruti. Predmetno područje prikazano je na slici 1.

Promjena vodnog režima rijeke Drave kao posljedica antropogenih utjecaja i klimatskih promjena, osobito promjena u stupnju izgrađenosti inundacije, koja je uslijedila nakon izgradnje navedenih nasipa, predstavlja sve veći izazov za učinkovitu obranu od poplava stanovništva i njihove imovine na ovom području.

Radi unaprjeđenja sustava zaštite od poplava, provedena je provjera protočnosti korita i inundacije rijeke Drave na dionici od ušća Mure do ušća kanala Rog – Strug u zatečenim uvjetima kao i procjena pouzdanosti postojećih nasipa u odnosu na nailazak velikih voda.

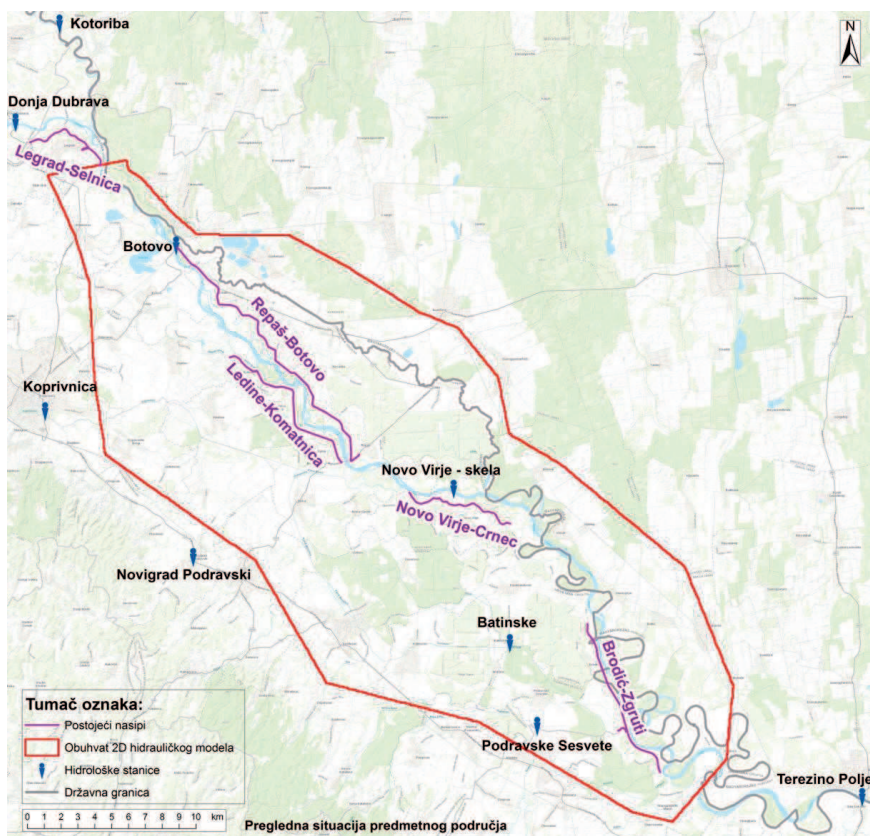
2. METODOLOGIJA

Modeliranje je provedeno korištenjem matematičkog dvodimenzionalnog hidrodinamičkog modela (MIKE 21). U cilju točnosti, prilikom formiranja obuhvata modela, optimalno je model započeti i završiti na profilu neke hidrološke stanice na kojem su poznati podaci o protocima i vodostajima.

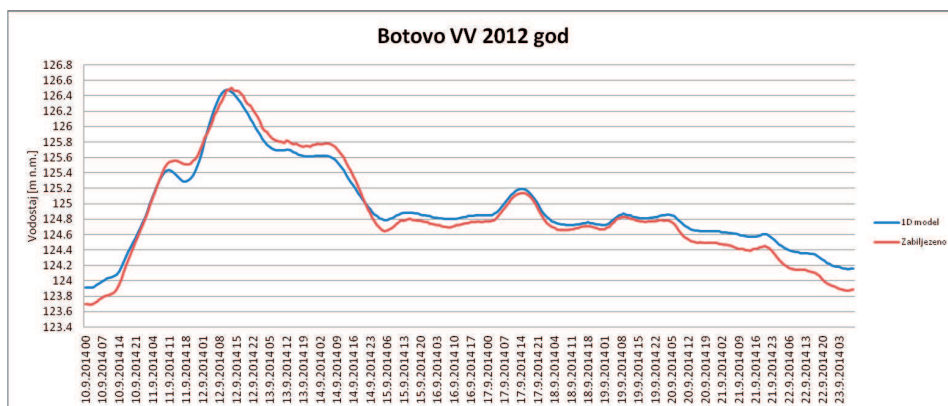
Hidrološke stanice koje obuhvaćaju predmetno područje su Donja Dubrava na Dravi i Goričan na Muri uzvodno te Terezino polje na Dravi nizvodno. Dionica Drave između dviju navedenih stanica duga je 91 km, a dionica Mure 35 km, što bi domenu 2D modela znatno povećalo. Iz tog se razloga formirao preliminarni 1D hidraulički model (MIKE 11) na prethodno navedenoj domeni Donja Dubrava – Terezino polje i dionica Mure nizvodno od Goričana, koji je poslužio za ekstrakciju rubnih uvjeta za 2D model. Kalibracija i

verifikacija 1D modela provedena je na lokacijama hidroloških stanica Botovo i Novo Virje - skela na Dravi.

Za potrebe kalibracije i verifikacije 1D modela, odabrani su hidrološki događaji iz 2008., 2012. i 2014. godine sa zabilježenim maksimalnim protocima na h.s. Botovo od 998 m³/s, 2.071 m³/s i 2.399 m³/s. Na slici 2. prikazan je rezultat kalibracije 1D modela na lokaciji h.s. Botovo.

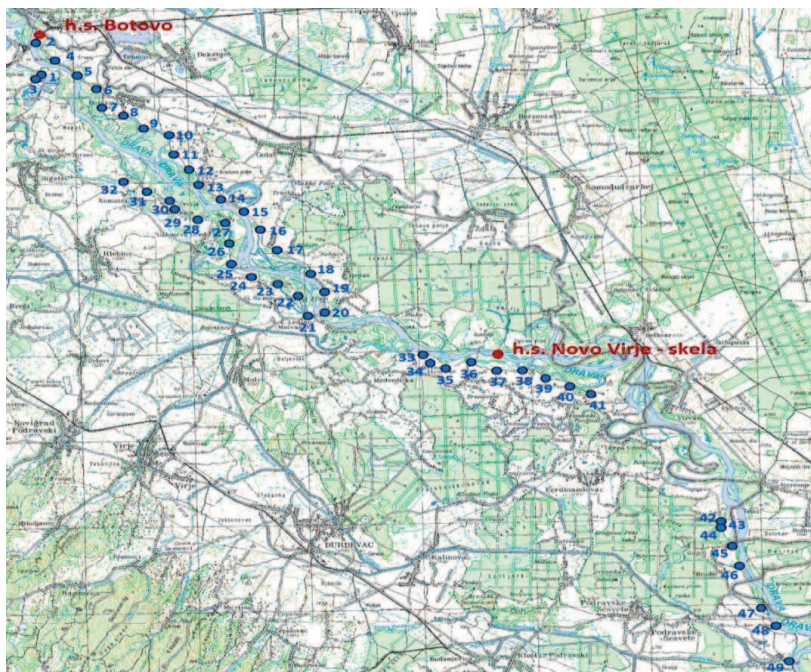


Slika 1. Prikaz modeliranog područja

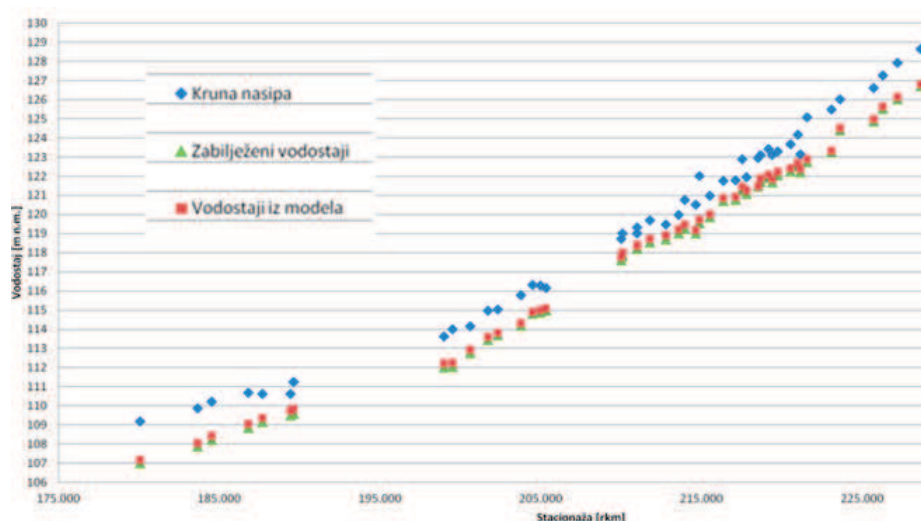


Slika 2. Rezultati kalibracije 1D modela na h.s. Botovo (4.11.2012.– 18.11.2012.)

Kalibriran i verificiran 1D model, ocijenjen je adekvatnim i poslužio je za ekstrakciju rubnih uvjeta za 2D model predmetnog područja. Temeljem raspoloživih podataka o morfologiji projektnog područja i geometriji korita izrađen je model terena. Kalibracija 2D modela provedena je na realni poplavni događaj iz 2014. godine prilikom kojeg su zabilježene razine dosega vode na postojećim nasipima (slika 3.). Usporedba zabilježenih vrijednosti vodostaja na nasipima i simuliranih vrijednosti 2D modelom prikazana je na slici 4.



Slika 3. Lokacije zabilježenih vrijednosti vodostaja na nasipima za događaj iz rujna 2014.



Slika 4. Usporedba vodostaja zabilježenih na nasipima i rezultata simulacije 2D modela

3. REZULTATI

Na kalibriranom modelu provedena je analiza protočnosti korita i inundacije za različite vrijednosti vršnih protoka u rasponu od 500 m³/s do 4.300 m³/s. Za odabir vrijednosti vršnih protoka poslužila je hidrološka analiza provedena za podatke o maksimalnim zabilježenim protocima u razdoblju od 1985. do 2016. godina na hidrološkoj stanici Botovo, čiji su statistički rezultati prikazani u tablici 1.

Tablica 1. Rezultati statističke obrade maksimalnih protoka na hidrološkoj stanici Botovo za razdoblje 1985.-2016. godina

PR (god.)	VJER (%)	Protoci (m ³ /s)				
		Gauss	Galton	Pearson3	Log-Pearson3	Gumbel
1000	0,1	2738	3183	3119	3324	3444
100	1	2446	2649	2635	2708	2756
50	2	2342	2481	2476	2521	2548
25	4	2226	2306	2308	2330	2339
20	5	2186	2248	2252	2268	2271
10	10	2047	2060	2067	2067	2056
5	20	1879	1853	1859	1850	1833
2	50	1557	1514	1513	1506	1495
Qmax		2399				
Razdoblje obrade		1985. – 2016.				

Rezultati provedenih simulacija na modelu postojećeg stanja pokazuju da nema prelijevanja postojećih nasipa za vršni protok od 3.000 m³/s. Pri protoku od 4.300 m³/s, dolazi do prelijevanja na dionici nasipa Repaš – Botovo i Ledine – Komatnica te duž cijelog nasipa Brodić – Zgruti, dok za nasip na dionici Novo Virje – Crnec nema prelijevanja niti za takve ekstremne protoke. Inundacije su na nezaštićenim mjestima puno ranjivije, pa na pojedinim dionicama na kojima ne postoje nasipi dolazi do izlijevanja već kod protoka od 1.600 m³/s.

Kako bi se ocijenili efekti izgradnje kontinuiranih desnoobalnih dravskih nasipa, model postojećeg stanja modificiran je u svojoj geometrijskoj osnovi. Na tako dopunjenom modelu terena provedene su simulacije istih vrijednosti vršnih protoka kao i za postojeće stanje izgrađenosti.

Dopunom linije obrambenih nasipa na modeliranom području štiti se područje koje je u sadašnjem stanju izloženo poplavama, ali zbog spriječenog izlijevanja dolazi do podizanja vodnih lica za iste protoke u odnosu na postojeće stanje.

Efekt je, očekivano, izraženiji za velike protoke, a javlja se najčešće nešto uzvodnije od lokacija na kojima do izlijevanja dolazi u sadašnjem stanju. Može se zaključiti da dopuna linija nasipa nema značajnih efekata na povišenje vodnih lica Drave za protoke manje od približno 2.000 m³/s.

Za protoke u rasponu od 3.000 m³/s do 4.300 m³/s značajne promjene očekuju se na dionicama od mosta Botovo do Komatnice gdje lokalno podizanje vodostaja kod protoka od 3.000 m³/s iznosi maksimalno oko 0,5 m, a za protok od 4.300 m³/s iznosi oko 1 m.

Na dionici nizvodno od mosta Repaš, kod Novog Virja, ti su efekti nešto manje izraženi pa za protok od 3.000 m³/s povišenje vodostaja u odnosu na postojeće stanje u maksimumu iznosi oko 25 cm, a za protok od 4.300 m³/s oko 0,5 m.

ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati provjere protočnosti korita i inundacije rijeke Drave na rijeke Drave na dionici od ušća Mure do ušća kanala Rog – Strug u zatečenim uvjetima, u cilju procjene pouzdanosti postojeće linijske zaštite zaobalja nasipima od velikih voda. Modeliranje je provedeno korištenjem matematičkog 2D hidrodinamičkog modela (MIKE 21) i 1D hidrodinamičkog modela (MIKE 11).

Na temelju rezultata propagacije velikih vodnih valova i obuhvata poplavne linije u zaobalju za postojeće stanje, utvrđena je ugroženost od poplava na nezaštićenim dijelovima zaobalja već pri protocima manjih povratnih razdoblja (2 do 5 godina), a potvrđena je sigurnost od prelijevanja nasipa za vršne protoke od 3.000 m³/s.

Simulacijama na modelu s dopunjenom linijom nasipa za zaštitu od velikih voda potvrđeno je osiguranje zaobalja, a utvrđeno je podizanje vodostaja za iste protoke, koje je izraženije na uzvodnoj dionici Drave.

Numerički i grafički rezultati provedenih analiza, kao i karte obuhvata poplava za postojeće i buduće simulirano stanje biti će prezentirani putem poster prezentacije.

LITERATURA

- [1] DHI Software (2005): *MIKE 11, MIKE 21 Flow Model, HD Modul, Scientific Documentation and User Guide*
- [2] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hidroing d.o.o (2014): *Studija protočnosti starog korita rijeke Drave uz HE Dubrava, Zagreb*
- [3] HYDROTERV.Bt. (2014): *Drava folyó nagyvizi mederkezelési terv 05. NMT.01 – Órtilos államhatár 236 fkm – Barcs szakaszhatár 154,1 fkm Készült az 83/2014. (III.14.) Korm. rendelet alapján, Pécs*
- [4] Institut za elektroprivredu d.d.(2017): *Analiza protočnosti i ocjena funkcionalnosti sustava obrane od poplava s prijedlogom poboljšanja na dionici Drave od ušća Mure do ušća Rog – Struga, Zagreb*
- [5] Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. (2001): *Jedinstveni matematički simulacijski model nestacionarnog tečenja na dionici rijeke Drave od HE Formin do h.s. Botovo i dionici rijeke Mure od h.s. Goričan do njenog ušća u Dravu, Zagreb*
- [6] Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. (2001): *Hidrološka bilanca sustava hidroelektrana na rijeci Dravi, Zagreb*
- [7] Geoportal: <https://geoportal.dgu.hr/>

AUTOR

Renata Vidaković Šutić, dipl. ing. građ. ^a

^a Institut za elektroprivredu d.d., Koturaška 51, Zagreb, 10000, Hrvatska, renata.sutic@ie-zagreb.hr



R 2.11.

ANALIZA RIZIKA OD LEDENIH POPLAVA NA RIJECI DRAVI

Zdenko Tadić

SAŽETAK: Najznačajniji poplavni rizik u zimskim uvjetima predstavljaju ledeni zastoji koji nastaju pri zaustavljanju pokretnog leda na postojećim preprekama, kao što su plitke površine u koritu rijeke, suženje korita rijeke, stupovi mostova i druge prepreke. U cilju analiziranja mogućih problema od pojave leda na rijeci Dravi analizirana je dionica od 23. - 35. rkm, odnosno područje rijeke Drave uzvodno od grada Osijeka. Prosječno trajanje ledenih pojava kada se pojave niske temperature je od 32 - 35 dana, a maksimalno 70 - 80 dana. U osnovi, kod pojave leda na rijekama uvijek prijete mogućnosti i pojava ledenih poplava. Najveći problemi nastaju uslijed ledohoda koji kada naiđu na zamrznuti dio vodotoka, fizičku prepreku ili plitki dio vodotoka se počinju nabijati jedan pod drugi i u vrlo kratkom vremenu (obično se to vrijeme mjeri u satima) počinju stvarati nepropusnu ledenu barijeru. Poseban problem u rijeci Dravi predstavlja činjenica da su ograničene mogućnosti uporabe domaće raspoložive flote remorkera koji mogu raditi na lomljenju leda i uklanjanju čepova i barijera, a da je dolazak i međudržavna pomoć mađarskih ledolomaca zbog njihovog velikog gaza praktično nemoguća.

KLJUČNE RIJEČI: led u vodotoku, Drava, ledene poplave

ANALYSIS OF ICE FLOOD RISKS ON THE DRAVA RIVER

ABSTRACT: The most significant flood risk in winter conditions is posed by ice stoppages occurring when moving ice is halted by existing barriers, such as shallow areas in the riverbed, riverbed narrowing, bridge pillars, or similar. In order to analyse the potential problems related to ice occurrences in the Drava River, we studied the Drava section from rkm 23 to rkm 35 i.e. Drava section upstream of Osijek. The average duration of an ice occurrence in low temperature periods is 32 - 35 days, with a maximum of 70 - 80 days. Generally, ice occurrences in rivers always pose a threat of ice flood occurrences as well. The largest problems arise when ice drifts arrive at a frozen watercourse part, a physical barrier or a shallow watercourse part and start pushing one under the other, thus forming an impassable ice barrier in a brief time span (usually in hours). A particular problem in the Drava River is a limited possibility of using the available domestic tugboat fleet that can work on breaking the ice and removal of ice plugs and barriers, while the arrival and cross-border assistance of icebreaking vessels from Hungary is virtually impossible due to their deep drafts.

KEYWORDS: ice on watercourses, Drava, ice floods

1. UVOD

Led na rijeci Dravi povremena je pojava zimi. Prema zabilježenim ledenim događajima na vodomjernim stanicama, led se na Dravi pojavljuje od početka prosinca do kraja ožujka. Najznačajniji poplavni rizik u zimskim uvjetima predstavljaju ledeni zastoji koji nastaju pri zaustavljanju pokretnog leda na postojećim preprekama kao što su plitke površine u koritu rijeke, suženje korita rijeke, stupovi mostova i druge prepreke. U cilju analiziranja mogućih problema od pojave leda na rijeci Dravi analizirana je dionica od 23. - 35. rkm, odnosno područje rijeke Drave uzvodno od grada Osijeka. U osnovi, kod pojave leda na rijekama uvijek prijeti mogućnosti i pojava ledenih poplava.

U uvjetima nepovoljnih morfoloških profila dolazi do brzog nakupljanja leda i formiranja ledenih barijera koje mogu u potpunosti zaustaviti pronos leda, a ujedno onemogućiti i protok vodnih količina. Porast vodostaja može u konačnici i uzrokovati i tzv. ledene poplave u kojima je zbog zimskih uvjeta teško provoditi aktivne mjere obrane od poplava. Iz tog razloga za osiguranje pronosa leda i protočnosti korita nužna je uporaba ledolomaca, a kada ledolomci nisu u stanju razbiti ledene čepove i barijere, potrebno je korištenje minsko eksplozivnih sredstava što je vrlo zahtjevna i složena aktivnost.

Poseban problem u rijeci Dravi predstavlja činjenica da su ograničene mogućnosti uporabe domaće raspoložive flote remorkera koji mogu raditi na lomljenju leda i uklanjanju čepova i barijera, a da je dolazak i međudržavna pomoć mađarskih ledolomaca zbog njihovog velikog gaza gotovo nemoguća kod niskih voda.

2. ANALIZA LEDA NA RIJECI DRAVI UZVODNO OD OSIJEKA

Cijela promatrana dionica rijeke Drave od 22. do 35. riječnog kilometra kritična je za formiranje ledenih barijera zbog vrlo male propusne moći korita radi postojećeg cestovnog mosta osječke zapadne obilaznice, cestovnog mosta koridora VC, sprudova, plićaka i meandriranja.

2.1. Pojavnost ledohoda i ledostaja

Led na rijeci Dravi dešava se zimi, kada temperatura zraka uzastopno 5 - 7 dana bude ispod -5° . Prema dostupnim podacima o ledu na rijeci Dravi kod Osijeka za razdoblje obrade: zima 1946./47. - zima 2017./18. (tablica 1.) može se dati ocjena o pojavnosti leda, odnosno zaključiti da je led na promatranoj dionici redovna pojava uz pojedina razdoblja kada se led nije pojavljivao: 1973. - 1976., 1981. - 1985., 1987. - 1990., 1991. - 2000., 2001. - 2002., 2007. - 2011. i 2013. - 2017.

Tablica 1. Pojave leda na Dravi kod Osijeka za razdoblje obrade: zima 1946./47. - zima 2017./18.

ZIMA	LEDOHOD (dani)	LEDOSTAJ (dani)	UKUPNO (dani)
1946./56.	56	103	159
1956./66.	129	111	240
1966./76.	57	24	81
1976./86.	55	0	55
1986./96.	23	13	36
1996./06.	37	25	62
2006./16.	2	19	21
2016./18.	19	6	25

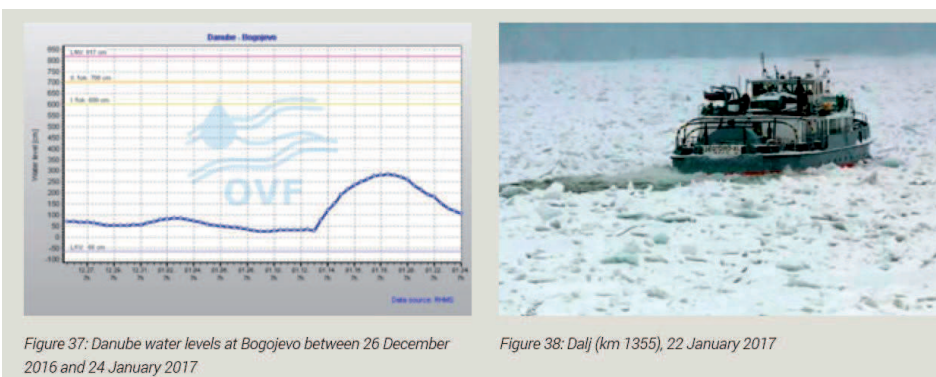
Ipak, ponovljene pojavnosti ledohoda, ali i ledostaja u 2012. i 2017. godini ukazuju na velike mogućnosti ekstremnih ledenih događaja koje će se u nastavku elaborirati.

Trajanje ledostaja varira u širokim granicama: maksimalno opaženo od 23 do 73 dana, a prosječno od 6 do 10 dana. Također, može se zaključiti da se led na Dravi pojavljuje u razdoblju od 1. prosinca do 31. ožujka. Vjerojatnost pojave leda unutar ovog razdoblja je promjenjiva, pri čemu je najveća vjerojatnost pojave leda sredinom ovog razdoblja (krajem siječnja), dok je vjerojatnost ledostaja najveća početkom veljače.

2.2. Debljina leda i pojave ledostaja na rijeci Dravi kod Osijeka i na Dunavu

Debljine pojave leda na rijeci Dravi variraju od godine do godine i svakako se ovisne od temperature zraka i dužini trajanja niskih temperatura.

Indikativna je bila situacija ledostaja nedaleko od Osijeka na rijeci Dunav, i to na lokaciji Dalj 2017. godine, počev od 6. siječnja do konca siječnja 2017., kada je prema službenom izvještaju Međunarodne komisije za zaštitu rijeke Dunav (ICPDR) (lit. 2) navedeno da je debljina leda na dionici Dunava u Hrvatskoj kod Dalja 22. siječnja 2017. bila preko 3 m i uz pojavu podizanja vodostaja na vodomjeru Bogojevo za oko 2,5 m, što je tek uz pomoć mađarskog ledolomca brzo i uspješno uklonjeno i vodostaji su vraćeni u normalu te je stanje stalno održavano do 30. siječnja 2017. (vidjeti slike u nastavku).



Slika 1. Povišenje razine rijeke Dunav 26. siječnja 2017. i proboj ledolomca na lokaciji Dalj (Preuzeto iz Izvješća o pojavnosti leda 2017. na slivu Dunava; ICPDR)

U osnovi, ledene sante koje se pojavljuju u vodotocima, a tako i na rijeci Dravi, su oko 90 % svoje visine uronjene u vodu dok je iznad vode samo oko 10 % visine sante.

Pojava leda na vodotocima uglavnom se dešava kada su vodostaji i protoci minimalni (nema prihranjivanja vodotoka od topljenja snijega radi niskih temperatura), što je naročito izraženo na rijeci Dravi koja je u osnovi dominantno glacijalna rijeka. Najniži vodostaji na rijeci Dravi upravo su u razdoblju pojave leda, odnosno u razdoblju od studenog do ožujka.

U skorijem razdoblju Hrvatske vode su imale problem u zimskim mjesecima s pronosom leda na potencijalnim sprudištima i morfološkim nepovoljnim profilima i posljedično tome, stvaranje ledostaja i povećanje rizika od mogućih ledenih poplava.

Tijekom veljače 2012. godine na dionici uzvodno od grada Osijeka od 23. do 52. rkm Drave utvrđeno je formiranje ledostaja na više lokacija. Ophodnje vodočuvarske službe su utvrdile ledeni čep i ledostaj na lokaciji rkm 26 + 200, gdje je utvrđen ledeni čep debljine od 30 do 50 cm, kojeg ledolomci koji su na raspolaganju na rijeci Dravi nisu mogli probiti. Tada je dogovorena uporaba minsko - eksplozivnih sredstava za razbijanje ledenog čepa, koji je i uklonjen uz pomoć postrojbi Hrvatske vojske.



Slika 2. Miniranje ledenih barijera na rijeci Dravi iz veljače 2012. godine i slika ledostaja u Osijeku

Posljednja epizoda formiranja ledenih pojava na rijeci Dravi bila je u siječnju 2017. godine.



Slika 3. Rijeka Drava, siječanj 2017. godine - ledostaj (23. rkm i 19. rkm) i ledolomac u akciji

2.3. Potencijalni problemi

Najveći problemi nastaju uslijed ledohoda, odnosno santi leda koje plove brzinom vode, a veličine su 20 - 80 m i širine 3 - 25 m, a koje kada naiđu na zamrznuti dio vodotoka, fizičku prepreku ili plitki dio vodotoka se počinju nabijati jedna pod drugu i u vrlo kratkom vremenu (obično se to vrijeme mjeri u satima) počinju stvarati nepropusnu ledenu barijeru. Ta ledena barijera zadržava uzvodni dotok rijeke čiji vodostaj naglo raste i iznad razina na koju su definirani objekti za obranu od poplava. Uobičajene temperature takvih poplava su ispod točke smrzavanja vode. Kad počnu ti procesi potrebna je pomoć ledolomca, kojima se preventivno led razbija u sitnije komade da se kretanjem leda, ali i protočnošću rijeke upravlja koliko god je to moguće.

U okviru ovog rada analizirana je dionica rijeke Drave od rkm 35. do rkm 23., odnosno dionica uzvodno od grada Osijeka. Dionicu rijeke Drave od 23. do 35. rkm karakterizira razvedenost toka izazvana brojnim sprudovima i varijacijama širine vodotoka. Jednako tako velika je razlika i u stupnju uređenosti dijelova ove dionice, koje se kreću od potpuno reguliranih dionica do onih na kojima regulacijskih radova gotovo uopće pa i nema. No za cjelokupnu se dionicu rijeke Drave od 23. do 35. rkm može zaključiti da nisu provedeni regulacijski radovi u dostatnom opsegu koji osiguravaju protočnost leda te su vidljive znatne hidromorfološke pojave (sprudovi, meandriranje Drave unutar korita i pomicanje talvega, zasipavanje korita) i izražena bočna erozija obala u konkavama krivina s deponiranjem nanosa u konveksama.

U uvjetima nepovoljnih hidromorfoloških profila dolazi do brzog nakupljanja leda i formiranja ledenih barijera koje mogu u potpunosti zaustaviti pronos leda, a ujedno onemogućiti i protok vodnih količina.

Štete od pojavnosti leda su pojava uspora i/ili zaprečavanja protočnog profila - opasnost od poplava, povećanja statičkog opterećenja na građevine za vrijeme ledostaja i ledohoda, dinamički udari ledenih santi u objekte i uz vodotok te posredna šteta od smanjene koristi od voda (vodoopskrba i slično).

Prosječna širina rijeke Drave na dionici od 23. - 35. rkm iznosi 185 m pri čemu je najveća širina na rkm 23 + 700 i iznosi 296 m, a najmanja širina na rkm 23 + 200 i iznosi 137 m. Prosječna dubina kod srednje niskih protoka varira od 1,7 do 10,1 m što je vidljivo iz

uzdužnog profila danog na slici 4.



Slika 4. Vodno lice za vrijednosti srednjeg niskog protoka

Vremenska promjena korita vodotoka u aluviju prirodni je proces. Dinamika njegove promjene uvjetovana je nizom čimbenika. Radi boljeg sagledavanja situacije koja se događa na predmetnoj dionici korištene su i snimke korita rijeke Drave iz 2010. i 2018. godine. Tijekom 2010. godine napravljen je Hidrografski atlas rijeke Drave od rkm 0. do rkm 70. (lit. 3), što je poslužilo za usporedbu sa snimkom korita (lit. 4) na analiziranoj dionici.

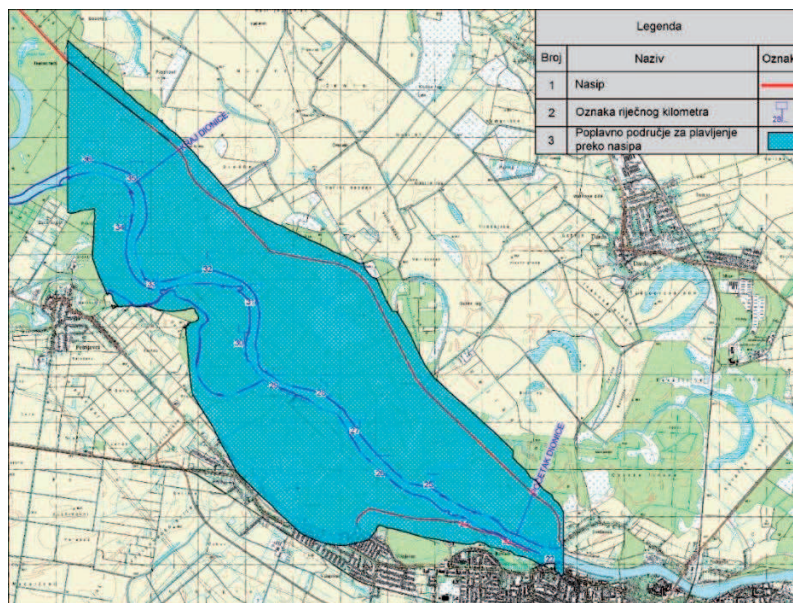
Preklapanjem snimaka iz 2018. i 2010. dobivena su područja u vodotoku na kojima su definirana mjesta na kojima se vodotok produbljuje, ali i mjesta gdje dolazi do taloženja odnosno podizanja razine korita.

3. ANALIZA PROBLEMA KOJI NASTAJU USLIJED POJAVE LEDA

3.1. Preispitivanje postojećih i procjene novih uskih grla na rijeci Dravi vezanih uz pojavnost leda i pronosa leda

Iz 2D matematičkog modela vodotoka za najniži niski protok $Q = 197 \text{ m}^3/\text{s}$ dobio se prostorni prikaz raspodjela brzina duž predmetne dionice. Prosječna brzina vode je $0,48 \text{ m/s}$, minimalna brzina je $0,35 \text{ m/s}$ dok je maksimalna $0,83 \text{ m/s}$. Najveće brzine se događaju na konveksnim dijelovima dionice uz rub obale na 5 kritičnih mjesta, dok je brzina na preostalom dijelu dionice bez većih promjena.

Modeliranje slučaja moguće pojave poplave na terenu promatranog područja prikazano je na slici 5. Važno je napomenuti da prikaz obuhvata dan obzirom na snimku terena i izrađeni digitalni model terena i obuhvaća samo analiziranu dionicu.

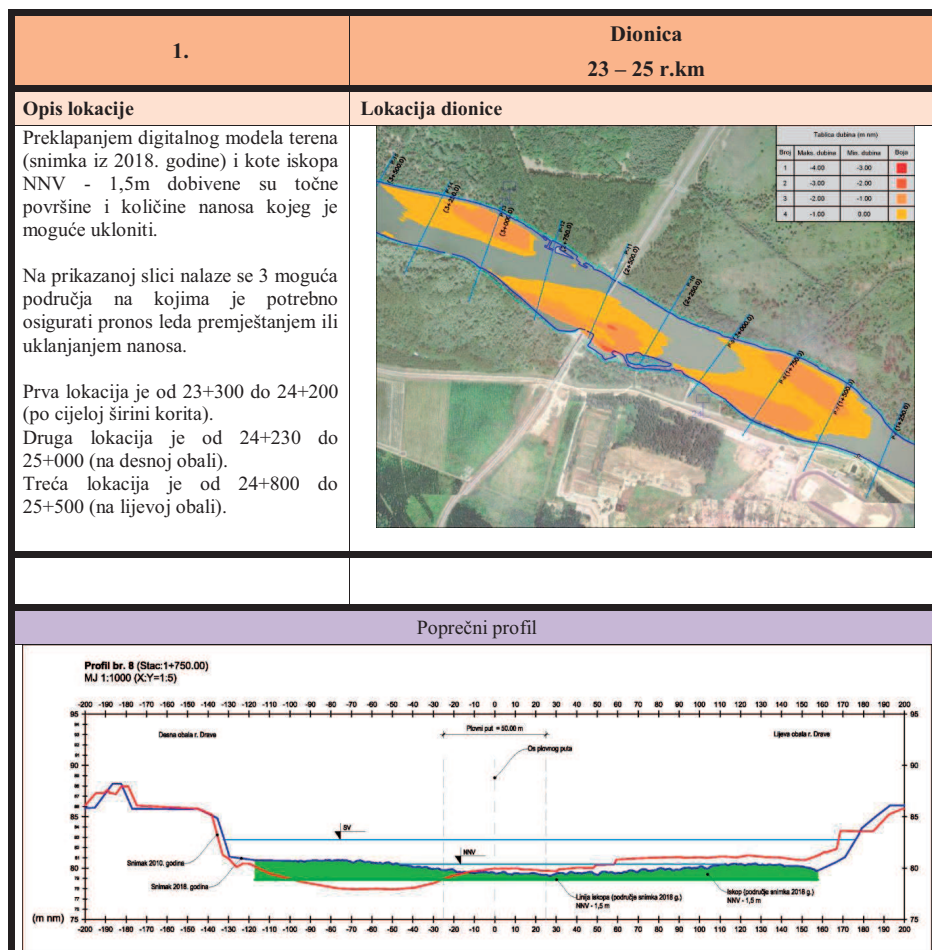


Slika 5. Poplavno područje za izvanredno stanje u slučaju pojave leda (+952)

3.2. Primjer analize lokacije potencijalnog zadržavanja ledenih santi u ledohodu

Uzimajući u obzir analizirane ulazne podatke, predložena su varijantna rješenja, provedena je analiza svih dionica i predložene su lokacije mogućeg uklanjanja nanosa iz korita rijeke Drave u cilju uklanjanja potencijalnih lokacija ledenih barijera te osiguranja protočnosti. Za svaku dionicu je na osnovu analiziranih parametara dan kratki opis lokacije s poprečnim profilom, naznaka ranijeg i sadašnjeg stanja korita i područja mikrolokacija potencijalnih barijera.

Primjer predloženog rješenja dan na slici 6a odnosi se na dionicu na kojoj se nalazi most uz obilaznicu Osijek.



Slika 6. Primjer analize lokacije potencijalnog zadržavanja ledenih santi u ledohodu

ZAKLJUČAK

Unatoč statistički manjoj pojavnosti razdoblja ledohoda i ledostaja na donjoj Dravi u posljednje vrijeme, ne smiju se zanemariti potencijalne mogućnosti posljedica pojave leda na vodotoku koje mogu uzrokovati ledene poplave, što je posebno nepovoljno uz veće gradske aglomeracije. Pojave ledostaja 2012. i 2017. godine ukazuju na navedenu tvrdnju.

Upravljanje vodotokom i vodnim tijelom, posebice u hidromorfološkom pogledu kao jednom od parametara vodotoka, nužan je preduvjet za osiguranje održivih uvjeta pronosa leda u vodotoku, pri čemu je od velike važnosti sagledati u jednakom težinskom odnosu sve hidromorfološke faktore koji mogu negativno utjecati na sigurnost i moguće uzroke poplava.

Zanemarivanje održavanja vodotoka u cilju održavanja protočnosti može imati velike negativne posljedice. U ovom radu se kao jedna od potencijalnih posljedica neadekvatnog hidromorfološkog održavanja vodotoka zasebno analizira mogućnost pojavnosti ledostaja i uzročno ledenih poplava radi nepovoljnih uvjeta tih parametara. Iskustva drugih zemalja (primjeri ledenih poplava Budimpešte iz 1838. i 1956. godine) nas upućuju da je potrebno dugotrajno stalno održavanje uvjeta prohodnosti leda u cilju smanjenja rizika od ledenih poplava i prevencije od njih. Posljedice ledenih poplava su daleko najteže posljedice od svih vrsta poplava.

LITERATURA

- [1] *Studija plovnosti i uređenosti r. Drave km 0,0 - 70,2*, Javno vodoprivredno poduzeće, "Hrvatska vodoprivreda" Zagreb - Organizacijska jedinica Osijek, Osijek, 1993. godina.
- [2] *Report on the ice event 2017 in the Danube River Basin*, ICPDR, https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/nodes/documents/report_ice_event_2017_lowres.pdf.
- [3] *Hidrografski atlas rijeke Drave od r.km 0 do r.km 70*, Geodetski zavod d.d. Osijek za naručitelja Hrvatske vode, 2010. godina.
- [4] *Hidrografske snimke korita rijeke Drave na dionici rkm 23. - 35.*, Agencija za vodne putove, 2018. godina.
- [5] *Podloga za izradu elaborata zaštite okoliša rizika od ledenih poplava*, Hidroing Osijek, 2018. godina.

AUTOR

Zdenko Tadić, dipl. inž. građ. ^a

^a Hidroing Osijek, Tadije Smičiklase 1, Osijek, 31000, Hrvatska, zdenko.tadic@hidroing-os.hr



MORFODINAMIČKE ANALIZE VARIJANTNIH RJEŠENJA UREĐENJA UŠĆA RIJEKE DRAVE

Gordon Gilja, Dora Jelić, Neven Kuspilić

SAŽETAK: Ušće rijeke Drave u Dunav karakteriziraju specifični morfodinamički procesi nastali kao posljedica položaja ušća na unutarnjoj, konveksnoj obali te znatno većih protoka Dunava od onih rijeke Drave. Na desnoj obali Dunava neposredno uzvodno od ušća znatnim taloženjem nanosa formiran je pješčani sprud koji migracijom tijekom velikih voda Dunava zadire u korito Drave. U ovom radu prikazane su analize morfoloških promjena ušća pomoću združenog 2D numeričkog modela tečenja/pronosa nanosa, povijesnih podataka o morfologiji korita te podataka o pronosu nanosa i ADCP mjerenja profila brzine. Cilj rada je kvalitativno procijeniti doprinos uređenja ušća rijeke Drave u svrhu ostvarivanja dugoročno stabilnog režima nanosa i omogućavanja plovidbe u uvjetima male vode. Za potrebe morfodinamičke analize definirano je pet varijantnih rješenja regulacijskih građevina različitog tipa i geometrije te analiziran utjecaj svakog od njih na režim voda i nanosa.

KLJUČNE RIJEČI: rijeka Drava, ušće, regulacijske građevine, koritiformirajući nanos, ADCP

MORPHODYNAMIC ANALYSES OF THE VARIANT RIVER TRAINING SOLUTIONS FOR THE DRAVA CONFLUENCE

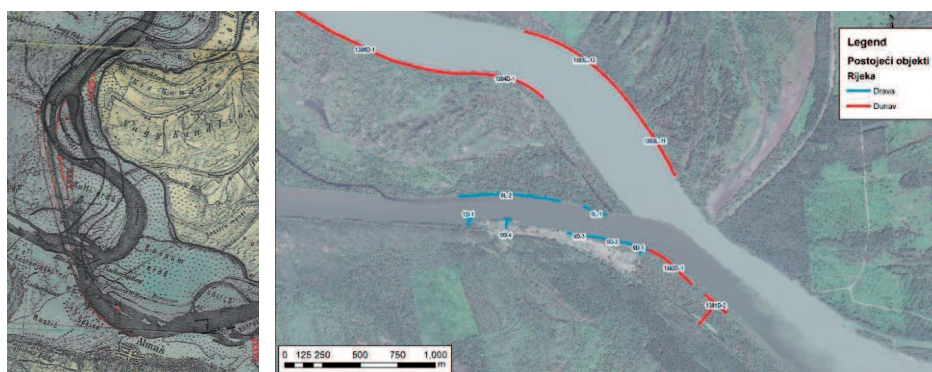
ABSTRACT: The Drava and Danube confluence is characterized by specific morphodynamic processes resulting from the position of the river mouth on the inner, convex bank and the significantly higher Danube discharges than those of the Drava. On the Danube's right bank, immediately upstream of the confluence, significant depositing of sediment has formed a sandbar that migrates during the Danube flood events directly into the Drava riverbed. The paper presents the analyses of morphological changes at the confluence using a combination of a 2D numerical model of flow/sediment transport, historical data on the riverbed morphology and sediment transfer data as well as the ADCP measured velocity profiles. The aim of the paper is to perform a qualitative assessment of the contribution of the Drava River training to achieving a long-term stability of the sediment regime and to facilitating navigation in low water level conditions. For the purposes of the morphodynamic analysis, five variant solutions for river training structures of different types and geometry were defined and the impact of each of these solutions on the water

and sediment regimes was analysed.

KEYWORDS: Drava River, confluence, river training structures, bedload, ADCP

1. UVOD

Međunarodna komisija za zaštitu Dunava provela je detaljnu analizu karakteristika sliva Dunava u skladu s člankom 5. Okvirne direktive EU-a o vodama na temelju koje je prepoznat rizik nemogućnosti ispunjavanja okolišnih ciljeva duž cijelog toka Dunava (ICPDR, 2005). Kao jedan od glavnih uzroka identificiran je režim nanosa, tj. posljedice pritiska uzrokovanih hidromorfološkim promjenama (Liska, 2008). Prvo presijecanje meandra Drave izvedeno je 1805. godine kod Bijelog Brda (Bognar, 2008). Do 1846. izvedena su i ostala presijecanja meandara, čime se znatno skratio dravski plovni put te je duljina današnje dionice od Osijeka do ušća u Dunav 12 km kraća u odnosu na 1784. godinu (Vujasinović, 2008). Dionica rijeke Drave od Osijeka do ušća je pod znatnim usporom Dunava, čiji protoci dosežu i peterostruko veće vrijednosti od onih rijeke Drave te tako u većem dijelu godine smanjuju protočnost njenog korita i brzinu toka što pogoduje intenzivnijem taloženju koritiformirajućeg nanosa. Ušće rijeke Drave u Dunav karakteriziraju specifični morfološki procesi nastali kao posljedica položaja ušća na unutarnjoj, konveksnoj obali te znatno većih protoka Dunava od onih rijeke Drave. Neposredno uzvodno od ušća Drave dionica Dunava je ispravljena nakon izlaska iz lijeve krivine te je povijesno podložna značajnim morfodinamičkim promjenama. Veći regulacijski radovi na Dunavu izvode se u razdoblju od 1880. do 1914. godine, a jednim od njih, presjekom meandra Srebrnica (1890. - 1891. i 1894.), oblikovano je i današnje ušće Drave na rkm 1384 (slika 1 lijevo). Do tada su Drava i Dunav na ušću zatvarale kut od 180° , što što je rezultiralo pojavom sprudova i ada koje su onemogućavali plovidbu (Kálmán, 1952). Nastavak značajnijih regulacijskih radova na dionici ušća slijedio je u razdoblju od 1971. do 1976. godine kada su izvedene paralelna građevina s traverzom, obaloutvrda i sustav pera na desnoj obali te obaloutvrda i pera na lijevoj obali (slika 1 desno) te upisane u Katastar vodograđevina (Hidroing d.o.o. i drugi, 2016; Vodoprivreda Osijek, 1986).

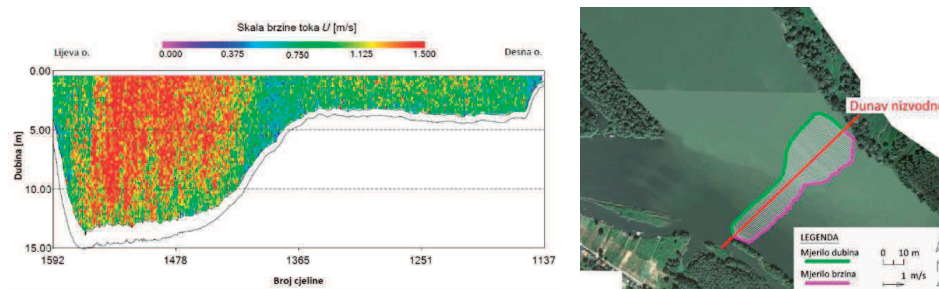


Slika 1. Plan regulacije Dunava iz 1894. g. (lijevo); pregledna situacija postojećih građevina (desno) (Hidroing d.o.o. i drugi, 2016)

Utjecaj navedenih zahvata povećao je erozivni kapacitet toka te izmijenio dinamiku režima voda i nanosa, što je posebno istaknuto na desnoj obali Dunava neposredno uzvodno od ušća gdje je uslijed znatnog taloženja nanosa na konveksnoj obali formiran pješčani sprud. Ovaj sprud migracijom za vrijeme velikih voda Dunava zadire u korito Drave, uzrokujući izdizanje korita na široj dionici ušća te posljedično probleme s plovnošću tj. osiguravanjem gabarita plovnog puta. Cilj ovog rada je analizirati potencijalna varijantna rješenja regulacije korita rijeke Drave na njenom ušću u svrhu osiguranja dugoročne stabilnosti režima nanosa koji neće ometati odvijanje plovidbe u uvjetima male vode. Valorizacija varijantnih rješenja provedena je pomoću združenog 2D hidrodinamičkog modela tečenja i pronosa nanosa.

2. METODOLOGIJA

Za potrebe uspostavljanja hidrodinamičkog modela izvedena su geodetsko-hidrografska mjerenja na temelju kojih je definirana numerička domena modela, batimetrija i rubni uvjeti te je provedeno uzorkovanje materijala iz korita Dunava i Drave kojim su opisane karakteristike vučenog i suspendiranog nanosa. Provedena geodetsko-hidrografska mjerenja obuhvaćala su snimanje geometrije poprečnih profila, profila brzine toka, protoka, granulometrijskog sastava korita te u konačnici obrade podataka mjerenja uz stalno praćenje promjena na snimljenim poprečnim profilima. Mjerenja korištena u ovom radu provedena su u razdoblju od 2014. do 2017. godine za potrebe projekata Konceptijsko rješenje poboljšanja uvjeta plovnosti rijeke Drave od ušća do luke Osijek (Hidroing d.o.o. i drugi, 2015) i Elaborata praćenja morfoloških promjena i tehničkog rješenja osiguranja plovnosti na ušću rijeke Drave u rijeku Dunav (Hidroing d.o.o. i drugi, 2016) koje je Građevinski fakultet u Zagrebu (zavod za hidrotehniku) izradio u suradnji s tvrtkom Hidroing d.o.o. iz Osijeka.



Slika 2. Profil trenutne brzine snimljen ADCP uređajem (lijevo); prevaljeni profil brzine i dubine nakon obrade (desno) u uvjetima srednje vode na ušću

Model postojećeg stanja je definiran na način da obuhvaća dionicu rijeke Drave i rijeke Dunava oko ušća, s definiranim rubnim uvjetima dovoljno udaljenim od njega da dođe do numeričke stabilizacije proračunskih parametara na samoj lokaciji ušća (oko 1 km od svih rubnih uvjeta). Uspostava modela postojećeg stanja omogućava kvantifikaciju hidrauličkih parametara koji su posljedica interakcije trenutnog režima voda i nanosa s morfologijom korita ušća. Za kalibraciju modela korišteni su podaci o polju brzina

prikupljeni ADCP mjerenjem i obrađeni softverom razvijenim na Građevinskom fakultetu koji omogućuje prikaz prevaljenih brzina toka usrednjenim po vertikalni vodnog stupca i diskretiziranim u prostoru s odabranom razlučivošću (slika 2).

Na temelju podataka s vodomjernih postaja definirani su mjerodavni hidrološki događaji koji odražavaju karakteristične uvjete režima voda: protok punog korita Q_{BF} , protok srednje vode Q_{SV} i protok niskog plovnog vodostaja Q_{NPV} . Protok punog korita je prepoznat kao pokretač najvećih morfoloških promjena u koritu, protok srednje vode predstavlja prosječne uvjete režima voda kroz dugi niz godina, a protok niskog plovnog vodostaja predstavlja granične uvjete za plovidbu. Navedeni protoci izračunati su analizom krivulja trajanja protoka i vodostaja s vodomjernih postaja VP Aljmaš na Dunavu i VP Belišće na rijeci Dravi. Protoci Drave koji odgovaraju gore navedenim karakterističnim hidrološkim događajima su 1.500 m³/s, 552 m³/s i 296 m³/s te Dunava 3.330 m³/s, 2.345 m³/s i 1.500 m³/s za protok punog korita, srednje vode i niskog plovnog vodostaja. Parovi protoka korišteni za numeričke simulacije pretpostavljali su istovremenu pojavu protoka karakterističnih događaja na obje rijeke, bez obzira na vjerojatnost pojave takvog događaja. Ovo je naročito važno pri niskom plovnog vodostaju jer on predstavlja najnepovoljniji događaj s aspekta korištenja vodotoka za plovidbu. Pripadni vodostaj za navedene rubne uvjete izračunat je korištenjem konsumpcijske krivulje s VP Aljmaš, a verificiran korištenjem konsumpcijske krivulje na VP Osijek. Uzevši u obzir da se protoci na VP Osijek ne mjere kontinuirano, Građevinski fakultet je iskoristio vlastitu bazu podataka koja se sastoji od 68 mjerenja protoka za izračun funkcije najmanjih protoka i vodostaja kako bi se odredila konsumpcijska krivulja za VP Osijek bez utjecaja uspora.

Cjelovito proučavanje promjena u koritu vezano je osim uz režim voda i uz režim nanosa te sastav materijala korita i njegove geomehaničke karakteristike. Najbliža lokacija na kojoj se prati pronos suspendiranog nanosa rijeke Drave je VP D. Miholjac s koje preuzeti podaci o pronosu nanosa i zavisnosti pronosa suspendiranog nanosa i protoka, a dostupni su u prethodno provedenim istraživanjima (Gilja i drugi, 2009; Kuspilić i drugi, 2015). Pronos suspendiranog nanosa prati dinamiku režima voda, najveći je u proljeće (svibanj i lipanj), a najmanji tijekom ljeta i zime (Bognar, 2008). Za potrebe ovog istraživanja uzorkovan je materijal vučenog i suspendiranog nanosa na više lokacija na predmetnom području. Iz granulometrijskih krivulja uočava se da je suspendirani nanos sastavljen pretežito od srednje do sitnozrnatog pijeska. Vučeni nanos se sastoji isključivo od pijeska, s uniformnom distribucijom oko $d_{50} = 0,3$ mm.

Za potrebe morfodinamičke analize režima voda i nanosa definirano je šest varijantnih rješenja regulacijskih građevina različitog tipa i geometrije, koja su predložena uzimajući u obzir podatke prikupljene terenskim mjerenjima. U analizi su razmatrana sljedeća varijantna rješenja: „ne činiti ništa“ (*var0*), „kontinuirano čišćenje“ (*var1*), „obaloutvrda na lijevoj obali“ (*var2*), „obaloutvrda na desnoj obali“ (*var3*), „Chevrnsko pero“ (*var4*) i „deklinatorno pero“ (*var5*). Varijantno rješenje „ne činiti ništa“ podrazumijeva izostanak intervencije bilo koje vrste na lokaciji ušća, tj. u suštini predstavlja prirodni morfološki razvoj korita pod djelovanjem postojećeg režima voda i nanosa Drave i Dunava. Varijantno rješenje „kontinuirano čišćenje“ podrazumijeva produbljivanje korita predmetne dionice rijeke Drave unutar plovnog gabarita u duljini od oko 1.500 m od ušća uzvodno, širine 50 m. Varijanta „obaloutvrda na lijevoj obali“ podrazumijeva izgradnju obaloutvrde koja bi omogućila koncentraciju toka rijeke Drave uz lijevu obalu, pri

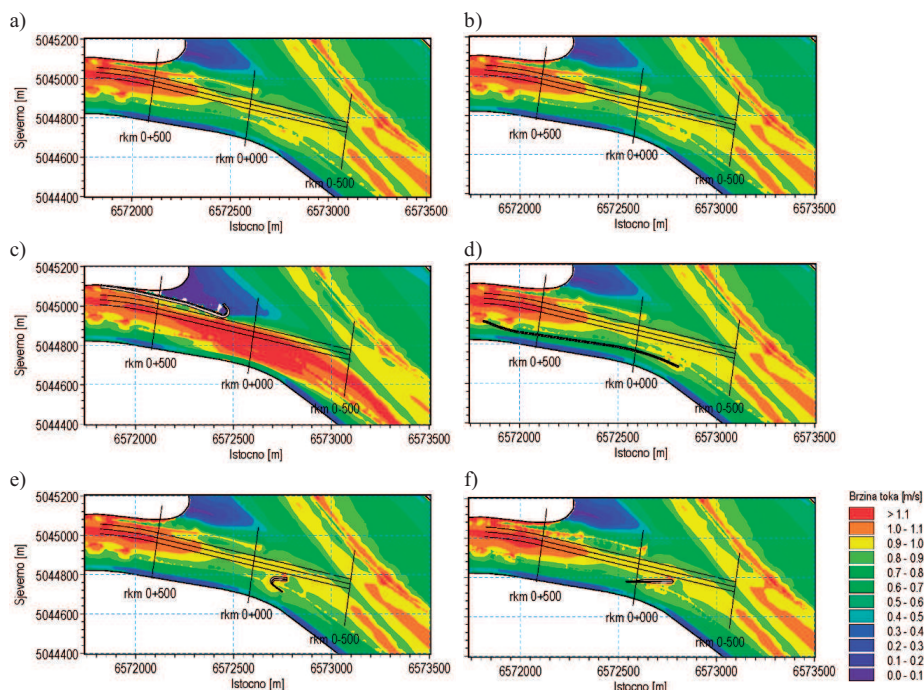
uvjetima velikih voda kada dolazi do značajnih morfoloških promjena u koritu. Varijanta „obaloutvrda na desnoj obali“ podrazumijeva dogradnju postojećeg T-pera i obaloutvrde na desnoj obali čime bi se onemogućilo tečenje u rukavcu u uvjetima nižim os srednje vode te tako povećala brzina toka Drave na samom ušću. Ova varijanta, kao i prethodna, podrazumijeva izgradnju obaloutvrde na kotu 80,0 m n. m. od lomljenog kamena u pokosu 1:2. Varijanta „Chevrnsko pero“ podrazumijeva izgradnju pera na ušću čija je funkcija lokalno povećati brzinu toka. Za razliku od klasičnih pera, chevronska pera nisu ukorijenjena u obalu, već su neukorijenjeni kameni nabačaj tlocrtnog oblika slova „V“ ili slova „U“ s vrhom orijentiranim uzvodno. Varijanta „deklinatorno pero“ je varijantno rješenje koje podrazumijeva izgradnju deklinatornog pera uz desnu obalu Drave na ušću čija je konstrukcija identična je kao i kod klasičnih pera izuzev veze s obalom - deklinatorna pera su predviđena bez ukorjenjivanja uz obalu. Primjena ovakvih, kao i Chevronskih pera, predstavlja primjer dobre prakse ekološkog riječnog inženjerstva je ona dopuštaju strujanje i u području između pera i bliže obale, istovremeno stvarajući sjenu toka nizvodno u kojoj je brzina toka zanemariva.

3. REZULTATI

Analiziran je utjecaj svakog varijantnog rješenja na režim voda i nanosa koristeći rezultate hidrodinamičkog modela (polje brzine i polje brzine morfoloških promjena) pri tri karakteristična hidrološka događaja. U ovom poglavlju izdvojeni su grafički prikazi rezultata polja brzine i rezultata brzine morfoloških promjena za uvjete punog korita Q_{BF} što predstavlja karakteristični događaj režima voda i nanosa pri kojem dolazi do najizraženijih morfoloških promjena korita. Polje brzine ocijenjeno je usporedbom promjene intenziteta tečenja unutar plovnog puta gdje je poželjno povećanje brzine u odnosu na postojeće stanje. Morfološke promjene kvantificirane su koristeći varijablu brzina morfoloških promjena koja predstavlja potencijal za eroziju i taloženje nanosa izražene preko promjene razine korita (m/dan).

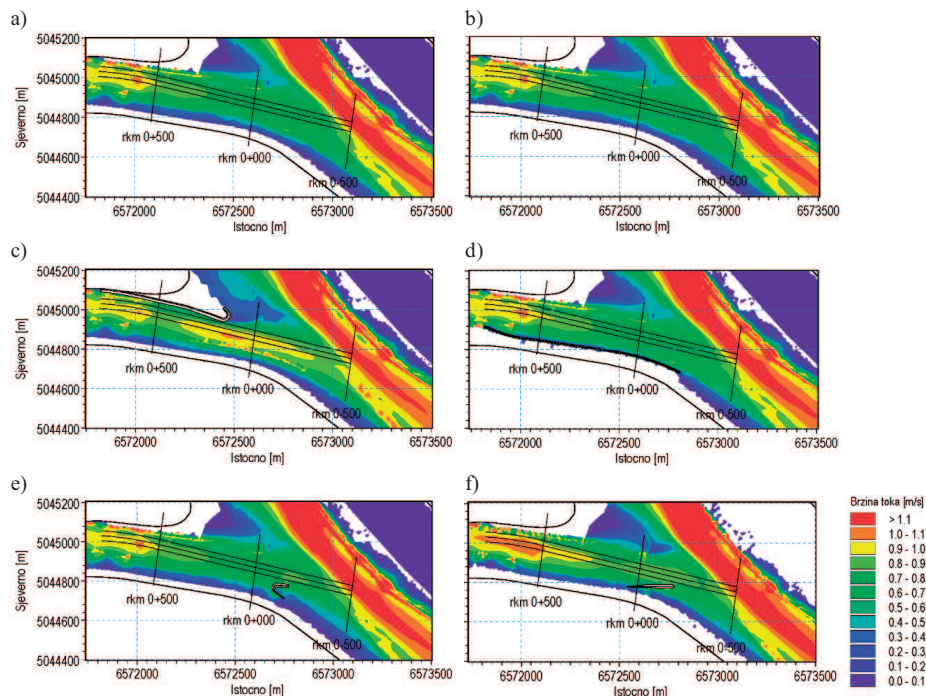
3.1. Rezultati polja brzine

Promatrajući polje brzine toka po plovnom putu za Q_{BF} vidljivo je da nema značajnijih razlika između pojedinih varijantnih rješenja, izuzev varijante *var2* (slika 3c). Za većinu varijanti brzina toka postupno pada od rkm 0+500 do rkm 0+200, a zatim je konstantna sve do glavnog korita Dunava (rkm 0-500). Odstupanje *var2* u odnosu na ostale je to što dolazi do povećanja brzine toka uz građevinu i nizvodno (od rkm 0+400 do 0-300) gdje je brzina konstantna i približna onoj kod uzvodnih građevina (T-pera od rkm 0+930 do rkm 1+180).



Slika 3. Srednja brzina toka za Q_{BF} : a) var0; b) var1; c) var2; d) var3; e) var4; f) var5

Promatrajući polje srednje brzine toka za protok Q_{SV} (slika 4) vidljivo je da kao i u slučaju Q_{BF} nema značajnijih razlika između pojedinih varijantnih rješenja osim kod *var2*. Brzina toka postupno pada od rkm 0+500 do 0+200, a zatim je konstantna sve do rkm 0-300 te ponovno dolazi do porasta brzine unutar glavnog korita Dunava (do rkm 0-500). Odstupanje između ostalih varijantnih rješenja je vidljivo nizvodno od rkm 0-050, gdje dolazi do izražaja utjecaj izgradnje pera u varijantama *var4* i *var5* na polje brzine te se za njih srednja brzina toka poklapa s *var2* od rkm 0-200 nizvodno.



Slika 4. Srednja brzina toka za Q_{NPV} : a) var0; b) var1; c) var2; d) var3; e) var4; f) var5

Za protok niskog plovnog vodostaja Q_{NPV} vidljivo je da, suprotno od dva prethodna karakteristična hidrološka događaja, postoje značajnije razlike između pojedinih varijantnih rješenja. Brzina toka za sve varijante izuzev *var2* postupno pada od rkm 0+500 do rkm 0+200, zatim raste do rkm 0+000. Nizvodno od rkm 0+000 brzina toka je konstantna do spoja s glavnim koritom Dunava za sve varijante osim varijanti s perima, *var4* i *var5*, kod kojih dolazi do postupnog porasta brzine toka. Za varijantu *var2* brzina toka je konstantna duž cijele dionice od rkm 0+500 do 0-400.

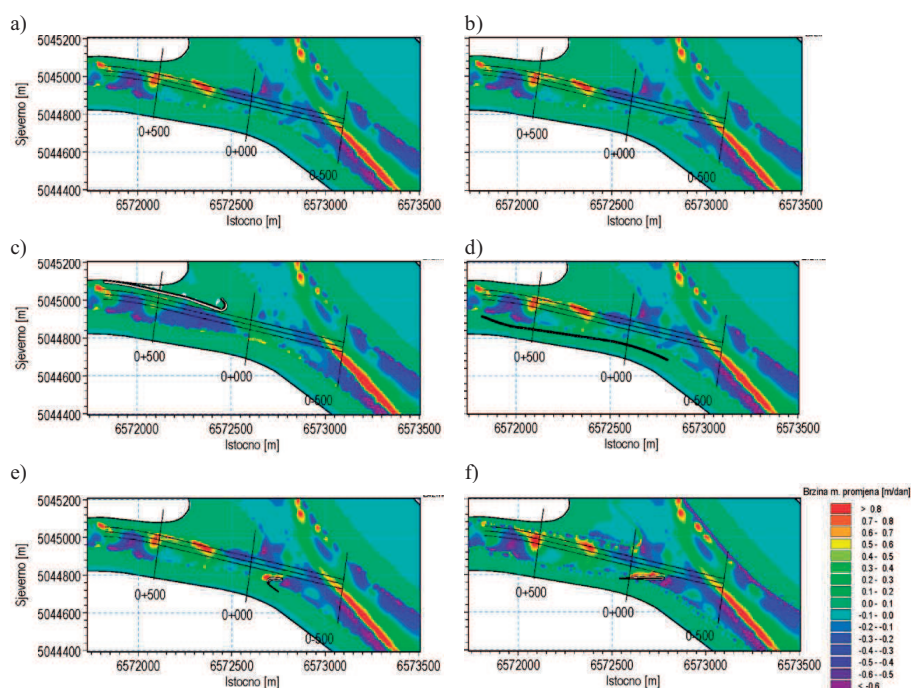
Za *var1* pri svim protocima nema značajnijih promjena u odnosu na postojeće stanje za uvjete istog hidrološkog događaja. Za varijantno rješenje *var2* dolazi do značajnog povećanja brzine toka Drave od rkm 0+500 do rkm 0-500, za cca 20 % pri svim protocima. Za *var3* pri svim protocima nema značajnijih promjena u odnosu na postojeće stanje, vidljivo je tek lokalno smanjenje brzine toka rijeke Drave uz desnu obalu nizvodno od ušća u Dunav, u sjeni građevine. Za varijante s perima, *var4* i *var5* pri svim protocima vidljivo je lokalno smanjenje brzine toka u sjeni pera te smanjenje brzine toka Drave uz njenu desnu obalu nakon ušća u Dunav.

3.2. Rezultati brzine morfoloških promjena

Temeljem analize brzine morfoloških promjena verificirani su rubni uvjeti modela u pogledu koncentracije nanosa, na način da su uspoređeni rezultati varijante „ne činiti ništa“ (*var0*) s postojećim promjenama evidentiranim na ušću. Vidljivo je da dolazi do erozije korita Drave po cijelom profilu na dionici od rkm 1+000 do rkm 0+600, gdje je

identificirano ubrzanje toka uvjetovano izgrađenim T-perima na desnoj obali. Erodirani nanos se taloži u plovnom putu na potezu od rkm 0+600 do rkm 0+200. Na samoj lokaciji ušća korito Drave se djelomično zasipa a djelomično erodira, što je konzistentno s prisutnim ograničenjima u plovidbi u stvarnosti.

Polje brzine morfoloških promjena za protok punog korita Q_{BF} (slika 5) pokazuje sličan trend onom polja brzine: razlike između pojedinih varijantnih rješenja su zanemarive, izuzev varijante *var2* (slika 5c). Od rkm 0+500 do rkm 0+150 pokazuje se trend sedimentacije unutar plovnog gabarita, dok se nizvodno do rkm 0-400 pokazuje trend erozije korita, pri čemu je erozija znatno manje izražena od sedimentacije. Razlike između varijantnih rješenja su vidljive samo na potezu od rkm 0-050 do rkm 0-300 gdje varijante u kojima se predviđa izgradnja građevina pokazuju poboljšanje u odnosu na varijantu kontinuiranog čišćenja plovnog puta (*var1*, slika 5b). Varijanta *var2* pokazuje trend erozije korita duž cijele dionice, izuzev kratkog poteza na samom ušću od rkm 0+050 do rkm 0-050. Podudaranje varijante *var2* i ostalih je vidljivo tek nizvodno od ušća, od rkm 0-200 nadalje.



Slika 5. Brzina morf. promjena za Q_{BF} : a) *var0*; b) *var1*; c) *var2*; d) *var3*; e) *var4*; f) *var5*

Za varijantno rješenje *var1* vidljivo je da dolazi do erozije korita Drave po cijelom profilu na dionici od rkm 1+000 do rkm 0+600. Erodirani nanos se taloži u plovnom putu na potezu od rkm 0+500 do rkm 0+200. Na samoj lokaciji ušća korito Drave se djelomično zasipa a djelomično erodira, no unutar gabarita plovnog puta je sedimentacija izraženija od erozije. Izgradnjom obaloutvrde u *var2* inicirana je erozija korita Drave cijelom

širinom na dionici rkm 0+400 do rkm 0+100. Erodirani nanos se taloži neposredno nizvodno od završetka obaloutvrde na rkm 0+000 također cijelom širinom korita, dok je erozija prisutna od rkm 0-100 do rkm 0-500. Za varijantno rješenje *var3* vidljivo je da se trend morfoloških promjena poklapa s onim u varijantnom rješenju „ne činiti ništa“ (*var0*) jer je građevina pozicionirana uz desnu obalu Drave gdje je tok stabilan i nema izražene fluktuacije u jačini i smjeru polja brzine koje bi uzrokovale morfološke promjene. Za varijantu izvedbe Chevronskeg pera (*var4*) dolazi do morfoloških promjena koje se samo lokalno u blizini pera razlikuju od *var0*. Na samoj lokaciji ušća korito Drave se djelomično zasipa a djelomično erodira. Erozija je prisutna neposredno uz uzvodni rub Chevronskeg pera, dok se taloženje odvija na njegovom uzvodnom pokosu i obali te neposredno nizvodno od pera. U sjeni pera dolazi do erozije korita uslijed prelijevanja preko tijela pera i pojave hidrauličkog skoka. Za varijantu izvedbe deklinatornog pera (*var5*) erozija je prisutna neposredno uz uzvodni rub pera, dok se taloženje odvija na njegovom uzvodnom pokosu i obali te neposredno nizvodno od pera. U sjeni pera dolazi do erozije korita uslijed prelijevanja preko tijela građevine i pojave hidrauličkog skoka. Nakon ušća u Dunav matica toka Drave je odbačena uz desnu obalu uslijed čega dolazi do povećanih brzina i erozije korita uz obalu.

Za sve analizirane varijante pri protocima Q_{SV} i Q_{NPV} dolazi do erozije korita Drave po cijelom profilu na dionici od rkm 1+000 do rkm 0+600 koje se nalazi uzvodno od promatrane dionice. Na ovom potezu izgrađena su pera u koja sužavaju protočni profil i na taj način povećavaju brzinu toka uz lijevu obalu gdje dolazi do erozije dna korita. Erodirani nanos iz ovog poteza taloži se neposredno nizvodno od pera kada se povećava protočni profil: od rkm 0+500 do rkm 0+200, s tim da se glavnina nanosa taloži oko rkm 0+500. Jedino odstupanje od ovog trenda primijećeno je kod varijante *var2* i protoku Q_{NPV} pri čemu se erodirani nanos taloži neposredno nizvodno od rkm 0+600 do rkm 0+500. Izgradnjom obaloutvrde varijantom *var2* pri protoku Q_{NPV} inicirana je erozija korita Drave cijelom širinom na dionici rkm 0+400 do rkm 0+200. Erodirani nanos se taloži neposredno nizvodno od završetka obaloutvrde na od rkm 0+200 do rkm 0+000 također cijelom širinom korita. Za sve analizirane varijante na samoj lokaciji ušća korito Drave se djelomično zasipa a djelomično erodira. Na spoju dvaju rijeka, u području smanjene brzine toka dolazi do sedimentacije te nastanka „sedla“ na kontaktnoj plohi rijeka, dok se nizvodno od ušća Drave korito Dunava vraća u ravnotežno stanje i na njemu nije uočen trend značajnijih promjena. Pri varijantama *var0*, *var1*, *var2* i *var3* i protocima Q_{SV} i Q_{NPV} na samoj lokaciji ušća korito Drave se djelomično zasipa a djelomično erodira, a u gabaritu plovnog puta je izraženo taloženje. Pri varijantama *var4* i *var5* i protocima Q_{SV} i Q_{NPV} na samoj lokaciji ušća, od rkm 0+200 do rkm 0-500 korito Drave se djelomično zasipa a djelomično erodira - u gabaritu plovnog puta je izraženija erozija a uz desnu obalu sedimentacija. Erozija je prisutna u gabaritu plovnog puta neposredno uz rub Chevronskeg/deklinatornog pera, dok se taloženje odvija na njegovom uzvodnom pokosu i obali. Nakon ušća u Dunav matica toka Drave je odbačena uz desnu obalu uslijed čega dolazi do povećanih brzina i erozije korita uz obalu.

Analiza režima voda i nanosa za predložena varijantna rješenja pokazala je da se promjene unutar gabarita plovnog puta uočene za varijante „kontinuirano čišćenje“ i „obaloutvrda na desnoj obali“ ne razlikuju značajno u odnosu na pasivnu varijantu „ne činiti ništa“. Kod varijante „kontinuirano čišćenje“ dolazi do izraženijeg taloženja unutar gabarita

plovnog puta zbog produbljivanja iskopom. Varijanta „obaloutvrda na desnoj obali“ nema značajnijeg utjecaja na režim voda i nanosa zbog svoje pozicije na desnoj obali gdje je tok Drave stabilan i ujednačen. Najveći utjecaj na plovni put imaju varijante „obaloutvrda na lijevoj obali“ i varijante „Chevrnsko pero“ i „deklinatorno pero“. Implementacijom varijante „obaloutvrda na lijevoj obali“ očekuje se povećanje brzine toka i erozije unutar gabarita plovnog puta na potezu od rkm 0+400 do rkm 0+000. Implementacijom varijanti „Chevrnsko pero“ ili „deklinatorno pero“ očekuje se povećanje brzine toka i erozije unutar gabarita plovnog puta na potezu od rkm 0+000 do rkm 0-400.

ZAKLJUČAK

Provedenom analizom pokazano je da trenutno održavanje gabarita plovnog puta varijantom „kontinuiranog čišćenja“ ima vrlo malen doprinos održavanju dubine plovnog puta te da ni u kombinaciji s postojećim regulacijskim građevinama ne zadovoljava tražene gabarite plovnog puta. Isto tako ovim pristupom nije moguće dugoročno osigurati uvjete sigurne plovidbe te on iziskuje učestale radove u samom koritu rijeke. Varijante izgradnje pojedinačnih regulacijskih građevina pokazuju lokalni doprinos održavanju tražene dubine plovnog gabarita, bez značajnijeg utjecaja na režim voda i nanosa na ušću. Evidentno je da se utjecaj na režim voda i nanosa na ušću Drave koji bi osigurao neometanu plovidbu u uvjetima malih voda ne može postići jednom građevinom, već je potrebno kombinirati utjecaj obaloutvrde na lijevoj obali za stabilizaciju poteza uzvodno od rkm 0+000 i pera nizvodno od rkm 0+000. Ukoliko se usvoji varijanta „ne činiti ništa“ ili „kontinuirano čišćenje“ potrebno je kontinuirano praćenje kretanja koritiformirajućeg nanosa na ušću u cilju produbljivanja razumijevanja utjecaja režima voda na morfološke promjene u postojećem stanju. Praćenje kretanja nanosa mora obuhvaćati mjerenje pronosa nanosa, njegovog sastava i trenutni profil brzine toka u vrijeme mjerenja nanosa te pokrivati cijeli raspon hidroloških događaja na ušću. Podatke je potrebno obraditi na način da se snimljenom trenutnom polju brzine pridruži izračunati pronos nanosa na temelju diskretnih mjerenja koncentracije u karakterističnim točkama profila.

LITERATURA

- [1] Bognar, A., (2008): *Geomorfološka obilježja korita rijeke Drave i njenog poloja u širem području naselja Križnica*, Hrvatski geografski glasnik, 70 (2), 49-71
- [2] Gilja, G., Bekić, D. & Oskoruš, D., (2009): *Processing of Suspended Sediment Concentration Measurements on Drava River*, 11th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering 181-191
- [3] Hidroing d.o.o. & Građevinski fakultet Zagreb, (2015): *Koncepcijsko rješenje poboljšanja uvjeta plovnosti rijeke Drave od ušća (rkm 0) do luke Osijek (rkm 12)*, Vukovar, Croatia
- [4] Hidroing d.o.o. & Građevinski fakultet Zagreb, (2016): *Elaborat praćenja morfoloških promjena i tehničkog rješenja osiguranja plovnosti na ušću rijeke Drave u rijeku Dunav*, Vukovar, Croatia
- [5] ICPDR, (2005): *The Danube River Basin District - Part A: Basin-wide overview*, Vienna, Austria

- [6] Kálmán, T., (1952): *A Duna és szabályozása (The Danube and its regulation)*, Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary, 454
- [7] Kuspilić, N. & Gilja, G., (2015): *Utjecaj regulacijske pregrade na talozenje suspendiranog nanosa*, 6. hrvatska konferencija o vodama - Hrvatske vode na investicijskom valu (D. Biondić, D. Holjević & M. Vizner), Hrvatske vode, 839-848
- [8] Liska, I., (2008): *Management of sediment quality and quantity in the Danube River Basin*, 5th International SedNet conference: Urban Sediment Management and Port Redevelopment & Sediment in River Basin Management Plans
- [9] Vodoprivreda Osijek, (1986): *Vodoprivredna osnova za vodno područje Drave i Dunava u SR Hrvatskoj: katastar vodograđevina na r. Dunav (km 1433 do 1295)*, Osijek, Croatia
- [10] Vujasinović, B., (2008): *Radovi na uređenju rijeke Drave do kraja 19. stoljeća*, Hrvatske vode, 64 238

AUTORI

doc. dr. sc. Gordon Gilja, dipl. ing. građ. ^a

Dora Jelić, mag. ing. aedif. ^b

prof. dr. sc. Neven Kuspilić, dipl. ing. građ. ^c

^a Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, ggilja@grad.hr

^b Institut IGH, Zavod za hidrotehniku, geotehniku i zaštitu okoliša, Janka Rakuše 1, Zagreb, 10000, Hrvatska, dora.jelic@igh.hr

^c Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, kuspa@grad.hr



R 2.13.

HIDROLOŠKO-HIDRAULIČKE ANALIZE PROBLEMATIKE ZAŠTITE OD POPLAVA GRADA OGULINA

**Diana Šustić, Zdenko Tadić, Branimir Barač,
Igor Tadić, Želimir Marojević**

SAŽETAK: Tok rijeke Dobre od izvora do poniranja u špiljski sustav Đulin ponor – špilja Medvedica naziva se Gornja Dobra. Karakteristike toka Gornje Dobre su izrazita bujičnost s naglim i velikim varijacijama protoka i volumena vodnih valova. Slivno područje nalazi se u području krša srednje do velike propusnosti s čestim pojavama vrtača na površini terena. Ovisno o razinama podzemnih voda rijeka naizmjenično gubi ili dobiva dio voda iz okolnog krškog vodonosnika. Grad Ogulin, smješten iznad špiljskog sustava Đulin ponor – špilja Medvedica, godinama je izložen poplavama. Predmet ove hidrološko-hidrauličke analize je tok Gornje Dobre i mogućnosti zaštite grada Ogulina od učestalih poplava. Proračun poplavnih razina na području grada Ogulina proračunat je pomoću hidrauličkog modela, koji je kalibriran na zabilježenim poplavama iz rujna i prosinca 2017. godine. Hidraulički model je koncipiran na način da obuhvaća područje od vodomjerne postaje Turkovići do grada Ogulina, uzimajući u obzir protoke na brani Bukovnik i kroz Đulin ponor. Područje grada Ogulina, zbog svog specifičnog položaja, izlivanje voda kroz ponore na području grada, definirano je volumenskom krivuljom (funkcionalni odnos volumena i razine vode), dobivenom iz modela terena. Pomoću hidrauličkog modela analizirani su povijesni poplavni događaji i proračunate poplavne razine za slučaj da je izgrađena retencija Ogulin i očišćen Đulin ponor.

KLJUČNE RIJEČI: Gornja Dobra, Ogulin, hidrološka analiza, hidrauličko modeliranje

HYDROLOGICAL AND HYDRAULIC ANALYSES OF ISSUES RELATED TO FLOOD PROTECTION OF THE TOWN OGULIN

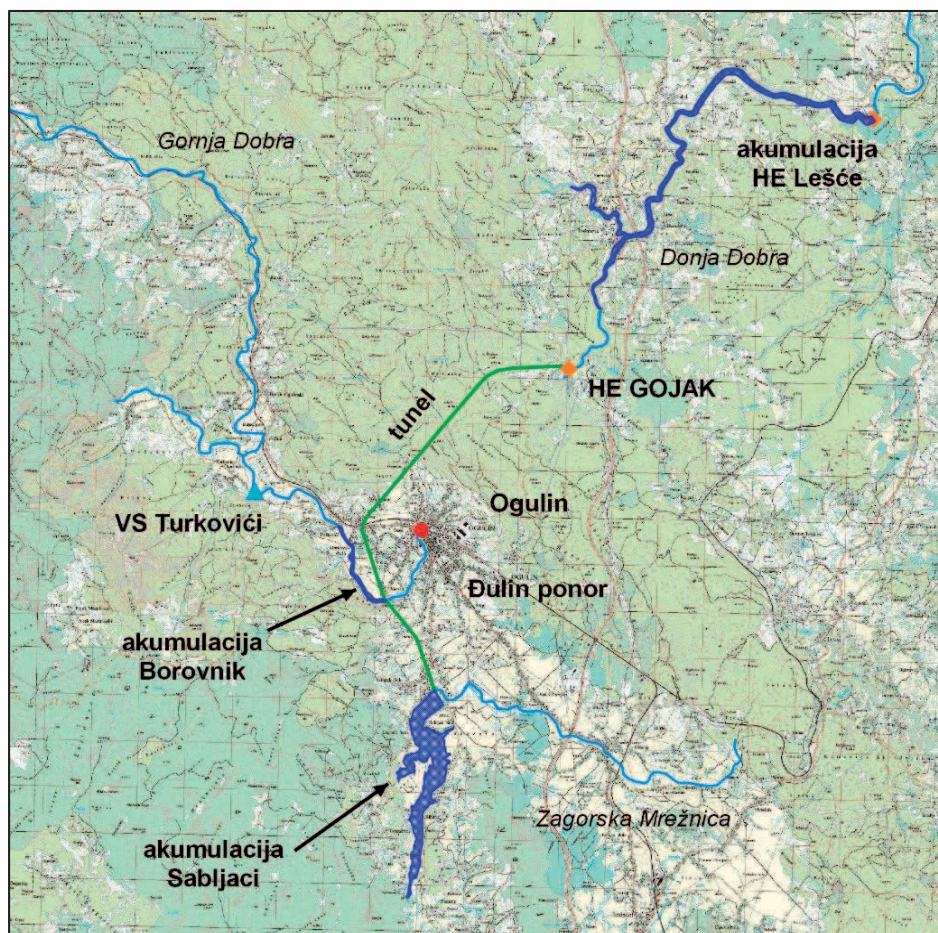
ABSTRACT: The course of the Dobra River from its source to its sinking into the cave system “Đula sinkhole – Medvedica cave” is called the Upper Dobra. The Upper Dobra flow has a marked torrential character, with sudden, large variations of discharge and water wave volume. Its river basin is located in the karst with medium to high permeability and frequent appearances of sinkholes on the terrain surface. Depending on groundwater levels, the river alternately loses or gains a part of its waters from a nearby karst aquifer. The town Ogulin, situated above the cave system “Đula sinkhole – Medvedica cave”,

has been exposed to floods for years. The subject of these hydrological and hydraulic analyses is the Upper Dobra flow and the possibilities of protecting the town Ogulin from frequent floods. The flood levels in the area of the town Ogulin were calculated using a hydraulic model, which was calibrated based on the recorded floods in September and December 2017. The hydraulic model was conceived in a manner to include the area from the hydrological station Turkovići to the town Ogulin while taking into account the discharges at the dam Bukovnik and through the Đula sinkhole. The town Ogulin, due to its specific location i.e. water spilling over through sinkholes in the town area, was defined using a volume curve (functional relation between volume and water level) obtained from the terrain model. The hydraulic model was used for analysing historical flood events and calculating flood levels for a scenario in which the Ogulin retention basin is constructed and the Đula sinkhole is cleaned.

KEYWORDS: Upper Dobra River, Dobra, Ogulin, hydrological analysis, hydraulic modelling

1. UVOD

Tok rijeke Dobre od izvora do poniranja u špiljski sustav Đulin ponor – špilja Medvedica naziva se Gornja Dobra. Karakteristike toka Gornje Dobre su izrazita bujičnost s naglim i velikim varijacijama protoka i volumena vodnih valova. Slivno područje nalazi se u području krša srednje do velike propusnosti s čestim pojavama vrtača na površini terena. Ovisno o razinama podzemnih voda rijeka naizmjenično gubi ili dobiva dio voda iz okolnog krškog vodonosnika. Prosječne oborine na meteorološkoj postaji Ogulin za razdoblje 1949. – 2016. godina iznose 1.560 mm godišnje. Vodomjerne postaje na slivu Gornje Dobre su Moravice, Luke i Turkovići, od kojih je postaja Turkovići smještena cca 6,7 km uzvodno od Đulinog ponora. Krajem 1959. godine izgrađen je i pušten u rad vodno-gospodarski sustav HE Gojak. Vodno-gospodarski sustav HE Gojak sastoji se od brane i akumulacije Bukovnik na Gornjoj Dobri, uzvodno od Ogulina, brane i akumulacije Sabljaci na Zagorskoj Mrežnici, dovodnog, hidrotehničkog tunela koji vodu transportira od akumulacije Sabljaci preko akumulacije Bukovnik do HE Gojak.



Slika 1. Vodno-gospodarski sustav HE Gojak i grad Ogulin

2. PROBLEMATIKA POPLAVA NA PODRUČJU GRADA OGULINA

Grad Ogulin smješten iznad špiljskog sustava Đulin ponor – špilja Medvedica godinama je izložen brojnim poplavnim događajima. U proteklih dvadesetak godina poplave su se ponavljale 1998., 1999., 2005., 2010., 2013., 2016. i 2017. godine u rujnu i prosincu. Rijeka Dobra dotječe u grad Ogulin iz sjeverozapadnog smjera. Prva građevina na njenom toku je akumulacija Bukovnik smještena zapadno od grada Ogulina koja služi kao mjesto daljnjeg račvanja vode u dva moguća smjera:

- Prvi smjer odnosi se na hidrotehnički tunel od akumulacije Bukovnik prema hidroelektrani HE Gojak;
- Drugi smjer odnosi se na Đulin ponor – prirodni ponor Gornje Dobre u špiljski sustav Đula-Medvedica.

Brana i akumulacija Bukovnik - Akumulacijski bazen koji je stvoren izgradnjom brane Bukovnik ima maksimalni radni vodostaj na koti 320,15 m.n.m i za taj nivo maksimalni volumen 24.5000 m³. U akumulacijskom bazenu smještena je ulazna građevina kojom se **Ogulinska Dobra** zahvaća i neposredno iza zatvarača ulazne građevine spaja s tunelom koji dovodi vode Zagorske Mrežnice. Od tog spoja, vode Zagorske Mrežnice i Ogulinske Dobre tlačnim derivacijskim tunelom dovode se do vodne i zasunske komore na HE Gojak. Ukupna dužina tunela je 9.386 m, promjer 4,5 m, a propusna moć 50 m³/s.

Đulin ponor - Đulin ponor i špilja Medvedica predstavljaju prirodne odvodne kanale za vodu Gornje Dobre i njenih pritoka. Nalaze se ispod grada Ogulina i sa svojih 16.396 metara, koliko je do sada istraženo, je druga najdulja špilja u Hrvatskoj. Prva istraživanja špiljskog sustava počela su još 1926. godine, a intenzivnije se nastavljaju od 1984. do danas. Današnja istraživanja većinom su potaknuta rješavanjem problema začepljivanja ponora, a s time u vezi i poplavljanja dijelova grada Ogulina. Najvjerojatniji uzroci začepljivanja ponora su u neujednačenom dotoku voda u špiljski sustav i unošenju različitih, prirodnih i umjetnih materijala, velikih trupaca, granja odbačenih predmeta kod visoko vodnih događaja, koji zatvaraju prolaze unutar špiljskog sustava.

Grad Ogulin - Ogulin, grad iznad špiljskog sustava Medvedica, odnosno na prostoru koje se odlikuje krškom morfologijom sa svim pratećim pojavama. Na području grada prisutni su ponori i za vrijeme velikih dotoka Gornje Dobre, kada je špiljski sustav ispunjen vodom dolazi do izbijanja voda iz podzemlja na područje grada što uzrokuje poplavljanja naseljenih dijelova grada. Poplavljanju djelomično pridonose i začepljenja pojedinih podzemnih tokova.



Slika 2. Reljef područja grada Ogulina - prikaz ponora

3. HIDROLOŠKA ANALIZA

Hidrološki profil Turkovići na Gornjoj Dobri, nalazi se na lijevoj obali vodotoka Gornja Dobra, 300 m od mlina i pilane u Turkovićima (oko 6,7 km od Đulinog ponora). Vodomjerna postaja Turkovići opremljena je od 2004. godine limnigrafom s automatskom dojavom. Poplava Ogulina u srpnju 1999. godine pokrenula je niz mjerenja velikih voda na VP Turkovići. Izvršena su mjerenja protoka u vrijeme pojavljivanja velikih voda, uzimajući u obzir cijeli protočni profil. Rezultati mjerenja su realnije definirane protočne krivulje Gornje Dobre u profilu Turkovići u području velikih voda.

Za vodomjernu postaju Turkovići napravljena je statistička obrada maksimalnih protoka za niz godina od 1998. do 2017. Proračun protoka za razdoblje od 1998. do 2004. godine napravljen je temeljem protočne krivulje za 2004. godinu. Pored analize vjerojatnosti maksimalnih godišnjih protoka napravljena je i analiza maksimalnih volumena vodnih valova trajanja 3, 4 i 5 dana na temelju satnih podataka. Za svaku godinu su odabrani valovi koji u toj godini imaju maksimalni volumen. Za odabrane valove analizirana su vremena podizanja vodnog vala. Na temelju analiziranih maksimalnih protoka i maksimalnih volumena vodnih valova definirani su hidrogrami prema Goodrichu, gdje je vrijeme podizanja hidrograma, $t_p = 30$ sati, a baza hidrograma $4 t_p$, odnosno 120 sati.

$$Q(t) = y(t) \cdot Q_{max} \text{ [m}^3/\text{s]}$$

$$y(t) = 10^{-\frac{\lambda(1-x)^2}{x}}$$

gdje su:

Q_{max} [m ³ /s]	- vršni protok određene vjerojatnosti pojave
$\lambda = \frac{Q_{max} \cdot t_p}{V}$	- koeficijent oblika vodnog vala – definirani pomoću maksimalnih protoka i maksimalnog volumena
$x = \frac{t}{t_p}$	- relativno vrijeme (apscisa hidrograma)
$t_p = 30 \text{ sati}$	- vrijeme podizanja vodnog vala
$t_b = 4 \cdot t_p$ [sat]	- vrijeme baze vodnog vala

Tablica 1. Karakteristične vrijednosti hidrograma za različita povratna razdoblja

PR - godina	Q_{max} (m ³ /s)	V (10 ⁶ m ³)	λ
2	149,1	27,25	0,579
5	185,1	30,65	0,696
10	205,1	32,53	0,753
25	227,3	34,56	0,813
50	242,2	35,96	0,849
100	255,9	37,22	0,881
1000	296,1	40,87	0,968
10000	331,2	44,02	1,036

4. HIDRAULIČKI MODEL

Hidraulički model je koncipiran na način da obuhvaća područje od vodomjerne postaje Turkovići do grada Ogulina. U postojećem stanju vodni valovi s vodomjerne postaje Turkovići umanjuju se za protok na brani Bukovnik, 45 m³/s i nakon Bukovnika propagiraju se kroz korito Dobre do Đulinog ponora, dok se višak vode prelijeva u poplavno područje, grad Ogulin. Područje grada Ogulina, zbog svog specifičnog položaja, izlivanje vode kroz ponore na području grada, definirano je volumenskom krivuljom (funkcionalni odnos volumena i razine vode), dobivenom iz modela terena.

Hidrauličko modeliranje provedeno je pomoću programskog paketa HEC RAS 5.0.4. Izrađen je 1D nestacionarni hidraulički model. Geometrija hidrauličkog modela izrađena je na temelju geodetskog snimanja korita Gornje Dobre od Bukovnika do Đulinog ponora, u duljini od 2.095 m u ožujku 2018. godine.

Kalibracija hidrauličkog modela napravljena je temeljem dva zabilježena poplavna događaja, iz rujna i prosinca 2017. godine. Za ta dva poplava događaja raspolagalo se s vodnim valovima nakon brane Bukovnik (zahvata vode za HE Gojak) i obuhvatom poplave u gradu Ogulinu.

Parametar za kalibraciju je protočna krivulja Đulinog ponora u zatečenom stanju. Provedenim mjerenjima, 2002. godine, kapacitet Đulinog ponora dan je izrazom:

$$Q = K * \sqrt{(H - 273.9)}$$

pri čemu su

Q - protok kroz Đulin ponor (m³/s)

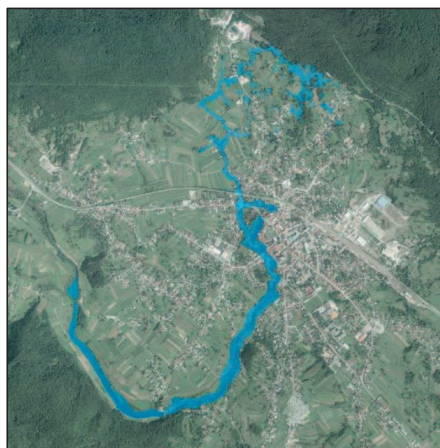
K - koeficijent kalibracije, mjerenjem 2002. god koef. Iznosi 13,45

H - razina vode u pred ponorskoj retenciji (m.n.m.)

Za poplavne događaje iz 2017. godine podaci o dotoku s brane Bukovnik dobiveni su od strane HEP-a, dok su podaci o obuhvatu poplava i hidrogramima vodnih valova dobiveni od strane Hrvatskih voda i grada Ogulina. Na temelju podatka o obuhvatu poplave i modela terena definirani su maksimalni nivoi vode za navedene poplave.



Slika 3. Obuhvat poplave, rujan 2017.

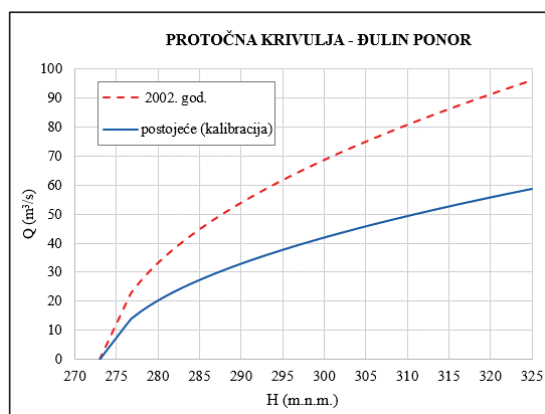


Slika 4. Obuhvat poplave, prosinac 2017.

Varijacijom koeficijenta K dobivena je protočna krivulja Đulinog ponora za zabilježene događaje, koja predstavljaju nizvodni rubni uvjet hidrauličkog modela. Najbolje podudaranje zabilježenih i izračunatih vodnih nivoa dobiveno je za vrijednost koeficijenta $K=8,2$. Usporedba zabilježenih i izračunatih vodnih nivoa dana je u sljedećoj tablici.

Tablica 2. Rezultati kalibracije protočne krivulje Đulinog ponora

Vodni val	H - zabilježeno (m.n.m.)	H – proračunato (m.n.m.)
16.-19.09.2017.	321.30	321.38
14.-18.12.2017.	319.50	319.35



Usporedbom protočnih krivulja Đulinog ponora vidi se znatno smanjenje protoka kroz špiljski sustav čiji su pretpostavljeni uzroci začepljenje uslijed onečišćenja unesenim naplavinama i morfološke promijene unutar samog prostora špilje izrazitog krškog karaktera.

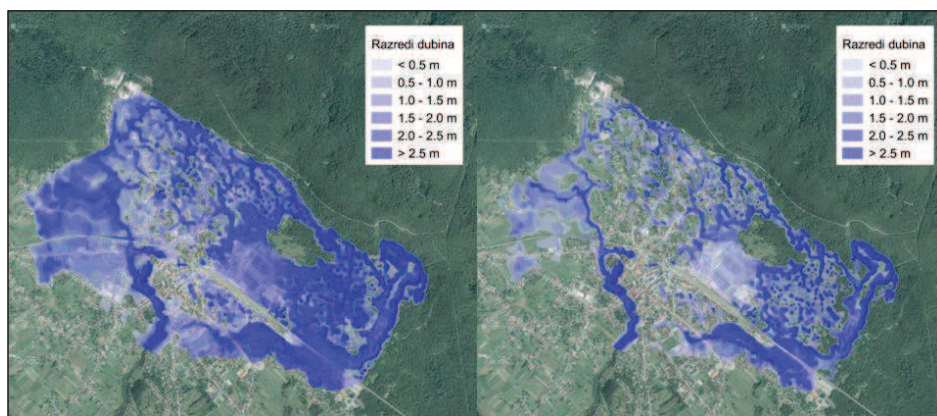
5. ZAŠTITA OD POPLAVA GRADA OGULINA

Zaštita grada Ogulina od poplava Gornjom Dobrom vrlo je specifična. Otežavajuće okolnosti za obranu Ogulina od poplava su:

- Povezanosti područja grada sa špiljskim sustavom ispod grada, odnosno s otvorenim ponorima na području grada, izgradnja zaštitnih nasipa ne dolazi u obzir;
- Izgradnja više retencija u nizu na uzvodnom dijelu sliva onemogućena je izgrađenom željezničkom prugom dolinom Gornje Dobre, pretežno uz sam vodotok;
- Špiljski sustav Đula – Medvedica – problemi začepljivanja sustava naplavinama;
- Područje sliva je izrazito krško područje u kojem tokovi podzemnih voda su podložni promjenama, u smjeru tečenja i u količini dotoka.

Prva faza obrane od poplava grada Ogulina predviđena je izgradnjom retencije uzvodno od grada i preliminarnim čišćenjem Đulinog ponora. Za nastavak, druga faza obrane od poplava, analizirana je u modelu varijanta izgradnje tunela koji bi vode Gornje Dobre prebacio u rep akumulacije Lešće. Ta varijanta osigurava potpunu zaštitu grada Ogulina, ali tome se tek treba pristupiti kroz istražne radove i izradu projektne dokumentacije.

Hidrauličkim modelom proveden je proračun za postojeće stanje, za slučaj izgradnje retencije i čišćenje Đulinog ponora kao i za slučaj izgradnje tunela za različita povratna razdoblja. U nastavku su prikazane poplavne linije 25 godišnjeg povratnog razdoblja za postojeće stanje i za prvu fazu – izgradnja retencije i čišćenje Đulinog ponora. U slučaju izgradnje tunela kakav je modeliran, postignuta je potpuna zaštita od poplava.



Slika 6. Poplavne linije 25-godišnjeg povratnog razdoblja postojećeg stanja i stanja s projektom prve faze

ZAKLJUČAK

Poznavanje i praćenje stanja vodotoka maksimalnih veličina vodostaja, protoka i volumena ključno je za dimenzioniranje sustava zaštite od poplava. Hidrološkim istraživanjima vodomjerne postaje Turkovići, mjerenjem protoka za vrijeme visokih vodostaja, dobio se točniji uvid u sadržaj i oblik vodnih valova. U slučaju Gornje Dobre, ponornice, neposredno ispred naseljenog područja, poznavanje volumena vodnog vala izuzetno je značajno jer poplava ovisi o protočnosti, ali i o kapacitetu podzemnog špiljskog sustava. Formiranje dobrog hidrauličkog modela i njegovo kalibriranje na stvarnim, izmjerenim podacima doprinosi kvalitetnijim rješenjima zaštite od poplava. Također takav model, može se nadograđivati u budućnosti novim mjerenjima biti pomoć kako u trenucima obrane od poplava tako i pri modifikaciji već donesenih odluka.

LITERATURA

- [1] Bonacci, O., Andrić I., (2010.): Hidrološka analiza krške rijeke Dobre, Hrvatske vode, 18 (2010), 127-138
- [2] VPB, (2001.): Zaštita grada Ogulina od velikih voda, Idejno rješenje, VPB
- [3] VPB, (2005.): Stručna podloga za izradu studije o utjecaju na okoliš retencije Ogulin., studija, VPB, Zagreb
- [4] Hidroing (2003): Izvještaj o izvršenim hidrološkim radovima na Gornjoj Dobri (Kljajić, B.), Zagreb
- [5] Žugaj, R. Pavlič, K., (2013.): Stručna recenzija Idejnog projekta „Retencija Ogulin u Turkovićima“ u pogledu prihvatljivosti usvojenih hidroloških podataka i analiza s provedbom dodatnih hidroloških analiza velikih voda Gornje Dobre, Zagreb

AUTORI

Diana Šustić, dipl. ing. građ. ^a

Zdenko Tadić, dipl. ing. građ. ^a

Branimir Barać, mag. ing. aedif. ^a

Igor Tadić, mag. ing. aedif. ^a

Želimir Marojević, mag. ing. aedif. ^a,

^a Hidroing d.o.o. Osijek, Tadije Smičiklase 1, Osijek, 31000, Hrvatska, diana.sustic@hidroing-os.hr, zdenko.tadic@hidroing-os.hr, igor.tadic@hidroing-os.hr, branimir.barac@hidroing-os.hr, zelimir.marojevic@hidroing-os.hr



R 2.14.

SUSTAV OBRANE OD POPLAVA GRADA KARLOVCA - OSJETLJIVOST ULAZNIH PARAMETARA

Dario Kolarić, Željko Tusić

SAŽETAK: Kao dio studijske dokumentacije za pripremu projekata zaštite od poplava na slivu Kupe iz EU fondova, 2015. godine dovršena je studija izvodljivosti za Projekt zaštite od poplava na slivu Kupe (Pletikapić, 2015). Studija je uz manje izmjene potvrdila već ranije definirano rješenje dovršetka sustava obrane od poplava grada Karlovca kao optimalno. U ovom radu su uvodno prikazane osobitosti vodnog režima na području grada Karlovca, kao polazišnoj osnovi za svako pa i ovo posljednje rješenje. Razmatrani su zatim sljedeći parametri koji direktno utječu na projektne veličine vodostaja i protoka, a time i na veličinu izgradnje: duljina hidrološkog niza pri proračunu vjerojatnosti velikih voda, odabir mjerodavnih konsumpcijskih krivulja pri proračunu niza maksimalnih godišnjih protoka, odabir mjerodavne funkcije raspodjele vjerojatnosti velikih voda te upravljački kriteriji u čvoru Brodarci. Konstatiran je relativno veliki mogući raspon vrijednosti parametara te je naglašen značaj stručne procjene pri njihovu odabiru.

KLJUČNE RIJEČI: Kupa, vodni režim, Karlovac, Brodarci, konsumpcijski odnos, funkcija raspodjele vjerojatnosti, hidrološki niz

FLOOD PROTECTION SYSTEM OF THE CITY OF KARLOVAC – SENSITIVITY OF THE INPUT PARAMETERS

ABSTRACT: In 2015, the feasibility study for the Project of flood protection in the Kupa basin was completed (Pletikapić, 2015) as part of the study documentation for the preparation of flood protection projects in the Kupa basin for financing from the EU funds. The study confirmed, with minor modifications, the already defined solution for the completion of the Karlovac flood protection system as optimal. This paper presents the specifics of the water regime in the Karlovac area as the starting point for all flood protection solutions, including this latest one. The following parameters, which directly affect the design water levels and discharges and therefore the dimensioning, were considered: the length of the hydrological series in the calculation of the probabilities of flood events, the selection of the relevant stage-discharge curve in the calculation of the series of maximum annual discharges, the selection of the appropriate probability function and the control criteria at the Brodarci node. A relatively large range of possible parameter values was noted as well as the importance of expert assessment in their selection.

KEYWORDS: Kupa, water regime, Karlovac, Brodarci, stage-discharge curve, probability function, hydrological series

1. UVOD

Sustav obrane od poplava Srednjeg Pokuplja proteže se od Kamanja do Jamničke Kiselice na rijeci Kupi, koja je ujedno i glavni vodotok predmetnog područja. Najvažniji pritoci su rijeka Korana s vlastitim pritokom Mrežnicom i rijeka Dobra. Sustav se počeo oblikovati i izgrađivati prije približno 45 godina. Osnovni razlog razvoja i izgradnje bile su česte poplave na spomenutom području. U razdoblju do osamdesetih godina prošloga stoljeća izvedeni su značajni terenski radovi, no sustav nikada nije dovršen prema izvornoj zamisli. Iako je spomenutim radovima povećana, trenutna razina sigurnosti od poplava nije zadovoljavajuća. Problem poplavlivanja u Karlovcu, a posebno u njegovim prigradskim područjima još uvijek vrlo izražen. Pokrenuta je stoga izrada studije izvodljivosti za Projekt zaštite od poplava na slivu Kupe, kao dio studijske dokumentacije za pripremu projekata zaštite od poplava na slivu Kupe iz EU fondova. Studija dovršena 2015. godine je uz manje izmjene potvrdila već ranije definirano rješenje dovršetka sustava obrane od poplava grada Karlovca kao optimalno.

Kad se govori o rješenju, misli se na koncepciju sustava obrane od poplava, što podrazumijeva skup regulacijskih građevina i zaštitnih građevina (nasipi i zidovi). Međutim, veličina izgradnje sustava prema odabranom rješenju ovisi o odabiru hidroloških i upravljačkih ulaznih parametara. Ovim radom se nastojalo ukazati na te parametre i mogući raspon njihovih vrijednosti ovisno o stručnoj procjeni.

2. OPIS FUNKCIONIRANJA SUSTAVA U ZATEČENOM I PLANIRANOM STANJU IZGRADNJE

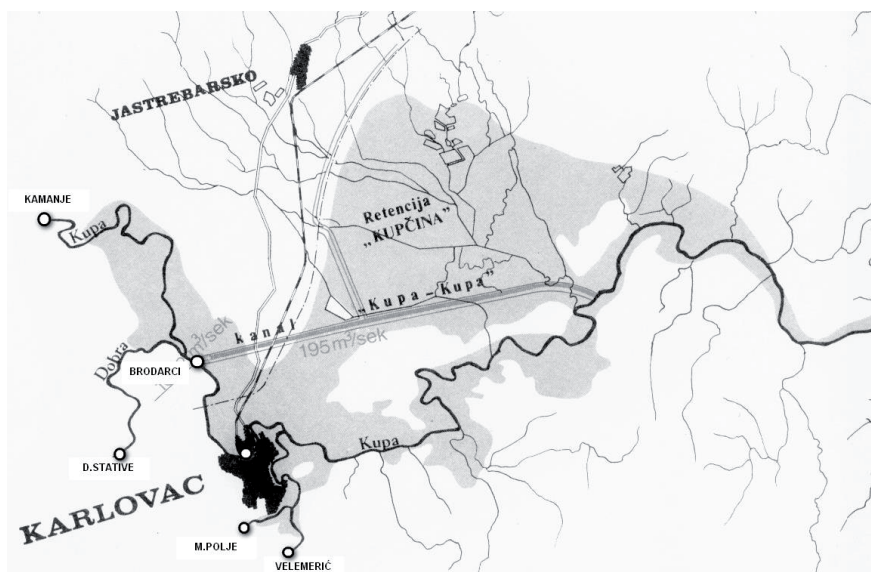
Slijedi opis načina funkcioniranja kupskog sustava u zatečenom, a zatim planiranom budućem stanju izgradnje. Težište razmatranja je obrana od poplava grada Karlovca.

Pri velikovodnom događaju superponirani velikovodni val gornje Kupe i Dobre nailazi na čvor Brodarci, gdje u zatečenom stanju dolazi do nekontrolirane razdiobe protoka. Manji dio dotoka rasterećuje se kanalom Kupa-Kupa, kojim otiče dalje nizvodno te se na mjestima spajanja pritoka i bočnim preljevima na lijevoobalnom nasipu rasterećuje u retenciju Kupčina. Veći dio dotoka nastavlja put osnovnim koritom Kupe nizvodno prema Karlovcu. Na području grada Karlovca dolazi do koincidencije kupskog vala s valom superponiranih rijeka Korane i Mrežnice. Sustav obrane od poplave Srednjeg Pokuplja u zatečenom stanju prikazan je na slici 1.

Osnovna ideja i zahvat prema planiranom koncepcijskom rješenju je izvedba ustave Brodarci, čime bi se omogućila kontrola razdiobe protoka u istoimenom čvoru. Upravljanjem je pri velikim vodama moguće smanjiti dotok prema Karlovcu, čime bi se postigle reducirane vodne razine na njegovu području. Višak vodnih količina bi se usmjerio u kanal Kupa-Kupa, na kojem je predviđeno uklanjanje lijevoobalnog nasipa s ciljem značajnijeg korištenja retencije Kupčina. Kako bi se omogućilo funkcioniranje ove cjeline, predviđena je izgradnja istočnog nasipa retencije kao i ispusne ustave Šišljavić. Ostali radovi predviđaju izgradnju uspornih nasipa uz rijeku Kupu i Dobru uzvodno od

pregrade Brodarci, izvedbu prokopa Korana s pripadajućim građevinama te nadvišenje i izgradnju nasipa/zidovima uz dionice vodotoka razmatranog područja na kojima je to potrebno.

S ciljem identifikacije smjernica za daljnje aktivnosti na optimizaciji sustava, u nastavku su prikazane osobitosti vodnog režima na području grada Karlovca, kao polazišnoj osnovi za svako pa i ovo posljednje rješenje.



Slika 1. Sustav obrane od poplava Srednjeg Pokuplja

3. VODNI REŽIM

U okviru ovog poglavlja je razmatran velikovodni režim na području sustava obrane od poplava Srednjeg Pokuplja pri čemu je naglasak stavljen na grad Karlovac. Vodni režim je kvantitativno prikazan kroz vrijednosti vodostaja i protoka.

Vodne razine na području grada Karlovca direktno su pod utjecajem četiri rijeke. Kao reprezent pojedinih rijeka korištene su sljedeće vodomjerne postaje:

- Kamanje na rijeci Kupi;
- Velemerić na rijeci Korani;
- Mrzlo Polje na rijeci Mrežnici;
- Donje Stative na rijeci Dobri.

Njihov položaj je ucrtan na slici 1. U daljnjem tekstu za ove će se vodomjerne postaje koristiti izraz „ulazne“. Kao reprezent vodnog režima na području grada Karlovca korištena je vodomjerna postaja Karlovac na rijeci Kupi. Sa svih navedenih postaja raspoloživi su podaci o satnom vodostaju i protoku.

Treba razlikovati stvarni vodni režim zabilježen kroz povijesne velikovodne događaje u odnosu na hipotetski vodni režim temeljen na proračunu vjerojatnosti.

3.1. Vodni režim u zatečenom stanju izgradnje sustava pri zabilježenim velikovodnim događajima

Obzirom da su protoci izvedene veličine, opterećene kvalitetom konsumpcijskih izraza, izučeni su odnosi (korelacije) vodostaja na ulaznim vodomjernim postajama s ciljem zaključivanja o vodostajima na području grada Karlovca. Razmatran je niz podataka u razdoblju od 1999. do 2017. godine.

Prokop kanala Kupa-Kupa je završen 1985. godine, čime se u značajnoj mjeri mijenja vodni režim na području grada Karlovca pri velikim vodama pa je početak niza bio time uvjetovan. S druge pak strane pokazalo se kako u periodu 90-tih godina zbog rata nedostaje jedan dio podataka što je bio dodatni ograničavajući faktor. Navedeni niz od 19 godina odabran je u baš tim okvirima jer u tom periodu postoji kontinuirani zapis na svim razmatranim vodomjernim postajama.

U tablici 1 prikazani su maksimalni godišnji vodostaji na području grada Karlovca, kao i korespondentni vodostaji na ulazne četiri vodomjerne postaje. Karlovački vodostaji su rangirani od najvećeg prema najmanjem te je naveden i zabilježeni datum pojave istog, dok su na ostalim vodomjernim postajama u istom retku navedeni odgovarajući parovi vrijednosti. Ukoliko ćelija u tablici nije osjenčana, navedeni vodostaj je ujedno i godišnji maksimum na toj postaji. Ukoliko je sjenčana to znači da je te godine zabilježen i vodostaj veći od toga, no pri drugom neovisnom događaju. Također, navedeni su i rangovi pojedinih vodostaja na ulaznim postajama u promatranom razdoblju.

Tablica 1. Maksimalni godišnji vodostaji na VP Karlovac za niz od 1999. do 2017. godine i korespondentni maksimumi na ulaznim profilima

Kupa-Karlovac			Kamanje		Velemerić		M.Polje		D.Stative	
1	855	10/16/2015	3	606	2	545	1	470		396
2	844	9/14/2014		555	1	567	2	440	2	450
3	809	12/10/2010	2	624		377	13	338	3	433
4	794	11/28/2005	1	659		294		320	4	428
5	784	1/22/2013		524	4	477	3	394		401
6	782	3/5/2001	7	567	14	383	11	344	11	394
7	758	11/30/2012		531	9	421	8	353	6	407
8	755	12/6/1999	12	537	3	487	4	391		386
8	755	12/24/2009	4	595		336		269	8	404
10	754	12/29/2000	13	524	16	380	10	345	14	390
11	746	12/19/2008		401	5	469	6	368	11	394
12	743	12/16/2017		526	13	389		306		387
13	740	12/7/2002		427		355	9	349	9	400
14	735	2/17/2016		419,8	7	436	7	362		371
15	695	10/18/2004		386		282		285	9	400
16	651	3/6/2006	17	477	14	383	16	261	16	383
17	573	12/18/2011	14	494		122		91	18	348
18	547	10/24/2007		260		301	17	243		351
19	411	10/31/2003	18	380		118		141		277

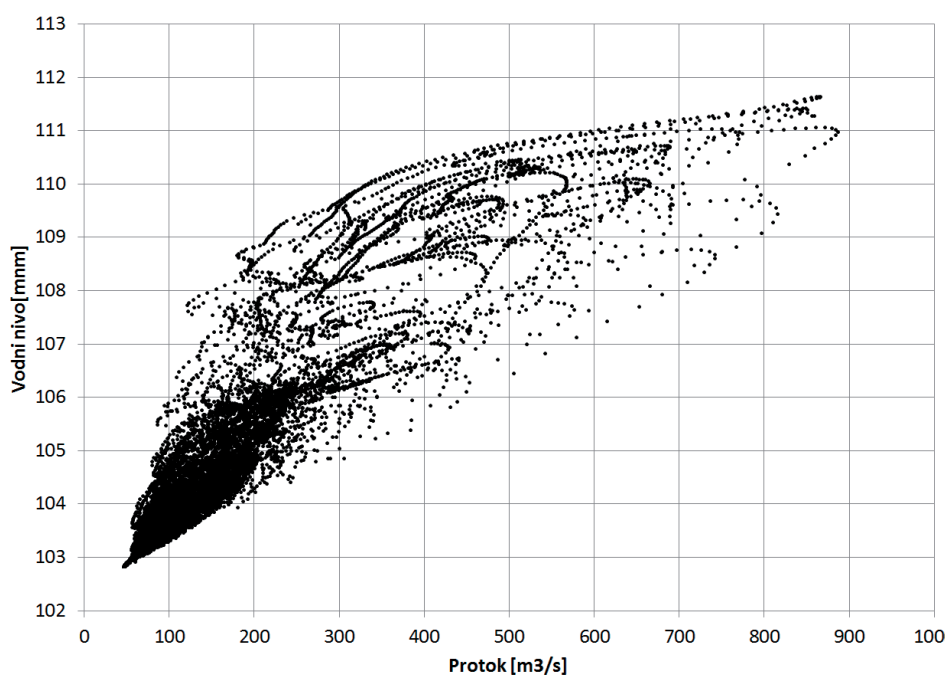
Ukoliko se usvoji kriterij prema kojem veliku vodu u Karlovcu dominantno uzrokuju pritoci čiji je rang vodostaja viši ili jednak rangu vodostaja u Karlovcu, iz prikazane tablice moguće je vidjeti kako je prvih pet događaja izazvano dominantno velikom Kupom ili Koranom, dok su ostali velikovodni događaji u Karlovcu nastali kao kombinacija utjecaja

svih dotoka. Kada se govori o Kupi u Karlovcu, treba uzeti u obzir da ona sadrži i doprinos Dobre, dok Korana u Karlovcu sadrži i doprinos Mrežnice.

U tablici 2 prikazana korelacijska matrica gdje su navedene apsolutne vrijednosti linearne korelacije između podataka o vodostaju na ulaznim profilima, na osnovu prethodno prikazane tablice. Vrijednosti u rasponu od 0 do 1 prikazuju snagu veze između dvije varijable. Vrijednost bliže 1 ukazuje na snažnu vezu, dok vrijednost blizu 0 ukazuje da veze nema. Iz prikaza je vidljivo kako je veza najslabija između Kamanja (Kupa) i Velemerića (Korana) (0,322), dok je najsnažnija između Velemerića i Mrzlog Polja (Mrežnica) (0,943). Ovo znači da su mogući različiti odnosi vodostaja (posljedično i protoka) na Kupi i Korani, dok je u slučaju Korane i Mrežnice taj odnos predvidiv s većom vjerojatnosti.

Tablica 2. Korelacijska matrica maksimalnih vodostaja na ulaznim profilima

	Kamanje	Velemerić	M.Polje	D.Stative
Kamanje	1	0.322	0.384	0.607
Velemerić		1	0.943	0.647
M.Polje			1	0.69
D.Stative				1



Slika 2. Konsumpcijski odnos na VP Karlovac, Kupa

Proračunate su i apsolutne vrijednosti linearne korelacije između maksimalnog vodostaja u Karlovcu kao izlazne varijable te pojedinih podataka o korespondentnom vodostaju na „ulaznim“ profilima, također za niz od 19 godina. Najsnažnija je veza između ulazne varijable Donjih Stativa i Karlovca, gdje koeficijent korelacije iznosi 0,901. Najslabija je veza između ulazne varijable Kamanja i Karlovca, gdje koeficijent korelacije iznosi 0,691. To znači da je vrijednost maksimalnog vodostaja u Karlovcu moguće s najvećom vjerojatnošću predvidjeti na osnovu saznanja o vrijednosti maksimalnog vodostaja u Donjim Stativama, a s najmanjom na osnovu saznanja o vrijednosti maksimalnog vodostaja u Kamanju. Koeficijent korelacije za Karlovac i M. Polje iznosi 0,858, a za Karlovac i Velemerić 0,798.

Prikazani odnosi vrijede za povijesne zabilježene vodne događaje te zatečeno stanje izgradnje. Dodatni uvid u uvjete otjecanja na području grada Karlovca prikazan je na slici 2, gdje su točkasto ucrtani Q-H odnosi. Prikaz se odnosi na profil Karlovac na rijeci Kupi. Bazira se na rezultatima proračuna na simulacijskom modelu za razdoblje 01.01.2013. – 05.11.2014. godine. Moguće je uočiti veliku širinu petlje. Posljedica je to nestacionarnosti i uspornog djelovanja koje se javlja na predmetnom području. Vidljivo je da isti protok može proći profilom u rasponu vodostaja od čak 5 metara. Za isti protok, niži vodostaji obično se postižu u fazi porasta vala, dok se viši vodostaji postižu u fazi opadanja vala.

3.2. Projektni velikovodni režim

Pod projektnim velikovodnim režimom u okviru ovoga rada podrazumijevaju se mjerodavne vodne razine i protoci na osnovu kojih se dimenzioniraju pojedini elementi sustava obrane od poplava (nasipi i regulacijske građevine).

Mjerodavne veličine na pojedinim dionicama vodotoka, retencija i kanala, posljedica su prolaska valova različite geneze. Suvremeni simulacijski matematički modeli omogućuju analizu velikog broja teoretskih velikovodnih situacija. One su definirane ulaznim veličinama protoka/vodostaja na rubnim profilima modela.

Projektne veličine vodostaja/protoka u hidrotehničkoj su praksi uglavnom utemeljene na računu vjerojatnosti pojave. U okviru ovog rada ukazuje se na čimbenike koji na njih imaju značajan utjecaj:

- duljina hidrološkog niza pri proračunu vjerojatnosti velikih voda;
- odabir mjerodavnih konsumpcijskih krivulja pri proračunu protoka;
- odabir mjerodavne funkcije raspodjele vjerojatnosti velikih voda;
- upravljački kriteriji u čvoru Brodarci.

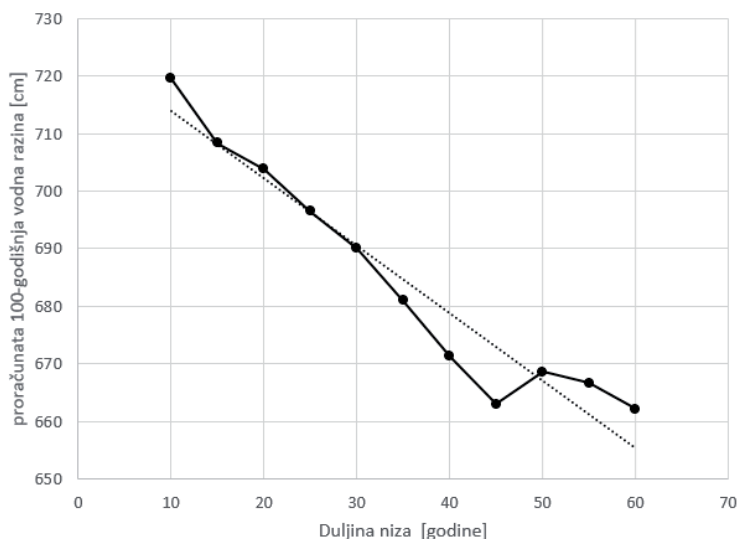
3.2.1. Utjecaj duljine hidrološkog niza na rezultate proračuna vjerojatnosti velikih voda

Pri određivanju vjerojatnosti pojave velike vode, u svijetu se najčešće koriste dvije metode AM (Annual Maximum) ili POT (Peak over threshold), pri čemu je kod nas zastupljenija prva.

Gledajući statistički, nepouzdanost će uvijek biti veća za kratke serije. Najbolja procjena određene vrijednosti ima veću vjerojatnost biti bliže „pravoj“ vrijednosti ukoliko je niz podataka dulji. S druge pak strane, pri duljim nizovima prisutna je veća mogućnost nehomogenosti podataka.

Duljina niza značajno utječe na rezultate analize vjerojatnosti. Prema Subramanya-u (2013), potreban je minimalno 30-godišnji niz podataka. Niz kraći od 10 godina bezvrijedan je u analizama vjerojatnosti. Čim je niz dulji tim je bolje, naravno pod pretpostavkom homogenih i pouzdanih podataka. U pravilu, trebalo bi izbjegavati procjenu velikih voda većih povratnih razdoblja od dvostruke duljine niza raspoloživih podataka.

Provedene su analize na primjeru vodomjernih postaja Kamanje i Velemerić. Izvršen je proračun vjerojatnosti pojave 100-godišnje vode na raspoloživim nizovima podataka. U slučaju VP Kamanje to je niz od 60 godina, a u slučaju VP Velemerić, riječ je o nizu od 65 godina. Inicijalno su proračunate vjerojatnosti pojave 100-godišnje velike vode za nizove od prvih 10 godina (Log Pearson 3), a zatim su nizovi povećavani za segmente po 5 godina. Dio rezultata analiza prikazan je na slici 3. Vidljivo je kako je s produljenjem niza prisutan trend smanjenja procijenjene vrijednosti vodostaja 100-godišnjeg povratnog razdoblja. Ukoliko se preko konsumpcijskog izraza vodostaji prevedu u protoke, tada razlika u procjeni 100-godišnjeg protoka uslijed razlike u duljini niza na VP Kamanje iznosi $213 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1.284\text{-}1.071 \text{ m}^3/\text{s}$), tj. oko 20 %, a razlika na VP Velemerić $165 \text{ m}^3/\text{s}$ ($634\text{-}469 \text{ m}^3/\text{s}$), tj. oko 35 %.



Slika 3. Utjecaj duljine niza hidroloških podataka na rezultate proračuna 100-godišnje velike vode (VP Kamanje)

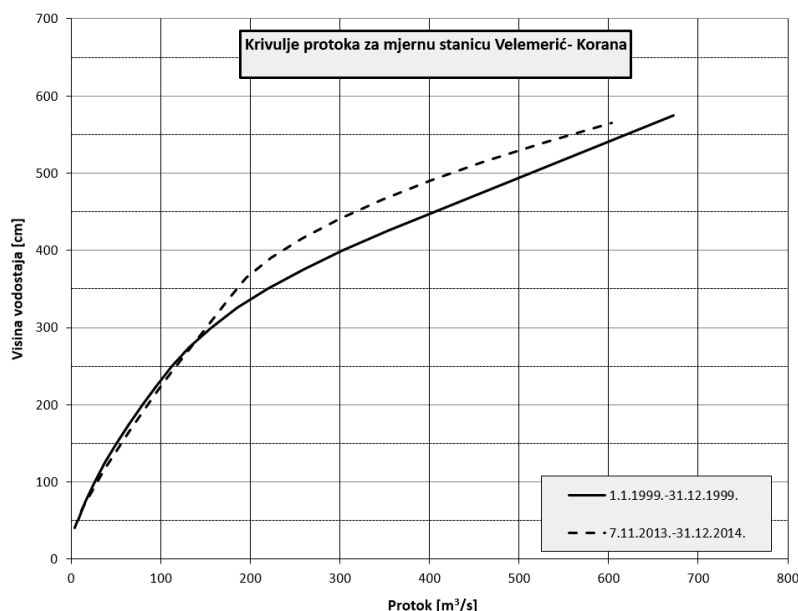
Treba naglasiti da je prethodno provedenim analizama ispitana homogenost nizova, kao i trend. Nizovi su se pokazali homogenima, a značajniji trendovi nisu prisutni.

Prema Bensonu i Carteru (1973) na osnovu 5-godišnjeg niza moguća pogreška u procjeni 50-godišnje vode od čak 70 %. Produljenjem niza na 50 godina, očekivana pogreška se smanjuje na oko 20 %. Nizovi na kojima su u prošlosti vršene analize karlovačkog sustava počinju obično s 1985. godinom, što odgovara vremenskoj točki završetka radova. Obzirom da su računajući od tada bili dostupni relativno kratki nizovi, treba imati na umu ograničenu pouzdanost tih analiza.

3.2.2. Utjecaj mjerodavnih konsumpcijskih krivulja na rezultate proračuna vjerojatnosti velikih voda

Konsumpcijske krivulje prikazuju odnos vodostaja i protoka, a konstruiraju se na osnovu provedenih vodomjerenja. Vodomjerenja su u području velikih voda relativno rijetka, a konsumpcijske krivulje u pravilu ekstrapolirane. Iako je načelno povremena izmjena konsumpcijskih krivulja uslijed promjena u vodomjernom profilu potrebna i nužna, ona nije uvijek i opravdana, osobito u domeni velikih voda.

Na slici 4 prikazana je konsumpcijska krivulja za jednu od promatranih ulaznih vodomjernih postaja, konkretno VP Velemerić. Urtane su dvije anvelopne konsumpcijske krivulje, tj. one koje za isti vodostaj daju najmanji, odnosno najveći protok. Vidljivo je da se pri vodostaju od 500 cm (približno odgovara 100-godišnjem) vrijednost protoka može kretati u rasponu od 420 do 500 m³/s (razlika od 19 %). Slična je analiza učinjena za VP Kamanje, gdje se za 100-godišnji vodostaj kreće u rasponu od 1025 m³/s do 1125 m³/s (razlika od 10 %) ovisno o korištenoj konsumpcijskoj krivulji.



Slika 4. Razlika u konsumpcijskim krivuljama na VP Velemerić ovisno o godini nastanka

Obje razmatrane lokacije imaju vrlo stabilan profil pa su razlike u konsumpcijskim izrazima djelomično posljedica različitog skupa vodomjerenja na kojima su bazirane, a djelomično posljedica ekstrapolacije, pri čemu se ne može sa sigurnošću reći koja od čitavog spektra krivulja je pouzdanija. U višegodišnjem nizu koji služi za proračun vjerojatnosti, vrijednosti protoka se računaju prema različitim krivuljama, koje su procjenom izrađivača mogle biti i drugačije. Ukazuje se na ovaj izvor nepouzdanosti pri proračunu ulaznih varijabli.

3.2.3. Utjecaj odabira mjerodavne funkcije raspodjele vjerojatnosti

Najčešće se u hidrologiji primjenjuju nesimetrične teorijske krivulje razdiobe vjerojatnosti (Pearsonove funkcije razdiobe, Gumbelova, Galtonova – log normalna razdioba i dr.).

Odabir mjerodavne funkcije važan je korak u analizi učestalosti. Kao kriterij odabira u praksi se koriste različiti testovi (npr. HI-2, S-K) ili pak vizualna prilagodba krivulje empirijskim vjerojatnostima.

U tablici 3 je kao primjer dan prikaz proračunatih vrijednosti vodostaja na vodomjernoj postaji Velemerić za niz od 1984. do 2013. godine prema različitim funkcijama razdiobe. Vidljivo je kako se procjena 100-godišnje velike vode znatno mijenja, ovisno o razdiobi. Bitno je uočiti raspon mogućih vrijednosti, obzirom da usvojena vrijednost počiva na stručnoj procjeni izrađivača.

Tablica 3. Proračunate vrijednosti vodostaja po povratnim razdobljima na VP Velemerić za različite funkcije raspodjele vjerojatnosti

POVRATNO RAZDOBLJE [GOD]	VJEROJA- TNOST	DISTRIBUCIJA				
		GAUSS	GALTON	PEARSON 3	log PEARSON3	GUMBEL
		cm	cm	cm	cm	cm
2	50	397	388	418	424	385
5	20	461	475	459	464	452
10	10	494	528	471	471	496
20	5	521	576	477	474	538
25	4	529	591	479	474	551
50	2	552	636	482	475	593
100	1	573	679	484	475	634
1000	0.1	630	816	485	475	769

3.2.4. Utjecaj upravljačkih kriterija

Vodni režim ne određuju samo hidrologija i hidraulika, već je jednim dijelom on rezultat upravljačke politike, definirane za objekte kojima je moguće upravljati.

Ukoliko se govori o gradu Karlovcu, u tom kontekstu najveći značaj dakako ima ustava Brodarci.

Osnovna ideja trebala bi biti velike vode držati u osnovnom riječnom toku dok god su u zadanim okvirima, a intervenirati tek kada dođe do narušavanja postavljenih granica i to na kontrolirani način, odterećujući kanalom Kupa-Kupa samo neprihvatljivi višak vodnoga vala.

U ranijim analizama upravljački kriteriji bili su uglavnom bazirani na dopuštenim protocima kroz Karlovac, koji su pak određeni na temelju proračuna stacionarnog tečenja. Proračuni na modelima nestacionarnog tečenja pokazuju kako je čest slučaj da dolazi do

prekoračenja prihvatljivih vodnih razina, iako su protoci manji od dopuštenih. Uzrok toj pojavi leži u širokim protočnim petljama s velikim rasponom vodnih razina za isti protok. Obzirom na to, trebalo bi napustiti koncept dopuštenih protoka, a kriterije manipulacije ustavom Brodarci bazirati isključivo na vodnim razinama. Na taj način je moguće velikovodne razine na području grada Karlovca držati ispod unaprijed zadane kote, dok bi se kanalom Kupa-Kupa rasterećivao veći ili manji protok, ovisno o hidrološkoj situaciji te uspornom djelovanju rijeke Korane. Odlukom o načinu upravljanja ustavom Brodarci se direktno utječe na potrebnu veličinu izgradnje zaštitnih građevina.

ZAKLJUČAK

Obzirom da je Karlovac grad na četiri rijeke, sagledani su hidrološki ulazi na svakoj od njih. Ovi ulazi se nalaze uzvodnije u slivu, no u konačnici definiraju vodni režim i u samom gradu. Po iznosu dotoka dominiraju Kupa (VP Kamanje) i Korana (VP Velemerić) pa je i većina obrada u ovome radu prikazana na njihovu primjeru. Iako je riječ o izučenom slivu, odluke koje pri hidrološkim obradama izrađivač treba donositi stručnom procjenom imaju značajan upliv na konačne mjerodavne vrijednosti proizašle iz tih obrada. Svaka od odluka prilikom procjene može ići u smjeru odabira manje, ili pak veće vrijednosti.

Ukoliko se utjecaji superponiraju te se usporede donja i gornja anvelopna vrijednost prema svakom od razmatranih čimbenika, vidljivo je kako se procjena kreće u širokom rasponu, pri čemu niti jedna od rubnih vrijednosti zapravo nije formalno netočna, no može biti znatno podcijenjena ili precijenjena.

Konkretno, mjerodavni 100-godišnji protoci na ulaznim profilima mogu biti minimalni, kao posljedica analize vjerojatnosti na duljim nizovima u kojima su članovi niza proračunati prema odabranom konsumpcijskom izrazu iz spektra koji za isti vodostaj daje najmanji protok te je povrh svega odabrana raspodjela vjerojatnosti prema kojoj je proračunata vrijednost najmanja. Druga krajnost su maksimalni protoci, kao posljedica analize vjerojatnosti na kraćim nizovima u kojima su članovi niza proračunati prema odabranom konsumpcijskom izrazu iz spektra koji za isti vodostaj daje najveći protok te je na kraju još odabrana i raspodjela vjerojatnosti prema kojoj je proračunata vrijednost najveća.

Osim hidroloških obrada, značajan utjecaj na vodni režim imaju i upravljački kriteriji za čvorove u kojima je moguća regulacija. Oni su direktno vezani uz mjerodavne hidrološke veličine, a zajedno definiraju vodni režim.

Pri odabiru mjerodavnih vrijednosti ulaznih hidroloških parametara, ali i načina upravljanja sustavom, treba stoga biti oprezan, imajući u vidu kako svaki odabir ima na terenu reperkusije u vidu veličine izgradnje pojedinih elemenata konačnog rješenja, proizašlih iz ovih ulaznih veličina.

LITERATURA

- [1] Terek, B. i drugi, (2012): *Uloga i značenje Državnog hidrometeorološkog zavoda u obrani od poplava*, Okrugli stol: Zaštita od poplava u Hrvatskoj (Biondić D., Holjević D.), Hrvatske vode, Vukovar, 224.
- [2] Grupa autora, (1972): *Studija regulacije i uređenja rijeke Save u Jugoslaviji*, Polytechna Prag, C. Lotti Rim, Zagreb.
- [3] Brkić, B., (2004): *Obrana od poplava grada Karlovca*, VPB d.d., Zagreb.
- [4] Pletikapić Z., (2015): Projekt zaštite od poplava na slivu Kupe, Elektroprojekt d.d., Zagreb.
- [5] Feaster, T.D., (2010): *Importance of record length with respect to estimating the 1-percent chance flood*, Proceedings of the 2010 South Carolina Water Resources Conference, Columbia
- [6] Benson, M.A., Carter, R.W. (1973): *A National Study of the Streamflow Data-Collection Program*, Water-Supply Paper 2208, US Geological Survey, 44.
- [7] Subramanya, K., (2013) *Engineering Hydrology*, Tata McGraw Hill Education Private Limited, USA, 550.

AUTORI

Dario Kolarić, dipl. ing. građ. ^a

Željko Tusić, dipl. ing. kult. teh. ^a

^a Vodoprivredno-projekttni biro, Ulica grada Vukovara 271, Zagreb, 10000, Hrvatska, dario.kolaric@vpb.hr, zeljko.tusic@vpb.hr



R 2.15.

UNAPRJEĐENJE SUSTAVA OBRANE OD POPLAVA NA RIJECI SAVI OD JESENICA DO NOVE GRADIŠKE

Enes Obarčanin, Dario Kolarić, Željko Tusić, Sanda Kolarić Buconjić

SAŽETAK: Ključni cilj ovog rada je analiza postojećeg sustava obrane od poplava i njegova aktualizacija, uvažavajući nove hidrološke veličine, a rezultat čega su novi i usklađeni parametri projektiranja. Cjelovito je sagledano stanje postojećeg sustava na dionici rijeke Save od granice s Republikom Slovenijom (Jesenice) do utoka Trnave (Nova Gradiška). Na temelju novih geodetskih podloga, snimljenih LIDAR tehnologijom („Projekt Sava LIDAR“), aktualiziranih hidrološko - hidrauličkih ulaza i provedene preliminarne kategorizacije nasipa, na ovom složenom sustavu obrane od poplava primijenjen je probabilistički pristup procjeni poplavnih rizika, a sve sa ciljem iznalaženja optimalnog rješenja. Osnovu ovog sustava čine nizinska retencijska područja volumena oko 1.700 hm³, nasipi duljine oko 760 km, niz regulacijskih objekata (preljeva, ustava) i odteretni kanali. Površina identificiranog, potencijalno plavljenog područja iznosi oko 800 km² s oko 836.000 stanovnika. Osim izgradnje novih i rekonstrukcije postojećih nasipa i drugih pratećih građevina, težište rješenja je usmjereno na mjere prirodnog zadržavanje vode, odnosno na korištenje punog kapaciteta postojećih retencijskih prostora. Mjerama prirodnog zadržavanja vode značajno utječemo na troškove izgradnje/rekonstrukcije nasipa i regulacijskih građevina. Kroz opcijsku analizu je razmotren široki spektar distribucije protoka s ciljem definiranja optimalnog rješenja obrane od poplava promatranog područja u cijelosti. U tom je procesu utvrđena potreba prenamjene desnoobalnog poplavnog područja rijeke Save nizvodno, između Zagreba i Siska (Odransko polje), u retenciju. Posebnost je ovog koncepta njegov povoljan utjecaj na bioraznolikost, što se postiže prirodnim zadržavanjem vode na širokim retencijskim površinama, ali i restauracijom paralelnog tečenja s rijekom Savom. Također, postiže se ujednačena razina sigurnosti cjelokupnog zaobalja i dostupnost do svih dijelova sustava što je pretpostavka za učinkovitu provedbu mjera obrane od poplava i njegovo održavanje.

KLJUČNE RIJEČI: poplavni rizik, Sava, Srednje Posavlje, retencija, nasip

IMPROVEMENT OF THE FLOOD PROTECTION SYSTEM ON THE SAVA RIVER FROM JESENICE TO NOVA GRADIŠKA

ABSTRACT: The primary aim of this paper is the analysis of the existing flood protection system and its update in view of the new hydrological aspects, and resulting in new,

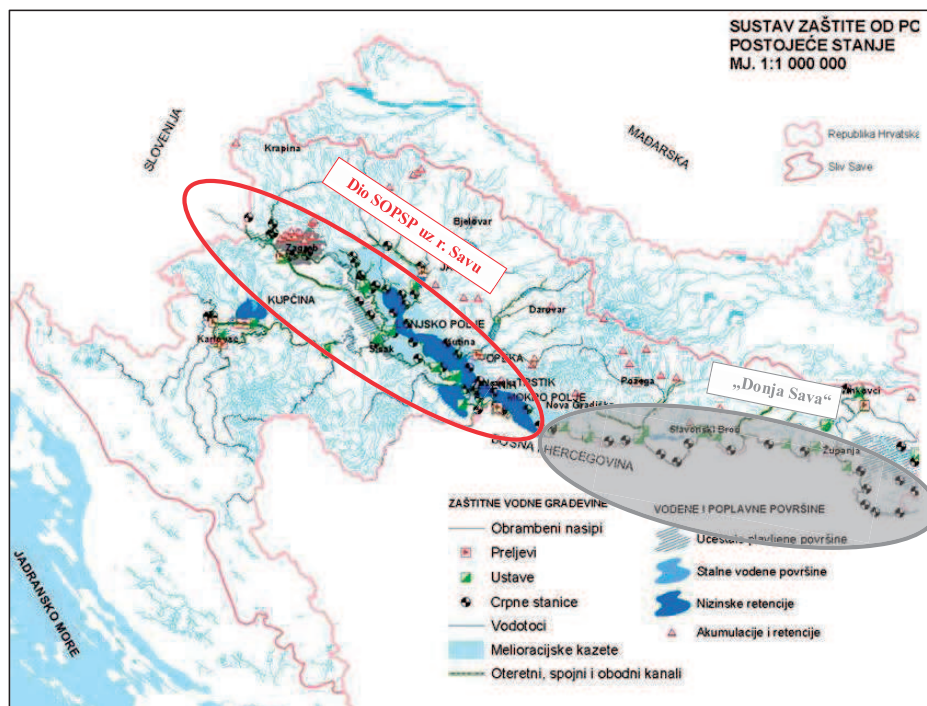
harmonised design parameters. The status of the existing system in the Sava River section from the border with the Republic of Slovenia (Jesenice) to the Trnava confluence (Nova Gradiška) was considered in an integrated manner. Based on the new geological baseline materials surveyed using the LIDAR technology ("Project Sava LIDAR"), updated hydrological and hydraulic inputs and conducted preliminary categorisation of embankments, a probability approach was applied to flood risk assessment of this complex flood protection system, with the overall aim to find the optimal solution. The basis of this system is comprised of lowland retention areas with a volume of approximately 1,700 hm³, embankments in the length of about 760 km, a series of regulation facilities (weirs, sluices) and relief canals. The surface of identified potential flooding areas equals approximately 800 km² and have a population of about 836,000. In addition to the construction of the new embankments and the reconstruction of the existing ones, including other accompanying facilities, the focus of the solution are measures of natural water retention, i.e. use of the full capacity of the existing retention areas. The measures of natural water retention significantly affect the construction/reconstruction costs of embankments and regulation facilities. The option analysis considered a wide spectrum of discharge distribution in order to define the optimal solution for flood protection of the entire subject area. As part of this process, it was determined that the right bank floodplains of the Sava downstream, between Zagreb and Sisak (Odransko polje), need to be repurposed into a retention basin. The uniqueness of this concept is its favourable impact on biodiversity, which is achieved both by naturally retaining water on wide retention surfaces and by restoring a parallel flow with the Sava River. Furthermore, this ensures a uniform safety level for the entire hinterland as well as access to all parts of the system, which is a prerequisite for efficient implementation of flood protection measures and the maintenance of the system.

KEYWORDS: Flood risk, Sava, Srednje Posavlje, retention basin, embankment

1. UVOD

Sustav obrane od poplava Srednjeg Posavlja se proteže od granice s Republikom Slovenijom (Jesenice) do ušća Trnave (Nova Gradiška). Koncept kakav danas poznajemo se počeo oblikovati i izgrađivati prije gotovo pola stoljeća (nakon velike poplave 1964. godine) i to kao sustav obrane od poplava sa ciljem zaštite prvenstveno grada Zagreba, a zatim i ostalih gradova/naselja uz rijeku Savu. Sustav nikada nije u potpunosti dovršen prema izvornoj zamisli.

Područje obuhvata je središnji prostor Republike Hrvatske. Glavni vodotok područja je rijeka Sava. Najvažniji pritoci su rijeka Kupa, koja utječe u Savu kod grada Siska i rijeka Una, koja utječe kod grada Jasenovca. Problemi obrane od poplave na području rijeke Save riješeni su u nizinskim dijelovima korištenjem prirodnih poplavnih depresija za koje se uobičajeno veže naziv „polje“. Naselja su u većini slučajeva zaštićena nasipima. U okviru ovoga rada, promatran je dio sustava obrane od poplava Srednje Posavlje (SOPSP). Omeđen je Jesenicama i ušćem Trnave na rijeci Savi, Jamničkom Kiselicom na rijeci Kupi te Hrvatskom Kostajnicom na rijeci Uni.



Slika 1. Postojeće stanje izgrađenosti sustava zaštite od poplava rijeke Save na području Republike Hrvatske

Uz nasipe, osnovne komponente razmatranog dijela sustava obrane od poplava čine:

- Rasteretni kanali (kanal Odra, kanal Lonja - Strug) - služe za evakuaciju viška vodnih količina iz Save u retencijske prostore, čime se kompenzira nedostatan kapacitet korita rijeke Save,
- Distribucijski objekti za manipulaciju (preljev Jankomir, preljev Palanjek, preljev Košutarica, ustava Prevlaka, ustava Trebež) - služe za regulaciju vodnih količina unutar sustava,
- Retencijski prostori (Odransko polje, Žutica, Lonjsko polje, Opeka, Trstik, Mokro polje, Zelenik) - služe za prihvatanje viška voda, kod prolaska vodnog vala.

Cijelo rješenje SOPSP je, dakle kombinacija uređenja velikih retencijskih prostora za prihvatanje viška velikih voda koje rijeka Sava ne može kapacitirati i klasičnih radova: izgradnja nasipa i regulacija korita. Funkcioniranje SOPSP postiže se nizom objekata. Mjerama upravljanja ovisno o situaciji nastoji se postići optimalno korištenje svih kapaciteta, a time i pozitivni efekti za branjena područja.

Na širem sektoru Zagreba je tečenje uređeno i predvidivo. Svodi se na propagaciju i kontroliranu redukciju ulaznoga vala, sukcesivno na preljevu Jankomir i ustavi Prevlaka. Redukcija protoka na preljevu Jankomir se odvija nekontrolirano, dok je na ustavi Prevlaka moguća kontrola. Oterećenje na preljevu Jankomir podbacuje u odnosu na projektirane vrijednosti, što se objašnjava velikim morfološkim promjenama korita Save

kroz Zagreb od vremena kad je izvršeno dimenzioniranje preljeva.

Nizvodno od Zagreba zbog loma nivelete dna i utjecaja pritoka Kupe dolazi do snažnog uspora gdje zbog visine i kvalitete nasipa kod velikih voda dolazi do prelijevanja i proboja. Kod operativne obrane ovdje treba prisilno intervenirati ugradnjom vreća s pijeskom na dijelovima nasipa koji ne zadovoljavaju visinom i/ili kvalitetom. Prisilna intervencija odnosi se i na ciljani i kontrolirani proboj nasipa, ako se za to ukaže potreba, sa ciljem spašavanja nizvodno ugroženih naselja. Prisilno rasterećenje se odvija u raspoloživi retencijski prostor, pritom vodeći računa da se u opasnost ne dovede šire okruženje proboja.

Na sektoru Siska dolazi do interferencije savskog i kupskog vala s rezultantom koja u prvom redu ovisi o stupnju koincidencije ulaznih komponenti i može biti tolerantna (ako se ulazne komponente mimoilaze) ili katastrofalna (ako ulazne komponente koincidiraju). Jedino odterećenje do nedavno bilo je na ušću Odre i to ograničenog opsega. U posljednjih nekoliko godina u funkciji je i preljev Palanjek, koji iako trenutno smanjene funkcije (problem propusta ispod ceste Hrastelnica - Palanjek) znatno pridonosi poboljšanju vodnog režima. Ipak, budući da je transformacija vodnoga vala ograničena redukcijskim efektom otvorenoga ušća Odre i djelomično funkcionalnog preljeva Palanjek, ponekad dolazi do gomilanja voda i zagušenja na ušću Kupe. Riječ je o neupravljivim okolnostima. Na sektoru Jasenovca dominira stihijska odteretna aktivnost na nekoliko nezaštićenih mjesta: ušću Trebeža, ušću Sunje, preljevu Košutarica. Kontrolirano rasterećenje u Lonjsko polje vrši se ustavom Trebež. Za cijelo velikovodno razdoblje karakteristično je strujanje Save u zaobalje koje započinje rano i traje dugo, s visokim amplitudama i velikim oterećenim volumenom. Interakcija Save i Une je manje izražena, zbog manjeg relativnog udjela pritoka i zbog otvorenosti prema zaobalju koja djelomično neutralizira i najnepovoljnije ulazne situacije. Tečenje nije ograničeno na riječno korito i usku inundaciju, već se zbog nezaštićenog toka Save voda izlijeva u zaobalne retencije Zelenik (kroz ušće Sunje) i Opeka (kroz ušće starog Trebeža).

Za najnižvodniji dio sustava (sektor Mačkovca) karakteristična je slobodna fluktuacija preko savske obale na potezu Uskoci - Mlaka, na ušćima Velikog i Malog Struga te ušćem kanala Lonja - Strug. Često je to vraćanje voda iz zaobalja (Mokro polje) natrag u rijeku Savu, a događa se nekontrolirano, stihijski. Zbog sveukupnog uzvodnog retardacijskog djelovanja, intenzitet izlaznog otjecanja ne izlazi iz dopuštenih okvira.

Protoci su na velikom dijelu obrađenog toka na zadovoljavajući način svedeni unutar ili blizu postavljenih granica, dok vodne razine uglavnom prekoračuju projektne predviđene vrijednosti.

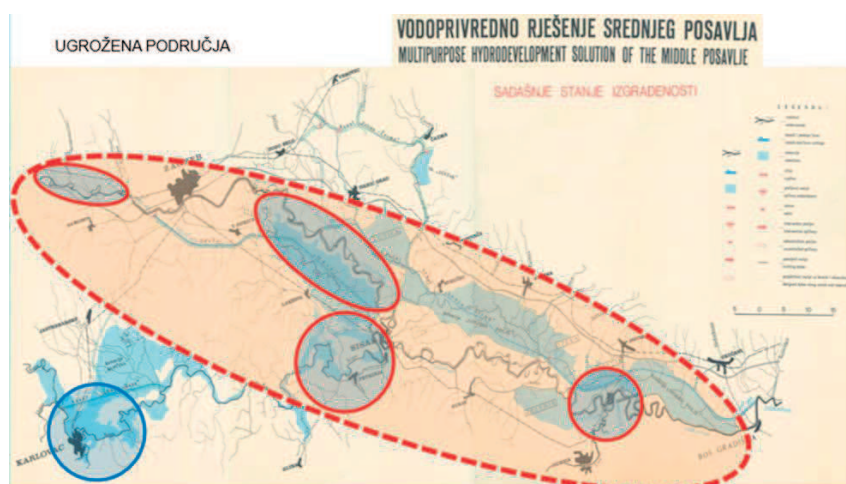
Koncepcija obrane od poplava na predmetnom području se primarno oslanja na nizinska poplavna područja (Odransko polje, Zelenik, Lonjsko i Mokro polje), stoga je bilo nužno predvidjeti radove kojima će se osigurati maksimalno korištenje prirodnih retencijskih područja, što je u postojećem stanju evidentirano kao glavni nedostatak sustava.

2. IDENTIFIKACIJA NEDOSTATAKA

Analizom i rekonstrukcijom povijesnih poplavnih događaja na području SOPSP, osim povećane učestalosti i intenziteta velikih voda, uočeni su sljedeći nedostaci SOPSP u postojećem stanju:

1. Neusklađenost distribucijsko - regulacijskih objekata i nedovršenost zaštitne linije

- nasipa uz retencije, zbog čega one nisu privedene traženoj funkciji, niti se koriste u potpunosti;
2. Erozija obale, čime je posljedično ugrožena i stabilnost regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina;
 3. Produbljenje korita rijeke Save na dionici od granice s Republikom Slovenijom sve do Rugvice, gdje se značajno mijenja pad nivelete dna, odnosno gdje rijeka Sava prelazi iz brdske u tipičnu nizinsku rijeku. Navedene morfološke promjene direktno utječu na stabilnost regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina, kao i na uvjete rada regulacijsko - distribucijskih objekata u sustavu obrane od poplava;
 4. Neravnomjerna razina sigurnosti od prelijevanja obrambenih nasipa (1,2 m iznad velike vode 100 - godišnjeg povratnog razdoblja). Nedovoljna visina nasipa uz rijeku Savu i glavne usporne vodotoke (Kupa, Una, Sunja, Krapina, Lužnica, Sutla, Bregana, Gradna, Rakovica) i to pogotovo kod dionica građenih u daljoj prošlosti. Nedovoljna visina posljedica je sukcesivne gradnje nasipa kroz povijest bez respektiranja ključnih propisa koji su danas postali standard projektiranja i izvođenja nasipa te značajnih povećanja ulaznih hidroloških veličina u odnosu na one na koje je sustav dimenzioniran (100 - godišnja projektna velika voda je iznosila 3.650 m³/s, dok je nova 12 % veća za isto povratno razdoblje);
 5. Neravnomjerna razina sigurnosti temeljnog tla nasipa od hidrauličkog sloma. Promjenjiva uslojenost nepropusnog temeljnog tla nasipa i nedostatna geotehnička istraživanja za vrijeme izgradnje nasipa, nepostojanje zaobalnog drene u nožici nasipa;
 6. Poteškoće u pristupu nasipu za vrijeme obrane od poplava, ali i tijekom redovitog održavanja, na većini dionica nije osiguran servisni put za pristup nasipu ili je postojeći put poplavljen zaobalnim vodama.



Slika 2. Najugroženija područja sustava Srednjeg Posavlja

Ako se promatra prostor uz rijeku Savu od ušća Trnave do granice s Republikom Slovenijom onda se može reći da su obrambeni nasipi izgrađeni na dijelu toka rijeke Save od Podsuseda do ušća Trnave. Područje u desnom zaobalju Save od Zagreba do Siska je zbog nezadovoljavajuće visine i kvalitete nasipa s mogućnošću izloženo plavljenju. Uz ovaj dio obale Save smještene su u brojna naselja, pa su velike vode opasnost za ljudske živote i za materijalna dobra. Postojeći nasipi, osim što nemaju zadovoljavajuću visinu, nemaju ni adekvatnu stabilnost, odnosno prisutna su urušavanja i klizanja.

Ugroženost područja zbog neizgrađenosti nasipa uz rijeku Savu prisutna je na najzvodnijem dijelu toka rijeke Save, na dionici od Zaprešića do granice s Republikom Slovenijom. Na ovom dijelu područja izgradnja zaštitnih nasipa stavljena je u kontekst izgradnje HE Podsused. Zbog nerealizacije planiranog objekta ovo područje je i danas ostalo nezaštićeno.

Retencije također nisu u potpunosti privedene traženoj funkciji zbog nedovršenosti njihovih obuhvatnih nasipa. Značajan dio izgrađenih nasipa u retencijama, pokazao se zbog ugrađenih nepovoljnih materijala nestabilnima, pa su na značajnim dijelovima prisutne pojave kliznih ploha, a što smanjuje sigurnost sustava kod provođenja velikih voda. Neizgrađenost dijelova nasipa u retencijama i nedovoljna visina pojedinih nasipa, ne omogućuje planirani prihvati vodnih masa kod ekstremnih pojava i ugrožava područja koja su planirana za zaštitu. Posebno se naglašava problem u Odranskom polju, gdje je ugrožen značajan dio urbanih površina na njenim rubnim dijelovima.

Poseban problem predstavlja nefunkcioniranje preljeva Jankomir u planiranim okvirima. Zbog manjeg kapaciteta preljevne građevine danas je korito rijeke Save kroz grad Zagreb opterećeno više nego što je planirano. Na području grada problemi nisu prisutni jer je protjecajni profil dimenzioniran na 1.000 - godišnju veliku vodu sa sigurnosnim nadvišenjem od 0,8 metara, problemi su prisutni nizvodno na dionici toka rijeke Save od Kosnice do Siska, gdje je značajno manji protjecajni profil rijeke Save.

3. OPCIJSKA ANALIZA

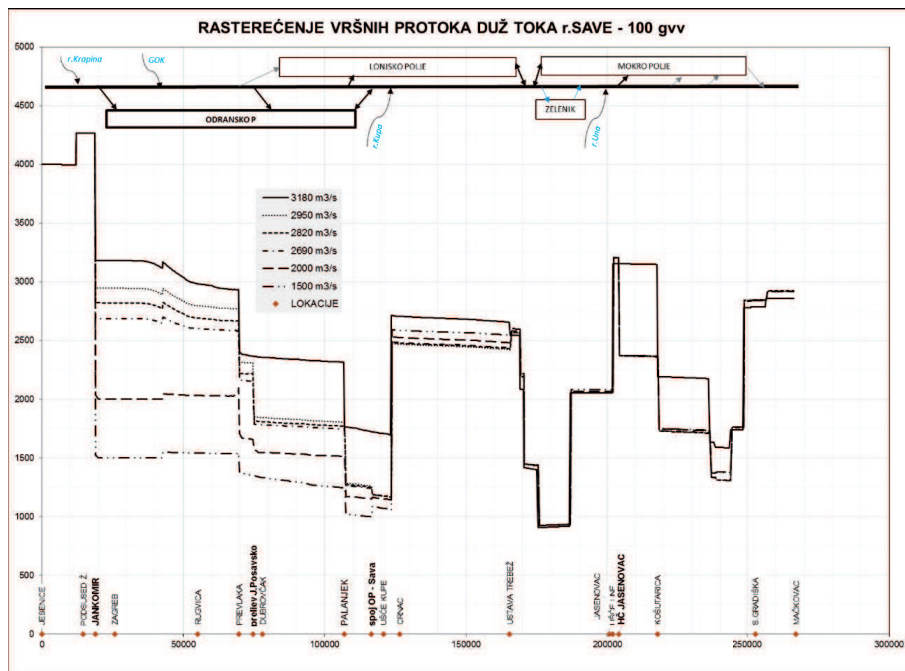
3.1. Opis razmatranih opcija

Cilj analiza je bio istražiti optimalno rasterećenje rijeke Save u Zagrebu i nizvodno do ušća Trnave u svrhu osiguranja prihvatljivih vodnih razina za provođenje mjera obrane od poplava, odnosno usklađenje visokovodnog režima rijeke Save s izvedenim sustavom nasipa. Pri tome je kao rubni uvjet uzeta maksimalna - dopuštena vodna razina velikih voda koja se može tolerirati u uređenom sustavu retencije Odransko polje (100,20 m n.m.), kao i na izlaznom nizvodnom profilu rijeke Save u Mačkovcu.

Fokus je usmjeren na mjere prirodnog zadržavanje vode, odnosno privođenje namjeni desnoobalnog retencijskog područja (Odransko polje), kao i njegovo povezivanje s postojećim lijevoobalnim retencijskim područjima, uz osiguranje korištenja njihovog punog kapaciteta. Kao ključan objekt je identificiran hidročvor Jankomir, odnosno preljev Jankomir i kanal Odra. U priloženoj tablici sumarno su prikazana razmatrana opcijska rješenja uređenja - razvoja razmatranog dijela savskog sustava i postignute uvjete distribucije voda na hidročvoru Jankomir.

Tablica 1. Prikaz analiziranih koncepata regulacije veliko-vodnog režima rijeke Save kod Zagreba za 100 - godišnje povratno razdoblje

r. br	Opcija	Uzvodno od hidročvora Jankomir [m ³ /s]	Nizvodno od hidročvora Jankomir [m ³ /s]	Kanal Odra [m ³ /s]	Dodatno rasterećenje 100 g. v. vala u Odransko polje [mil. m ³]	Dodatno rasterećenje 100 g. v. vala u Mokro polje [mil. m ³]
1	Postojeće stanje izgrađenosti - P0	4265	3180	1085	0	0
	Minimalni radovi na regulacijskim građevinama - Opc HV	4265	2950	1315	+62	+570
3	Regulacija protoka nizvodno od Jankomira na 2.820 m³/s - Opc HV1	4265	2820	1445	+70	+570
4	Regulacija protoka nizvodno od Jankomira na 2.690 m³/s - Opc 0	4265	2690	1575	+75	+570
5	Regulacija protoka nizvodno od Jankomira na 2.000 m³/s - Opc 0A	4265	2000	2265	+182	+570
6	Regulacija protoka nizvodno od Jankomira na 1.500 m³/s - Opc 0B	4265	1500	2765	+290	+570



Slika 3. Rasterećenje vršnih protoka 100 - godišnjeg povratnog razdoblja duž toka rijeke Save prema razmatranim opcijama

Na osnovi prikazanih rezultata možemo vidjeti kako modifikacija protoka na hidročvoru Jankomir utječe na rasterećenje velikih voda, a posljedično i na sniženje vodnog lica duž toka rijeke Save. Pri nailasku velikog vala 100 - godišnjeg povratnog razdoblja nizvodno od hidročvora Jankomir, razmatran je spektar protoka od postojećih $3.180 \text{ m}^3/\text{s}$ sve do $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Smanjenjem protoka kroz Zagreb za oko 10 % postizemo dodatno rasterećenje u Odransko polje za oko 70 milijuna m^3 , što ima za posljedicu efekte poboljšanja visokovodnog režima rijeke Save na dionici do Siska između 60 i 120 cm.

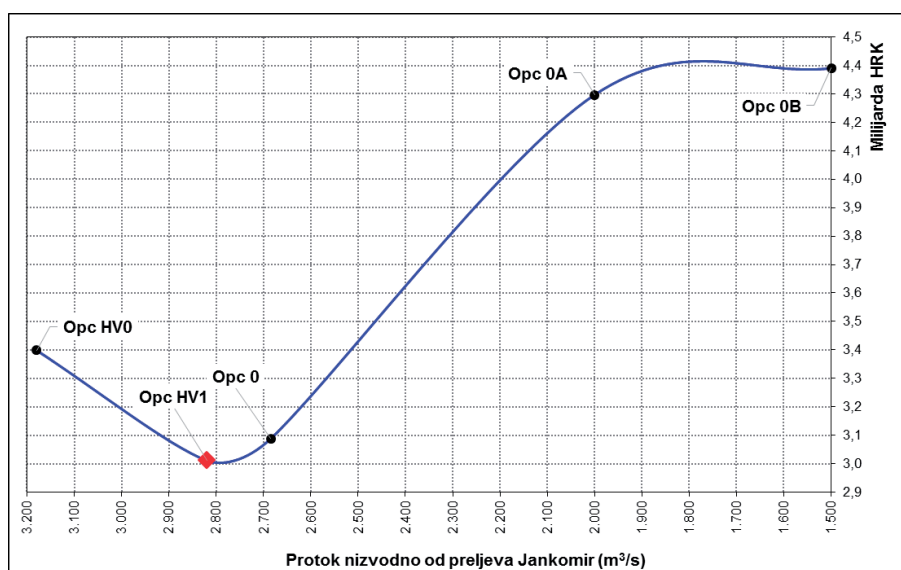
Smanjenjem protoka kroz Zagreb za oko 35 % postizemo dodatno rasterećenje u Odransko polje za oko 180 milijuna m^3 , što ima za posljedicu efekte poboljšanja visokovodnog režima rijeke Save na dionici do Siska oko 190 cm.

Smanjenjem protoka kroz Zagreb za oko 50 % postizemo dodatno rasterećenje za oko 290 milijuna m^3 , i to do maksimalno dopuštene kote u Odranskom polju (100,20 m n.m.), što ima za posljedicu efekte poboljšanja visokovodnog režima rijeke Save na dionici do Siska oko 280 cm.

Neovisno o reguliranom protoku kroz Zagreb, drugo značajno poboljšanje postizemo na području Jasenovca izgradnjom regulacijske rasteretne građevine kojom dodatno upuštamo oko 570 milijuna m^3 u retenciju Mokro polje.

3.2. Odabir prihvatljive opcije

Za donošenje konačne odluke o odabiru prihvatljive opcije unaprjeđenja sustava obrane od poplava na predmetnoj dionici postavljen je kriterij najnižih investicijskih troškova. Ostvarene koristi su iste neovisno o odabranom opsijskom rješenju, jer su u svakoj opciji svi objekti sustava dimenzionirani na istu razinu sigurnosti. Razmatrane opcije osim izgradnje/rekonstrukcije regulacijskih građevina, uključuju i izgradnju novih i rekonstrukciju postojećih nasipa. Količine potrebnih radova na rekonstrukciji postojećih nasipa su obrnuto proporcionalne količini radova na regulacijskim objektima i dodanom rasterećenju. Sveukupni investicijski troškovi se kreću od 3,0 milijarde kuna do 4,4 milijarde kuna. Zadržavanje postojećeg stanja s protokom od 3.180 m³/s nizvodno od Jankomira zahtijeva veće radove na izgradnji/rekonstrukciji obrambenih nasipa. Dok veći regulacijski zahvati na smanjenju protoka nizvodno od Jankomira imaju za posljedicu manju investiciju u izgradnju/rekonstrukciju nasipa, ali ipak veće troškove investicije u regulacijske građevine. Kao optimalna opcija nameće se regulacija protoka nizvodno od Jankomira na 2.820 m³/s (Opc HV1) koja objedinjuje najniže troškove izgradnje/rekonstrukcije nasipa i regulacijskih građevina.



Slika 4. Sveukupni investicijski troškovi ovisno o reguliranom protoku 100 - godišnje velike vode nizvodno od Jankomira

ZAKLJUČAK

Na osnovi prikazanih rezultata proračuna, prihvatljiva rješenja za nadogradnju postojećeg sustava obrane moraju uključiti modifikaciju distribucije vode na hidročvoru Jankomir. Na uzvodnom dijelu toka rijeke Save zaštitu zaprešićkog područja treba osigurati prema ekonomski optimalnoj trasi nasipa, uzimajući u obzir i utjecaj na desnu obalu - samoborsko područje. U pogledu ostalih ugroženih područja od velikih voda rijeke Save, predloženim regulacijskim radovima će se:

- na dijelu toka rijeke Save između Zagreba i Siska sniziti vodne prosječno za 90 cm po realizaciji planiranih radova (Opc HV1 - rekonstrukcije preljeva Jankomir, izgradnje preljeva Jezero posavsko, izgradnjom spojnog kanala "Palanjek" i spojnog kanala "Odransko polje - Sava"),
- zaštita ugroženih područja kod grada Siska i u Odranskom polju će se realizirati planiranim radovima oblikovanja retencije Odransko polje i izgradnjom zaštitnih nasipa uz rijeku Savu i rijeku Kupu,
- predloženom izgradnjom preljeva Jasenovac sniziti će se vodne razine rijeke Save na utjecajnom području grada Jasenovac za 20 do 30 cm.

Nepovoljne posljedice uzvodnih regulacija ogledaju se u povećanju vodnih razina na nizvodnom dijelu toka rijeke Save uz retenciju Mokro polje do 10 cm, što je potrebno riješiti rekonstrukcijom postojećih retencijskih nasipa, koji i danas nisu u zadovoljavajućem stanju. Posljedice povećanja vodnih razina u retenciji su uzrokovane pojačanim punjenjem desnoobalnih retencijskih prostora zbog izgradnje: spojnog kanala „Palanjek“, preljeva na istočnom nasipu Lonjskog polja (građevina Trebež II) i izgradnje preljeva na hidročvoru Jasenovac kojim se vode rijeke Save rasterećuju u prostore retencije Mokro polje. Radi se o planiranim do danas nerealiziranim građevinama sustava obrane od poplava Srednjeg Posavlja.

Ako se modelski računski protoci na izlazu iz razmatranog sustava stave u kontekst računskog protoka 100 - godišnje velike vode proračunatog distribucijom maksimalnih godišnjih protoka na vodomjernoj postaji Mačkovac za razdoblje od 1984. do 2014. godine (2.950 m³/s), onda se može zaključiti da navedeni regulacijski radovi ne utječu na pogoršanje stanja nizvodnog dijela sustava („donja Sava“).

LITERATURA

- [1] Grupa autora, (1972.): *Studija regulacije i uređenja rijeke Save u Jugoslaviji*, Polytechna Prag, C. Lotti Rim, Zagreb.
- [2] Brkić B., (2005.): *Sustav obrane od poplava Srednjeg Posavlja - analiza visokovodnog režima Save*, VPB d.d., Zagreb.
- [3] Brkić B., Kolarić D., (2010.): *Sustav obrane od poplava Srednjeg Posavlja - aktualizacija rješenja*, VPB d.d., Zagreb.
- [4] Kolarić D., Obarčanin E., (2018): *Izrada studijske dokumentacije za pripremu projekta unaprjeđenja sustava zaštite od poplava na rijeci Savi od granice sa Slovenijom do ušća Trnave*, VPB d.d., Zagreb.

AUTORI

Enes Obarčanin dipl. ing. građ. ^a, Dario Kolarić, dipl. ing. građ. ^a, Željko Tusić, dipl. ing. kult. teh. ^a, Sanda Kolarić Buconjić, dipl. ing. građ. ^b

^a Vodoprivredno-projektirni biro, Ulica grada Vukovara 271, Zagreb, 10000, Hrvatska, enes.obarcanin@vpb.hr, dario.kolaric@vpb.hr, zeljko.tusic@vpb.hr

^b Hrvatske vode- Zagreb, Ulica Grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, sanda.buconjickolaric@voda.hr



R 2.16.

**MODERNIZACIJA LIJEVOOBALNIH SAVSKIH NASIPA
OD RAČINOVACA DO NOVE GRADIŠKE -
OKOLIŠNI ASPEKT**

Žana Bašić, Enes Obarčanin, Željko Tusić

SAŽETAK: Predmet rada je prikaz ciljeva koje je trebalo ispuniti i izazova koje je trebalo riješiti pri izradi idejnih i glavnih projekata „Modernizacije lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške“ s aspekta zaštite okoliša.

Pripremnom dokumentacijom, realiziranom 2015. godine, obuhvaćena je provedba istražnih radova, izrada idejnog rješenja i studije izvodljivosti, koji su bili osnova za prijavu projekta za sufinanciranje iz Europskog fonda za regionalni razvoj. Sastavni dio dokumentacije je i elaborat zaštite okoliša temeljem kojeg je proveden postupak ocjene o potrebi procjene (OPP). Od samog početka izrade pripreme dokumentacije, pri koncipiranju rješenja, posebna je pažnja bila posvećena mjerama, kojima se uz postizanje osnovnog cilja, podizanja stupnja sigurnosti zaobalja u odnosu na velike vode rijeke Save, osigurava i primjerena zaštita okoliša. Ovakav interdisciplinarni pristup, rezultirao je Rješenjem proizašlim iz postupka OPP, kojim se navodi da nije potrebna provedba postupka procjene utjecaja na okoliš (PUO) niti glavne ocjene utjecaja na ekološku mrežu (EM).

U cjelokupnom procesu, od definiranja koncepcije do ishoda dozvola, poseban izazov je predstavljalo prostorno pozicioniranje i tehničko rješenje nalazišta iz kojih će se osiguravati materijal za realizaciju projekta s obzirom na to da je bilo nužno pomiriti različite aspekte: tehničke, administrativne i imovinsko pravne zahtjeve kao i potrebe zaštite okoliša.

KLJUČNE RIJEČI: modernizacija savskih nasipa, zaštita okoliša, nalazišta

**MODERNISATION OF THE LEFT EMBANKMENTS OF THE SAVA
RIVER FROM RAČINOVCI TO NOVA GRADIŠKA
- ENVIRONMENTAL ASPECTS**

ABSTRACT: The aim of the paper is presenting the goals that had to be fulfilled and the challenges that had to be solved during the development of the preliminary and detailed designs for the project “Modernisation of the left embankment of the Sava River from

Račinovci to Nova Gradiška“ from the viewpoint of environmental protection.

The preparation of the documents, completed in 2015, included the implementation of investigation works and the development of the conceptual design and feasibility study that served as a basis for the project application for cofinancing from the European Regional Development Fund. An integral part of the documents was the screening report that was used in the procedure of the evaluation of the need for environmental impact assessment. From the very beginning of the development of preparatory documents, during the conceptualisation of the solution, particular attention was paid to the measures that, in addition to achieving the main goal of raising the safety level of the hinterland from the Sava floodwater, also ensured appropriate environmental protection. Such interdisciplinary approach resulted in the Decision that came out from the procedure of the evaluation of the need for environmental impact assessment, which stated that neither the implementation of the environmental impact assessment procedures nor the main assessment of impacts on the ecological network were required.

In the entire process, from defining the concept to obtaining the permits, a special challenge was posed by the spatial positioning and the technical solution for the borrow pits that would provide materials for the project implementation since it was necessary to reconcile many different aspects, from the technical, administrative and property relations requirements to the needs of environmental protection.

KEYWORDS: Modernisation of the Sava embankments, environmental protection, borrow pits

1. UVOD

U sklopu projekta modernizacije lijevoobalnih savskih nasipa, 2015. godine izrađeno je idejno rješenje i studija izvodljivosti na temelju kojih je izvršena prijava za sufinanciranje iz Europskog fonda za regionalni razvoj. Također, u svrhu prijave projekta za sufinanciranje i provođenja potrebnih okolišnih procedura u Republici Hrvatskoj, 2015. izrađen je Elaborat zaštite okoliša. S obzirom na to da se od samog početka izrade projektne dokumentacije, pri samoj razradi koncepcije posebna pažnja posvetila mjerama zaštite okoliša, postupak OPP rezultirao je Rješenjem u kojem se navodi da nije potrebno provesti postupak procjene utjecaja zahvata na okoliš, niti glavnu ocjenu prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu.

Nakon završetka pripremne dokumentacije, pristupilo se izradi projektne dokumentacije više razine: idejnih projekata, parcelacijskih elaborata i glavnih projekata te u konačnici ishodu potrebnih lokacijskih i građevinskih dozvola. U sklopu cjelokupnog projekta predviđeno je ishodu ukupno 18 lokacijskih dozvola, 21 građevinske dozvole i 55 parcelacijskih elaborata, s tim da su za neke k.o. izrađivana i po 3 parcelacijska elaborata prema pojedinim dionicama projekta, a pri čemu je trebalo posebno paziti na prostorno i vremensko usklađenje izrade i ovjere te provedbe pojedinih elaborata.

Ukupna dužina obuhvata projekta od 172,4 km, koji se proteže kroz dvije županije, 16 jedinica lokalne samouprave, 40 katastarskih općina, što uključuje više od 35 javno pravnih tijela i 6 nadležnih ministarstava te složenost koordinacije svih dionika, čine ovaj projekt najvećim infrastrukturnim projektom u Republici Hrvatskoj u području zaštite od štetnog djelovanja voda.

Poseban izazov predstavljalo je prostorno pozicioniranje i tehničko rješenje nalazišta iz kojih će se osiguravati materijal za realizaciju projekta, s obzirom na to da je pri tome bilo nužno pomiriti: tehničke, administrativne i imovinsko pravne zahtjeve kao i potrebe zaštite okoliša.

U sklopu elaborata zaštite okoliša, između ostalog, dane su osnovne smjernice za projektiranje nalazišta, primjenom kojih se postiže status eksploatiranih nalazišta kao nove zelene infrastrukture, koja cijelom projektu daje dodanu vrijednost.

Nova vrijednost prostora unutar zahvata ogleđa se u sljedećem:

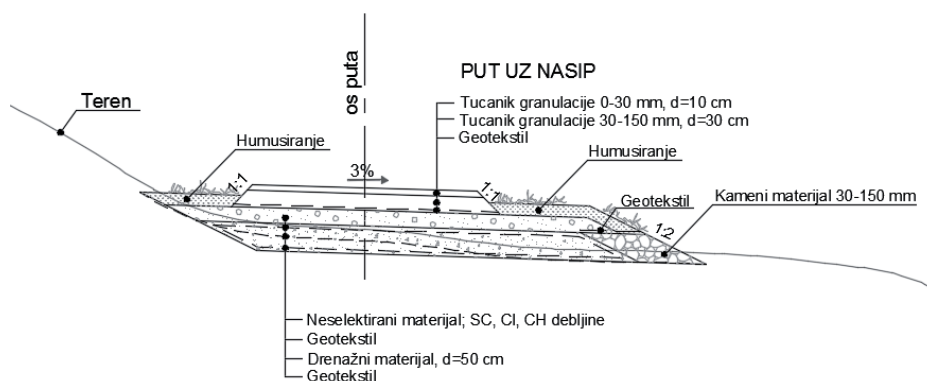
iskopom potrebne količine materijala za izvođenje bermi, povećava se slobodni volumen unutar inundacije za prihvat dijela vodnog vala,

propisanom sadnjom autohtonih nasada pri uređivanju nalazišta nakon završene eksploatacije povećavaju se površine pod aluvijalnim šumama i staništima od posebne važnosti (prioritetno stanište tipa 91E0*)

formiranjem novih vodenih površina, oblikovno sličnih prirodnim uvjetima, otvara se novi prostor za povećanje biološke raznolikosti vlažnih, močvarnih i vodenih staništa.

2. POZICIONIRANJE NALAZIŠTA

U okviru idejnog rješenja provedena je analiza varijantnih rješenja povećanja sigurnosti nasipa te se pokazalo da je najprihvatljivije tehničko rješenje sa zaobalnom bermom i drenom u nožici nasipa, građenom od lokalnih materijala (Slika 1). Berma ima funkciju balasta te je predviđena za izvođenje od neselektiranog zemljanog materijala - gline i pjeskovite gline, dok se dren izvodi od pjeskovitih materijala iz nalazišta, a koji ima prihvatljivu vodopropusnost.



Slika 1. Karakteristični poprečni profil berme

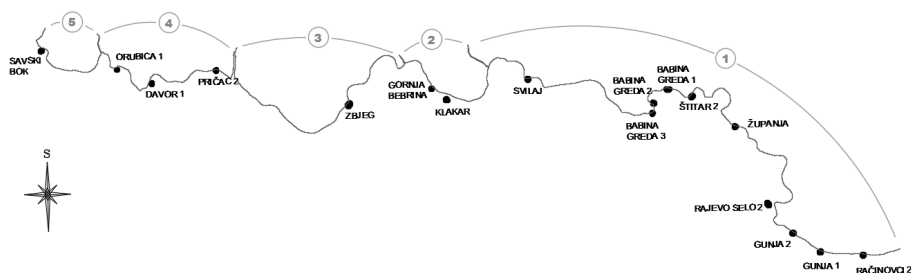
Prema do sada provedenim istraživanjima i iskustvima vezanim uz rekonstrukciju i sanaciju postojećih nasipa, pogodni materijali su realno prisutni u široj zoni obuhvata projekta što je i potvrđeno detaljnim geotehničkim istraživanjima provedenim u sklopu pripreme projekta. To se odnosi na pojas nasipa, ali i na površine unutar inundacije koje su najprihvatljivije za osiguranje potrebnih količina materijala za ugradnju obzirom na: transportnu udaljenost, rješavanje imovinsko pravnih odnosa jer se radi o površinama koje su u funk-

ciji uređenja vodnog režima (javno vodno dobro), komunikacijske mogućnosti (transporti ne opterećuju javne površine) i dr.

Odabir potencijalnih lokacija nalazišta je bio uvjetovan sljedećim kriterijima:

- količinom materijala, pijeska i gline, potrebne za ugradnju,
- kvalitetom prostora obzirom na mjere zaštite okoliša i prirode (izbjegnuto je otvaranje nalazišta na posebno osjetljivim površinama, gdje dolazi do izražaja potreba povećane zaštićenosti staništa i vrsta),
- racionalizacijom transportnih udaljenosti obzirom na opsežnost cijelog zahvata,
- stanjem imovinsko – pravnih odnosa (zemljište u državnom vlasništvu),
- minimalnom udaljenošću od nasipa (oko 50 m).

Geomehanički istražni radovi na razini idejnog rješenja obuhvatili su 21 potencijalnu lokaciju nalazišta, od kojih se 17 pokazalo pogodnim za eksploatiranje materijala. Nakon detaljnije razrade na razini idejnih projekata, i provedenih dodatnih istražnih radova odabrano je 12 nalazišta koja zadovoljavaju potrebe građenja.



Slika 2. Situativni prikaz položaja nalazišta po kasetama

3. OBLIKOVNE KARAKTERISTIKE

3.1. Okolišni aspekt

Cijeli prostor obuhvata zahvata unutar inundacije nalazi se u području ekološke mreže Sava nizvodno od Hrušćice HR2001311, što je evidentirano na samom početku izrade idejnog rješenja i elaborata zaštite okoliša te se od samog početka pazilo na oblikovne karakteristike nalazišta, kako bi se što bolje uklopile u prirodni okoliš. Shodno tome, elaboratom su propisane smjernice za uređenje nalazišta u skladu s pravilima struke i važeće zakonske RH i EU regulative, zadovoljenjem kojih se postižu što prirodniji uvjeti na eksploatiranim površinama.

Predviđene lokacije nalazišta materijala u budućnosti će predstavljati nova vodena staništa, koja su važna za očuvanje divljih vrsta. Prema Nacionalnoj klasifikaciji staništa (NKS), staništa A11 - Stalne stajačice su "Slatkovodna jezera, lokve ili dijelovi takvih vodenih površina prirodnog ili antropogenog porijekla u kojima se stalno zadržava voda, iako njena razina može oscilirati, zajedno s prisutnim pelagičkim i bentoskim zajednicama".

Prvenstveno su važna kao staništa različitih ribljih vrsta, a također i kao staništa, odmorišta, gnjezdilišta ili zimovališta za razne vrste ptica. Osim samog vodenog staništa,

vezana uz jezero nalaze se i staništa na njegovoj obali te također i u okolici.

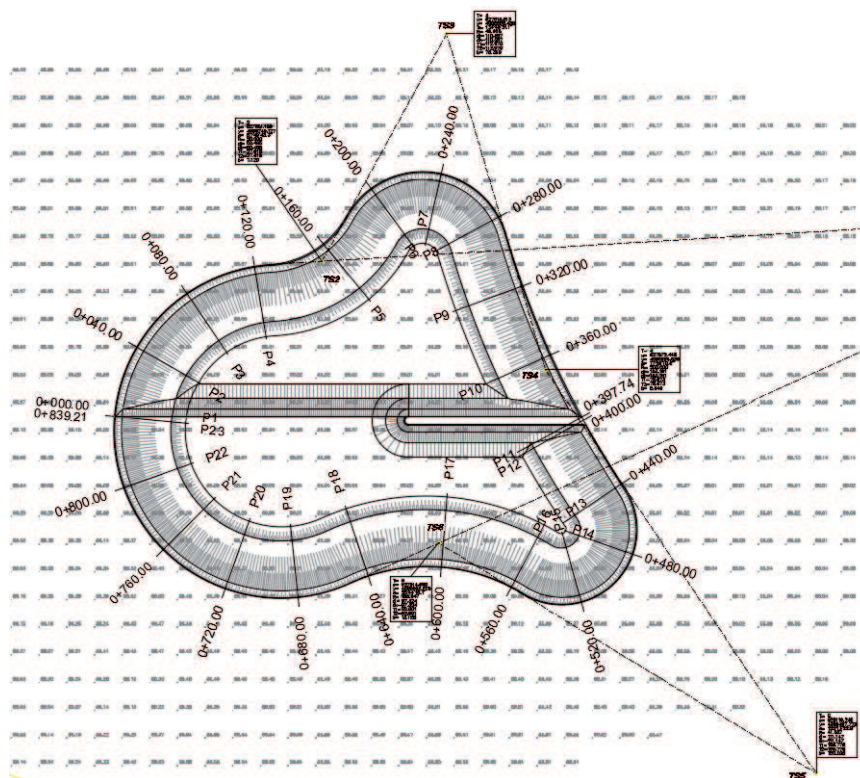
U nastavku se navode smjernice za uređenje nalazišta propisane elaboratom zaštite okoliša:

- Kako bi se osigurali optimalni uvjeti za razvoj navedenih staništa potrebno je nalazišta urediti na način da imaju nepravilan tlocrtni oblik, što sličniji prirodnim oblicima. Struktura obale i dna mora biti u skladu s dubinom i oblikom samog vodenog sustava;
- Nagib obale vodenog sustava treba biti različit i raznolik u jednom promatranom sustavu. Minimalan omjer nagiba obale u odnosu na duljinu obale između 1:2 i 1:3 omogućava minimalnu sigurnosnu podlogu protiv urušavanja i erozije same obale čime se sprječava dodatan unos fosfata u vodeni sustav i pruža najpovoljniju podlogu za razvoj drvenastog trajnog i zeljastog jednogodišnjeg i višegodišnjeg vodenog bilja. Nagib obale u omjeru između 1:3 i 1:10 pruža dobru podlogu za iskorištavanje vodenog sustava za rekreacijske (sport, ribolov, turizam...) svrhe. Obala nagibnog omjera između 1:10 i 1:20 pruža povoljnu podlogu za održavanje močvarnog oblika vodenog sustava zbog izrazito niskog vodostaja u kojem će se razvojem tršćaka stvoriti povoljni uvjeti za naseljavanje ptičjih populacija. Ukoliko površina samog vodenog sustava to dopušta, predlaže se kombinacija svih predloženih omjera nagiba obale na istom vodenom sustavu;
- Oblik jezera je bitan faktor. Većina jezera je plitka s malom površinom i pogodna za razvoj vegetacije. Preporuča se veličina jezera ne manja od 0,4 ha s prosječnom dubinom 6 m do najveće dubine od 12 do 15 m. Plići dijelovi su bitni zbog razvoja emerznog i submerznog bilja koje pruža mrijestilište i npr. zaklon za ihtiofaunu. Te iste zelene otoke razne vrste ptica (patke, guske) koriste za gniježđenje puno više nego obalne dijelova radi zaštite od predatora.

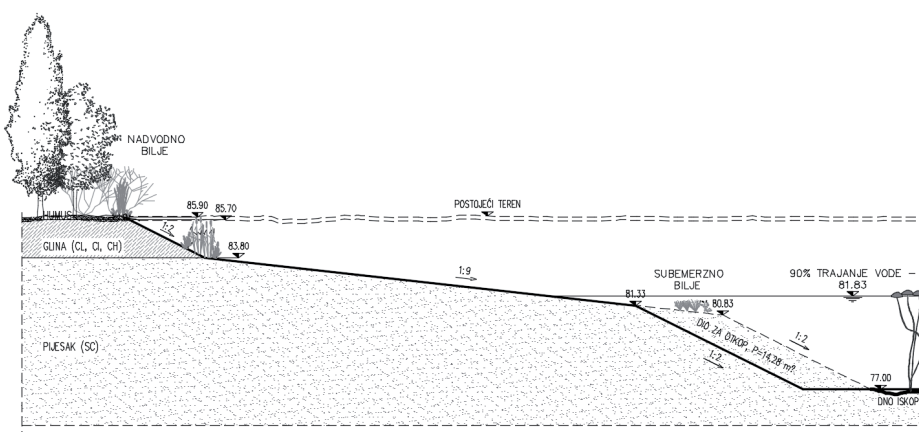
3.2. Tehnički aspekt

S obzirom na zahtjev kojim se traži da se nakon završetka eksploatacije osigura stalna prisutnost vode u nalazištu, nužno je da minimalna dubina iskopa premašuje pojavu vode 90 % trajnosti za 1 m ili više, jer se na toj dubini, obzirom na neposrednu povezanost propusnih slojeva u donjim slojevima nalazišta s rijekom Savom, može očekivati stalna prisutnost vode. U tu svrhu je provedena hidrološko-hidraulička analiza malih i srednjih voda, iz koje su za položaje predmetnih nalazišta dobivene 90 %-tne trajnosti vodostaja, na temelju kojih je kao polazni kriterij za projektiranje nalazišta određivana minimalna kota iskopa.

Za potrebne količine materijala po pojedinim dionicama, s obzirom na kote terena na lokaciji predmetnog nalazišta, dubine rasprostiranja pojedinih vrsta materijala (glinoviti, pjeskoviti) te minimalne potrebne dubine iskopa, tlocrtno i u poprečnom smislu formirana su nalazišta koja zadovoljavaju tehničke i okolišne aspekte.



Slika 3. Primjer situativnog prikaza nalazišta na razini glavnog projekta



Slika 4. Primjer prikaza karakterističnog poprečnog presjeka nalazišta na razini glavnog projekta

4. ADMINISTRATIVNI KRITERIJI

U nastavku se navode neki od administrativnih kriterija i izazova koje je trebalo imati u vidu i respektirati u sklopu izrade projektne dokumentacije.

4.1. Izdavanje dozvola

Općenito, kako se nalazište ne bi smatralo eksploatacijskim poljem, odnosno kako se ne bi izrađivao elaborat eksploatacije, bilo je nužno nalazište projektno vezati za točno određenu dionicu nasipa koja će se graditi. Obzirom na raspoloživu vrstu materijala i svoj položaj u prostoru koji omogućuje optimizaciju transportnih udaljenosti, neka je nalazišta bilo nužno vezati za dvije ili tri neovisne dionice projekta.

Nadalje, kako se u administrativnom smislu nalazište ne smatra građevinom, u sklopu glavnog projekta nije bila nužna detaljna razrada tehničkog rješenja, no kako je prema smjernicama iz elaborata zaštite okoliša bilo potrebno u potpunosti tehnički definirati nalazište uz što precizniju procjenu potrebnih količina iskopa, ista su adekvatno i razrađena. Bez obzira što se nalazišta u administrativnom smislu ne smatraju građevinama, lokacijskim dozvolama je propisana njihova sanacija, kao uvjet za ishođenje uporabne dozvole za pojedinu dionicu nasipa: „*Nalazište se planira unutar inundacijskog pojasa, a sanacija nalazišta je uvjet za ishođenje uporabne dozvole za posljednju etapu zadnje dionice za koje je vezana nalazište*“. Ovaj navod iz lokacijske dozvole implicira da se uporabna dozvola za pojedinu završenu dionicu ne može ishoditi dok se ne završi druga dionica koja je vezana za isto nalazište. Nakon prve izdane lokacijske dozvole i ovakvog navoda, uočeni su problemi vezani uz predviđenu dinamiku po pojedinim dionicama koje koriste materijal iz istog nalazišta, a koje se izvode sa relativno velikim vremenskim pomakom. Planirana dinamika po dionicama je pak uvjetovana drugim čimbenicima (imovinsko pravnim stanjem na terenu, stanju katastarske izmjere u pojedinoj katastarskoj općini, postojećim aktivnim dozvolama i radovima koji su u tijeku, a koji nisu vezani za projekt modernizacije itd).

Također planirana dinamika izrade projektne dokumentacije za svaku dionicu za koju je vezano nalazište nije omogućavala istovremeno definiranje potrebnih količina materijala za svaku dionicu, a koje je bilo potrebno znati već kod izrade projektne dokumentacije za prvu dionicu kojoj pripada nalazište.

4.2. Uvjeti javnopravnih tijela

Poseban izazov se pojavio na samom početku realizacije projekta, već kod izrade projektne dokumentacije za prve dionice Klakar - Ruščica i Državna granica - CS Konjuša. Kod ishođenja posebnih uvjeta javnopravnih tijela, uočena je kolizija s površinama koje su pod upravljanjem Hrvatskih šuma. Naime, posebnim uvjetima Ministarstva poljoprivrede, uprave šumarstva lovstva i drvne industrije, odnosno uvjetima Hrvatskih šuma, dan je popis nalazišta obuhvaćenih cjelokupnim projektom modernizacije, koja se nalaze pod upravljanjem Hrvatskih šuma te je uvjetovano da se lokacije nalazišta trebaju planirati izvan područja kojim gospodare Hrvatske šume d.o.o. Ovakav uvjet nije bilo moguće ispoštivati u ovoj fazi izrade projektne dokumentacije, s obzirom na to da su predviđene lokacije nalazišta već obuhvaćene elaboratom zaštite okoliša, i prošle su proceduru ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš te u ovoj, višoj fazi razrade

tehničke dokumentacije nije bilo moguće mijenjati njihove lokacije.

Nakon nekoliko održanih sastanaka između Hrvatskih šuma i Hrvatskih voda, dogovoreno je da se lokacije nalazišta zadrže na predviđenim lokacijama uz uvjet da se izdvoje u posebne katastarske čestice, koje će kod slijedeće revizije šumsko gospodarske osnove biti dane na upravljanje Hrvatskim vodama. Ovakav dogovor je postignut zahvaljujući činjenici da se većina nalazišta, iako je bila predviđena na području šumsko gospodarskih površina, u stvarnom stanju na terenu nalazi na površinama livada ili šikara. Hrvatske vode su postupile prema dogovoru te su izvršene parcelacije navedenih nalazišta.

Dogovor je vrijedio za sva nalazišta, osim jednog. Naime, nalazište Gunja 2 predviđeno je na površini koja je u naravi šuma hrasta lužnjaka te je stoga izostavljena. S obzirom na postavljene rokove, trebalo je u što kraćem roku pronaći novu lokaciju koja će zadovoljiti kvantitativne i kvalitativne potrebe za materijalom, imovinsko pravne uvjete, kao i kriterij transportne udaljenosti, a uz sve to da ne bude u koliziji s izdanim Rješenjem MZOIE o prihvatljivosti zahvata za okoliš i prirodu. No, u cijeloj situaciji je ipak bilo nešto dobro, a to je da se radilo o nalazištu i dionici koja pripada k.o. Račinovci, i nalazi se u blizini lokacije gdje je 2014. došlo do proboja nasipa te se u relativnoj blizini nalazilo postojeće nalazište Teča, iz kojeg je vršena sanacija proboja. Kao alternativno rješenje usvojena je lokacija postojećeg nalazišta, nakon čega je novi izazov bio u roku od dva dana isprojektirati nalazište na novoj lokaciji te izmijeniti glavni projekt, i zatražiti potvrdu za ishođenje građevinske dozvole.

Kako ni jedan izazov nije nerješiv, tako je i ovaj riješen te su u vrlo kratkom roku, uz maksimalni angažman svih uključenih sudionika, izrađeni glavni projekti i ishođene građevinske dozvole za prvih cca 17 km nasipa.

4.3. Uvjet zaštite prirode iz Rješenja MGIPU

Rješenjem MGIPU propisano je da nije potrebno provoditi postupak procjene utjecaja na okoliš, niti glavnu ocjenu prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu, uz prethodno utvrđivanje značaja planiranog nalazišta Pričac na ciljne vrste leptira. S obzirom na navedeni uvjet, angažiran je stručnjak za leptire, u suradnji s kojim je tehničko rješenje nalazišta Pričac usklađeno s potrebama staništa leptira. Oblikovne karakteristike nalazišta su izmijenjene u odnosu na prethodno predviđene, kako bi se smanjio obuhvat nalazišta koji zadire u stanište zaštićene vrste leptira.

ZAKLJUČAK

Navedene su samo neke od situacija kroz koje se prošlo kod definiranja nalazišta potrebnih za realizaciju projekta modernizacije lijevoobalnih savskih nasipa, ali realno javio se neočekivan broj izazova s kojima se trebalo suočiti i kojima se nije smjelo dozvoliti niti da uspore izradu projektne dokumentacije i ishođenje dozvola, a pogotovo ne da ih zaustave. U konačnici se uspjelo uskladiti i zadovoljiti sve kriterije i zahtjeve, i u respektabilnom roku izraditi projektnu dokumentaciju i predati zahtjeve za izdavanje dozvola. Bez obzira na probleme koji su javljali tijekom izrade projektne dokumentacije i provođenja administrativnih procedura, postići će se vrijedni konačni rezultati, jer ovakav pristup eksploatiranju materijala formiranjem „zelene infrastrukture“ tj. novih zamjenskih vodenih staništa i uređenog prostora oko njih u skladu s postojećim stanišnim

tipovima na prostoru gradnje i nalazišta, imat će svakako višestruko pozitivan utjecaj na prirodu, okoliš i stanovnike koji žive u blizini ovih lokacija.

LITERATURA

- [1] Institut IGH d.d., Zagreb (2016.): *Modernizacija lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške -Elaborat zaštite okoliša,*
- [2] VPB d.d, Zagreb (2017): *Modernizacija lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške, Dionica: Klakar - Ruščica, glavni projekt,*
- [3] VPB d.d., Zagreb (2016): *Modernizacija lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške, studija izvodljivosti,*
- [4] VPB d.d., Geokon Zagreb d.d., Institut IGH d.d., Zagreb (2016): *Modernizacija lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške, Idejno rješenje,*
- [5] (2017): *Modernizacija lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške - Lokacijska dozvola, Dionica: Zadubravlje – Klakar – Ruščica, , MGIPU, Zagreb*
- [6] (2017): *Posebni uvjeti građenja za projekt modernizacije lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške, Hrvatske šume d.o.o., Vinkovci*

AUTORI

Žana Bašić, dipl. ing. građ., univ. spec. oecoing. ^a

Enes Obarčanin, dipl. ing. građ. ^a

Željko Tusić, dipl. ing. kult. tehn. ^a

^a Vodoprivredno-projekttni biro, Ulica grada Vukovara 271, Zagreb, 10000, Hrvatska, zana.basic@vpb.hr, enes.obarcanin@vpb.hr, zeljko.tusic@vpb.hr



R 2.17.

RENATURALIZACIJA DONJEG TOKA RJEČINE, MOGUĆNOSTI I IZAZOVI

Danko Holjević, Tatjana Holjević, Ena Holjević

SAŽETAK: Donji tok Rječine presijeca centar grada Rijeke i čini prirodnu barijeru u urbanističkom i društvenom smislu. Sam tok je kroz povijest predstavljao i fizičku granicu između država, a na taj način njegovo stanje i vodni režim značajno utječe na funkcioniranje i razvoj grada Rijeke. Regulacijskim radovima koncem devetnaestog stoljeća prirodno korito Rječine, skrenuto je prema istočnoj strani delte, dok je zapadna strana delte pretvorena u Mrtvi kanal koji je ostao bez protoka te se pretvorio u dio morske luke. Na taj način, značajno je izmijenjeno prirodno stanje vodnog režima Rječine. U radu se daje pregled provedenih radova, mjerenja i modelskih istraživanja koji su na tom području realizirani, a sa svrhom iznalaženja optimalnog modela renaturalizacije donjeg toka Rječine. Ideja renaturalizacije donjeg toka Rječine polazi od mogućnosti ponovnog spajanja Rječine i Mrtvog kanala te ponovne uspostave prirodnog režima tečenja, ali i uvjeta za bolju kvalitetu vode u oba recipijenta. Kako se radi o složenom hidrotehničkom rješenju i značajnom građevinskom i urbanističkom zahvatu, osim uobičajenog monitoringa vodotoka, provedena su ciljana istraživanja kvalitete vode na više lokacija duž toka Rječine i Mrtvog kanala, kao i modelska istraživanja mogućih tehničkih rješenja samog spojnog kanala. Nastavno daju se i rezultati analize propagacije velikih voda u uvjetima renaturalizacije, kao i procjene utjecaja zahvata na dinamiku kretanja nanosa u oba recipijenta. Zaključno je dan prikaz mogućih rješenja, načina i dinamike realizacije, ali i izazova koji prate realizaciju takvih složenih procesa.

KLJUČNE RIJEČI: renaturalizacija, Rječina, monitoring, Mrtvi kanal, spoj

RENATURALIZATION OF THE LOWER RJEČINA COURSE – POSSIBILITIES AND CHALLENGES

ABSTRACT: The lower course of the Rječina intersects the centre of the town of Rijeka, forming a natural barrier in the urban and social sense. In the past, its course was also a physical border between countries. As such, its condition and water regime have significantly affected the functioning and development of the town of Rijeka. The river regulation works carried out in the late 19th century diverted the Rječina's natural riverbed towards the eastern side of the delta while the western part of the delta was transformed into a canal called Mrtvi kanal that was left without any flow and became a part of the

sea port. In this manner, the natural status of the Rječina water regime was heavily modified. The paper presents an overview of the performed works, measurements and model investigations that were implemented in this area in order to find the optimum model for restoring the lower Rječina course. The idea to restore the lower Rječina course builds on the possibility of re-connecting the Rječina and Mrtvi kanal and re-establishing not only the natural flow regime but also the conditions for better water quality in both recipients. As this concerns a complex hydraulic engineering solution and a considerable engineering and urban project, targeted water quality investigations were performed at several locations along the Rječina and Mrtvi kanal, including model investigations of possible technical solutions for a connecting canal. The paper goes on to present the results of the analysis of high water propagation under the restoration conditions as well as of the assessment of the project's impact on the dynamics of sediment transport in both recipients. Finally, the paper gives an overview of the possible solutions, methods and implementation dynamics, but also of the challenges that accompany the implementation of such complex processes.

KEYWORDS: Restoration, Rječina, monitoring, Mrtvi kanal, connection

1. UVOD

Grad Rijeka, odnosno njegova uža jezgra, razvio se oko ušća Rječine u more, a njegov razvoj vezan je uz naselja nastala uz mnogobrojna prirodna izvorišta vode u ovoj zoni. Već su u rimsko doba ova izvorišta korištena kao prirodno blago, o čemu govore pronađeni bunari u temeljima današnjih zgrada.



Slika 1. Pogled na deltu vodotoka Rječine

Prostor uz dio donjeg toka Rječine bitno je određen položajem korita i režimom tečenja Rječine u sinergiji s obalnim morem. Sav dosadašnji urbanistički razvoj, kao i svakodnevne gradske aktivnosti, neraskidivo su vezani za taj vodni tok. Nekadašnje izmještanje toka Rječine iz pozicije ušća na lokaciji sadašnjeg Portobaroša, na lokaciju Brajdica-Delta, u primarnom obliku bilo je uvjetovano prevencijom velikih šteta od poplava, ali i korištenjem prostora Baroša za razvoj luke. Na taj način staro prirodno korito Rječine pretvoreno je u umjetni morski rukavac, u koji osim mora utiče manja količina slatkih voda, sada već potpuno zatvorenih i zacjevljenih riječkih potoka (slika 1.)

Prostor uz donji tok Rječine predstavlja jedan od urbanistički najvrijednijih i najinteresantnijih dijelova grada Rijeke te ovo područje zaslužuje posebnu pažnju stručne zajednice posebno s aspekta moguće renaturalizacije Rječine i Mrtvog kanala te njihove uloge u budućim rješenjima za ovaj prostor. Kod promišljanja ovog prostora može se govoriti o nužnosti budućeg integralnog promišljanja s aspekta mogućih vodnogospodarskih i urbanističkih rješenja. U tom smislu proveden je čitav niz istraživanja sa svrhom prepoznavanja postojećih ograničenja, ali i iznalaženja optimalnih vodnogospodarskih rješenja za moguću renaturalizaciju donjeg toka Rječine.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Krajem dvadesetog stoljeća, a uvjetovano razvojem računalnih modela te odgovarajuće kompjutorske opreme, provedena su istraživanja vezana uz propagaciju poplavnih voda u donjem toku Rječine sa svrhom analize sigurnosti tog dijela grada Rijeke od moguće pojave poplava, iznalaženja mogućih rješenja za unaprjeđenje regulacijskih i zaštitnih građevina te stvaranje stručne podloge za moguća integralna promišljanja ovog izuzetno vrijednog prostora grada Rijeke. Uspostavljen je matematički model tečenja (1D) i poplavljanja (2D) za postojeću hidrologiju i geometriju korita. Istraživanja i izradu modela proveo je tim stručnjaka s Tehničkog fakulteta u Rijeci. Korištena su autorska softverska rješenja, a šira zajednica upoznata je s rezultatima i prijedlogom unaprjeđenja postojećeg stanja. Jedno od mogućih rješenja, koje bi omogućavala veću sigurnost kod propagacije poplavnih valova ovim dijelom toka Rječine, svakako je i uspostava prirodnog režima tečenja, a prvenstveno u smislu ponovnog spoja Rječine i Mrtvog kanala. Navedeni potencijali spoj omogućio bi djelomično rasterećenje poplavnih voda u koritu Rječine, ali i omogućio oplemenjivanje voda Mrtvog kanala u malovodnom dijelu godine. Ovo rješenje značajno bi moglo utjecati i na odabir mogućih urbanističkih rješenja ovog prostora. Daljnja istraživanja u smislu moguće renaturalizacije donjeg toka Rječine ostvarena su u okviru GLOBE projekta srednje Medicinske škole u Rijeci. Ista su pokrenuta sa svrhom utvrđivanja utjecaja mora u koritu Rječine za vrijeme malovodnog dijela godine, prvenstveno u smislu kvalitete vode. Cilj istraživanja bio je utvrditi lokaciju u koritu Rječine iz koje bi se neovisno o utjecaju mora i veličine protoke, mogla zahvaćati voda kojom bi se osvježavao Mrtvi kanala i postigla djelomična renaturalizacija njegovog režima tečenja. Provedene analize potvrdili su značajan utjecaj kolebanja razine mora u funkciji protoke Rječine na samu kvalitetu vode. Istraživanja su provedena uzorkovanjem i fizikalno-kemijskim analizama parametara kakvoće vode u laboratoriju na dvije lokacije donjeg toka Rječine te dvije lokacije duž toka Mrtvog kanala. Prikupljeni su i analizirani podaci o kolebanju morske razine (plima i oseka) kao i podaci o visini vodnog lica za mjernu limnografsku postaju Tvornica papira. Rezultati

istraživanja kakvoće vode potvrdili su mogućnost njenog korištenja za potrebe budućeg spojnog kanala Rječina –Mrtvi kanal, uz uvjet njenog zahvaćanja na lokaciji uzvodno od Mosta Kontinental. Istraživanje postojeće kvalitete voda Mrtvog kanala provedeno je od strane Nastavnog zavoda za javno zdravstvo primorsko goranske županije (NZJZ PGŽ) sa svrhom detekcije postojećeg stanja kvalitete vode u kanalu ali i lokacijama u Rječini. Uzorkovanja vode provedena su na ukupno 6 lokacija (crvene oznake) i na dvije lokacije utoka zacjevljenih potoka (Fiumara i Lešnjak, žuta oznaka) (slika 2).



Slika 2. Prikaz lokacija uzorkovanja u okviru istraživanja provedenih od strane NZJZPGŽ

Rezultati provedenog istraživanja, nakon službene verifikacije, koristit će se kod procjene mogućeg utjecaja ponovne uspostave prirodnog režima tečenja na postojeću kvalitetu vode u Mrtvom kanalu. U svrhu renaturalizacije Mrtvog kanala provedeno je istraživanje i analiza varijantnih rješenja direktnog povezivanja s vodotokom Rječine te provjera opravdanosti takvih spojeva. Istraživanje je provedeno uspostavom matematičkih modela tečenja od strane Tehničkog fakulteta u Rijeci, kroz studiju „Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala, odnosno poplavlivanja donjeg toka Rječine“. Kao inicijalna varijanta lokacije spojnog kanala predložena je trasa od nizvodne strane pješačkog mosta kod Hotela Continental do unutrašnjeg kraja Mrtvog kanala (Slika 3). Takav spojni kanal

imao bi dvojak u ulogu, osvježavanje vode u Mrtvom kanalu te rasterećenje korita Rječine kod velikih voda. Na taj bi se način djelomično smanjio rizik od mogućih poplava na donjem toku vodotoka Rječine, ali i stvorili uvjeti za djelomičnu renaturalizaciju režima tečenja u Mrtvom kanalu.



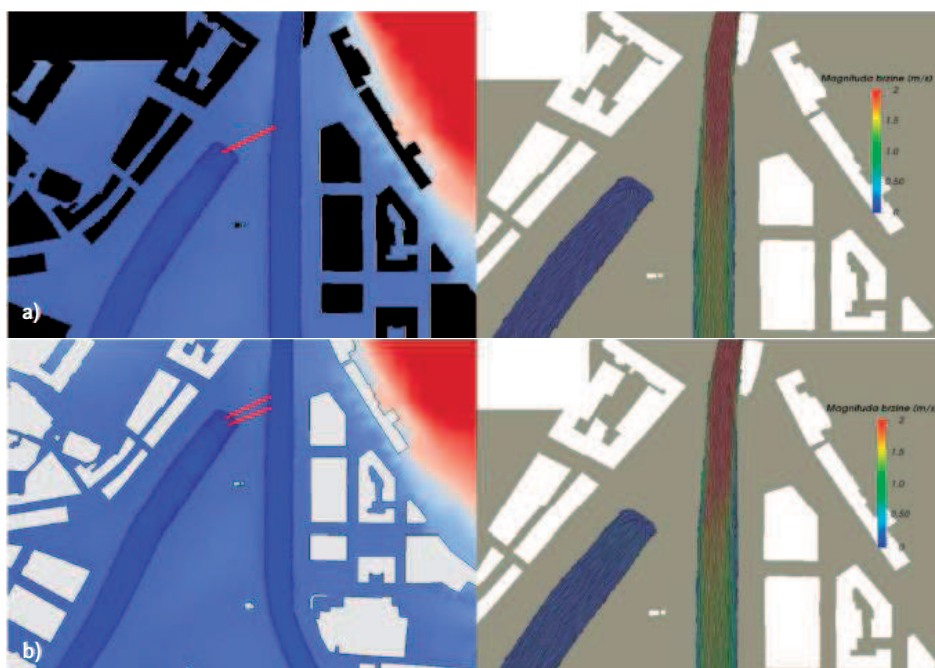
Slika 3. Inicijalno predviđena lokacija spojnog kanala (ljubičasta boja)

Da bi se ostvarila učinkovitost takvog spojnog kanala provedena je analiza sustava Rječina - Mrtvi kanal pomoću računalnih modela za 1D, 2D i 3D strujanje vodenih masa, pri čemu su korišteni ulazni parametri koji su se odnosili na postojeće hidrološke podatke o tečenju vodotoka Rječine te mareografski podaci o oscilacijama mora u Riječkom zaljevu. Temeljem provedene hidrološke analize na donjem toku vodotoka Rječine usvojen je referentni protok velike vode od $Q=273 \text{ m}^3/\text{s}$ koji odgovara 1000-godišnjem povratnom periodu. Dodatno su u razmatranje uzeti i protoci na profilu Tvornice papira koji odgovaraju malim vodama (korišteni podaci o trajnosti protoka na profilu Tvornice papira u periodu od 2010. - 2013. godine) i srednjim vodama. Dobiveni protoci uzeti su s vrijednostima 8, 30 i $100 \text{ m}^3/\text{s}$, a čemu odgovaraju trajanja prema definiranoj krivulji trajanja za 2015. godinu od 60 %, 2,5 % i 4,2 %. U svrhu potrebe definiranja rubnih uvjeta na izlazu iz domene unutar numeričkog modela uzeti su mareografski podaci za more u Riječkom zaljevu. Za tu potrebu definirane su referentne razine mora za 100-godišnji povratni period ($H_m=1,30 \text{ m n.m.}$) i 1000-godišnji povratni period ($H_m=1,47 \text{ m n.m.}$) koje su korištene u svim simulacijama strujanja. Visoke razine mora su dobivene su na temelju mareografskih podataka za period 1967. - 2011. godine. U samoj analizi je obuhvaćen i problem istaloženog nanosa u donjem toku Rječine i njegov utjecaj na promjenu geometrije korita Rječine i Mrtvog kanala s aspekta promjene njihove protočnosti.

Na temelju izrađenog 2D numeričkog modela strujanja u softveru Gerris istražene su sljedeće varijantne izvedbe spoja vodotoka Rječine i Mrtvog kanala:

1. spoj propustom – s jednom i dvije spojne cijevi,
2. spojni kanal tip 1A („kosi kanal“, sa skraćenim Mrtvim kanalom) u varijantama širina kanala od 5, 15 i 30 m,
3. spojni kanal tip 1B („kosi kanal“, bez skraćenog Mrtvog kanala), sa širinom kanala od 15 m,
4. spojni kanal tip 2A („okomiti kanal“, sa skraćenim Mrtvim kanalom) u varijantama širina kanala od 5, 15 i 30 m,
5. spojni kanal tip 2B („okomiti kanal“, bez skraćenog Mrtvog kanala), sa širinom kanala od 15 m,
6. spojni kanal tip 3 („zaobljeni kanal“),
7. spojni kanal tip 4 (izravni spoj Mrtvog kanala na korito Rječine, tzv. „račva“),
8. kanalni sustav prema urbanističkom rješenju za uređenje područja Delte (Delta, Luka, Baroš – Izložba natječajnih radova, 2014.)

Primjer rezultata simulacija spoja ostavarenog s jednom ili dvije spojne cijevi dan je na slici 4.



Slika 4. Spojno rješenje korita Rječine i Mrtvog kanala a) jednim propustom (lijevo), te prikaz strujnica i magnituda brzine strujanja za protok $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ i razinu mora $H_m=0,0 \text{ m n.m.}$ (desno), te b) dvostrukim propustom (lijevo) i prikazom strujnica i magnituda brzine strujanja za protok $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ i razinu mora $H_m=0,0 \text{ m n.m.}$ (desno)

3. MOGUĆNOSTI I IZAZOVI

Provedene hidrauličke analize i provedena istraživanja osigurala su dio stručne podloge neophodne za promišljanje budućih inženjerskih rješenja, moguće renaturalizacije tečenja u donjem toku Rječine, kao i prostorno planskog uređenja uže jezgre grada Rijeke. Iz provedenih hidrauličkih modelskih istraživanja može se zaključiti da se ponovnim povezivanjem toka Rječine i Mrtvog kanala, uz ostvarenje preduvjeta upravljivog inženjerskog rješenja, postiže značajno rasterećenje reguliranog korita Rječine u slučaju pojave poplavnih vodnih valova. Na taj način povećava se postojeći stupanj sigurnosti u smislu moguće pojave poplave u ovom dijelu grada Rijeke. Nastavno takvim djelomičnim rasterećenjem vodnog vala te njegovim upuštanjem u Mrtvi kanal mogu se polučiti povoljni efekti na količinu i kvalitetu istaloženog sedimenta u Mrtvom kanalu. Rezultati istraživanja provedenih od strane Medicinske škole u Rijeci, potvrdili su bitan utjecaj kolebanja morske razine na kvalitetu vode Rječine u donjem toku (prvenstveno usljed visinski odnosa dna korita i visine mora), ali i odredili područje mogućeg budućeg zahvata vode iz Rječine za potrebe osvježavanja voda Mrtvog kanala. Navedeni rezultati prvenstveno se odnose na pitanje kakvoće vode, u smislu koncentracija soli u vodi koja će se upuštati u Mrtvi kanal. Istraživanja i dobiveni (neverificirani) rezultati na području Mrtvog kanala i dijela Rječine ostvarena od strane Nastavnog zavoda za javno zdravstvo primorsko goranske županije dio su potrebnih istraživanja putem kojih će se stvoriti uvjeti za procjenu mogućih pozitivnih i dijela negativnih efekata procesa renaturalizacije tečenja u Mrtvom kanalu, ali i dijelu Rječine. Navedeno se prvenstveno odnosi na učinak upuštanja značajnih količina vode tijekom poplava, što će očigledno značajno utjecati na kvalitetu vode u kanalu, ali i na kretanje istaloženog nanosa na dnu kanala. Pošto se radi o složenom procesu bitno je odabrati cijelovita inženjerska rješenja za poziciju, ali i način povezivanja Rječine i Mrtvog kanala. Mogućnost kontroliranog upuštanja voda Rječine u Mrtvi kanal u malovodnom dijelu godine sigurno će izmijeniti (renaturalizirati) režim tečenja u Mrtvom kanalu, utjecati na njenu kvalitetu te posredno na biljni i životinjski svijet koji obitava u kanalu. Izazov realizacije ovakvog projekta vezan je za odabir optimalnog inženjerskog rješenja i njegovu fizičku realizaciju, što se prvenstveno odnosi na lokaciju i veliku izgrađenost prostora između dva toka. Zbog složenosti cestovne mreže i postojećih instalacija pod zemljom, a osobito zbog uvjeta nesmetanog odvijanja prometa u samom centru Rijeke, projektiranje i izvedba odabranog tehničkog rješenja predstavljat će veliki izazov za projektante ali i izvoditelje radova. Analizirajući ostvarivost procesa djelomične renaturalizacije vodnih tokova u užem središtu Rijeke nameće se pitanje visine potrebnih financijskih sredstva, ali i mogućih izvora financiranja. Pošto se radi o kompleksnom i multidisciplinarnom projektu, koji u sebi sadrži komponente unaprjeđenja postojećeg stanja voda oba vodotoka, moguće je korištenje sredstava EU fondova, koja u kombinaciji sa sredstvima Hrvatskih voda i Grada Rijeke, čine zamišljeni projekt ostvarivim.

ZAKLJUČAK

Proces povratka vodotoka u prirodno stanje tečenja unutar urbanih gradskih središta te omogućavanje nesmetane komunikacije gradskog stanovništva s vodom u svakodnevnom životu, opće je prisutan trend u mnogim gradovima diljem Europe i svijeta. Mogućnosti

koje se otvaraju realizacijom ideje renaturalizacije donjeg toka Rječine nadilaze samo okolišne komponente uvjeta života građana grada Rijeke. Izazov realizacije predstavlja šansu za implementaciju novih urbanističkih rješenja ovog važnog gradskog prostora. Ostvaruju se preduvjeti za unaprjeđenje uvjeta i način boravka građana Rijeke unutar užeg dijela grada Rijeke, ali i boljeg gospodarenja vodama u ovom području. Zaključujući želimo istaknuti inženjersku i prostorno plansku osnovanost takve ideje, ali i izazove koji stoje pred svim subjektima koji će u istoj sudjelovati.

LITERATURA

- [1] Holjević, D. (1999): *Značajke vodotoka Rječine i problem obrane od poplava, Rječina i Zvir: regulacija i revitalizacija*, Državni arhiv u Rijeci, Rijeka, str. 34-36.
- [2] Holjević, T., Pavletić M., Pavletić P., Bolkovac D., (2013): *Mogućnosti revitalizacije Mrtvog kanala u funkciji postojeće kvalitete vode*, Medicinska škola u Rijeci (nepublicirano)
- [3] Nastavni zavod za javno zdravstvo primorsko goranske županije (2016): *Istraživanje kvalitete vode Mrtvog kanala*, NZJZ PGŽ (dokumentacija izrađena za Hrvatske vode), Rijeka, nepublicirano
- [4] Tehnički fakultet Rijeka (2000): *Matematički model poplavlivanja donjeg toka Rječine*, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci (dokumentacija izrađena za Hrvatske vode), Rijeka, nepublicirano.
- [5] Tehnički fakultet Rijeka (2015): *Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala, odnosno poplavlivanja donjeg toka Rječine*, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci (dokumentacija izrađena za Hrvatske vode), Rijeka, nepublicirano.

AUTORI

doc. dr. sc. Danko Holjević. ^a

Tatjana Holjević, dr. med. ^b

Ena Holjević ^c

^a Hrvatske vode, VGO Rijeka, Đure Šporera 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, danko.holjevic@voda.hr

^b Medicinska škola u Rijeci, Ul. Braće Branchetta 11a, 51000, Rijeka, Hrvatska, tatjana.holjevic@ri.t-com.hr

^c Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Ul. Braće Branchetta 20, Rijeka, 51000 Hrvatska, holjevic.ena@gmail.com



R 2.18.

VIŠENAMJENSKI HIDROENERGETSKI PROJEKT REVERZIBILNA HIDROELEKTRANA BLACA

Mate Dabro, Čedo Radić, Mirjana Švonja

SAŽETAK: Strategija energetskega razvika Republike Hrvatske predviđa prosječni godišnji porast ukupne potrošnje električne energije do 2020. godine oko 3,5 % i iznos vršnog opterećenja oko 4.600 MW. Uključenje obnovljivih izvora energije u rad elektroenergetskog sustava i njihova nepredvidivost proizvodnje stvara poteškoće za sigurnost i pouzdanost rada elektroenergetskog sustava s aspekta uravnoteženja energije i potrebne rezerve snage.

Doprinos RHE Blaca je u povećanju proizvodnje vršne i regulacijske energije, optimizaciji rada postojećih hidroelektrana na slivu Cetine, poboljšanju regulacije vodnog vala i osiguranju uvjeta za rad HE Orlovac maksimalnom snagom tijekom velikih voda. Konceptija rješenja se zasniva na izgradnji: donjeg bazena u lijevom zaobalju Sinjskog polja, gornjeg bazena na oko 600 m višem području Blaca, podzemne strojarnice, tlačnog cjevovoda, gornjeg tunela s vodnom i zasunskom komorom i donjeg tunela s vodnom komorom. Donji bazen bi služio za prihvaćanje velikih voda Cetine i njihovo prebacivanje u gornji bazen crpnim radom tijekom noćnih sati. Volumen donjeg bazena je dovoljan za 10-satni crpni rad i punjenje 8-satnim turbinskim radom. Gornji bazen služi za akumuliranje voda radi proizvodnje vršne energije u podzemnoj strojarnici. Crpnim radom RHE Blaca i izmjenom pogonskog pravilnika radi sniženja vodostaja u akumulaciji Peruća omogućava se optimalna proizvodnja i neprekidan rad HE Orlovac punom snagom.

KLJUČNE RIJEČI: konceptija, hidroelektrana, vršna energija, regulacijska energija

MULTI-PURPOSE HYDROENERGY PROJECT OF THE REVERSIBLE HYDROELECTRIC POWER PLANT BLACA

ABSTRACT: The Energy Strategy of the Republic of Croatia anticipates an average annual growth of the total electricity consumption by 2020 of about 3.5 % and a peak load of about 4,600 MW. The inclusion of renewable energy sources into the power system operation and the unpredictability of such power generation creates difficulties regarding the safety and reliability of the power system operation from the aspect of energy balancing and required power reserves.

The RHPP Blaca contributes to the increase in the production of peak and regulation energy, operation optimisation of the existing hydroelectric power plants in the Cetina

Osnovna zamisao u osmišljavanju i koncipiranju RHE Blaca sagledavala je:

- cjelovitu zaštitu Sinjskog i Livanjskog polja od poplava,
- optimizaciju rad postojećih HE sliva rijeke Cetine bez preljeva vode,
- bolju regulaciju vodnog vala u slivu rijeke Cetine,
- neprekidan rad HE Orlovca nazivnom snagom za vrijeme velikih voda,
- povećanje udjela regulirane komponente vode za rad nizvodnih postrojenja,
- povećanje proizvodnje u HE Peruća, HE Orlovac, HE Đale i HE Zakućac za vrijeme velikih voda u odnosu na današnju regulaciju voda,
- pokrivanje vršnog dijela dnevnog dijagrama opterećenja i unutar satna regulacija P/f.

2. KONCEPCIJA PROJEKTOG RJEŠENJA

RHE Blaca je predviđena na dijelu slivnog područja rijeke Cetine što pripada teritoriju Republike Hrvatske. Postrojenje bi koristilo pad oko 600 m između polja Blaca (oko 900 m n.m.) i rijeke Cetine (oko 298 m n.m.). Uzimajući u obzir prednosti i ograničenja izgradnje donjeg bazena u Sinjskom polju i rijeci Cetini, odabrano je tehničko rješenje koje najmanje utječe na morfološko-ekološko stanje Cetine, a ostvaruje sigurno upravljanje radom donjeg bazena i rad RHE Blaca.

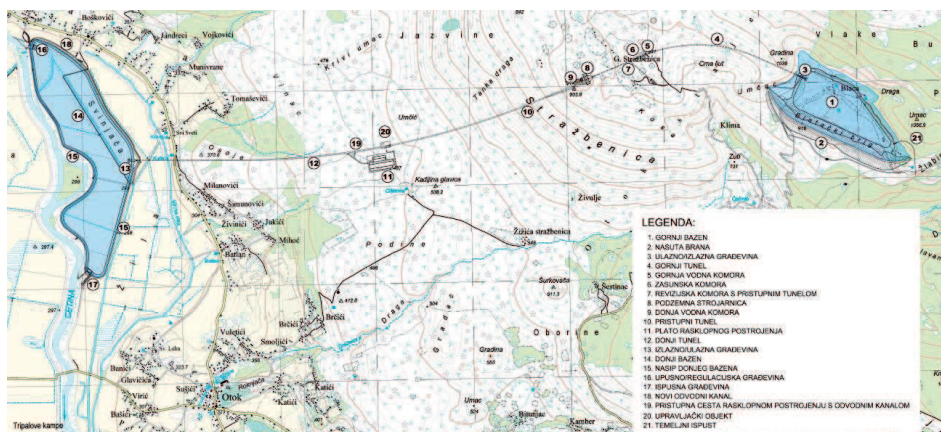
Donji bazen je planiran u lijevom zaobalju Cetine kod naselja Otok, između lijevog nasipa Cetine i postojećih kanala i potpuno je odvojen od rijeke. Razina ostvarenog radnog volumena od oko 5,0 milijuna m³ neovisna je o vodostaju Cetine jer se nakon punjenja gornjeg bazena velikim vodama, donji bazen odvaja od prirodnog korita Cetine i koristi se za potrebe rada RHE tako da u njemu voda dnevno oscilira od maksimalne radne kote 299 m n.m. do minimalne radne kote 294 m n.m. Kota dna bazena je 293 m n.m. Površina bazena na koti 299 m n.m. iznosi 113 ha, a površina zauzimanja poljoprivrednog zemljišta iznosi oko 120 ha.

Gornji bazen predviđa se formirati na području Blaca, na zapadnim padinama masiva Kamešnica. Blaca su smještene u depresiji Blatačkog briga na udaljenosti oko 6,5 km od Sinjskog polja i oko 2,5 km od granice s BiH. Srednja nadmorska visina polja je 885 m n.m., a najniža oko 874 m n.m. Površina polja na koti 885 m n.m. iznosi 33 ha. Za ostvarenje planiranog radnog volumena bazena od 30,0 milijuna m³ na području Blaca, potrebno je izgraditi nasutu branu duž cijelog Blatačkog briga do kote 935 m n.m. i iskopati dno polja do kote 870 m n.m. Uz maksimalni radni vodostaj na koti 932 m n.m. i minimalni na koti 873 m n.m. ostvaruje se ukupan volumen od 31 milijuna m³. Mrtvi volumen iznosi 1,08 milijuna m³, a dubina vode u tom slučaju iznosi 3,0 m.

Situacija objekata u sustavu RHE Blaca vidi se na slici 2. Sukladno terenskim, geološkim, hidrogeološkim i energetske zahtjevima planirana je izgradnja slijedećih objekata:

- gornji bazen,
- gornji tunel, duljine 1.765 m i promjera 8,0 m,
- tlačni cjevovod, duljine 875 m i promjera 6,0 m,
- razdjelna račva prema agregatima, duljine 150 m i promjera 3,50 m,
- strojarnica s tri proizvodne jedinice (kota osi crpki/turbina je 227 m n.m.),
- izlazna račva za spoj na donji tunel, duljine 125 m i promjera 6,0 m,
- donji tunel, duljine 4.630 m i promjera 8,0 m,

- donja i gornja vodna komora, cilindričnog oblika promjera 20 m s prigušivačem promjera 5,0 m,
- donji bazen,
- pristupni plato s prostorom za vanjsko rasklopno postrojenje smješteno približno na polovici
- udaljenosti između donjeg i gornjeg bazena,
- pristupni tunel dužine 1,7 km za ulaz u strojarnicu s vanjskog platoa.



Slika 2. Situacija objekata RHE Blace

Obzirom na potrebe i regulacijski režim rada u turbinskom radu koji zahtjeva brze promjene snage po vremenu i iznosu posebni uvjeti na ovaj sustav postavljaju se glede dužine tlačnog cjevovoda i dimenzija dovodno - odvodnog sustava.

Veličina instaliranog protoka je definirana zahtjevom elektroenergetskog sustava (EES-a) te hidroloških i hidrauličkih uvjeta vezanih uz planirani način upravljanja vodama Cetine na dionici od brane Peruća do Trilja. Jedna od zadaća RHE Blaca je i redukcija velikih vodnih valova na Hanu u svrhu povećanja razine sigurnosti postojećeg sustava za obranu od poplava te omogućavanje rada HE Orlovac nazivnom snagom tijekom razdoblja velikih voda Cetine.

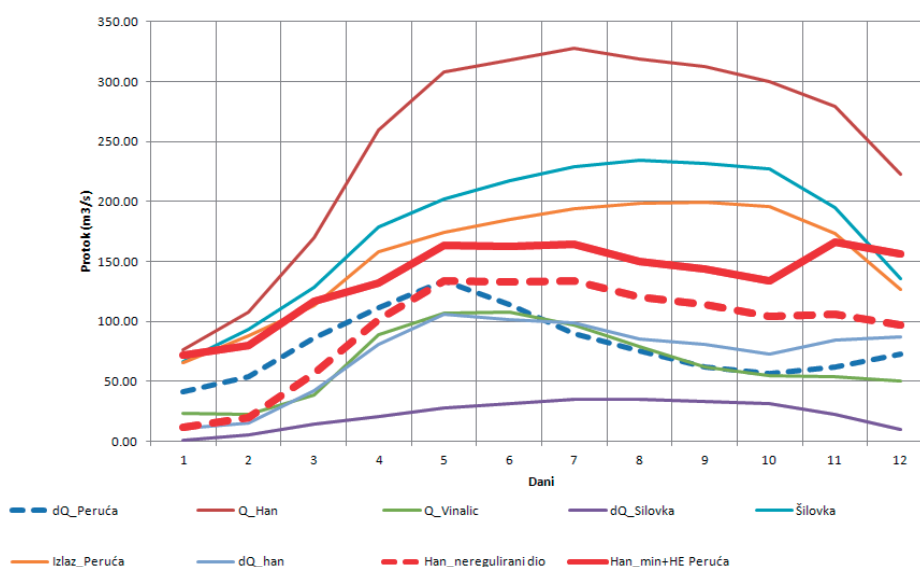
Osnova za sagledavanje ovih mogućnosti su raspoloživi nizovi maksimalnih godišnjih protoka s hidroloških stanica (h.s.) Šilovka i Han na Cetini te Orlovac na Rudi Velikoj, dobiveni za postojeći način upravljanja vodama u jezeru Peruća.

Obzirom da je vodni val koji je u travnju 2004. godine zabilježen na h.s. Han bio približno 50-godišnjeg povratnog razdoblja, iskorišten je za analize mogućih načina reduciranja vrha vodnog vala (slika 3). Utvrđeno je da se korekcijom pogonskog pravilnika jezera Peruća i radom ove RHE, može djelovati na smanjenje vodnih valova u nizvodnom toku, čime bi se postigli slijedeći efekti:

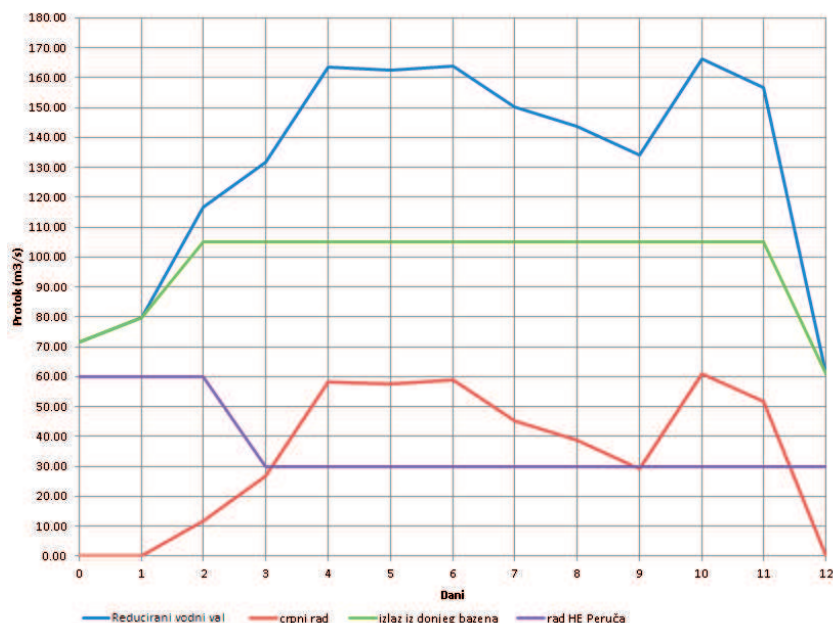
- nema prelijevanja vode iz jezera Peruća,
- povećao bi se volumen iskorištene vode čime bi se povećala proizvodnja uz optimizaciju,
- rada HE Peruća i nizvodnih HE,

- povećala bi se sigurnost od poplava u Sinjskom polju,
- povećala bi se iskoristivost voda s prostora Livanjskog polja i omogućio rad HE Orlovac,
- nazivnom snagom tijekom razdoblja trajanja velikih vodnih valova.

Vodni valovi na h.s. Šilovka posljedica su načina korištenja i upravljanja vodama u jezeru Peruća. Dodatnim spuštanjem maksimalno dopuštenih razina voda u jezeru Peruća, u mjesecima pojave velikih voda, u korelaciji s optimalnim režimom rada HE Peruća, što će omogućiti ova RHE, može se utjecati na redukciju vodnih valova na h.s. Šilovka i Han. Ovaj uvjet može se postići uz varijabilni rad HE Peruća što znači da ova hidroelektrana neće raditi cijeli dan s umanjenim protokom i smanjenim koeficijentom korisnog djelovanja već može raditi s optimalnim instaliranim protokom te manjim brojem sati rada u danu (slika 4). Neravnomjernost dotoka zbog varijabilnog rada HE Peruća kompenzirat će se u donjem bazenu RHE. Da bi se i u ovim uvjetima osigurao rad HE Orlovac protok na izlazu iz donjeg bazena RHE trebao bi biti oko 100 m³/s.



Slika 3. Vodni val iz travnja 2004.godine na dionici Cetine od h.s. Vinalić do h.s. Han za slučaj varijabilnog rada HE Peruća



Slika 4. Redukcija vodnog vala iz travnja 2004. godine u Hanu radom RHE Blaca

2.1. Osnovni pokazatelji rada RHE Blaca

Crpni rad nije potreban tijekom cijelog trajanja vodnog vala već samo tijekom noćnih sati kada se većim kapacitetom crpljenja od kapaciteta dotoka snižava vodostaj u donjem bazenu. Instalirani protok RHE je za turbinski rad $171 \text{ m}^3/\text{s}$ a za crpni rad $135 \text{ m}^3/\text{s}$.

Snaga postrojenja i hidraulički uvjeti definiraju veličine dovodnog i odvodnog sustava te položaj pojedinih objekata glede hidrodinamičkih zahtjeva. Obzirom da je namjena ove RHE proizvodnja i regulacijske energije zahtjevi su za brzim ulazom i izlazom iz pogona. Ovakav rad uzrokuje odgovarajuće hidrodinamičke efekte koji se očituju u povećanju tlaka ili eventualnom uvlačenju zraka u dovodno-odvodni sustav. Povećanje tlaka u tlačnom cjevovodu na lokaciji strojarnice ne smije biti veće od 40 % u odnosu na hidrostatički tlak. Maksimalni tlak u sustavu javlja se kod naglog ispada RHE iz pogona pri maksimalno razini u gornjem bazenu. Odabranom dužinom cjevovoda od 875 m osigurava se maksimalno povećanje tlaka kod vodnog udara od oko 24 % u odnosu na tlak mirovanja. Zaštita dovodnog i odvodnog sustava od prekomjernog povećanja tlaka ili pojave uvlačenja zraka osigurana je vodnim komorama na donjem i gornjem tunelu. Minimalni tlak javlja se kod naglog ulaza u pogon RHE pri minimalnoj razini u gornjem bazenu, što je malo vjerojatan događaj, međutim mogući slučaj je nagli ispad RHE iz pogona kod minimalne razine u gornjem bazenu. Dimenzije dovodnog sustava odabrane su tako da se za instalirani protok od $171 \text{ m}^3/\text{s}$ osigura brzina tečenja u gornjem i donjem tunelu na razini od 3 do $3,5 \text{ m/s}$, a u tlačnom cjevovodu 5 do 7 m/s .

Uvjet za uključuje RHE u crpni rad radi punjenja gornjeg bazena je pojava protoka od $200 \text{ m}^3/\text{s}$ na h.s. Han što se najčešće događa tijekom 11. i 12. mjeseca. Bitnija redukcija prirodnog vodnog vala kojom bi se omogućio i rad HE Orlovac postiže se zadržavanjem

dijela protoka u akumulaciji HE Peruća. Nakon punjenja gornjeg bazena rijeka Cetina teče u svom prirodnom koritu bez promjene prirodnog režima. Napunjen bazen se održava, a voda iz njega troši postepeno ovisno o potrebama EES-a ili drugih korisnika. RHE radi u ciklusu od 10 sati crpnog rada i 8 sati turbinskog rada. U dane povećanog ispuštanja kada se gornji bazen nastoji isprazniti za prihvrat vodnih valova, RHE ima dulje trajanje turbinskog rada. Ukoliko se gornji bazen isprazni prije, nastoji se održavati volumen u gornjem bazenu od oko 10 milijuna m³ koji je dovoljan za dvodnevni ciklus rada. Pretpostavlja se da RHE neće raditi prosječno 60 dana godišnje zbog čega je ukupno mogući crpni rad umanjen za 600 sati, a turbinski rad za 480 sati. Uz takove uvjete rada RHE Blaca može ostvariti energetske pokazatelje navedene u tablici 1.

Tablica 1. Energetski pokazatelji rada RHE Blaca

godišnji sati rada crpke	2830	sati
godišnji sati rada turbine	2240	sati
ukupno sati rada	5070	sati
ukupno sati u godini	8760	sati
omjer radnih i raspoloživih sati	0.60	
energija – crpno motorni rad	3033	GWh
energija – turbinsko generatorski rad	2443	GWh
omjer energije turbina/generator i crpka/motor	0.80	

Konstruktivni pad kod turbinskog rada sva tri agregata je oko 580 m i za instalirani protok od 57 m³/s po agregatu snaga agregata je 288 MW, a instalirana snaga RHE je 864 MW. Manometarska visina dizanja vode kod crpnog rada sva tri agregata je 606 m i za instalirani protok od 45 m³/s po agregatu snaga agregata je 310 MW, a instalirana snaga RHE je 930 MW.

2.2. Direktni i indirektni doprinos RHE Blaca

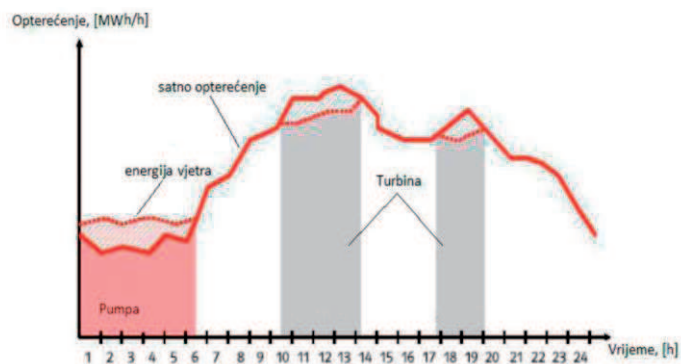
Isplativost projekta RHE Blaca je sagledana ekonomskim analizama direktnih i indirektnih doprinosa izgradnje RHE Blaca kroz optimizaciju rada i dodatnu proizvodnju na HE Orlovac, HE Peruća, HE Đale i HE Zakućac te mogućnosti razvoja kapaciteta novih obnovljivih izvora energije (OIE) stvaranjem uvjeta za priključenje na mrežu. Osim toga, smanjit će se emisija CO₂, jer se očekuje proizvodnja vršne energije iz sliva Cetine, kao zamjena za stavljanje u pogon plinskih elektrana. Direktni doprinos RHE Blaca vezan je za proizvedenu (turbinsku) i utrošenu (crpnu) energiju, odnosno njihovu tržišnu vrijednost. Izračunom je pokazano da će postrojenje u crpnom režimu rada raditi 2.830 sati godišnje i potrošiti 3.033 GWh električne energije. U turbinskom režimu rada postrojenje će raditi 2.240 sati godišnje i proizvesti 2.443 GWh električne energije. Na ovaj način su iskazani godišnji direktni ekonomski doprinos u proizvodnji električne energije samo iz postrojenja RHE Blaca. U proračunu za ekonomsko vrednovanje utrošene i proizvedene energije RHE Blaca korištene su raspoložive tržišne cijene energije s diskontnom stopom

od 4 %. Dodatna proizvodnja električne energije reda veličine 140 GWh na HE Orlovac, HE Peruća, HE Đale i HE Zakućac vrednovana je s cijenom temeljne energije.

Uz konzervativnu pretpostavku, da se ostvari povećanje snage OIE za 2 GW (koliko se očekuje povećanje u kapacitetima OIE u RH do 2030.), potrebno je oko 250 MW sekundarne i tercijarne rezerve snage koju bi ova RHE mogla osigurati. U redovnom pogonu u 2017. godini u Hrvatskoj je bilo 17 vjetroelektrana, s ukupno instaliranom snagom od 448,85 MW i godišnjom proizvodnjom od oko 1.000 GWh. Izgradnjom RHE se omogućava razvoj dodatnih 1.500 MW iz OIE i očekivana godišnja proizvodnja od oko 3.000 GWh.

Povećanje utjecaja doprinosa električne energije dobivene iz OIE u elektroenergetski sustav moguće je uz izgradnju reverzibilnih hidroelektrana. Tako se u velikoj mjeri smanjuje ovisnost EES-a o prirodi OIE, jer se uspijeva pohraniti energiju npr. vjetra kada je ona najveća, a potražnja električne energije najmanja, u obliku pohrane vode u gornji akumulacijski bazen RHE. Za rad RHE u režimu crpka/motor za pohranu vode u gornji bazen, koristi se energija vjetra i ne troši se nikakva dodatna energija iz EES-a. Kada se situacija promijeni, odnosno kada je dostupnost vjetra mala, a zahtjevi za električnom energijom veliki, RHE prelazi u režima rada turbina/generator i iskorištava se prethodno pohranjena voda iz gornjeg bazena za proizvodnju električne energije.

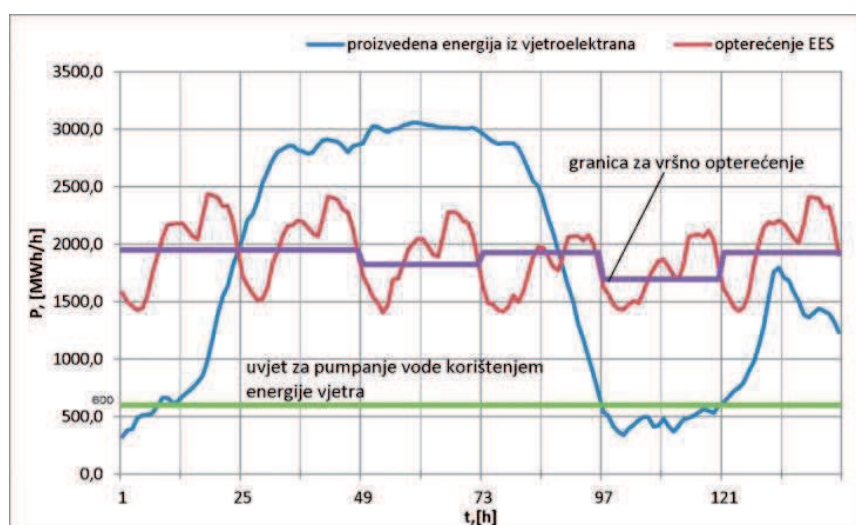
Vremena crpljenja vode u gornji bazen i ispuštanja vode iz gornjeg bazena za proizvodnju električne energije prikazana su na slici 5. U slučaju kada je energija vjetra veća od satnog opterećenja EES-a, RHE radi u režimu crpka/motor, a u obrnutom slučaju, RHE radi u režimu turbina/generator i proizvodi se električna energija.



Slika 5. Vremena crpljenja vode i ispuštanja vode

Na slici 6 su prikazani uvjeti za crpljenje vode korištenjem energije vjetra i granica za vršno opterećenje. Ostale dvije linije predstavljaju opterećenje EES i proizvedenu električnu energiju iz vjetroelektrana. Kada opterećenje EES nije veće od 80 % vršnog opterećenja, ostvario se prvi preduvjet za moguće crpljenje vode. Drugi uvjet je ispunjen kad je energija vjetra veća od 600 MWh, uz ograničenje da ima slobodnog prostora u gornjem bazenu, kako se voda ne bi prelila i izazvala havariju. Drugi slučaj mogućeg crpljenja je i kada je energija vjetra veća i od samog vršnog opterećenja EES-a. Energija vjetra se koristi za pokrivanje cjelokupnog opterećenja EES-a, a ostatak se pohranjuje u gornji bazen, uz postojanje slobodnog volumena u gornjem bazenu. Kada energija vjetra

nije veće od 600 MWh, RHE ne radi u crpno/motornom režimu rada i ne crpi se voda u gornji bazen, već se energija vjetra izravno injektira u EES-a za pokrivanje opterećenja u sustavu. Ukoliko je energija vjetra veća od 600 MWh i u trenutku vršnog opterećenja u EES-u, RHE nije u pogonu. Sva energije iz vjetroelektrane se injektira u sustav koja pripomaže u pokrivanju opterećenja i na taj način se „rasterećuju“ ostale elektrane koje koriste skuplja goriva.



Slika 6. Krivulje opterećenja EES i proizvedene električne energije u vjetroelektranama za razdoblje od 5 dana

Indirektni doprinosi RHE Blaca na slivu Cetine koji se ekonomski ne vrednuju, očituju se u regulaciji voda u funkciji povećanja stupnja sigurnosti u zaštiti Sinjskog i Livanjskog polja od plavljenja, poboljšanju sustava odvodnje i navodnjavanja Sinjskog polja i proizvodnji hrane te povećanju i boljoj regulaciji malih voda Cetine na dionici Han - Trilj.

ZAKLJUČAK

Izgradnjom RHE Blaca omogućilo bi se dodatno reguliranje i upravljanje vodama rijeke Cetine te optimizacija rada i dodatna proizvodnja hidroelektrana na slivu. Pored energetske koristi na nizvodnim hidroelektranama, RHE bi omogućila i financijske koristi za proizvodnju iz HE Peruća. HE Peruća proizvodi električnu energiju u vrijeme minimalnog opterećenja sustava kako bi se za HE Zakućac osigurala potrebne količine vode za rad u vrijeme vršnog opterećenja EES-a. Izgradnjom donjeg i gornjeg bazena RHE omogućio bi se rad HE Peruća u vrijeme vršnog opterećenja sustava, a potrebne količine vode za HE Đale i HE Zakućac ispuštale bi se iz RHE. Takav režim rada omogućio bi veću prosječnu cijenu električne energije iz HE Peruća nego što je to danas i ne bi bilo preljeva na brani Peruća.

RHE će prihvaćanjem dijela velikih voda u donji bazen s istovremenim prebacivanjem

u gornji bazen, radi rasterećenja nizvodnog korita, stvoriti uvjete za rad HE Orlovac s maksimalnom snagom, za vrijeme trajanja velikih voda kao i u slučaju ispuštanja iz akumulacije Peruća. Tako će se osigurati zaštita Sinjskog polja od poplava velikih voda 100 godišnjeg povratnog razdoblja bez ulaganja u nadvišenja postojećih obrambenih nasipa rijeke Cetine i ostale pripadajuće objekte. Osim toga, omogućit će se zahvat vode za sustav navodnjavanja iz donjeg bazena RHE pomoću jedne crpne stanice i jedinstvene tlačne mreže za cijelo Sinjsko polje.

Odnos generirane i utrošene energije ovog reverzibilnog postrojenja kreće se oko 0,80. Negativna energetska bilanca, kao i na svakoj RHE, obilato se financijski nadomješta razlikom u cijeni vršne i regulacijske energije (dnevni rad) te temeljne energije (pretežito noćni rad). To je i osnovna ekonomska logika ovakvih postrojenja. Godišnji broj angažiranih sati, kao i detaljna razrada načina rada RHE Blaca tijekom godine (prema krivulji trajanja) na razini dnevnog i tjednog režima rada, obzirom na zahtjeve EES-a i mogućnosti doprinosa RHE Blaca regulaciji vodnih valova na Cetini, dat će se u daljnjoj fazi razrade projekta.

LITERATURA

- [1] Projektni tim, (2018): *Održivo korištenje vodnih resursa sliva rijeke Cetine u svrhu poboljšanja zaštite od poplava i navodnjavanja u Sinjskom polju te dodatne proizvodnje električne energije u slivu rijeke Cetine, Knjiga 1 – Hidrološke obrade, Knjiga 3 – RHE Blaca, Knjiga 5 – Sustav obrane od poplava Sinjskog polja, Knjiga 9 – Studija izvodljivosti*, Projektni biro Split d.o.o. i Elektroprojekt d.d. Zagreb, Split.
- [2] Hrvatske vode (2006): *Pravilnik o korištenju akumulacije Peruća* (HEP Proizvodnja d.o.o. Sektor za elektrane, Proizvodno područje HE JUG Split, Pogon HE Peruća Sinj).

AUTORI

doc. dr. sc. Mate Dabro, dipl. ing. el. ^a

Čedo Radić, dipl. ing. građ. ^b

mr. sc. Mirjana Švonja, dipl. ing. građ. ^c

^a HEP Proizvodnja, Ulica grada Vukovara 37, Zagreb, 10000, Hrvatska, mate.dabro@hep.hr

^b HEP Proizvodnja, PP HE Jug, I. Gundulića 42, Split, 21000, Hrvatska, cedo.radic@hep.hr

^c Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, smirjana@voda.hr



R 2.19.

SMANJENJE RIZIKA OD POPLAVA U SINJSKOM POLJU IZGRADNjom RHE BLACA

Mirjana Švonja, Mate Dabro, Čedo Radić

SAŽETAK: Značajan doprinos u obrani od poplava Sinjskog polja ima akumulacija Peruća koja prima i regulira vode užeg sliva Cetine za potrebe nizvodnih hidroelektrana (Đale, Zakućac, Kraljevac). Vode šireg sliva Cetine se prikupljaju u akumulaciji Buško Blato na teritoriju Bosne i Hercegovine i kontrolirano propuštaju kroz hidroelektranu Orlovac. Tijekom velikih voda ispuštanje iz akumulacije Peruća je ograničeno, a rad HE Orlovac smanjen ili obustavljen što rezultira gubitkom proizvodnje električne energije.

Sustav obrane od poplava Sinjskog polja se sastoji od postojećih regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina. Odvodnja melioriranih površina lijevog i desnog zaobalja se provodi zajedno s obranom od poplava kao jedinstvena cjelina. Izgradnjom reverzibilne hidroelektrane (RHE) Blaca postiže se sigurnija zaštita od poplava bez nadvišenja postojećih nasipa i bez rekonstrukcije pojedinih građevina za melioracijsku odvodnju (crpnih stanica, ustava, kanala). Donji i gornji bazen RHE Blaca bi primao dio volumena vodnog vala i smanjivao maksimalne 100-godišnje protoke Cetine na veličinu protoka povratnog razdoblja ispod 50 godina. Dodatno reduciranje protoka se postiže omogućenom promjenom upravljanja akumulacijom Peruća i drugačijim radom HE Peruća. Prihvaćanjem velikih voda u donji bazen radi prebacivanja u gornji bazen i rasterećenja nizvodnog korita Cetine stvaraju se uvjeti za rad HE Orlovac maksimalnim kapacitetom neovisno o ispuštanjima iz akumulacije Peruća.

KLJUČNE RIJEČI: poplave, akumulacije, protok, donji bazen, gornji bazen

FLOOD RISK REDUCTION IN SINJ FIELD THROUGH THE RHPP BLACA CONSTRUCTION

ABSTRACT: A significant contribution to the flood protection of Sinj Field has been provided by Reservoir Peruća that receives and regulates waters from the narrower basin of the Cetina River required for the downstream hydropower plants (HPPs Đale, Zakućac, Kraljevac). The waters from the greater Cetina basin are collected in Reservoir Buško Blato on the territory of Bosnia and Herzegovina and are released in a controlled manner through the HPP Orlovac. During floods, discharges from Reservoir Peruća are limited, and the HPP Orlovac operation is reduced or suspended, resulting in losses of hydroelectrical power production.

The Sinj Field flood protection system is comprised of the existing regulation and protection water facilities. The drainage of ameliorated surfaces in its left and right hinterland is performed simultaneously with flood protection as an integrated operation. The construction of the reversible hydropower plant Blaca (RHPP Blaca) provides a more reliable flood protection without increasing the existing embankment heights or reconstructing individual amelioration drainage facilities (pumping stations, sluice, canals). The RHPP Blaca lower and upper storage reservoirs would receive a part of the floodwave volume, thus reducing the maximum Cetina River discharges of the 100-year return to the discharge magnitudes lower than the 50-year return period. An additional discharge reduction is facilitated through the enabled change in the Reservoir Peruća management and a different operation of the HPP Peruća. Receiving floodwater in the lower storage reservoir and its transfer to the upper storage reservoir as well as the relief of the downstream Cetina flow create conditions for the maximum operation capacity of the HPP Orlovac, regardless of the Reservoir Peruća discharges.

KEYWORDS: floods, reservoirs, discharge, lower storage basin, upper storage basin

1. UVOD

Na direktnom slivu Cetine velike vode se najčešće javljaju u zimskom razdoblju godine, uglavnom od studenog do siječnja, a ponekad i u veljači, ožujku ili travnju. Redovite poplave su prisutne samo u Cetinsko-Paškom polju (površine 850 ha), Vrličkom polju (površine 620 ha) i Hrvatačkom polju (površine oko 1.500 ha) u kojima nema zaštitnih i melioracijskih vodnih građevina. Zbog ograničene propusnosti korita Cetine veći dio Hrvatačkog polja je poplavljen i po nekoliko puta godišnje, pa uglavnom predstavlja prirodnu retenciju. Naselja nisu izložena plavljenju jer su smještena po višim rubovima polja.

Na području Sinjskog polja (površine 6.200 ha) izgrađen je sustav obrane od poplava i sustav za melioracijsku odvodnju kojim je obuhvaćeno 4.046 ha poljoprivrednog zemljišta. Rijeka Cetina razdvaja melioracijsko područje u dvije zasebne cjeline: desno zaobalje površine 2790 ha i lijevo zaobalje površine 1.256 ha. Sinjsko polje je smješteno u srednjem toku rijeke Cetine između Hana i Trilja, na nadmorskoj visini između 295 i 301 m. Uz njegove rubove nalaze se gradovi Sinj i Trilj, te naselja: Brnaze, Turjaci, Grab i Otok. Obrana od poplava je ostvarena regulacijom korita rijeke Cetine i lijeve pritoke Rude Velike, te izgradnjom sljedećih regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina:

nasipa uz rijeku Cetinu od Trilja do Hana duljine 12,66 km na desnoj i 11,56 km na lijevoj obali koji su međusobno udaljeni 70-75 m od ruba korita i imaju iste elemente poprečnog presjeka (širina krune 2,5 m, vanjski nagib 1:1.5, unutarnji nagib 1:2),

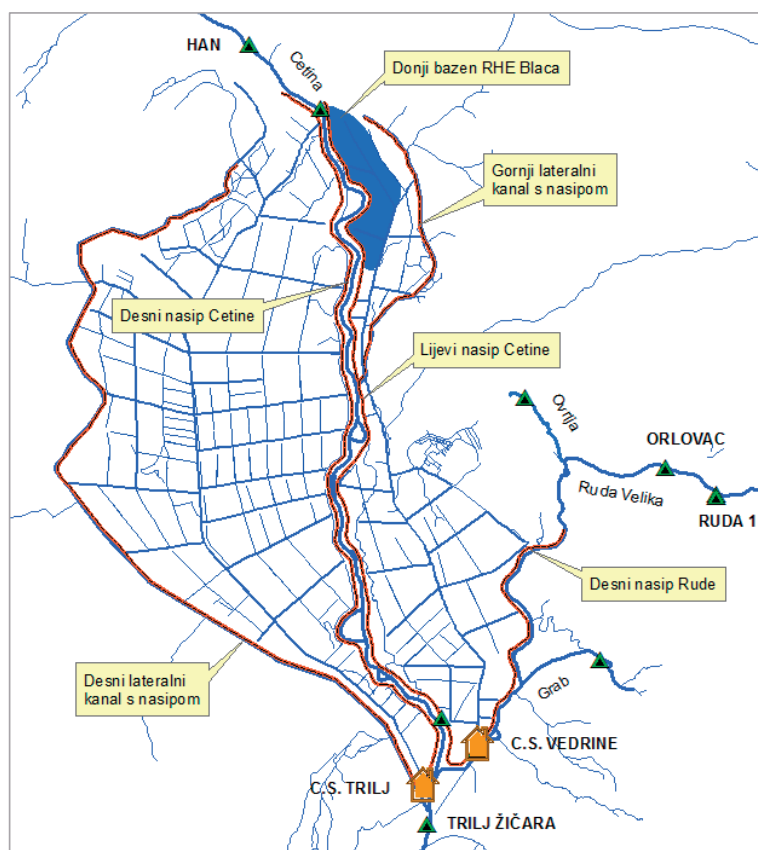
desnog nasipa uz rijeku Rudu uzvodno od spoja s Cetinom duljine 4,2 km čiji su elementi poprečnog presjeka identični s onima koje imaju nasipi uz Cetinu,

desnog lateralnog kanala duljine 15,0 km s obrambenim nasipom od Trilja do Glavica, koji štiti desno zaobalje od brdskih voda,

gornjeg lateralnog kanala duljine 5,2 km s obrambenim nasipom od Otoka do Gale, koji štiti uzvodni dio lijevog zaobalja od izvorskih i brdskih voda.

Odvodnja s melioriranih površina Sinjskog polja se provodi zajedno s obranom od poplava kao jedinstvena cjelina. Melioracijska odvodnja je uspostavljena pomoću mreže

otvorenih kanala, dvije ustave i dvije crpne stanice te dvije transformatorske stanice (slika 1). Ukupna duljina melioracijskih kanala I reda iznosi 22,1 km (glavni odvodni kanal GOK-1 u desnom zaobalju, te glavni odvodni kanali GOK-1 i GOK-2 u lijevom zaobalju).



Slika 1. Shematski prikaz zaštitnih vodnih građevina, mjerodavnih hidroloških stanica i donjeg bazena buduće RHE Blaca u Sinjskom polju

Melioracijskih kanala II reda ima ukupno 49,7 km (sabirni kanali), a melioracijskih kanala III reda ukupno 73,9 km (detaljni kanali). Jedna ustava je postavljena na ušću glavnog odvodnog kanala desnog zaobalja u Cetinu, a jedna na ušću glavnog odvodnog kanala lijevog zaobalja u Rudu Veliku. Obje ustave rade na istom principu, istih su dimenzija i svaka ima po tri otvora s tri tablasta zatvarača. Za vrijeme niskih vodostaja Cetine, ustave se otvaraju radi gravitacijskog istjecanja vode iz zaobalja. Kod visokih vodostaja Cetine ustave se zatvaraju, a evakuacija voda iz zaobalja provodi pomoću crpnih stanica. Odvodnja unutarnjih voda desnog zaobalja se obavlja putem CS Trilj, instaliranog kapaciteta 11,5 m³/s, a odvodnja unutarnjih voda lijevog zaobalja putem CS Vedrine, instaliranog kapaciteta 9,4 m³/s. Ukupna snaga crpnih stanica je 1082 kW. Unutar melioracijskog sustava postoji i putna mreža s većim brojem mostova (propusta) na glavnim odvodnim i lateralnim kanalima.

2. SUSTAV OBRANE OD POPLAVA - POSTOJEĆE STANJE

Rizici od poplava u Sinjskom polju su znatno smanjeni izgradnjom i eksploatacijom hidroenergetskog sustava sliva Cetine koji se sastoji od dvije velike akumulacije (Peruća i Buško Blato), tri kompenzacijska bazena (Lipa, Đale, Prančevići), šest hidroelektrana (Peruća, Orlovac, Buško Blato, Đale, Zakućac, Kraljevac) i jedne male hidroelektrane (Prančevići). Akumulacija Peruća prima i regulira vode užeg sliva Cetine za potrebe rada nizvodnih hidroenergetskih postrojenja, prvenstveno HE Zakućac, što rezultira smanjenjem velikih vodnih valova i sigurnijom obranom od poplava u Sinjskom polju. Akumulacija Buško Blato kojom se zahvaćaju vode krških polja šireg sliva Cetine na teritoriju Bosne i Hercegovine radi iskorištenja u HE Orlovac i reguliranog upuštanja prema nizvodnim hidroelektranama Đale i Zakućac, ima značajan utjecaj na smanjenje maksimalnih dotoka iz izvora u lijevom zaobalju Sinjskog polja.

Nakon prolaza velikog vodnog vala u studenom 1991. godine provedena je etapna rekonstrukcija oba nasipa uz Cetinu i postojećeg nasipa uz gornji lateralni kanal lijevog zaobalja radi njihovog nadvišenja. Rekonstruirani nasipi omogućavaju sigurnu zaštitu od poplavnih voda velike vjerojatnosti (česte poplave) i zaštitu do 50-godišnjih velikih voda Cetine. Učestalim poplavama su izloženi samo nezaštićeni dijelovi Sinjskog polja uz lijevu obalu Cetine od mosta u Hanu do mjesta Gala, odnosno lokacija neposredno prije početka lijevog nasipa, te područje izvan gornjeg lateralnog kanala.

Najveći utjecaj na poplavna stanja u Sinjskom polju ima akumulacija Peruća koja svojim volumenom omogućava ublažavanje i zadržavanje velikih vodnih valova (ukupno 43% srednjeg godišnjeg dotoka). Vodostaji u akumulaciji Peruća ovise o dotocima s pripadnog sliva i režimu rada HE Peruća. Reguliranje, akumuliranje i ispuštanje voda iz akumulacije Peruća obavlja njen korisnik (HEP Proizvodnja) ovisno o hidrološkoj situaciji i potrebama hidroenergetskog sustava, a sukladno *Pravilniku o korištenju akumulacije Peruća*. Maksimalna preljevna kota akumulacije Peruća iznosi 362,20 m n.m. a maksimalna radna kota se mijenja po mjesecima i najveću vrijednost od 361,50 m n.m. može dostići u srpnju i kolovozu.

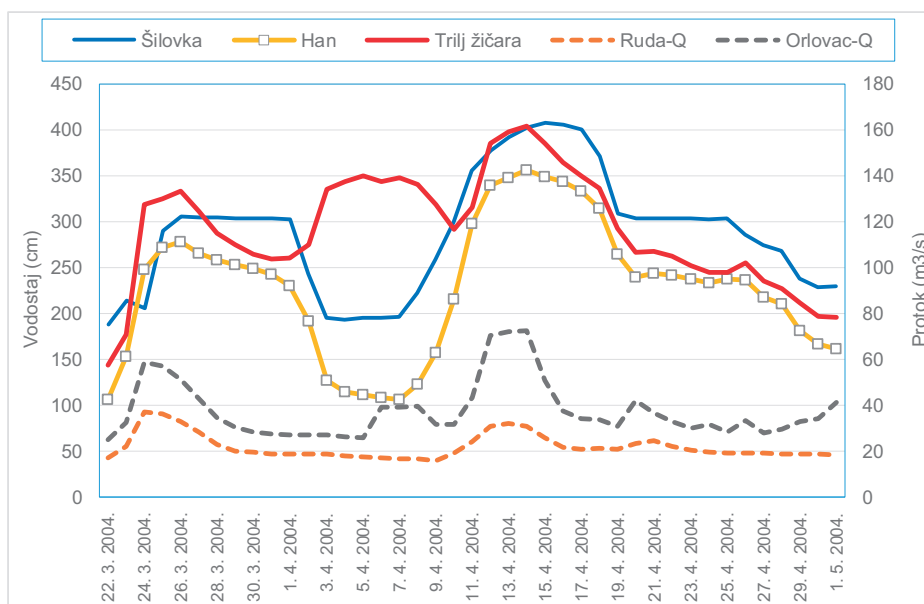
Za vrijeme velikih voda ispuštanja iz akumulacije Peruća se provode ovisno o dotocima s pripadnog slivnog područja i vodostajima Cetine u Sinjskom polju. Sve vode koje izlaze iz akumulacije Peruća registriraju se na hidrološkoj postaji Šilovka smještenoj neposredno nizvodno od brane Peruća. Za kontrolu stanja u gornjem, početnom dijelu Sinjskog polja mjerodavni su podaci s hidrološke postaje Han, dok su za donji dio polja mjerodavni podaci s hidrološke postaje Trilj žičara. Vodostaji Cetine u Sinjskom polju su pod utjecajem kako dotoka iz akumulacije Peruća tako i prirodnih dotoka s međusliva od Šilovke do Hana i od Hana do Trilja, te voda iz HE Orlovac.

Ukoliko je dotok u akumulaciju Peruća manji ili jednak instaliranoj protoci HE Peruća iz akumulacije se može ispuštati najviše do 120 m³/s. Kada je dotok veći od instaliranog protoka, a vodostaji Cetine na hidrološkoj postaji Trilj žičara manji od 382 cm ili 295,00 m n.m. iz akumulacije se mogu ispuštati količine jednake dolaznim količinama sa sliva do maksimalno 259 m³/s pri čemu je trajanje ispuštanja ograničeno ovisno o protoku koji se ispušta. Sve dok su vodostaji na postaji Trilj žičara jednaki ili veći od 382 cm iz akumulacije se mogu ispuštati količine koje su manje od dolaznih količina uz poštivanje uvjeta iz *Pravilnika*. Kada vodostaji na postaji Trilj žičara dosegnu 406 cm ili 295,24 m n.m. korisnik akumulacije je dužan ispuštati količine koje su manje od dolaznih uz

poštivanje uvjeta iz *Pravilnika*, te istovremeno smanjiti ili obustaviti rad HE Orlovac. Dozvoljene količine i trajanja ispuštanja iz akumulacije Peruća se mogu prekoračiti samo u slučaju kada to zahtijeva sigurnost brane ili hidroelektrane.

2.1. Poplavni val iz 2004. godine

Najveći zabilježeni vodostaji Cetine u Sinjskom polju vezani su za vodni val iz travnja 2004. godine kojeg su uzrokovale obilne oborine i istovremena pojava topljenja snijega na planinama u Cetinskoj krajini i na širem slivu Cetine. Iako se radilo o poplavnom događaju vjerojatnosti pojavljivanja 2 %, odnosno 50-godišnjeg povratnog razdoblja, postojeći nasipi uz rijeku Cetinu nisu bili ugroženi preljevanjem. Tada je na hidrološkoj postaji Šilovka izmjerena maksimalni vodostaj od 414 cm ili 305,59 m n.m. kojem odgovara protok od 242 m³/s, dok je najviša srednja dnevna razina akumulacije Peruća bila za 33 cm niža od maksimalne radne razine, a iznosila je 361,17 m n.m. Isti poplavni val je uzrokovao maksimalni vodostaj od 359 cm ili 300,22 m n.m. odnosno protok od 331 m³/s na hidrološkoj postaji Han i maksimalni vodostaj od 406 cm ili 295,24 m n.m. na hidrološkoj postaji Trilj žičara. Na pojavu maksimalnih vodostaja na hidrološkim postajama Han i Trilj žičara utjecalo je ispuštanje iz akumulacije Peruća i dotjecanje s međusliva od Šilovke do Hana i od Hana do Trilja, a naročito dotoci iz jačih krških izvora lijevog zaobalja koji se napajaju iz viših krških polja jugozapadne Bosne. Na hidrološkoj postaji Trilj žičara visoki vodostaji su trajali nešto duže nego na uzvodnoj postaji Han (slika 2). Značajan doprinos povećanju trajanja vodostaja na hidrološkoj stanici Trilj žičara dali su dotoci iz melioracijskog područja i lijeva pritoka Ruda Velika pojačana vodama Rude Male, Graba i Ovrlje, te radnim vodama HE Orlovac.



Slika 2. Vodostaji Cetine i protoci Rude Velike bez (Ruda) i zajedno s radnim vodama HE Orlovac (Orlovac) iz travnja 2004. godine

Dotoci iz lijevog zaobalja su ispušteni u korito Rude kroz ustavu ili iz CS Vedrine, a iz desnog zaobalja su došli kroz lateralni kanal i kroz ustavu ili CS Trilj.

3. SUSTAV OBRANE OD POPLAVA - BUDUĆE STANJE

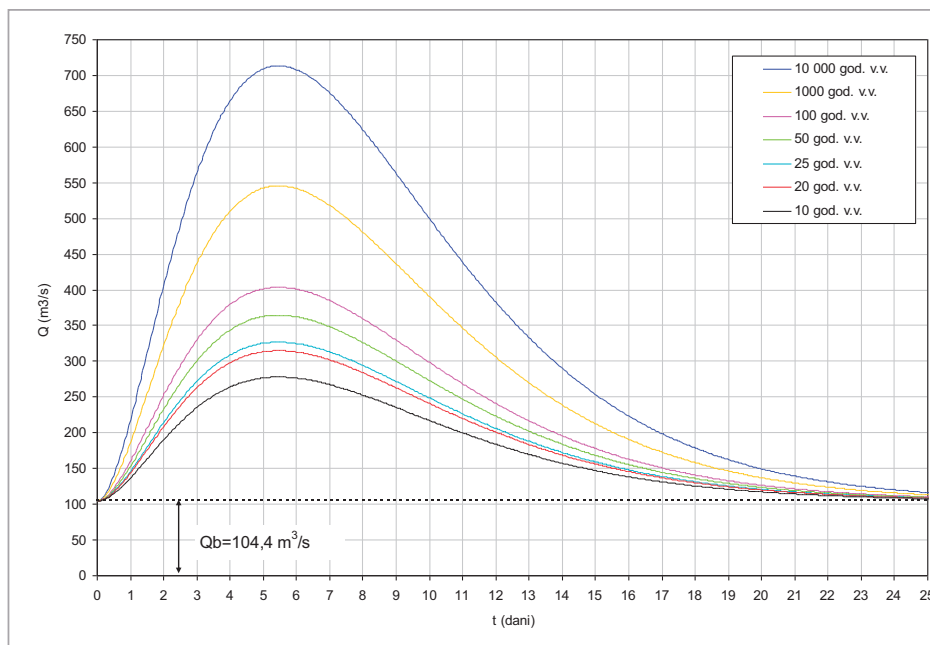
Svrha izgradnje RHE Blaca je omogućiti redukciju velikog vodnog vala Cetine prije ulaza u Sinjsko polje kako bi se stvorili uvjeti za bolju regulaciju dotoka prema nizvodnim hidroelektranama, povećao stupanj sigurnosti postojećeg sustava obrane od poplava i omogućio rad HE Orlovac maksimalnom snagom za vrijeme velikih voda. Konceptija RHE Blaca se temelji na korištenju hidroenergetskog potencijala ostvarenog prebacivanjem voda rijeke Cetine iz donjeg bazena (oko 298 m n.m.) u gornji bazen formiran u krškom polju Blaca (oko 900 m n.m.) na zapadnim padinama masiva Kamešnica.

Ukupni radni volumen gornjeg bazena od $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ omogućava korištenje do $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vode za rad RHE Blaca na dnevnoj bazi i akumuliranje $25\text{-}30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vode koja dolazi crpljenjem iz donjeg bazena za vrijeme velikog vodnog vala. Zadržani volumen se može koristiti tijekom godine za proizvodnju vršne energije ili za potrebe navodnjavanja.

Donji bazen je planiran na području Svinjača smještenom u lijevom zaobalju na ulazu Cetine u Sinjsko polje. Nakon punjenja gornjeg bazena donji bazen se potpuno odvaja od korita Cetine zatvaranjem upusne građevine. Volumen donjeg bazena od $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ je dovoljan za 10 satni crpni radom RHE Blaca s protokom od $135 \text{ m}^3/\text{s}$ i 8 satni turbinski rad s protokom od $171 \text{ m}^3/\text{s}$.

Akumuliranje dodatnih količina vode u gornji bazen crpnim radom RHE Blaca je dovoljno za ostvarenje potrebne redukcije vodnih valova na hidrološkim postajama Šilovka i Han samo u slučaju uvođenja promjena u dosadašnji način upravljanja akumulacijom Peruća i korištenja HE Peruća.

Na slici 3. prikazani su sintetički vodni valovi različitih povratnih razdoblja na hidrološkoj stanici Han koji su definirani za postojeći način korištenja i upravljanja akumulacijom Peruća. Provedeni proračuni pokazuju da za postojeće stanje korištenja i upravljanja vodama na slivu Cetine, odnosno bez provođenja dodatne transformacije vodnih valova u akumulaciji Peruća, samo crpnim radom RHE Blaca nije moguće postići potrebnu veličinu redukcije maksimalnog protoka 100-godišnjeg povratnog razdoblja i stvoriti uvjete za rad HE Orlovac instaliranim protokom od $70 \text{ m}^3/\text{s}$, ali se rizici od preljevanja nasipa u Sinjskom polju mogu značajno smanjiti.



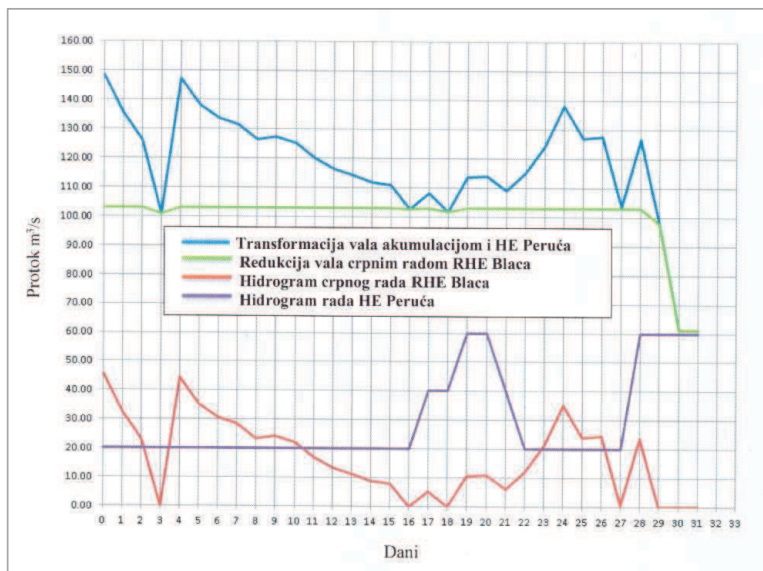
Slika 3. Hidrografi sintetičkih vodnih valova na hidrološkoj postaji Han za usvojeni 10%-tni bazni protok

3.1. Reducirani poplavni val iz 2010.godine

Analize mogućih varijanti redukcije poplavnog vala iz prosinca 2010. godine koji je bio većeg volumena i dužeg trajanja, ali manjeg vršnog protoka nego val iz travnja 2004. godine, pokazuju da se crpnim radom RHE Blaca mogu osigurati uvjeti za rad HE Orlovac ukoliko se provedu sniženja maksimalnih razina akumulacije Peruća u mjesecima s pojavom velikih voda i ukoliko se koristi drugačiji režim rada HE Peruća.

Uvjeti za rad HE Orlovac tijekom ovog vodnog vala zahtijevaju da reducirani protok nizvodno od Hana ne prelazi $100 \text{ m}^3/\text{s}$ zbog pojave značajnog međudotoka na nizvodnom potezu. Kako od Hana do ušća Rude Velike u Cetinu ulazi nemjerani dotok lijevog pritoka Kosinca i dotok s melioriranih površina iz lijevog i desnog zaobalja, to je ukupan međudotok do Trilja zajedno s doprinosom Rude Velike iznosio preko $180 \text{ m}^3/\text{s}$.

Kao što je vidljivo sa slike 4. vodni val se može transformirati zadržavanjem dijela dotoka u akumulaciji Peruća i propuštanjem varijabilnog protoka od 20 do $60 \text{ m}^3/\text{s}$ kroz turbine HE Peruća. U tu je svrhu potrebno početkom prosinca imati snižene maksimalne radne kote u akumulaciji Peruća s $353,00 \text{ m n.m.}$ (*Pravilnik*) na $338,00 \text{ m n.m.}$ Korištenjem volumena donjeg i gornjeg bazena RHE Blaca za dodatno akumuliranje vode ostvaruje se potrebna redukcija vodnog vala na hidrološkoj postaji Han i rasterećuje nizvodno korito Cetine kako bi HE Orlovac radila cijelo vrijeme s instaliranim protokom od $70 \text{ m}^3/\text{s}$. Varijabilni režim rada HE Peruća kompenzira se u donjem bazenu i režimom rada RHE Blaca.



Slika 4. Primjer reduciranja vodnog vala iz prosinca 2010. godine na hidrološkoj postaji Han

ZAKLJUČAK

Zaštita od poplava Sinjskog polja za vodni val 100-godišnjeg povratnog razdoblja u postojećim uvjetima (bez izgradnje RHE) zahtijeva rekonstrukciju nasipa radi njihovog nadvišenja za prosječno 70 cm uz rekonstrukciju pojedinih građevina za melioracijsku odvodnju čiji se položaj ili kapacitet treba prilagoditi nastalim promjenama na terenu (crpne stanice, ustave, kanalska mreža).

Korištenjem volumena donjeg i gornjeg bazena RHE za redukciju velikog vodnog vala i promjenom načina upravljanja akumulacijom Peruća, kao i načina rada HE Peruća moguće je smanjiti maksimalne 100-godišnje protoke Cetine u Sinjskom polju na veličinu protoka povratnog razdoblja ispod 50 godina i istovremeno ostvariti dodatnu proizvodnju električne energije u hidroenergetskom sustavu Cetine.

LITERATURA

- [1] Ivanković, I., Petrićec, M., Ričković, V., Vrcelj, B., (2009): *Preliminarna procjena poplavnih rizika na slivovima Cetine, Jadra i Žrnovnice, Knjige I-II*, Institut za elektroprivredu i energetiku d.d., Zagreb.
- [2] Projektni tim, (2018): *Održivo korištenje vodnih resursa sliva rijeke Cetine u svrhu poboljšanja zaštite od poplava i navodnjavanja u Sinjskom polju, te dodatne proizvodnje električne energije u slivu rijeke Cetine, Knjiga 1 – Hidrološke obrade, Knjiga 3 – RHE Blaca, Knjiga 5 – Sustav obrane od poplava Sinjskog polja*, Projektni biro Split d.o.o. i Elektroprojekt d.d., Zagreb, Split.
- [3] Hrvatske vode (2006): *Pravilnik o korištenju akumulacije Peruća* (HEP Proizvodnja d.o.o. Sektor za elektrane, Proizvodno područje HE JUG Split, Pogon HE Peruća Sinj).

AUTORI

mr.sc. Mirjana Švonja, dipl.ing.građ. ^a

doc.dr.sc. Mate Dabro, dipl.ing.el.

Čedo Radić, dipl.ing.građ. ^c

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska, smirjana@voda.hr

^b HEP Proizvodnja, Ulica grada Vukovara 37, Zagreb, 10000, Hrvatska, mate.dabro@hep.hr

^c HEP Proizvodnja, PP HE Jug, I. Gundulića 42, Split, 21000, Hrvatska, cedo.radic@hep.h



R 2.20.

**PROCESI, DINAMIKA I TREND ZASLANJIVANJA VODA I
TLA U POLJOPRIVREDNOM PODRUČJU DOLINE
RIJEKE NERETVE**

**Davor Romić, Monika Zovko, Marina Bubalo Kovačić, Gabrijel Ondrašek,
Helena Bakić Begić, Marija Romić**

SAŽETAK: Uslijed klimatskih promjena, priobalne sredine bit će izložene porastu razine mora te dubljem utjecaju mora na ušća vodotoka što bi naročito pogodilo dolinu Neretve (DN). Naime, prodor morske vode u DN izražen je već sada i do nekoliko desetaka kilometara udaljenosti od mora. Štetni učinci zaslanjivanja mogu imati velike posljedice na socijalno-ekonomske i okolišne čimbenike ne samo izuzetno vrijednog i intenzivno korištenog poljoprivredno područja DN već i njenog zaštićenog močvarnog područja. U ovom radu su prikazani rezultati integriranog monitoringa koji se provodi od 2009. godine na 7 postaja monitoringa tla, 15 površinskih voda te 7 podzemnih voda do dubine 4 m. U radu je prikazana ocjena kemijskog stanja tla, površinskih i podzemnih voda s posebnim naglaskom na prostornu i vremensku promjenu zaslanjivanja te trendove povećanja na nekim lokacijama. Nadalje, višegodišnje praćenje (2009-2018) ukazuje da je monitoring adekvatno uspostavljen za utvrđivanje dinamike zaslanjenosti tla i voda u DN. Digitalna baza ispitivanih kemijskih pokazatelja u tlu i vodama pokazala se kao dobar input za predikciju i modeliranje procesa što treba biti temelj pri donošenju strateških odluka za održivo upravljanje vodnim i zemljišnim resursima DN s visokim procijenjenim rizikom zaslanjivanja.

KLJUČNE RIJEČI: delta, kakvoća vode, klimatske promjene, hidrologija, navodnjavanje

**PROCESSES, DYNAMICS AND TRENDS IN WATER AND SOIL
SALINIZATION IN THE AGRICULTURAL AREA OF THE NERETVA
RIVER VALLEY**

ABSTRACT: Due to the climate change, coastal environments will be exposed to rising sea levels and a deeper impact of the sea on the river mouths of watercourses, which would particularly affect the Neretva Valley (NV). Namely, the seawater intrusion into the NV is already expressed up to several tens of kilometres inland. Adverse salinization effects may have serious consequences for the socio-economic and environmental factors, not only the exceptionally valuable and intensively used agricultural land the NV but also

its protected wetland area. The paper presents the results of integrated monitoring that has been conducted continuously since 2009 at 7 soil monitoring stations, 15 surface water monitoring stations and 7 groundwater monitoring stations of up to 4 m depth. The paper presents the assessment of the chemical status of the soil, surface waters and groundwater, with a special emphasis on the spatial and temporal change in salinization and upwards trends in certain locations. Furthermore, a multiannual monitoring (2009-2018) indicates that the monitoring system is adequately established to determine the soil and water salinization dynamics in the NV. A digital base of monitored chemical indicators in soil and water has proven to be a good input for predicting and modelling of the processes and should serve as a basis for adopting strategical decisions for a sustainable management of water and land resources of the NV, whose salinization risk has been assessed as high.

KEYWORDS: delta, water quality, climate change, hydrology, irrigation

1. UVOD

Obalni dolinski reljefi estuarijske i deltne ravnice, polderi i naplavne doline oblikovani dugotrajnim ponavljanjima erozijskih i sedimentacijskih procesa podložni su recentnim promjenama uvjetovanim osobinama kopna, hidrografskim elementima i antropogenim djelovanjima. Izvedeni veliki prostorni zahvati na gradnji povoljnih lučkih prostora, melioraciji zemljišta i korištenju hidroenergije oblikovali su krajolike riječnih ušća koja imaju izrazito važno poljoprivredno značenje. Izrazita ranjivost riječnih ušća kao prijelaznog okoliša rezultat je istovremene izloženosti kontinentalnom i marinskom utjecaju. U krškim karbonatnim vodonosnicima, karakterističnim za cijelo područje Vanjskih Dinarida, značajni problemi javljaju se tijekom ljetnih sušnih razdoblja, kada uslijed smanjenog pritiska slatke vode iz uzvodnog dijela sliva i smanjenog intenziteta oborina dolazi do povećanog utjecaja mora. Morska razina je nestalna i mijenja se s vremenom, a sam intenzitet intruzije mora u obalne vodonosnike ovisi i o ukupnom dotoku svježje vode sa sliva. Općenito, procesima zaslanjivanja zahvaćene su velike površine jer intruzija može ići i do 50 km uzvodno od morske obale.

Posljedica toga su povremeno ili trajno zaslanjeni izvori vode koji se koriste za navodnjavanje, a što može imati brojne negativne posljedice. Primarno su ugrožena tla u kojima zbog visokih koncentracija klorida i natrija dolazi do strukturnih promjena, a pojava pokorice i alkalizacija tala jedni su od dijagnostičkih znakova koji ukazuju na smanjenje plodnosti i uporabne vrijednosti tla (Zovko i sur., 2015). Prinosi mogu biti smanjeni i za više od 50 % što izravno umanjuje ekonomsku dobit poljoprivrednih proizvođača. Utjecaj zaslanjenja je izražen na jadranskim otocima, na području Južne Istre, Ravnih Kotara i doline Neretve (N.N., 56/13). Područje estuarija rijeke Neretve, prema tumačenju Okvirne direktive o vodama, izdvojeno je u kategoriju „jako promijenjenih cjelina površinskih voda“ (Plan upravljanja vodama, 2013.). Zbog neposredne blizine mora i okršenih vapnenačkih stijena vodonosnika rijeke, prodor morske vode u dolinu Neretve je vrlo izražen i do nekoliko 10-taka km (Romić i sur., 2013, Ljubenković i Vranješ, 2012.). Stoga se neizostavno nameće potreba za uspostavljanjem kontrole nad daljnjim procesima zaslanjivanja vode i tla u dolini Neretve kako bi se iskoristio puni potencijal ovog područja za održivu poljoprivrednu proizvodnju, ali i zaštitili prirodni resursi.

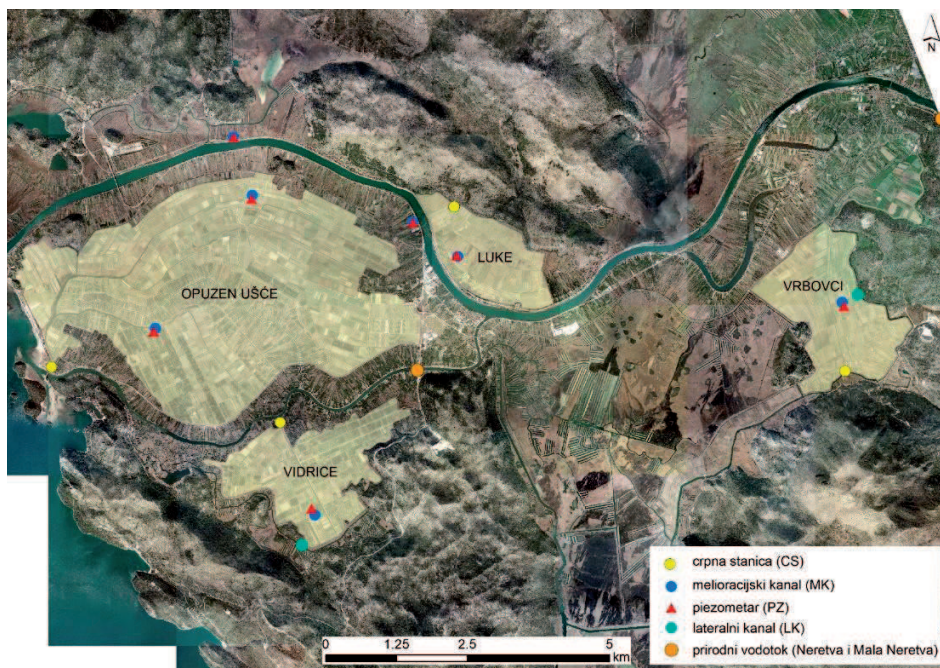
Glavni cilj rada je na temelju rezultata dugogodišnjeg monitoringa (2009. - 2018.) kakvoće

površinskih i podzemnih voda te zaslanjenosti tla dati ocjenu stanja tla, površinskih i podzemnih voda s posebnim naglaskom na prostornu i vremensku promjenu zaslanjivanja te trendove povećanja na nekim lokacijama.

2. MATERIJALI I METODE

Podaci korišteni u ovom radu prikupljeni su monitoringom kakvoće površinskih i podzemnih voda i zaslanjenosti tla u dolini Neretve na postajama kako je prikazano na slici 1, u razdoblju 2009. – 2018., kojeg provodi Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet za naručitelja Hrvatske vode (Romić i sur., 2009-2018). Plan monitoringa obuhvaća mjesečno uzorkovanje i ispitivanje površinskih voda s 15 mjernih postaja te podzemnih voda na 7 mjernih postaja-plitkih piezometara (Pz – 1 do Pz – 7) instaliranih do 4,0 m dubine (Romić i sur., 2018). U radu su postaje monitoringa površinskih i podzemnih voda grupirane u 4 skupine, a s obzirom na vrstu vodnog tijela obuhvaćenog monitoringom (tablica 1). Monitoring poljoprivrednih tala na području doline Neretve organiziran je na 7 postaja (P1, P2, P3, P4, P5, P6 i P7) koje su uspostavljene u neposrednoj blizini piezometara. Na svim postajama monitoringa uzorkovanje se obavlja u dva termina (sezone): kraj zimskog (vlažnog) razdoblja i kraj ljetnog (sušnog) razdoblja. U oba termina, uzorkuje se tlo iz četiri dubine: 0-25, 25-50, 50-75 i 75-100 cm. Postupak uzorkovanja površinskih i podzemnih voda te rukovanje uzorcima provedeno je sukladno postupcima HRN EN 5667-6, 2016, HRN ISO 5667-11, 2011. Sva ispitivanja provedena su u Analitičkom laboratoriju Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta Zavoda za melioracije (MELILAB). U radu su korišteni pokazatelji saliniteta: a) električna vodljivost, EC_w (HRN ISO 7888:1985; EN 27888:1993) za površinske i podzemne vode, b) električna vodljivost vodenog saturacijskog ekstrakta tla, EC_e (prema Rhoades i sur., 1996).

Statistička analiza u ovom radu obuhvatit će vrijednosti električne vodljivosti na lokacijama motrenja površinske, podzemne vode i tla unutar područja definirano prethodno opisanim monitoringom na području doline Neretve. Prvo je izvršena osnovna deskriptivna statistička analiza koja obuhvaća sljedeće pokazatelje: aritmetička sredina (Arit. sredina), medijana, standardna devijacija, minimalne i maksimalne vrijednosti i koeficijenti varijacije (V) da bi se dobio osnovni uvid o skupovima prikupljenih podataka. Osim toga u ovom radu vrijednosti električne vodljivosti na odabranim postajama monitoringa analizirane su korištenjem ne-parametarskog Mann-Kendall (M-K) testa koji se primjenjuje za identifikaciju značajnih monotonih promjena u vremenskim serijama (Bubalo, 2016). Zbog cilja da se samo utvrdi postojanost trenda u praćenim vrijednostima EC_w -a, za određivanje nagiba trenda primijenjena je ne-parametarska metoda Theil-Sen (Theil, 1950; Sen, 1968), odnosno Senov procjenitelj nagiba.



Slika 1. Mreža postaja istraživačkog monitoringa kemijskog stanja (salinitet i hranjive tvari) površinskih voda, podzemnih voda (iz plitkih piezometara) i tla koje su uspostavljene na području doline Neretve

Tablica 1. Skupine postaja monitoringa površinskih i podzemnih voda grupiranih prema vrstama vodnih tijela

Skupina postaja monitoringa	Vrsta vodnih tijela i naziv
1. skupina	Prirodni vodotoci: Neretva, Mala Neretva, kanal Vrbovci, kanal Vidrice,
2. skupina	Crpne stanice (CS): Luke; Vrbovci; Vidrice; Opuzen ušće
3. skupina	Melioracijski kanali (MK): Luke, Vidrice, Vrbovci, Opuzen ušće-Jasenska, Opuzen ušće
4. skupina	Podzemne vode: piezometri (Pz): Luke; Vidrice; Opuzen ušće-Jasenska, Opuzen ušće; Vrbovci

3. REZULTATI I RASPRAVA

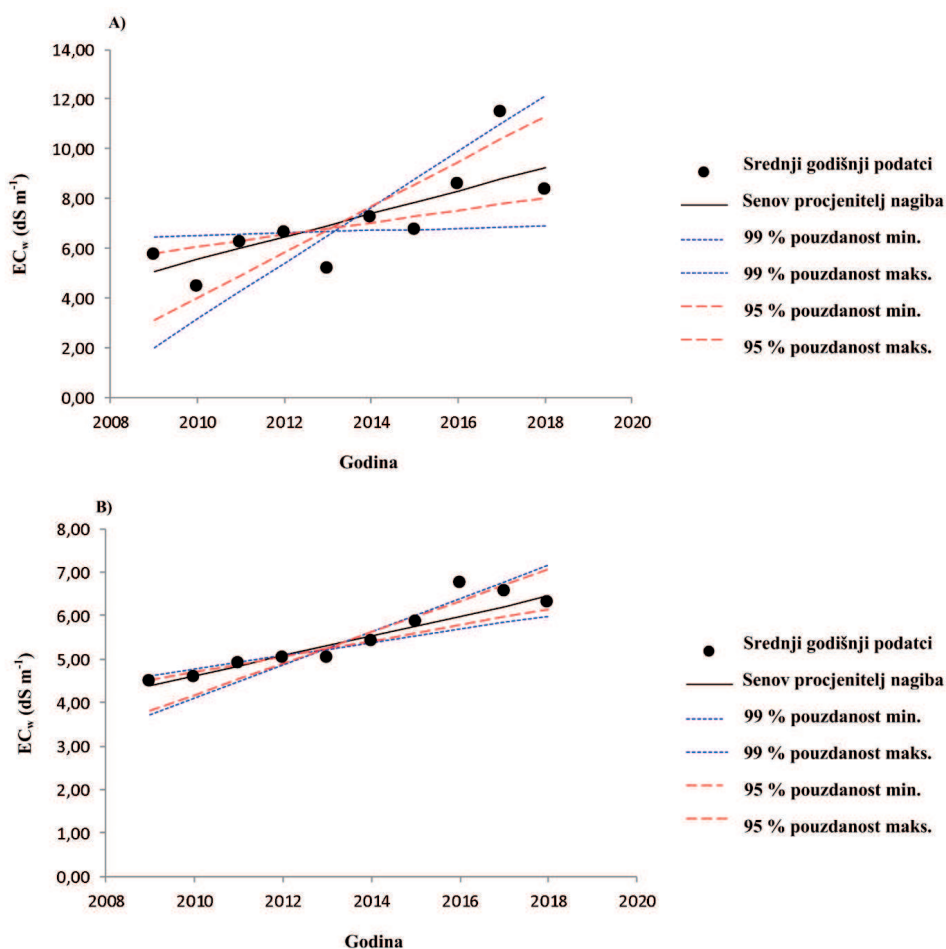
3.1. Ocjena stanja vodnih tijela

Prema statističkim pokazateljima iz tablice 1 vidljivo je da je u razdoblju od 2009. - 2018. minimalna vrijednost električne vodljivosti vode (EC_w) od $0,19 \text{ dS m}^{-1}$ utvrđena u 3. skupini voda (postaje monitoringa površinskih voda uspostavljene na melioracijskim kanalima), a maksimalna vrijednost od $38,9 \text{ dS m}^{-1}$ u 4. skupini voda (postaje monitoringa podzemnih voda iz plitkih piezometara), koja ima i najvišu aritmetičku sredinu od $9,7 \text{ dS m}^{-1}$ EC_w . Koeficijent varijacije, kao potpuna mjera relativne disperzije, viši od 70 % ukazuje na vrlo jaku varijabilnost promatranog skupa pa se iz dobivenih rezultata da zaključiti da su vrijednosti EC_w bile izrazito varijabilne u podzemnim vodama (koeficijent varijacije = 109 %). Rezultati statističke analize daju zaključiti da podzemne vode u dolini Neretve pripadaju klasi srednje zaslanjenih voda (aritmetička sredina EC_w u rasponu od $2-10 \text{ dS m}^{-1}$) do vrlo jako zaslanjenih voda (maksimalna vrijednost EC_w u rasponu od $25-45 \text{ dS m}^{-1}$). Od površinskih voda, najviša aritmetička sredina EC_w utvrđena je u 2. skupini voda (postaje monitoringa površinskih voda uspostavljene na CS), što ih također svrstava u klasu srednje zaslanjenih voda. Evidentno je da rad crpne stanice utječe na dotok soli iz podzemne vode kada je ona mineralizirana, ali i nezaslanjene vode ovisno o lokaciji. Naime, radom crpne stanice snižava se razina vode i povećava gradijent tlaka u vertikalnom smjeru. Premda se raspon vrijednosti EC_w u 2. skupini voda kretao od $0,71 \text{ dS m}^{-1}$ do $9,23 \text{ dS m}^{-1}$, mali koeficijent varijacije (37 %) ukazuje na slabiju varijabilnost stupnja zaslanjenosti odnosno manja odstupanja izmjerenih vrijednosti EC_w od utvrđene aritmetičke sredine što je također povezano s radom crpnih stanica, odnosno njihovih sabirnih kanala. Važno je primijetiti da je najviša vrijednost EC_w u površinskim vodama na području doline Neretve zabilježena u 3. skupini melioracijskih kanala ($20,9 \text{ dS m}^{-1}$). Za razliku od drugih skupina postaja monitoringa površinskih voda, vrijednost EC_w relativno najviše varira kod prirodnih vodotoka, što je izraženo kroz koeficijent varijacije od 71 %. Međutim, prema utvrđenoj vrijednosti aritmetičke sredine od $1,06 \text{ dS m}^{-1}$ prirodni vodotoci se mogu svrstati u klasu malo zaslanjenih voda (EC_w $0,7 - 2 \text{ dS m}^{-1}$) prikladnih za upotrebu u navodnjavanju.

Tablica 2. Sumarna statistika vrijednosti električne vodljivosti, EC_w (dS m^{-1}) na 16 lokacija monitoringa voda u dolini Neretve za vremenski niz 2009.-2018. po skupinama postaja monitoringa površinskih (Skupine 1.-3.) i podzemnih voda (4. skupina)

Pokazatelj: EC_w (dS m^{-1})	1. skupina Prirodni vodotoci	2. skupina Crpne stanice	3. skupina Melioracijski kanali	4. skupina Piezometri
n - broj uzorka	468	468	585	585
Arit. sredina	1,06	4,02	3,63	9,7
Medijan	0,76	3,72	3,0	5,50
Standardna devijacija	0,75	1,47	2,5	10,6
Minimum	0,26	0,71	0,19	0,29
Maksimum	4,83	9,23	20,9	38,9
Koeficijent varijacije	71	37	69	109

Na slici 2 prikazan je Senov procjenitelj nagiba za A) Melioracijski kanal Luke iz 3. skupine postaja u kojima je utvrđen apsolutni maksimum EC_w u površinskim vodama i B) Opuzen ušće piezometar iz 4. skupine postaja s najvišom aritmetičkom sredinom i apsolutnim maksimumom EC_w . Statistički značajan pozitivan trend vrijednosti EC_w pri razini značajnosti 0,1 % utvrđen je na postaji monitoringa Opuzen ušće piezometar, a pri razini značajnosti 1 % na postaji monitoringa melioracijskog kanala Luke.



Slika 2. Prikaz srednjih vrijednosti EC_w i Senovog procjenitelja nagiba za postaje Melioracijski kanal Luke (A) i Opuzen ušće piezometar (B) uz naznačene dvije razine pouzdanosti (95 % i 99 %) procijenjenog nagiba

3.2. Ocjena stanja tla

Monitoring zaslanjivanja tla u dolini Neretve se provodi na 7 postaja (P) raspoređenih po melioracijskim jedinicama. Određivanjem stupnja zaslanjenosti tla u razdoblju ožujak/travanj ocjenjuje se sposobnost tla za održavanjem ravnotežnog stanja soli u profilu. Dobiva se uvid o tome jesu li oborine tijekom jesensko-zimskog razdoblja bile dostatne za značajnije ispiranje soli iz profila tla. Osim toga, navedeno razdoblje uzorkovanja poklapa se s početkom sjetve/sadnje najvažnijih kultura na otvorenom, a poznavanje stupnja zaslanjenosti tla u fazi nicanja i ranog porasta biljke izuzetno je važno jer su tada biljke najosjetljivije na povećane koncentracije soli u tlu. Drugo uzorkovanje provodilo se s pomakom od 6 mjeseci, tj. u razdoblju rujn/listopad. Razdoblje je to kojem su prethodile visoke temperature zraka, značajni gubitci vode iz tla evapotranspiracijom, mala količina oborina i primjena navodnjavanja. Sve navedeno predstavlja veliku prijetnju za akumulaciju soli u tlu pa je tada i očekivan najveći stupanj zaslanjenosti tla. Od postaja tla, najviša prosječna vrijednost EC_e od $3,75 \text{ dS m}^{-1}$ utvrđena je na melioracijskom području Vidrice i u ljetnom i u zimskom terminu uzorkovanja. Zaslanjenost tla bila je najviša u zimskom terminu uzorkovanja na melioracijskom području Vidrice. U ljetnom terminu uzorkovanja apsolutni maksimum EC_e zabilježen je na postaji P-5 melioracijskog područja Vrbovci gdje je ujedno utvrđena i najniža aritmetička sredina EC_e u zimskom terminu uzorkovanja. Tako veliku varijabilnost EC_e na postaji P-5 potvrđuje i koeficijent varijacije od 95 % u ljetnom terminu uzorkovanja. Iz dobivenih rezultata da se zaključiti da su vrijednosti EC_e bile najmanje varijabilne upravo na postaji monitoring tla s najvišim utvrđenim aritmetičkim sredinama odnosno najvišim stupnjem zaslanjivanja, a to je postaja P-3 na melioracijskom području Vidrice. Uzimajući u obzir kriterij da zaslanjena tla imaju prosječnu vrijednost EC_e do 1 m od 2 do 8 dS m^{-1} (Husnjak, 2014) tlo na postajama melioracijskog područja Vidrice, Opuzen ušće-Glog i Banja može se ocijeniti kao zaslanjeno i u zimskom/vlažnom terminu uzorkovanja. U ljetnom terminu uzorkovanja osim na prethodno navedenim postajama tlo je bilo zaslanjeno i na postajama Opuzen Ušće-Jasenska i Komin.

Tablica 3. Sumarna statistika vrijednosti EC_e (dS m^{-1}) na postajama monitoringa tla do dubine 1 m u dolini Neretve za vremenski niz 2009.-2018.

EC_e (dS m^{-1})		P-1 Luke	P-2 Jasenska	P-3 Vidrice	P-4 Glog	P-5 Vrbovci	P-6* Komin	P-7* Banja
Arit. sredina	Zimsko	1,09	1,68	3,25	2,06	0,67	1,06	2,27
	Ljetno	1,3	2,94	3,75	2,14	1,14	2,43	2,79
Stdev.	Zimsko	0,86	0,99	1,13	0,93	0,25	0,59	0,9
	Ljetno	0,9	1,67	0,73	0,99	1,08	1,38	0,66
Minimum	Zimsko	0,38	0,41	0,97	0,53	0,4	0,31	0,89
	Ljetno	0,5	0,64	2,21	0,81	0,43	1,03	1,59
Maksimum	Zimsko	4,79	4,7	4,95	3,74	1,41	2,29	4,18
	Ljetno	3,6	6,02	5,41	4,12	6,06	5,79	4,43
V (%)	Zimsko	78,8	58,9	34,68	45,1	37,37	55,58	39,91
	Ljetno	63,8	56,8	19,57	46,2	95,45	56,81	23,7

*vremenski niz mjerenja za razdoblje 2014.-2018.

ZAKLJUČAK

Od ukupno analiziranih postaja, aritmetička sredina EC_w u rasponu od 2 – 10 dS m^{-1} koji pripada klasi srednje zaslanjenih voda (primarne drenažne voda i podzemne vode) utvrđena je kod tri skupine postaja: crpne stanice, melioracijski kanali i piezometri, dok je utvrđena aritmetička sredina EC_w prirodnih vodotoka bila u rasponu od 0,7 – 2 dS m^{-1} koji pripada klasi malo zaslanjenih voda. Visoki koeficijenti varijabilnosti, utvrđene visoke maksimalne vrijednosti i statistički značajni pozitivni trendovi vrijednosti EC_w ukazuju na moguće dodatno povišenje EC_w u površinskim i podzemnim vodama na području doline Neretve. U tom smislu s obzirom na stupanj zaslanjenosti vode, najkritičnije su postaje monitoringa melioracijskih kanala i podzemnih voda. Od uspostavljenih 7 postaja monitoringa tla, tlo je zaslanjeno na 5 postaja, a najveća opasnost zaslanjivanju i posljedicama koje za sobom to povlači za poljoprivrednu proizvodnju izražene su na melioracijskom području Vidrice. Upozoravajuća je činjenica da je tlo na svim postajama monitoringa u razdoblju od 2009. - 2018. bilo slabo do umjereno zaslanjeno sa zabilježenim maksimalnim vrijednostima EC_e višim od 2 dS m^{-1} .

LITERATURA

- [1] Bubalo, M. (2016): *Model predviđanja koncentracije nitrata u podzemnim vodama pod utjecajima iz poljoprivrede / doktorska disertacija*. Zagreb: Građevinski fakultet, 29.09. 2016, 142 str. Voditelji: Kuspilić, N.; Romić, D.
- [2] Husnjak, S. (2014): *Sistematika tala Hrvatske*. Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb
- [3] HRN EN 27888, 2008. Water quality -- Determination of electrical conductivity. International Organisation for Standardisation. Croatian Standard Institute.
- [4] HRN EN ISO 5667-6, 2016. Water quality -- Sampling -- Part 6: Guidance on sampling of rivers and streams. International Organisation for Standardisation. Croatian Standard Institute.
- [5] HRN ISO 5667-11, 2011. Water quality -- Sampling -- Part 11: Guidance on sampling of groundwaters. International Organisation for Standardisation. Croatian Standard Institute.
- [6] Ljubenkov, I., Vranješ, M., (2012):. *Numerical model of stratified flow-case study of the Neretva riverbed salination*. Građevinar 64 (2), 101-112.
- [7] Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/nacrt_plana_upravljanja_vodnim_podrucjima.pdf. Hrvatske vode
- [8] Rhoades, J.,D. (1996): *Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids*. pp. 417-435. In: Sparks, D.L. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 3. Chemical methods. SSSA Book Series No. 5. SSSA and ASA, Madison, WI.
- [9] Romić, D., Husnjak, S., Romić, M., Ondrašek, G., Zovko, M. (2010): *Stupanj zaslanjenosti i održivo korištenje tala Donje Neretve*. Projektni elaborat. Agronomski fakultet.

- [10] Romić, D., Romić, M., Ondrašek, G., Zovko, M., Bubalo Kovačić, M. Bakić Begić, H. Filipović, L., Maurović, N., Vranješ, M., Srzić, V. (2018-2009): *Monitoring zaslanjenja voda i poljoprivrednih tala na području doline Neretve*. Godišnja izvješća u razdoblju od 2009.-2018. Agronomski fakultet.
- [11] Sen P. K. (1968): *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*. Journal of the American Statistical Association 63: 1379-1389.
- [12] Theil H. (1950): *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis*, Part 3. Proceedings of Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen
- [13] Zakon o vodama. Narodne novine, br. 56/13.
- [14] Zovko, M. (2015): *Procjena rizika zaslanjivanja i mobilnosti metala u poljoprivrednim tlima priobalnih riječnih dolina / doktorska disertacija*. Zagreb: Agronomski fakultet, 15.07. 2015, 135 str. Voditelj: Romić, D.

AUTORI

prof.dr.sc. Davor Romić ^a

doc. dr. sc. Monika Zovko ^b

dr. sc. Marina Bubalo Kovačić ^c

prof. dr. sc. Gabrijel Ondrašek ^d

dr. sc. Helena Bakić Begić ^e

prof. dr. sc. Marija Romić ^f

^a Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za melioracije, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, dromic@agr.hr

^b Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za melioracije, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, mzovko@agr.hr

^c Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za melioracije, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, mbubalo@agr.hr

^d Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za melioracije, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, gondrasek@agr.hr

^e Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za melioracije, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, hbakic@agr.hr

^f Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za melioracije, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, mromic@agr.hr



R 2.21.

UREĐENJE PODRUČJA DONJE NERETVE

Mijo Vranješ

SAŽETAK: U području donje Neretve dogodile su se velike promjene svih procesa, posebno vodnog režima s naglašenim utjecajem mora (zaslanjivanje). Za istraživanje stanja kakvoće vode i tla uspostavljen je sustav motrenja. Na osnovi rezultata tog motrenja predloženo je tehničko rješenje za popravljivanje stanja u dolini.

KLJUČNE RIJEČI: donja Neretva, interakcija sliv - more, obrana od zaslanjivanja

IMPROVEMENT OF THE LOWER NERETVA AREA

ABSTRACT: In the Lower Neretva area, big changes in all processes have occurred, particularly in the water regime with a marked impact of the sea (salinization). Monitoring was established for the purpose of investigating the status of the quality of water and soil. Based on the monitoring results, a technical solution for improvement of the status in the valley was proposed.

KEYWORDS: lower Neretva, interaction river basin – sea, salinization control

1. UVOD

Petogodišnji ciklus motrenja kakvoće vode i tla u donjoj Neretvi za razdoblje 2014. - 2018. u stvari je nastavak ranije pokrenutog mjerenja te motrenja stanja vode i tla u dolini. Postupno se izgrađivao sustav motrenja koji se kontinuirano dopunjavao i poboljšavao. Instalirani su parovi plitkog i dubokog piezometra na četiri pozicije u području Opuzen - Ušće. Potvrđeni su rezultati iz ranijeg razdoblja da su u plićem sloju aluvija razine vode smanjene (snižene) djelovanjem sustava odvodnje, a u dubljem sloju je arteško ili subarteško stanje podzemne vode. U početku su korištene pocinčane cijevi promjera 80 mm, koje su zbog agresivnog djelovanja soli ubrzano inkrustirale. Pokazalo se da su uske za mjerne instrumente što se planiralo ugraditi, pa je donesena odluka da se te cijevi zamijene cijevima od nerđajućeg materijala i većeg promjera. Na žalost, kod zamjene cijevi dubokih piezometara došlo je do pogreške zbog koje su nastale poremećene razine podzemne vode, posebno u plićim piezometrima. Ta pogreška je uklonjena specijalnim radovima injektiranja oko dubokih piezometara. Preostaje nam u sljedećem razdoblju provjeriti u kolikoj mjeri se uspjelo. Iz rezultata mjerenja u 2018. godini vidi se učinak. Izgrađeni su i piezometri u području Kuti (Vrbovci), Banja u desnom zaobalju Neretve te duboki

piezometar uz Crepinu u području Opuzen - Ušće. U petogodišnjem razdoblju detaljno je mjereno i obrađeni su rezultati za navedena četiri para plitkih i dubokih piezometara u području Opuzen - Ušće te podaci u rijeci Neretvi. Dakle, težište istraživanja je u području Opuzen - Ušće i u rijeci Neretvi. U ranijem razdoblju protoci u rijeci Neretvi računati su na osnovi podataka izmjerenih u dosta uzvodnijem mjernom profilu Žitomislić. Nedostatak (manjkavost) takvih podataka je što se s puno neizvjesnosti procjenjuje međudotok od Žitomislića do Metkovića. Osim toga podaci s profila Žitomislić su sve nesigurniji, pa je odlučeno da se kontrola protoka rijekom Neretvom mjeri u Metkoviću kao ulaznom profilu za nizvodni tok prema ušću rijeke. Zbog uspornog djelovanja mora, čak uzvodnije od Metkovića, ne može se koristiti standardno mjerenje razina vode iz kojih se preko kalibrirane protočne krivulje računaju protoci. Uvodi se nova tehnika mjerenja koja je već primijenjena u 2018. godini.

Već iz dosadašnjih rezultata mjerenja i motrenja može se zaključiti da se stanje, naročito zaslanjivanja, u donjoj Neretvi osjetno pogoršava. Zato se u zaključivanju o tim procesima i o uzrocima mora promotriti šire okruženje, odnosno cijeli sliv rijeke Neretve. Znamo da se i na slivu bitno promijenilo hidrološko stanje uzrokovano raznom izgradnjom, pod utjecajem čovjeka. Promjene će se i dalje u negativnom kontekstu događati, a posljedice se multipliciraju upravo na ušću rijeke u more. Događanja na slivu teško je kontrolirati, pa se uklanjanje ili ublažavanje negativnih posljedica mora provoditi upravo u području donje Neretve, odabirom i izgradnjom odgovarajućeg tehničkog rješenja.

2. PROMJENE NA SLIVU I POSLJEDICE U DONJOJ NERETVI

Proteklih nekoliko desetljeća potpuno je izmijenjen vodni režim otjecanja sa sliva. Osnovna zamisao je bila, što više i što duže zadržati vodu na površini. Usvojen je koncept izgradnje akumulacijskih jezera i njihovo povezivanje u cilju osiguranja vode za potrebe: hidroenergetike, poljoprivrede i vodoopskrbe.

Međutim, na taj način se bitno utjecalo na podzemne vode u pukotinskom sustavu krša. Postavljen je kriterij da se prirodni minimalni protoci uvažavaju ili po mogućnosti poboljšaju. Da li je taj kriterij zadovoljen na slivu? Prema stanju i procesima u području donje Neretve moglo bi se zaključiti da postavljeni kriteriji nisu zadovoljeni. Na slici 1 jasno se vidi i lako je zaključiti o kakvim promjenama se radi. Već na prvi pogled jasno je da hidroenergetski sustav dominira i da su mu svi drugi sektori vodnog gospodarstva podređeni. Posljedice takvih odnosa najviše se očituju u donjoj Neretvi, u okolišu ušća rijeke (delte). No, s izgradnjom energetskog sustava nije se stalo. I dalje se razvija kroz izgradnju „Gornjih horizonata“. Može se očekivati još veći poremećaj prirodnog otjecanja sa sliva i još teže stanje u donjoj Neretvi.



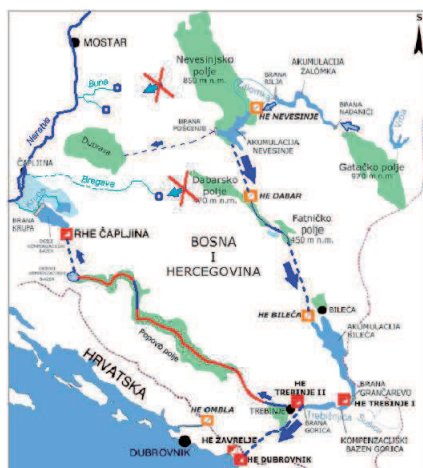
Slika 1. Izgrađenost na slivu

Tablica 1. Izgrađene i planirane vodne građevine i sustavi na slivu

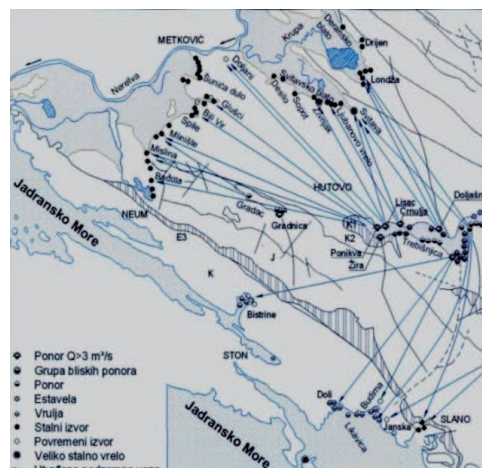
<p>1. Neretva - 9 hidroelektrana</p> <p>a) Izgrađeno: HE Jablanica (1954.), HE Rama (1969.), HE Grabovica (1981.), HE Salakovac (1981.), HE Mostar (1987.; 1997.), HE Peć - Mlini (2004.) - rijeka Tihaljina, HE Mostarsko Blato (2012.).</p> <p>b) Planirano: HE Konjic, HE Ulog.</p>	<p>2. Trebišnjica - 7 hidroelektrana</p> <p>a) Izgrađeno - Donji horizonti: HE Dubrovnik i brana Gorica (1965.), HE Trebinje 1 i akumulacija Bileća (1968.), RHE Čapljina (1979.), HE Trebinje 2 (1981.).</p> <p>b) Planirano - Gornji horizonti: HE Dabar, HE Bileća, HE Nevesinje.</p>
<p>AKUMULACIJE I JEZERA</p> <p>a) Izgrađeno: Ričice, Tribistovo, Rama, Jablanica, Bileća.</p> <p>b) Planirano Konjic, Ulog, Zalomka, Nevesinje, Klokun.</p>	<p>MELIORACIJA POLJA</p> <p>odvodnja, navodnjavanje.</p>

Najveće promjene su nastale na lijevoj strani sliva i još će se te promjene povećati. Površinski tokovi uglavnom su usmjereni na hidroelektrane Trebinje I, Trebinje II i Dubrovnik kao glavnu elektranu te na buduće elektrane Nevesinje, Dabar i Bileća. Uz hidroenergetski sustav na promjene otjecanja utjecale su i melioracije kojima se rješava obrana od poplavlivanja krških polja. Jedna od većih promjena je betoniranje korita ponornice Trebišnjice u Popovom polju (slika 2) te usmjeravanje protoka na hidroelektrane. Za

potrebe navodnjavanja i za biološki minimum iz akumulacije Gorica u korito Trebišnjice planirano je upuštati $8 \text{ m}^3/\text{s}$. Tako je projektirano, ali u stvarnosti je ta količina i manja. Greškom su planirani i izgrađeni visoki preljevi na ulazima u ponore iz kojih bi voda morala dotjecati na izvore u nižim područjima. Time su bitno smanjeni protoci na izvorima u donjoj Neretvi (slika 3), čak do 80 % u Hutovom blatu i u Kutima. Posljedice su i u većem dijelu Dubrovačkog primorja. Posebno je ugroženo vrlo vrijedno priobalje Malostonskog zaljeva u kojem su specifični ekološki uvjeti nastali miješanjem mora i dotekle svježe vode s kopa.

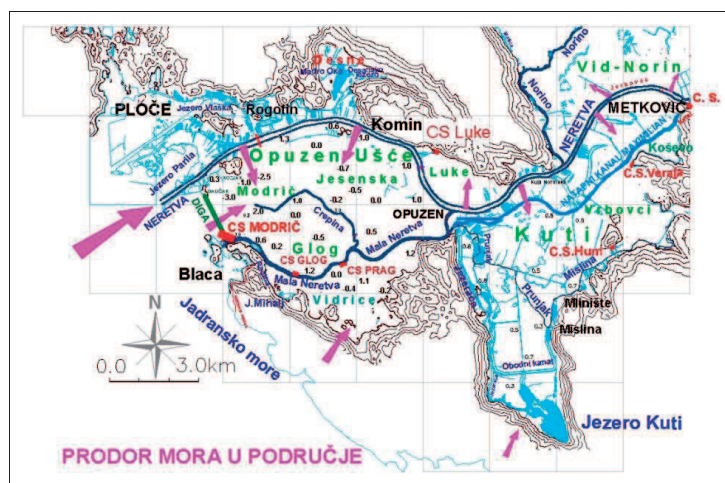


Slika 2. Promjene na lijevom dijelu sliva



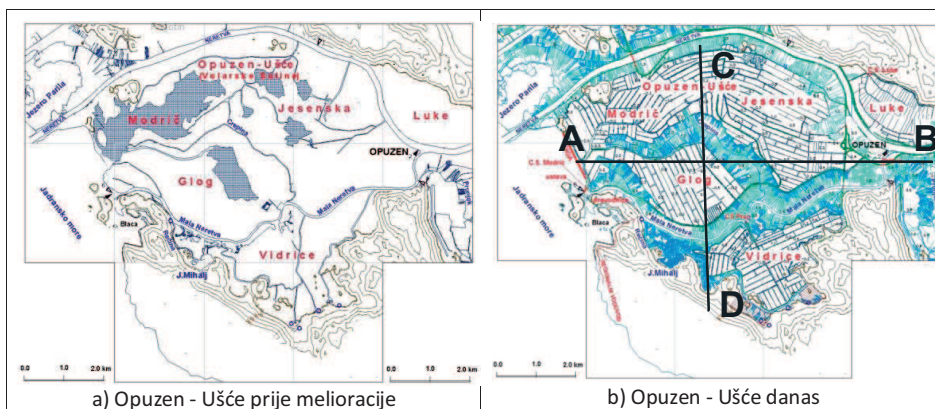
Slika 3. Ponori u Popovom polju i izvori u donjoj Neretvi

Zbog bitno smanjenog prirodnog dotoka svježe vode u donju Neretvu povećan je utjecaj mora i naglašeno je zaslanjivanje cijelog područja (slika 4).



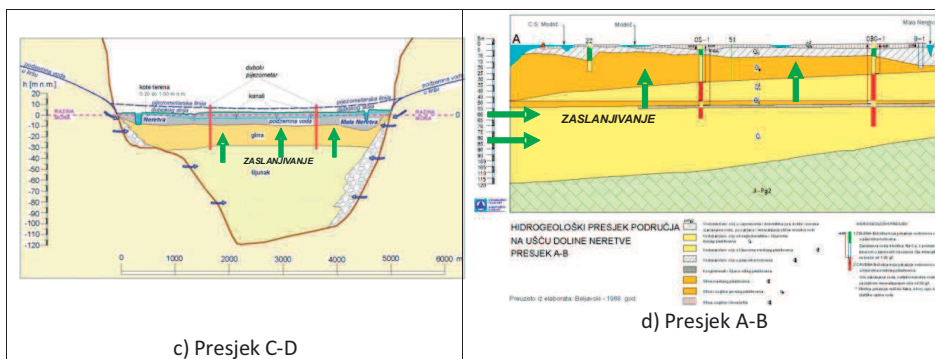
Slika 4. Zaslanjivanje u donjoj Neretvi

Vrlo intenzivno zaslanjivanje je u području Opuzen - Ušće. Tu je tlo na niskim kotama, malo iznad razine mora. U daljoj prošlosti rijeka Neretva se izlivala u to područje donoseći novi nanos, uglavnom suspendiran te je svježom vodom ispirala sol iz tla. Hidrografija je bila dobro razvijena (slika 5a) s nekoliko slatkovodnih ili malo boćatih jezera. Naročito je istaknuto jezero i laguna Modrič kojemu je dno bilo 2 do 3 metra ispod razine mora. Budući da se nanos za vrijeme izlivanja vode iz vodotoka većim dijelom taložio u okolišu Neretve, Male Neretve i Crepine tu su kote terena najviše, izdignute su.



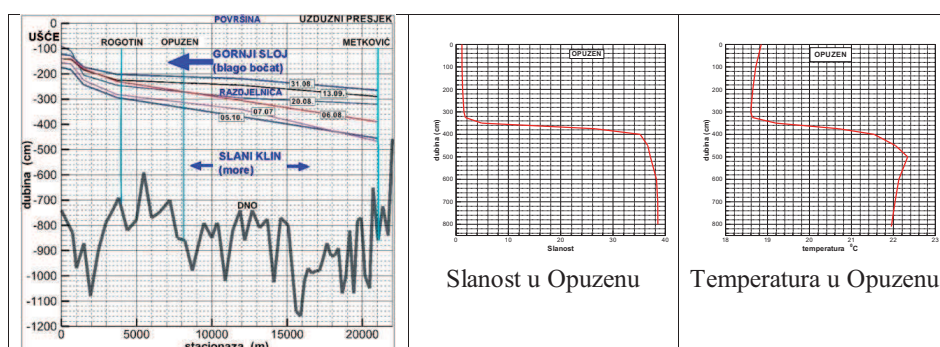
Slika 5. Područje Opuzen - Ušće

Izgradnjom obrambenih nasipa protiv poplava zaustavljeno je izlivanje vode iz vodotoka, pa je zaustavljen i donos novog nanosa. Zbog nedostatka nanosa u dužem vremenu došlo je do slijeganja tla, naročito na močvarnim mjestima doline gdje je nastajao treset. Budući da je teren nizak sustavom kanala i crpnim stanicama provodi se kontinuirana odvodnja (slika 5b) te time drže podzemne vode ispod površine terena, ispod rizosfere. Trajno održavanje sniženog vodostaja stvara gradijent toka iz dubokih slojeva prema površini terena, prema kanalima. Na taj način iz dubokih zaslanjenih slojeva donosi se sol prema obradivim površinama (slika 6).

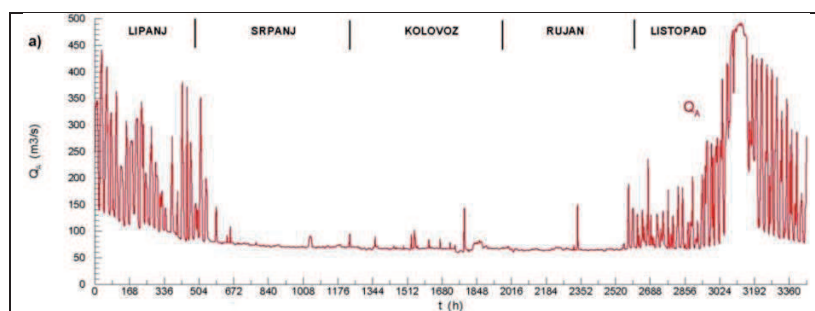


Slika 6. Zaslanjivanje iz dubokih slojeva

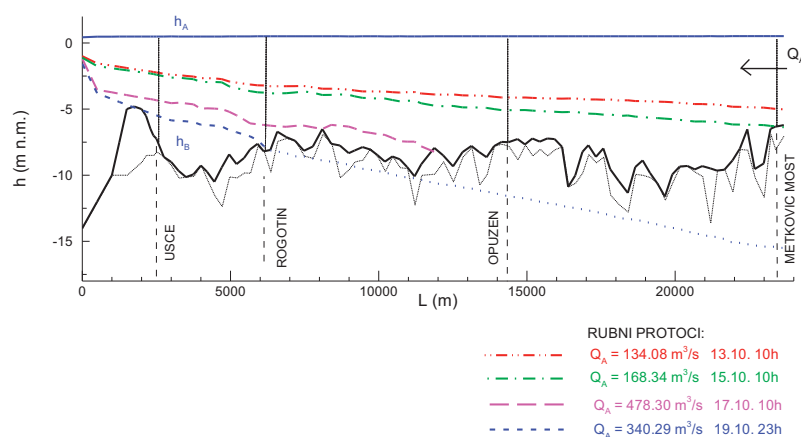
U korito rijeke Neretve utiskuje se more kao slani klin (slika 7). Iznad klina teče svježija ili blago bočata voda. Između je relativno uski prelazni sloj debljine oko 30 cm do 50 cm. Intenzitet utiskivanja ovisi o plimi - oseci, a ponajviše o protoku u rijeci kojeg uglavnom generira rad uzvodnih hidroelektrana u sušnom te poplavne vode u kišnom razdoblju.



Slika 7. Rijeka Neretva, izmjeren položaj slanog klina, 2004.



Slika 8. Protok u Metkoviću 2004. godine

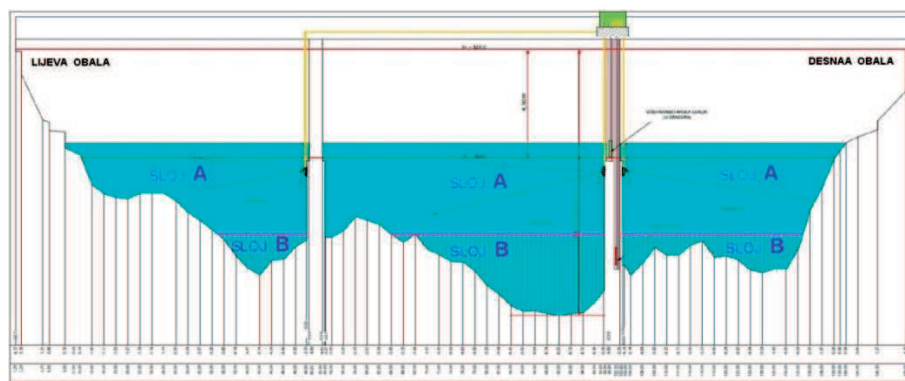


Slika 9. Stanje slanog klina u rijeci Neretvi, listopad 2004. godine

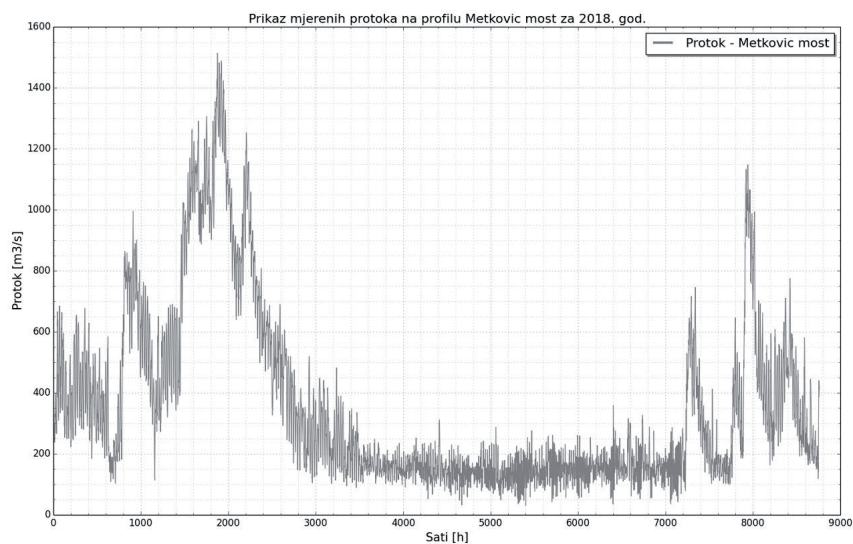
U sušnom razdoblju more prodre u rijeku uzvodnije od Gabele. Kako je u rijeci razina vode osjetno viša od razina vode u kanalskoj mreži područja Opuzen - Ušće, more se iz slanog klina infiltrira u podzemne vode područja. Slično se događa i u području Kuti. To je jedan od dominantnijih smjerova zaslanjivanja doline. Nešto mora prodre i kroz okršenu morsk obalu uz jezero Kuti i uz područje Vidrice (slika 4). Budući da već postoje izgrađeni piezometri na lijevom zaobalju kod meteorološke postaje u području Opuzen - Ušće te u desnom zaobalju piezometar kod Banje, za sljedeće razdoblje monitoringa predlaže se, u koridoru tako postavljenog poprečnog presjeka doline, ugradnja piezometra uz magistralu unutar melioriranog područja. Na taj način bi se mjerenjem odredila intruzije slanog klina iz rijeke u područje.

Kad rijekom Neretvom teku veće količine vode, više od $430 \text{ m}^3/\text{s}$ do $450 \text{ m}^3/\text{s}$, u trajanju 3 do 4 dana, ili za vrijeme poplavnih voda, slani klin je istisnut iz rijeke, što je pokazano numeričkim modelom (slike 8 i 9). Ali to su rjeđi događaji, pa je uglavnom infiltracija mora iz korita Neretve prema području intenzivna u većem dijelu godine.

Prodor mora u korito rijeke Neretve najviše ovisi o protoku koji dolazi rijekom uzvodno od Metkovića. Usporno djelovanje mora u rijeci je do Dračeva koji je uzvodnije od Metkovića, tako da nemamo jednoznačnu protočnu krivulju u profilu Metković. Tu postoji limnigraf nešto nizvodnije od mosta i mjere se razine vode. Do nedavno su korišteni podaci za protok s uzvodnijeg mjernog profila u Žitomisliću. Međutim, ta su mjerenja sve nesigurnija, a nisu obuhvaćeni međudotoci između Metkovića i Žitomislića. Zato je odlučeno da se protoci mjere što je moguće točnije na mostu u Metkoviću. Instalirani su ultrazvučni uređaji u protočnim poljima mosta (slika 10). Kako se u funkciji protoka mijenja položaj slanog klina (sloj B) dosta sporo, simultanim mjerenjem brzina u različitim uvjetima tečenja, odredit će se funkcije protoka u sloju A i u sloju B. Za 2018. godinu to je učinjeno (slika 11).

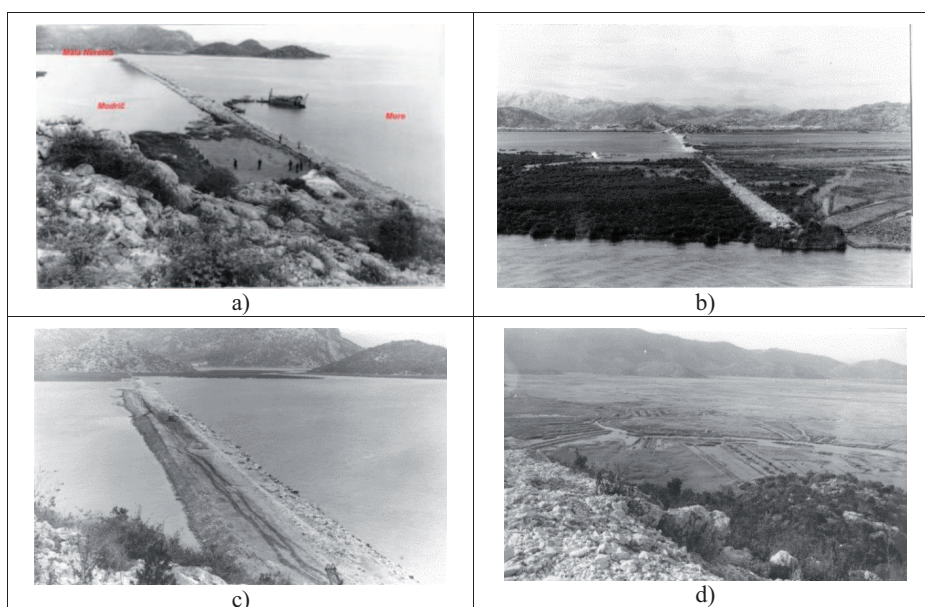


Slika 10. Mjerni profil u Metkoviću



Slika 11. Metković, ukupni protoci

Drugi smjer snažnijeg prodora mora je kroz i ispod nasipa Diga kojim je dio doline Opuzen - Ušće odijeljen od mora. Nasip je rađen kao opći nasip oslonjen na nekadašnje dno, bez neke posebne strukture (slika 12). Dakle, kao opći nasip ima određenu propusnost. Da bi se smanjilo procjeđivanje mora izgrađen je nasip nešto šireg gabarita.

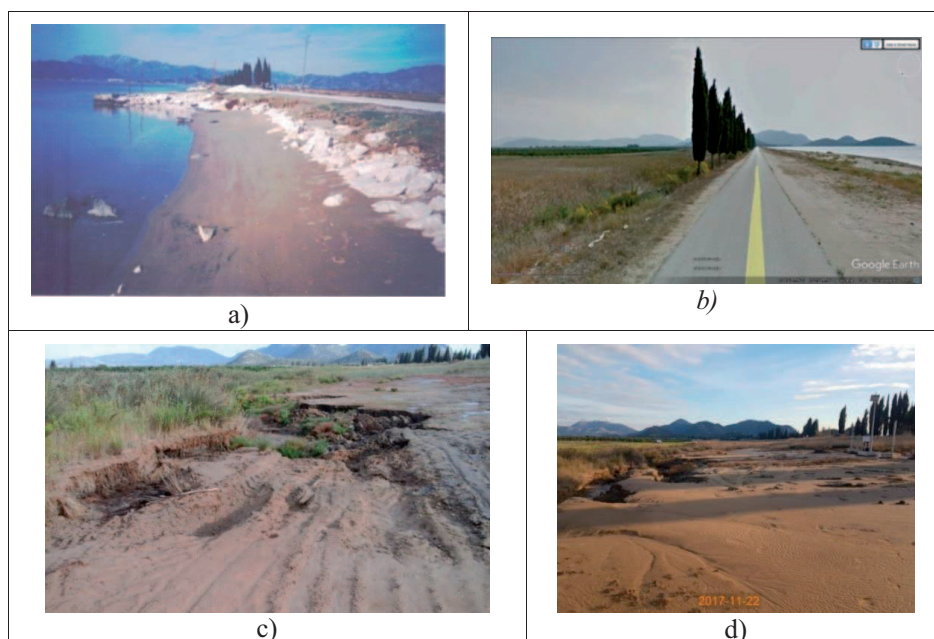


Slika 12. Izgradnja Dige

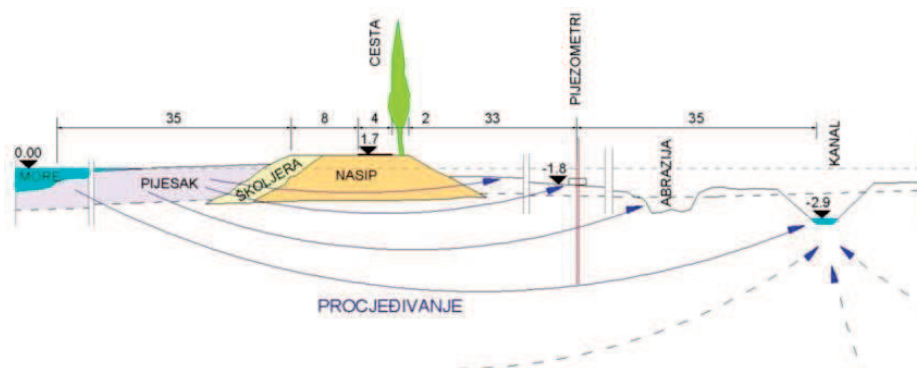
Nakon dovršenja izgradnje nasipa pristupilo se isušivanju područja Opuzen - Ušće te izgradnji mreže odvodnih kanala s crpnim stanicama. Po kruni nasipa izgrađena je asfaltirana prometnica, a nasip je prema morskoj strani zaštićen od djelovanja valova krupnijim kamenim blokovima (slike 13a i 13b).

Na školjeru je s morskog dna refulerima nanesen sloj pijeska pretpostavljajući da će se na taj način smanjiti procjeđivanje mora kroz nasip. Međutim, taj pijesak je nestabilan i more ga odnosi ponovo na morsko dno od kuda je i uzet, a i propustan je, pa ne smanjuje bitno procjeđivanje. Posljednih nekoliko godina vidljivo je pogoršanje stanja na nasipu i na nekoliko mjesta s unutrašnje strane prema području može se vidjeti znatno isoljavanje (posolica) te abrazijsko djelovanje procjedne vode (slike 13c i 13d). To upućuje na zaključak da se mogu očekivati još veća oštećenja i veće procjeđivanje mora. Već sad se treba ozbiljno djelovati te pripremati sanaciju i rekonstrukciju nasipa, čime bi se postigla sigurnost od rušenja i osjetno smanjila intruzija mora u područje. Kako je dužina nasipa respektabilna ovo je vrlo skupa zadaća, za koju je potrebno provesti detaljne istražne radove na osnovi čega će se odabrati optimalno rješenje.

Monitoringom kakvoće vode i tla nedvojbeno je utvrđeno da se stanje postupno pogoršava, što je prije svega posljedica velikih promjena otjecanja s užeg okruženja oko doline, kao i s cijelog sliva. Promjene na slivu su se nepovratno (nepopravljivo) dogodile i ne treba tražiti rješenje za donju Neretvu na cijelom slivu. Treba se u traženju rješenja usredotočiti na samo područje donje Neretve.



Slika 13. Sadašnje stanje na nasipu Diga



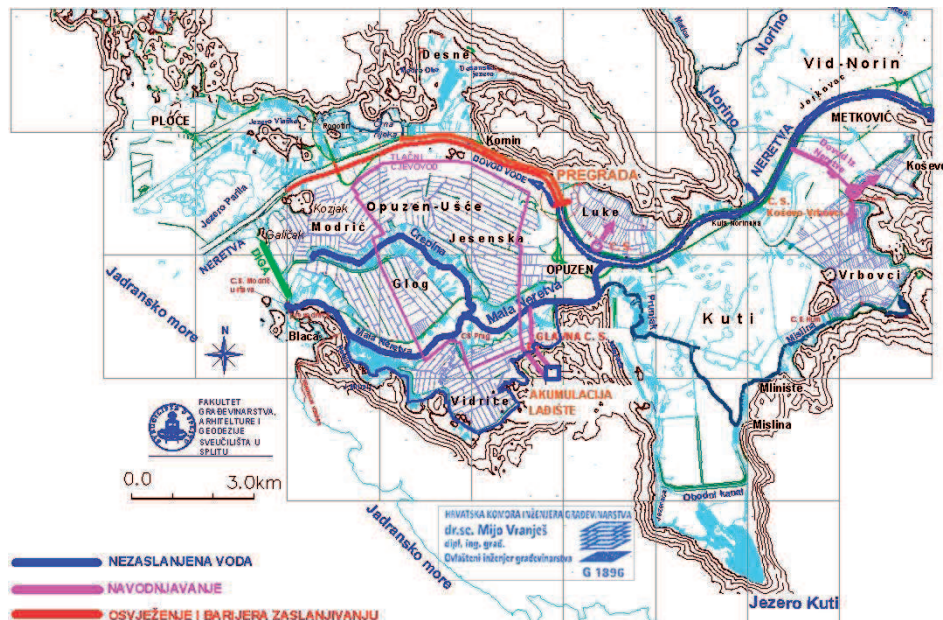
Slika 14. Presjek A-A kroz Digu



Slika 15. Situacija Dige i piezometara

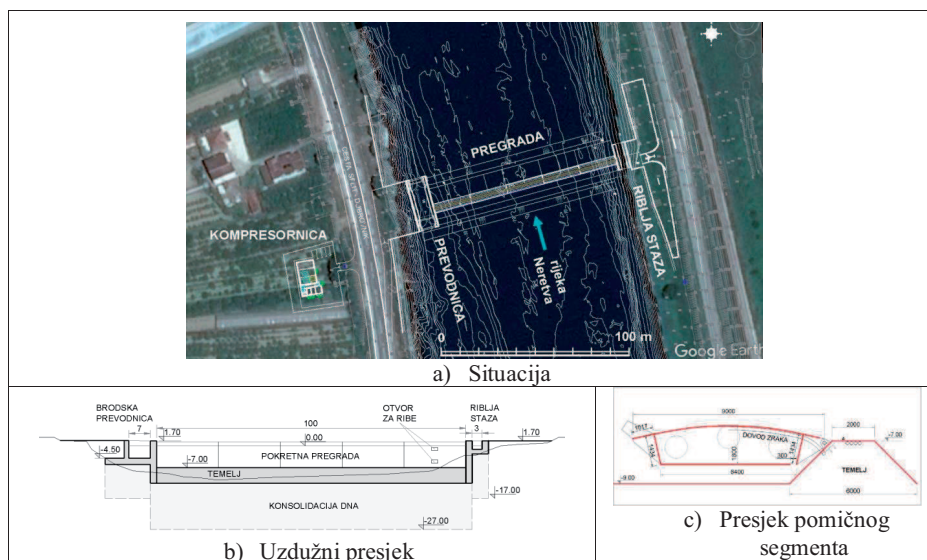
3. RJEŠENJE OBRANE OD ZASLANJIVANJA

Vodu koja je donjoj Neretvi oduzeta daleko uzvodnije i na višim kotama sliva potrebno je nadoknaditi na dijelu sliva koji je moguće u određenoj mjeri kontrolirati, a to je donji tok rijeke Neretve u kojoj ima dovoljna količina vode za sve potrebe na području donje Neretve. Međutim, potrebno je potisnuti djelovanje mora (soli) izvan donje Neretve. Na prihvatljivom rješenju počeli smo raditi davno, prije dva i po desetljeća, pa se od ideje došlo do rješenja pripremljenog za izgradnju. U tom procesu razmatrana su razna rješenja, provjeravana fizikalnim i numeričkim modelima, gdje je funkcionalno trebalo zadovoljiti više uvjeta. Osim što se takvim rješenjem treba osigurati dovoljna količina kvalitetne vode za sve potrebe, mora se osigurati i plovnost rijekom te zadovoljiti jednostavan pogon i održavanje. Naročito je potrebno postići prilagodljivost režimu rada hidroenergetskog sustava, kao i zadovoljiti uvjetima obrane od poplava. Prihvatljiv koncept originalnog rješenja (slika 16 i 17) postavili smo negdje 2007. godine, da bi se sukladno novim uvjetima plovnosti rješenje u dijelovima prilagođavalo, ali koncept je bio nepromijenjen.



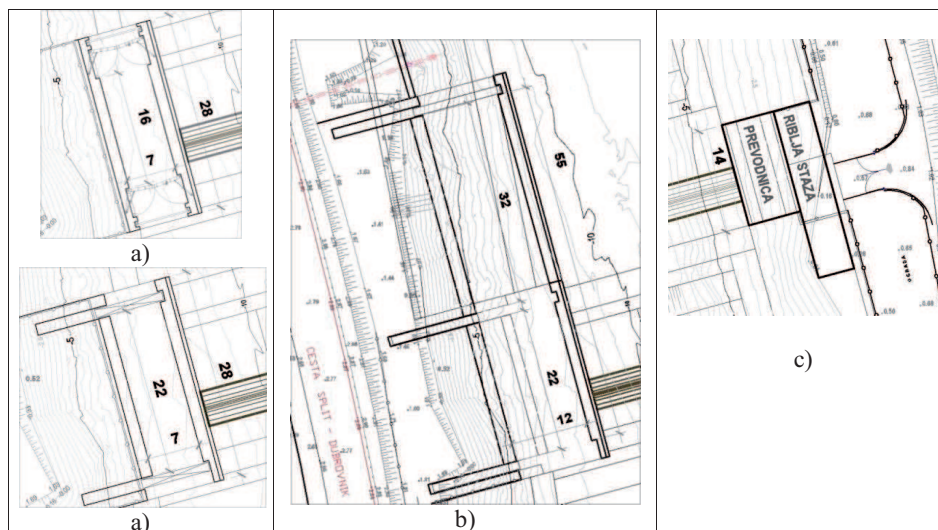
Slika 16. Rješenje obrane od soli u donjoj Neretvi

Odabrano je pregradno mjesto nizvodno od Opuzena na kojem će se izgraditi pomična pregrada za zaustavljanje prodora mora u uzvodni dio rijeke. Time bi se osigurala dovoljna količina nezaslanjene vode. Srednji dio pregrade je pomičan da se omogući prolaz većim brodovima i da se omogući propuštanje poplavnih voda. Taj dio se sastoji od pet segmenata preko kojih se preljeva i kroz koje protječe voda koja teče rijekom. Segmenti su autoregulacijski, jer se automatskim položajem prilagođavaju promjenjivom protoku. Mora se priznati da je u ovako složenoj zadaci bilo i nerazumijevanja ideje, pa se kasnije pri projektiranju u detaljima „zalutalo“. Prije svega misli se na brodsku prevodnicu. U konceptu je predlagano da se vrata prevodnice riješe klizno, gdje se otvaranje i zatvaranje prevodnice provodi vratima u plutajućem stanju.



Slika 17. Pregrada u rijeci Neretvi

Pogon svih dijelova pregrade provodi se pomoću komprimiranog zraka. Kao konačno rješenje predlaže se prevodnica prikazana na slici 18b, koja ima troja vrata, što daje mogućnost da se koristi prostor cijele prevodnice ili dio prevodnice, ovisno o veličini plovila koje prolazi kroz prevodnicu. Sasvim je jasno da za manje plovilo, ako se koristi dio prevodnice, vrijeme prolaska je osjetno kraće nego li da se mora puniti ili prazniti cijela prevodnica u dijelu volumena između razine donje (nizvodne) i gornje (usporene) razine. Osim toga ovako se dobije određena pouzdanost u funkciji prevodnice. Vrata se mogu u plutajućem stanju izvući i otegliti do nekog navoza, gdje se može napraviti popravak opreme na vratima (remont). Dok su jedna vrata na remontu, prevodnica može funkcionirati s preostalim dvojim vratima. Budući da se mora osigurati nesmetana plovnost i domicilnim brodicama na desnoj obali uz riblju stazu predviđena je mala prevodnica za tu vrstu plovila (slika 18c).



Slika 18. Brodske prevodnice i riblja staza

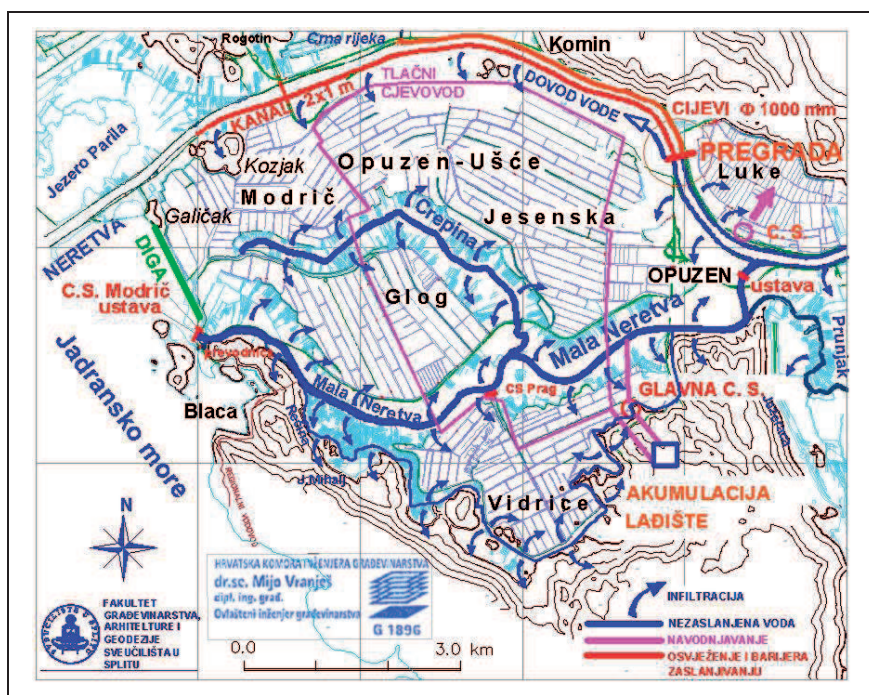
Usporena voda uzvodno od pregrade podiže se za 50 cm do 60 cm u odnosu na nizvodnu razinu tako da se uzvodno od pregrade stvara velika količina nezaslanjene vode za zadovoljenje svih potreba u cijeloj dolini. Podizanjem razine uzvodno od pregrade stvoren je gradijent za gravitacijsku distribuciju kroz površinske vodotoke u dolini. Glavni tokovi su Mala Neretva, Crepina, Prunjak i Mislina te svi ostali tokovi povezani s njima. Na Maloj Neretvi u Opuzenu kao i na ušću već postoje pregrade (slika 19) na kojima se može kontrolirati distribucija vode.



Slika 19. Ustave na Maloj Neretvi

Održavanjem nešto povišene razine vode u navedenim vodotocima, a uz snižene razine vode u sustavu melioracijskih kanala (odvodnja) postiže se infiltracija svježe vode u plitke podzemne vode čime se potiskuje slanost prema dubini izvan područja rizosfere. Uz Malu Neretvu i uz Crepinu teren je povišen, pa se u ta dva vodotoka može osjetno povisiti razina vode. Za obradive površine planira se izgraditi sustav navodnjavanja. Na slikama 16 i 20 nacrtana je glavna tlačna mreža, crpna stanica i akumulacija Lađište. Za površine Vrbovci i Koševo u Kutima također se može iz povišene Neretve voda dovesti gravitacijski (slika 16), a zatim sustavom navodnjavanja distribuirati po obradivim površinama. Uvođenjem svježe vode u vodotoke te navodnjavanjem obradivih površina

stvara se učinkovita obrana od zaslanjivanja. Isto tako se bitno popravljaju ekološki uvjeti u zaštićenim dijelovima doline. Primjerice, osvježenje jezera Kuti dovođenjem vode iz Neretve kroz vodotok Mislina je jedan od prioriteta.



Slika 20. Obrana od soli u području Opuzen - Ušće

Budući da je jedan od dominantnih smjerova infiltracije mora u područje iz slanog klina koji prodire u rijeku Neretvu, moguće je postaviti barijeru, zaštitu uz rijeku po obali. Na lijevoj obali može se izgraditi otvoreni kanal u koji se dovodi voda iz usporene rijeke zahvaćena uzvodno od pregrade s istom uspornom razinom. Kako je u rijeci Neretvi nizvodno od pregrade razina vode niža, a pogotovo su niže razine vode u odvodnim kanalima unutar područja Opuzen - Ušće, iz tog kanala će se infiltrirati svježja voda koja će biti barijera infiltraciji slanog klina iz rijeke prema obradivim površinama. Desno zaobalje uz Neretvu je dosta nisko, naročito mjesto Komin, a nije izgrađen sustav kanala za odvodnju. To je razlog zbog čega je pregradno mjesto odabrano uzvodnije od Komina, odnosno uzvodnije od odvodnog kanala iz melioriranog područja Luke. Da bi se i u to zaobalje dovela svježja (nezaslanjena) voda planira se po desnoj obali rijeke ugraditi potopljene cijevi većeg promjera (primjerice Φ 1000 mm) i uvesti svježju vodu u vodotok Crna rijeka, odnosno dalje u zaobalje.

Navodnjavanje ne može biti učinkovito ako nije riješena dobra odvodnja viška vode. Kako je područje Opuzen - Ušće vrlo nisko, odvodnja se mora provoditi kontinuirano. Područje je veliko, pa su i količine vode za odvodnju veće. Odvodnja se dosad provodi uglavnom prema iskustvu i uglavnom funkcionira. Nekog upravljačkog (pogonskog)

pravilnika i monitoringa za sustav odvodnje nema. To se mora što prije riješiti. Sad se događa i precrpljivanje, odnosno nepotrebno veliko snižavanje razina vode u odvodnim kanalima. To sniženje uzrokuje pojačan dotok podzemne vode prema površini, a dublje podzemne vode su jako zaslanjene.

Očito je da se što prije mora detaljno izračunati funkcioniranje sustava odvodnje te postaviti odgovarajući monitoring i pogonski pravilnik.

ZAKLJUČAK

Prodiranje mora u priobalje kroz površinske tokove te utiskivanjem u podzemlje je izuzetno složena pojava. Pogotovo ako se događa u dolini Neretve gdje je duboki aluvij nataložen na okršenoj vapnenačkoj podlozi, a obala i brda koja okružuju dolinu su isto tako jako okršena (propusna). Bitno se mijenjaju uvjeti kad je sušno ili kad je kišno razdoblje. U kršu, koji okružuje dolinu, razina podzemne vode je u širokom rasponu, znatno iznad ili nešto malo iznad razine mora, tako da se stanje podzeme vode u aluviju doline mijenja od arteškog do subarteškog. Kako se more utiskuje u podzemlje zaobalja na širokom prostoru javljaju se stanja zaslanjene vode duboko ispod površine ili tek neznatno ispod površine tla. To nam potvrđuju i slani izvori koji se povremeno javljaju daleko od obale mora. Primjerice, poznato je da se na izvoru Doljani (uzvodno od Metkovića) često zaslanju, a s njega je riješena vodoopskrba grada Metkovića. Ili, imamo vodocrpilište za vodoopskrbu Neuma na desnoj obali Neretve uzvodno od Gabele, još uzvodnije od Metkovića, koje se u ekstremno sušnim razdobljima zaslanju. Još je bolji primjer trajno slanog izvora udaljenog 20 km od mora u Gabela polju na sjeveroistočnom rubu doline kod Gabele. Ova pojava je izravno u funkciji dotoka svježije vode sa uzvodnog dijela sliva. Zato je važno i nužno je sve procese interakcije more - otjecanje sa sliva promatrati u cijelosti na slivnom području. Ta interakcija u pravilu se događa po poznatom Ghyben - Herzbergovom zakonu.

No, tehničko rješenje za obranu priobalnog područja od zaslanjivanja nemoguće je ostvariti na cijelom slivu. Na slivu se mogu postaviti pravila i administrativne mjere za uređenje vodnog režima kojim se u priobalnim područjima može smanjiti utjecaj mora (zaslanjivanje). Međutim, kad je politička i administrativna situacija upravljanja slivom komplicirana, kako je to slučaj sa slivom rijeke Neretve, onda je pametno okrenuti se sebi i tražiti rješenje lokalno, pogotovo što hidroenergetski sektor (država u državi) dominira te potiskuje potrebe svih ostalih. To je u konačnosti i smisao ovog monitoringa da se pronađe moguće i prihvatljivo rješenje. Koncept rješenja je prethodno opisan, a postavili smo ga u ranijoj studijskoj i projektnoj dokumentaciji.

LITERATURA

- [1] Vranješ, M. i suradnici: *Zaštita od zaslanjivanja vode i tla u donjoj Neretvi, razvojni projekt, izvještaj za 2004. godinu*. Građevinsko - arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2005.
- [2] Romić, D., Vranješ, M. i suradnici: *Idejno rješenje navodnjavanja u donjoj Neretvi*,
- [3] Građevinsko - arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2006.

-
- [4] Vranješ, M. i suradnici: *Pregrada u rijeci Neretvi, ispitivanje na fizikalnom modelu*, Građevinsko - arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2007.
- [5] Vranješ M., Brajčić N., Ljubenković I. i Vranješ K. (2008): *Projekt Pokretne pregrade u rijeci Neretvi*, Sabor hrvatskih graditelja 2008., Cavtat, 6.-8. studenog 2008.
- [6] Vranješ, M. i suradnici, D. Romić i suradnici: *Zaštita od zaslanjivanja vode i tla u donjoj Neretvi - monitoring*, Građevinski, arhitektonski i geodetski fakultet Sveučilišta u Splitu, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2008.-2013, 214.-2019.

AUTOR

izv. prof. dr. sc. Mijo Vranješ ^a

^a Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, Matice hrvatske 15, Split, 21000, Hrvatska, vranjes@gradst.hr



R 2.22.

HIDROMELIORACIJSKI SUSTAVI ZA ODVODNJU U FUNKCIJI OPTIMALNOG VODNOZRAČNOG REŽIMA POLJOPRIVREDNIH ZEMLJIŠTA

Josip Marušić, Danko Holjević

SAŽETAK: Ovisno o terenskim obilježjima slivnih područja i potrebama ostvarenja visokih stabilnih prinosa biljnih kultura provode se programi izgradnje i redovitog održavanja hidromelioracijskih sustava za: površinsku odvodnju, podzemnu odvodnju i navodnjavanje poljoprivrednih zemljišta. Preduvjet izgradnje hidromelioracijskih sustava je prethodna izgradnja i redovito održavanje vodnih građevina za zaštitu od štetnog djelovanja voda. Od 1960. do 1990. godine najviše je izgrađeno hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje, a od 1980. do 1990. godine hidromelioracijskih sustava podzemne odvodnje. Najkvalitetnija rješenja hidromelioracijskih sustava površinske i podzemne odvodnje ostvarena su na površinama s prethodno ili istovremeno provedenim (re)komesacijama zemljišta. Na površinama s potpuno izgrađenim i održanim hidromelioracijskim sustavima površinske odvodnje ostvareni su veći prinosi od 18 do 37 % u odnosu na prethodnu razinu, a na površinama s hidromelioracijskim sustavima površinske i podzemne odvodnje od 24 do 53 %. Pored značenja hidromelioracijskih sustava površinske i podzemne odvodnje za stvaranje i održavanje optimalnog vodnog režima poljoprivrednih tala, njihov utjecaj treba vrednovati i zbog smanjenja troškova u procesu pripreme zemljišta i sjetve, odnosno sadnje te razvoja biljnih kultura. Nažalost zbog ratnog djelovanja, ali i problema financiranja od početka 1990. - tih godina uslijedio je prekid izgradnje hidromelioracijskih sustava površinske i podzemne odvodnje, ali i njihovo nedovoljno održavanje. Posljedica toga je pogoršanje vodnog režima poljoprivrednih zemljišta i manji efekti primjene agrotehničkih mjera u procesu uzgoja biljnih kultura. Zbog navedenih razloga od 90-tih godina prošloga stoljeća u Hrvatskoj se smanjuje izvoz, a istovremeno povećava uvoz hrane, što je posljedica nedovoljno kvalitetnog gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama.

KLJUČNE RIJEČI: hidromelioracijski sustavi, vodni režim, odvodnja, održavanje, biljne kulture, smanjenje, povećanje prinosa

HYDROAMELIORATION DRAINAGE SYSTEMS IN THE FUNCTION OF OPTIMAL WATER-AIR REGIME OF AGRICULTURAL LAND

ABSTRACT: Depending on the terrain characteristics of catchment areas and needs to achieve high, stable crop yields, the programmes of the construction and regular maintenance of hydroamelioration systems for surface drainage, subsurface drainage and irrigation of agricultural land are implemented. A prerequisite for the construction of hydroamelioration systems is a prior construction and regular maintenance of water management facilities for protection from adverse effects of water. The most hydroamelioration systems with surface drainage were constructed in the period 1960 – 1990, and the most hydroamelioration systems with subsurface drainage in the period 1980 – 1990. The highest quality hydroamelioration system solutions with either surface or subsurface drainage were implemented in areas with previously or simultaneously performed land (re)consolidation. The yields higher by 18 to 37 % in relation to the previous level were achieved on surfaces with fully constructed and maintained hydroamelioration systems with surface drainage, and by 24 do 53 % on those with surface and subsurface drainage. In addition to the importance of hydroamelioration systems with surface and subsurface drainage for creating and maintaining the optimal water regime of agricultural soils, their impact should be also evaluated in view of a cost reduction in the process of land preparation and crop planting, seeding and development. Unfortunately, due to both war-related activities and financing problems, from the start of 1990s the construction of hydroamelioration systems with surface and subsurface drainage has been suspended and the maintenance of existing systems insufficient, causing a deterioration in the water regime of agricultural land and lower effects of implementation of agrotechnical measures in the process of crop cultivation. For the stated reasons, the export of food in Croatia has been reduced since 1990s and its import simultaneously increased, which is a consequence of insufficient quality of the management of agricultural land and waters.

KEYWORDS: hydroamelioration systems, water regime, drainage, maintenance, crops, reduction, yield increase

1. UVOD

Hidrotehničkim melioracijama obuhvaćeno je građenje, rekonstrukcije, održavanje i sanacije vodnih građevina za odvodnju površinskih i podzemnih voda te navodnjavanje prvenstveno poljoprivrednih, ali i ostalih zemljišta. Glavni zadatak provedbe hidrotehničkih melioracija je stvaranje i održavanje vodnog režima u tlu prema potrebama optimalnog razvoja biljnih kultura u cilju ostvarenja njihovih visokih i stabilnih prinosa (t/ha). Za donošenje prijedloga i odluka o provedbi hidrotehničkih melioracija te izradi projektne i ostale dokumentacije potrebno je izvršiti terenska snimanja i ispitivanja (po potrebi i laboratorijska) sljedećih obilježja melioracijskih područja: geodetska, klimatska, hidrološka, pedološka, geomehanička i vegetacijska. Na osnovu analize terenskih podataka i određivanja vodne bilance melioracijskog područja te potreba optimalnog razvoja biljnih kultura daju se relevantni pokazatelji za donošenje odluke o provedbi hidrotehničkih melioracija odnosno izradi projektnih rješenja i izgradnji hidromelioracijskih objekata i sustava za:

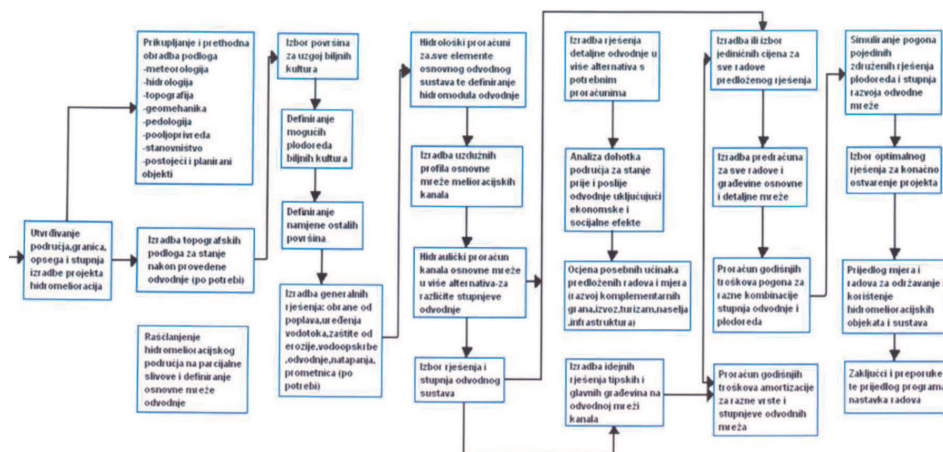
- odvodnju površinskih voda,
- odvodnju podzemnih voda i
- navodnjavanje poljoprivrednih i ostalih zemljišta.

Glavni preduvjet za izgradnju hidromelioracijskih objekata i sustava je prethodna izgradnja, ali i redovno održavanje vodnih građevina za zaštitu od poplavnih voda i to kako rijeke tako i bujičnih vodotoka - uključujući i zaštitu od erozijskih procesa u vodotocima kao i na njihovim područjima. U procesu iznalaženja optimalnih rješenja hidromelioracijskih sustava potrebna je stalna suradnja hidrotehničkih, agrotehničkih, geodetskih i ekonomskih stručnjaka i znanstvenika. Također treba imati na umu da je izgradnja, održavanje i financiranje hidromelioracijskih objekata i sustava sastavni dio cjelovitog programa gospodarenja vodama na slivnom području, ali i preduvjet za ostvarenje uspješnijeg razvoja poljoprivrede. U državama s izgrađenim i redovno održavanim objektima za zaštitu od poplava i hidromelioracijskim sustavima za odvodnju i navodnjavanje ostvaren je visoki stupanj razvoja poljoprivrede, kao sastavnog dijela uspješnog cjelokupnog gospodarskog i društvenog razvoja tih država. Svjetska iskustva su potvrdila da su najrazvijenije države koje imaju dovoljnu proizvodnju hrane i energije, a preduvjet za proizvodnju hrane odnosno razvoj poljoprivrede je izgradnja i redovno održavanje hidromelioracijskih objekata i sustava. Također je potvrđeno da se na jednog neposredno zaposlenog u proizvodnji biljnih kultura zapošljava od 10 do 20 osoba pripadajućih i ostalih djelatnosti koje su važne za ostvarenje programa proizvodnje hrane. A provedba i korištenje hidrotehničkih sustava je sastavni dio cjelovitog programa gospodarenja vodama i zemljištem te proizvodnje hrane svake države, ali i programa zaštite prirodnih resursa i ljudskih dobara.

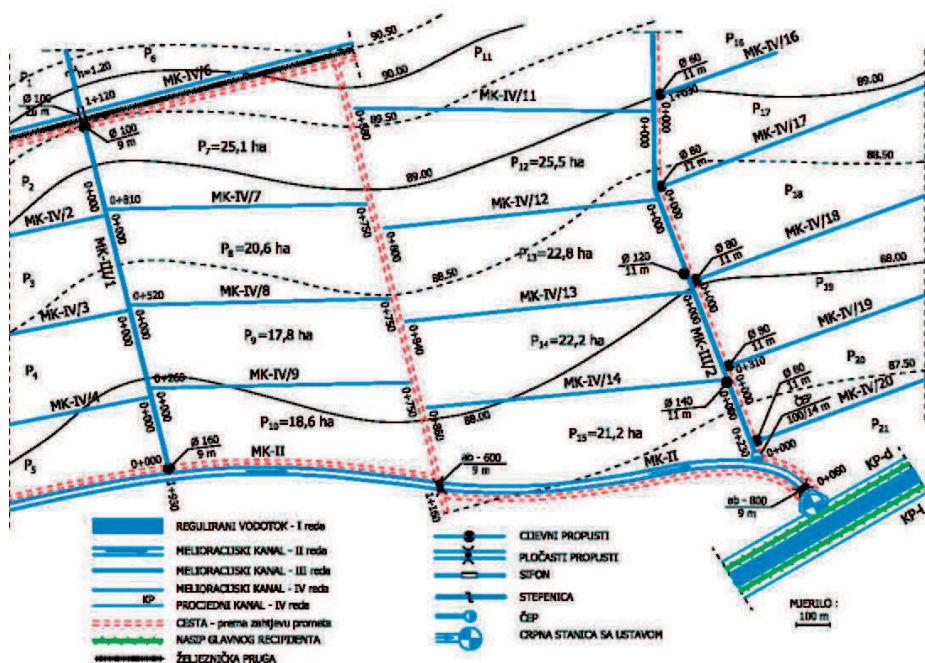
2. HIDROMELIORACIJSKI SUSTAVI ZA ODVODNJU POVRŠINSKIH VODA

2.1. Vodne građevine hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje

Hidromelioracijski sustavi za odvodnju čine skup vodnih građevina i uređaja za odvodnju suvišnih voda s poljoprivrednih i drugih zemljišta u cilju stvaranja uvjeta za racionalnije korištenje zemljišta te obavljanja gospodarskih i drugih djelatnosti na slivnom odnosno *melioracijskom području*. Analizom terenskih obilježja melioracijskih područja određuje se vodna bilanca na slivnim područjima i predlaže uređenje vodnog režima prema potrebama optimalnog razvoja i ostvarenja visokih prinosa biljaka. Prije izrade projektnih rješenja hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje potrebno je izvršiti sistematizaciju pokazatelja o zaštiti melioracijskih područja od poplavnih voda i to kako nizinskih rijeka, tako i bujičnih vodotoka kao i o zaštiti od erozijskih procesa. *Potrebna stupanj izgrađenosti i redovno održavanje vodnih građevina i sustava za zaštitu od štetnog djelovanja voda (obrana od poplava) je glavni preduvjet za ostvarenje hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje.* Složenost procesa optimalizacije projekta hidromelioracijskog sustava za odvodnju zemljišta prikazana je na slici 1. Vrste i situacijski prikaz vodnih građevina osnovne i detaljne melioracijske odvodnje s putnom mrežom prikazani su na slici 2.



Slika 1. Proces optimalizacije hidromelioracijskog sustava za odvodnju zemljišta



Slika 2. Osnovni elementi cjelovitog hidromelioracijskog sustava površinske odvodnje s putnom mrežom

a) Osnovne melioracijske građevine za odvodnju površinskih voda jesu:

- Glavni vodotoci slivnih područja u koje se slijevaju sve vode iz određenog melioracijskog sustava - to su melioracijski kanali I. reda (MK-I. reda),
- Glavni odvodni kanali za prihvat svih voda iz melioracijskog sustava ili dijela toga sustava, a koji se dovode putem detaljne kanalske mreže i odvoje u melioracijske kanale

I. reda - to su melioracijski kanali II. reda (MK-II. reda),

- Crpne stanice za odvodnju suvišnih voda s površina gdje nema mogućnosti gravitacijske odvodnje površinskih voda.

Osnovne melioracijske građevine su glavni kanali i prirodni vodotoci u okviru sustava melioracijske odvodnje kojima se omogućuje odvodnja suvišnih voda s poljoprivrednih ali i ostalih površina. U Hrvatskoj je ukupno izgrađeno 6.594,2 km melioracijskih kanala I. i II. reda, od kojih se 3.170,4 km (48,1 %) nalazi na slivu Save, 2.911,2 km (44,1 %) na slivovima Drave i Dunava, 107,5 km (1,6 %) na primorsko - istarskim slivovima te 405,1 km (6,2 %) na dalmatinskim slivovima.

b) Detaljne melioracijske građevine za odvodnju jesu:

- Sabirni ili grupni kanali za prihvaćanje voda iz parcelnih ili detaljnih kanala i njihovu odvodnju u glavne odvodne odnosno melioracijske kanale II. reda - to su melioracijski kanali III. reda (MK-III. reda).
- Parcelni ili detaljni kanali za neposredno prikupljanje voda s poljoprivrednih parcela, ali i ostalih površina i njihovo odvođenje u melioracijske objekte III. reda - to su melioracijski kanali IV. reda (MK-IV. reda)

Ostale građevine na melioracijskim kanalima su: betonski pločasti propusti, betonski cijevni propusti, čepovi, sifoni, betonske i kamene stepenice, brzotoci, obloge za zaštitu od erozije i ustave, ušća MK nižeg reda u MK višeg reda.

Hidromelioracijskim sustavom upravljaju Hrvatske vode, koje nadziru stanje, organiziraju njegovo tehničko i gospodarsko održavanje i osiguravaju sredstva za financiranje tih radova.

2.2. Stupanj izgrađenosti hidromelioracijskih sustava za odvodnju površinskih voda

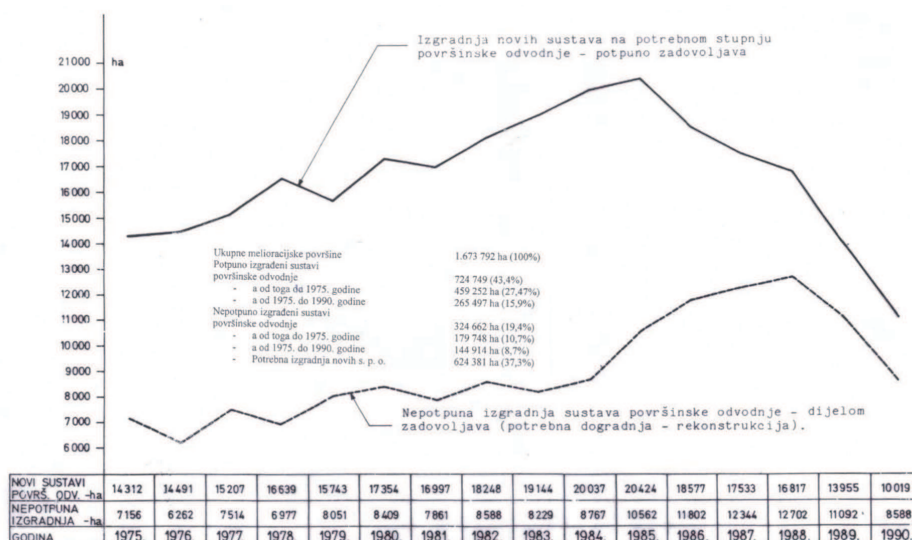
Osnovni podaci o melioracijskim površinama i stupnju izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju površinskih voda za Hrvatsku su sljedeći:

- Ukupne melioracijske površine u Hrvatskoj (100 %)	1.673.792 ha
- Potpuno izgrađeni sustavi površinske odvodnje (43,3 %)	724.749 ha
- Dijelom izgrađeni objekti i sustavi površinske odvodnje (19,4 %)	324.662 ha
- Neizgrađeni objekti i sustavi površinske odvodnje (37,3 %)	624.381 ha
- Duljina glavnih vodotoka melioracijskih područja I. i II. reda	6.594 km
- Duljina melioracijskih kanala III. i IV. reda	26.357 km
- Betonski cijevni propust promjera 50 - 200 cm	21.659 građevina
- Betonski pločasti propusti otvora (raspona) 200 - 1000 cm	1.486 građevina
- Betonske i kamene stepenice visine 80 - 120 cm	1.085 građevina
- Poluautomatski cijevni čepovi promjera 50 - 200 cm	506 građevina
- Ostali hidromelioracijski objekti na melioracijskim kanalima	1.466 građevina

Crpne stanice - 71 objekt ukupne snage - 22.744 KW i kapaciteta m³/s 316,46 m³/s.

Crpne stanice odvođe suvišnu vodu sa 276.000 ha prirodno pogodnih nizinskih zemljišta za uzgoj biljnih kultura kao sastavnog dijela programa cjelokupnog razvoja poljoprivrede u Hrvatskoj. To su površine ispod razine velikih odnosno poplavnih voda rijeka. Osnovni

pokazatelji o izgradnji hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje do 1990. godine prikazani su na slici 3, a najviše je izgrađeno 1985. godine - 20.424 ha.



Slika 3. Pregled izgradnje sustava površinske odvodnje u Hrvatskoj od 1975. do 1990. godine

Sadašnje stanje hidromelioracijskih građevina i sustava za odvodnju u Hrvatskoj ne zadovoljava potrebe i mogućnosti razvoja poljoprivrede. Treba naglasiti da učinkovito i djelotvorno održavanje i razvoj hidromelioracijskih odvodnih sustava u najvećoj mjeri ograničava neriješena vlasnička struktura zemljišta te nedovoljna financijska sredstva za njihovo i redovito tehničko održavanje.

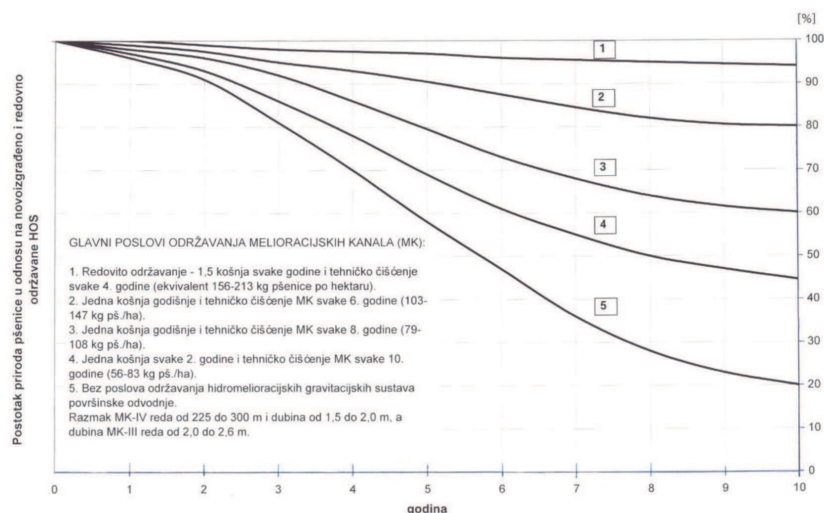
Posljedice nedovoljnog stupnja održavanja hidromelioracijskih građevina i sustava za odvodnju su smanjenje prinosa biljnih kultura. To je prikazano na slikama 4 i 5 s podacima o smanjenju prinosa pšenice i kukuruza. A od 1991. prisutno je povećanje iznosa za uvoz hrane a istovremeno raste platni deficit u poljoprivredi. Također se smanjuju sjetvene i žetvene površine u Hrvatskoj.

Za ostvarenje kvalitetnih i učinkovitih hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje od posebnog značenja je provedba (re)komasacije zemljišta. Pod komasacijom zemljišta podrazumijeva se provedba agrarno - tehničkih mjera u svrhu stvaranja pravilno oblikovanih parcela većih površina u odnosu na prethodno stanje (male parcele, nepravilan oblik). Glavna je svrha komasacije zemljišta smanjenje broja parcela iste ukupne površine koje su u vlasništvu kako obiteljskih tako i pravnih vlasnika i korisnika zemljišta.

Nažalost, kako provedba komasacija tako i izgradnja novih hidromelioracijskih sustava za odvodnju površinskih voda nije rađena od 1991. godine, osnovni pokazatelji za prethodno razdoblje jesu:

Razdoblje - godina	Komasacija	Hidromelioracije	Hidrom/kom
1956. - 1975.	460.608 ha (67,8 %)	423.760 ha (67,1 %)	92,0 %
1976. - 1990.	218.829 ha (32,2 %)	207.888 ha (32,9 %)	95,0 %
Ukupno:	679.437 ha (100 %)	631.648 ha (100 %)	93,0 %

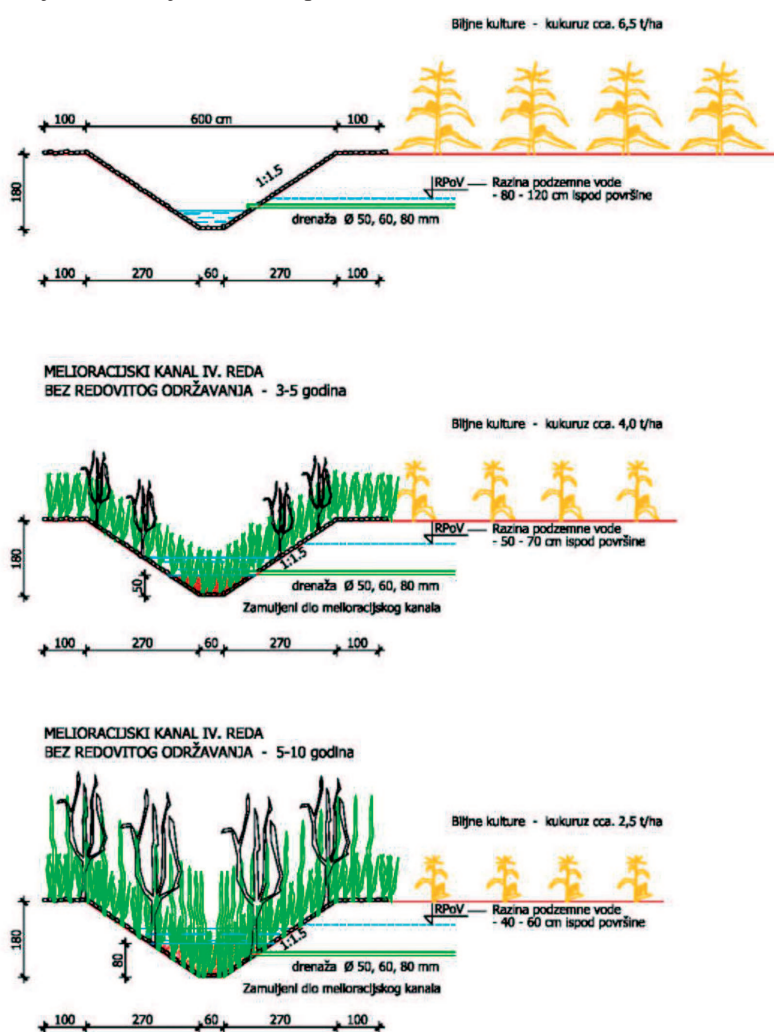
Također je važan podatak da je od ukupno provedenih komasacija zemljišta u Hrvatskoj na području Slavonije i Baranje 490.484 ha odnosno 72,1%, a hidromelioracije su na 490.484 ha - što je 77,7% od ukupnih površina s izgrađenim sustavima za odvodnju površinskih voda u Hrvatskoj. U 1990. godini u Hrvatskoj je bilo zasijanih 1.329.000 ha od čega 1.003.395 ha u posjedu obiteljskih gospodarstava (75,5 %) i 325.605 ha (24,5 %) u posjedu pravnih osoba. Također je važan podatak da su hidromelioracijski sustavi za odvodnju površinskih voda do 1990. godine izgrađeni na 325.600 ha, odnosno na 90 % od ukupno 361.620 ha u posjedu pravnih osoba.



Slika 4. Utjecaj stupnja održavanja hidromelioracijskih odvodnih sustava (HOS) na prirodu pšenice

Od 1976. do 1990. godine na površinama s provedenom komasacijom zemljišta i izgrađenim te redovno održavanim hidromelioracijskim sustavima za odvodnju površinskih voda (a dijelom i podzemnih voda - na 148.653 ha) ostvareni su prosječni prinosi pšenice 5,46 t/ha, a kukuruza 6,41 t/ha. Na površinama s nepotpuno izgrađenim sustavima prinosi pšenice su 3,03 t/ha, a kukuruza 4,08 t/ha. Pored značenja izgrađenosti sustava površinske i podzemne odvodnje na povećanje prinosa pšenice i kukuruza, kao i ostalih biljaka, važnu ulogu ima primjena i provedba suvremenih agrotehničkih mjera i radova u procesu pripreme zemljišta i uzgoja biljaka - od sjetve i sadnje do žetve i berbe. Osim potrebe izgradnje novih, važna je dogradnja i redovno održavanje postojećih hidromelioracijskih sustava za odvodnju površinskih voda. Nažalost zbog ratnog djelovanja agresora u 1991. i 1992. te privremene okupiranosti 296.500 ha hidromelioriranih

zemljišta (od 1991. do 1995. a dijela i do 1998.) na tim površinama nisu rađeni poslovi održavanja melioracijskih kanala i glavnih vodotoka slivnih područja, kao i pripadajućih objekata na njima. Posljedica smanjenih sredstava se očitovala u neizvršavanju radova redovnog održavanja hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje. Zbog toga su smanjeni proticajni profili melioracijskih kanala (slika 5) kao i tipskih cijevnih i pločastih propusta na njima. Za vrijeme učestalih i intezivnijih oborina dolazi do sve dužeg zadržavanja vode u melioracijskim kanalima i do pogoršanja vodnog režima poljoprivrednih zemljišta. Posljedica toga je ostvarenje sve nižih prinosa biljaka na površinama gdje su bili izgrađeni hidromelioracijski sustavi za odvodnju površinskih voda. Posljedice neodržavanja melioracijskih kanala prikazane su na slikama 4 i 5.



Slika 5. Utjecaj stupnja održavanja melioracijskih kanala na vodni režim i prihode kukuruza

Ovisno o projektno-izvedbenim parametrima hidromelioracijskih sustava za gravitacijsku odvodnju površinskih voda, godišnji troškovi njihovog redovnog održavanja iznose od 20,9 do 28,6 eura/ha, odnosno od 3,9 do 6,1 % od troškova njihove izgradnje. Također je važan podatak da se prinosi biljaka (t/ha) smanjuju od 28 do 62 % na površinama gdje se ne izvršavaju poslovi redovnog održavanja, kako melioracijskih kanala tako i ostalih hidrotehničkih objekata sustava za odvodnju površinskih voda.

2.3. Ratne štete na vodnim građevinama hidromelioracijskih sustava za površinsku odvodnju voda u Hrvatskoj 1991. i 1992.

Uz problem nedovoljnog stupnja izgrađenosti, ratnim djelovanjem bivše jugovojске i raznih srbočetničkih vojnih formacija u 1991. i 1992. godini, razoren je i oštećen veći broj hidromelioracijskih građevina i sustava za odvodnju melioracijskih površina. Od 1991. do 1995., odnosno do 1997. godine bilo je privremeno okupirano 296.510 ha površina s potpuno/ dijelom izgrađenim hidromelioracijskim građevinama i sustavima površinske odvodnje. U sklopu tih površina bilo je i 52.380 ha poljoprivrednih zemljišta sa sustavima za odvodnju podzemnih voda. Na dijelu navedenih, kao i na dijelu ostalih poljoprivrednih površina učinjene su ratne štete sa sljedećim posljedicama:

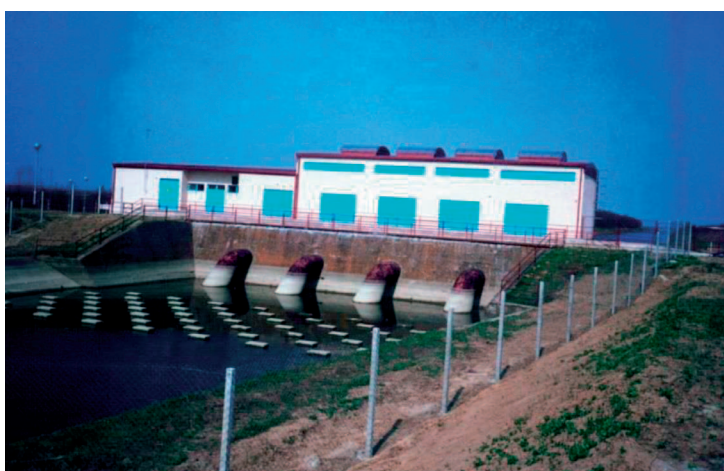
- smanjen prirodni i regulirani protjecajni profil pojedinih glavnih vodotoka (MK - I. i II. reda) te izvedbeni profil većeg broja melioracijskih kanala III. i IV reda, kao i tipskih betonskih propusta na njima,
- oštećeni dijelovi nasipa i smanjen stupanj njihovog zaštitnog djelovanja,
- oštećene brane i ustave na glavnim vodotocima,
- razoren i oštećen veći broj tipskih cijevnih i pločastih propusta kao i ostalih hidromelioracijskih građevina na melioracijskim kanalima IV. i III. reda,
- razoreno i oštećeno 18 crpnih stanica ukupnog kapaciteta 96,9 m³/s, što je 30,2 % od ukupnog kapaciteta svih 75 crpnih stanica (Q = 320,9 m³/s,) za melioracijsku odvodnju 276.000 ha najvećim dijelom nizinskih poljoprivrednih, ali i ostalih zemljišta u Hrvatskoj (pod naseljima, prometnicama, gospodarskim i ostalim objektima).

Potpuno je uništena najveća crpna stanica „Paulin dvor” (kapaciteta 20,0 m³/s) za mehaničku odvodnju 20.000 ha prirodno vrlo plodnih poljoprivrednih površina na dijelu slivnog područja rijeke Vuke - što je vidljivo na slici 6. Ostale su crpne stanice u većoj i manjoj mjeri oštećene na područjima sljedećih županija: Sisačko - moslavačka, Brodsko - posavska, Osječko - baranjska i Vukovarsko - srijemska. Procjena izravnih ratnih šteta na zaštitnim hidrotehničkim i odvodnim hidromelioracijskim građevinama izvršena je prema važećoj standardnoj kalkulaciji za radove u vodnom gospodarstvu. Najveće ratne, štete na zaštitnim i odvodnim hidrotehničkim građevinama učinjene su na područjima sljedećih županija Osječko-baranjska, Brodsko-posavska, Sisačko-moslavačka, Vukovarsko-srijemska i Zadarska ukupno 78.768.000 eura što je 79,1 % od sveukupnog iznosa 99.580.000 eura za cijelu Hrvatsku. Dio hidrotehničkih građevina za zaštitu od štetnog djelovanja voda je obnovljen iz sredstava državnog proračuna, kreditima Hrvatske banke za obnovu i razvoj, a manji dio kreditima Svjetske banke (po posebnom programu). Najveći dio radova na obnovi hidrotehničkih građevina izvršen je na području Slavonije, zapadnog Srijema i Baranje. Posebno značenje je u izvršenju radova na obnovi crpne

stanice „Paulin dvor” ($Q = 20,0 \text{ m}^3/\text{s}$, slika 7) i crpnih stanica na području Baranje te Posavine (Lonjsko polje).



Slika 6. Uništena crpna stanica Paulin dvor



Slika 7. Obnovljena crpna stanica Paulin dvor

3. HIDROMELIORACIJSKI SUSTAVI ZA ODVODNJU PODZEMNIH VODA

3.1. Podloge za sustave podzemne odvodnje poljoprivrednih zemljišta

Na osnovu terenskih snimanja i ispitivanja te analiza obilježja melioracijskih područja u Hrvatskoj, postoji 822.325 ha poljoprivrednih zemljišta s povremenim ili češćim

zadržavanjem suvišne podzemne vode u zoni razvoja korijena biljaka. Podzemne su vode slobodne vode koje ispunjavaju sve pore u tlu, što dovodi do saturiranja tla odnosno pojave maksimalnog kapaciteta tla za vodu. Ovisno o pedološkim obilježjima tla te intenzitetu i učestalosti oborina, dubina i kretanje podzemne vode se mijenja. Spoznaja o fizičko - mehaničkim svojstvima tla vrlo je važna za donošenje prijedloga i odluka o potrebi izgradnje hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda iz fiziološki aktivnog sloja tla za razvoj korijena biljaka. U sklopu procjene/ocjene utjecaja prirodnih obilježja melioracijskih područja na projektne elemente sustava podzemne odvodnje treba provesti odgovarajuća terenska snimanja i ispitivanja. To je nužna podloga da se pronađu najpovoljnija tehnička i financijska rješenja sustava podzemne odvodnje.

Zbog toga je potrebna sistematizacija i analiza podataka terenskih snimanja i laboratorijskih ispitivanja sljedećih podloga:

- a) Geodetske i to za potrebe glavnih projekata hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda u mjerilu 1 : 2.000 sa slojnicama na 0,25 m;
- b) Klimatski pokazatelji melioracijskih područja - posebno podaci za oborine i temperature u vegetacijskom razdoblju razvoja pojedinih biljaka;
- c) Hidrološki pokazatelji - od čega je najvažnije utvrditi mjerodavne hidromodule, i to površinskog i podzemnog otjecanja (l/s/ha ili mm/dan);
- d) Pedološka obilježja tla s analizom fizičkih i kemijskih svojstava pojedinih vrsta tla te o njihovom prirodnom potencijalu za uzgoj pojedinih biljnih kultura u sklopu reguliranog režima podzemnih voda;
- e) Vegetacijske - s utvrđivanjem zajedničkog utjecaja klime i vegetacije na proces tvorbe i razvoja tla - što je nužno i za određivanje odnosno izbor uzgoja novih biljaka odnosno promjenu plodoreda na poljoprivrednim parcelama;
- f) Hidrografske - s relevantnim pokazateljima za vodotoke i melioracijske kanale - s obzirom na njihov stupanj izgrađenosti, održavanja i funkcioniranja. To ima veliki utjecaj na projektno - izvedbeno rješenje funkcioniranja hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda.

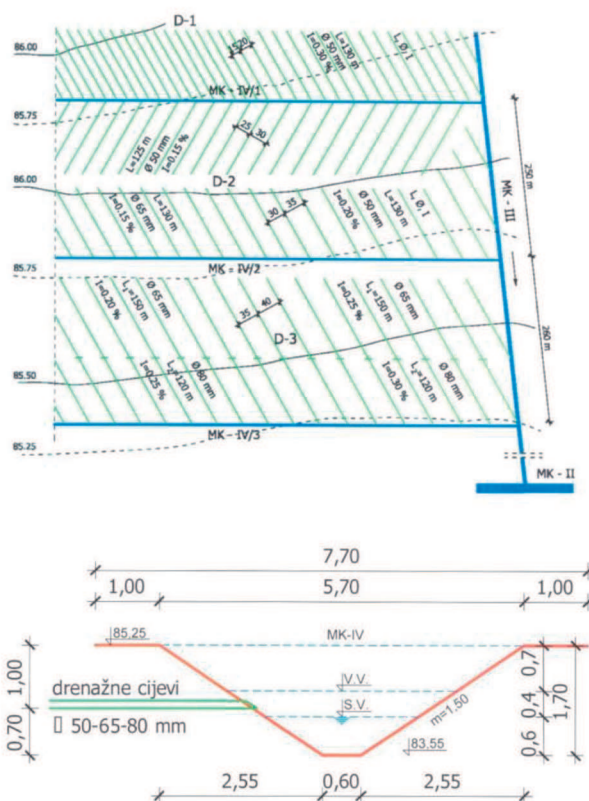
Osim navedenih snimanja i ispitivanja, u praksi se potvrdila potreba stalnih opažanja i mjerenja na pokusnim poljima s različitim varijantama projektnih i izvedbenih rješenja hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda (cijevne drenaže poljoprivrednog zemljišta), kao i s promjenama plodoreda biljaka.

3.2. Potreba i značenje hidromelioracijskih sustava za podzemnu odvodnju

Potreba izgradnje hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda uvjetovana je terenskim obilježjima melioracijskih područja i zahtjevima uzgoja odnosno potrebama najpovoljnijega razvoja pojedinih biljnih kultura. Njihova je glavna zadaća da pravodobno snižavaju i odvedu suvišne podzemne vode iz rizosfere - sloja tla u kojem je korijenski sustav biljaka. Izbor rješenja hidromelioracijskih sustava podzemne odvodnje ovisan je ponajprije o uzrocima zamočvarivanja, genezi i strukturi tla, o namjeni i načinu korištenja tla te o primjeni suvremene agrotehnike radi povećanja biljne proizvodnje. Izgradnjom hidromelioracijskih sustava podzemne odvodnje ostvaruje se sljedeće:

- sniženje razine podzemne vode prema zahtjevima najpovoljnijeg razvoja biljaka,
- brže i lakše otjecanje suvišnih podzemnih voda iz oraničnog sloja i zone korijena biljnih

- kultura, brže prosušivanje tla u zoni korijena biljaka,
- brža aeracija tla i poboljšanje vodozračnih uvjeta, povećanje temperature tla,
- povećanje akumulacijske sposobnosti tla za vodu,
- bolje korištenje prirodnih i umjetnih hranjiva iz tla - prijeko potrebno za razvoj biljaka, povoljnija struktura zemljišta,
- brža i bolja klijavost sjemena biljaka,
- lakši i brži rast kao i prodiranje korijena biljaka u dublje slojeve tla, najpovoljniji razvoj biljaka,
- pravodobna priprema i obrada zemljišta,
- racionalnije korištenje poljoprivrednih strojeva u procesu uzgoja te žetve i berbe biljaka,
- viši i stabilni prinosa biljaka,
- povećanje dobiti u odnosu prema prethodnom stupnju proizvodnje na melioracijskim površinama odnosno hidromelioriranim zemljištima.



Slika 7. Hidromelioracijski sustav podzemne odvodnje s uljevom drenažnih cijevi u melioracijske kanale

Na slici 7 prikazani su hidromelioracijski sustavi podzemne odvodnje - s upustom drenažnih cijevi u melioracijske kanale IV. Reda te kombinacija drenažnih cijevi: sisala, skupljača i kolektora. U sklopu navedenih značenja i učinaka, bitno je imati na umu da učinkovitost djelovanja hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda u velikoj mjeri ovisi o stupnju izgrađenosti i održavanju objekata i sustava površinske odvodnje. Prema provedenim analizama, najbolji učinci te visoki i stabilni prirodni biljaka ostvareni su na onim poljoprivrednim zemljištima gdje je provedena komasacija i gdje su izgrađeni i redovno održavani hidromelioracijski objekti i sustavi za odvodnju površinskih voda. Prema raspoloživim podacima u Hrvatskoj, na površinama s izgrađenim hidromelioracijskim sustavima podzemne odvodnje u odnosu na prethodni stupanj proizvodnje ostvarena su sljedeća povećanja priroda biljaka: - žitarica od 18 do 43 %, - industrijskih biljaka od 26 do 58 %, - voćnjaka i vinograda od 38 do 85 %. Navedeni pokazatelji potvrđuju veliko značenje, opravdanost i potrebu izgradnje hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda. Znači da njihova izgradnja i učinkovito funkcioniranje imaju neposredan utjecaj na povećanje stupnja i kakvoće proizvodnje hrane, a to je primaran i egzistencijalni zadatak i potreba svake društvene zajednice odnosno države. Razvijene države su u najvećoj mjeri države s razvijenom poljoprivredom.

3.3. Osnovni pokazatelji o stupnju izgrađenosti hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda u Hrvatskoj (1990. - 2018.)

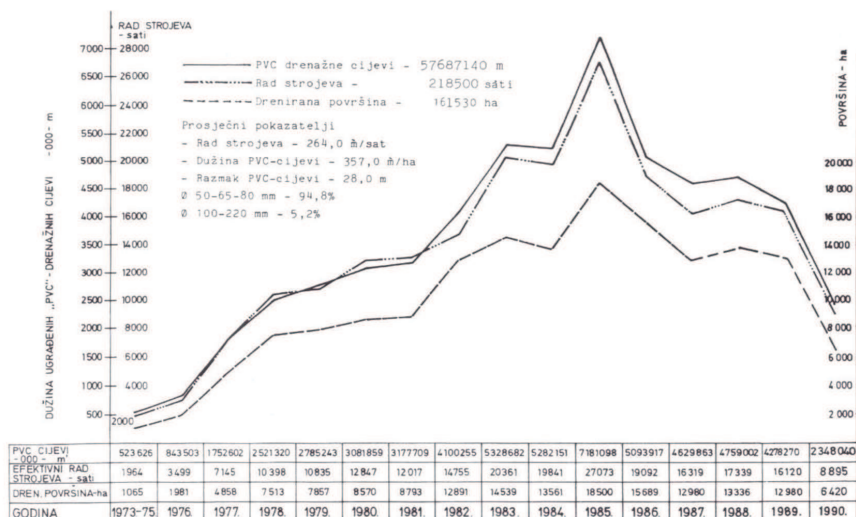
Od 1971. do kraja 1990. godine, hidromelioracijski sustavi za odvodnju podzemnih voda izgrađeni su na 161.530 ha, odnosno na 19,6 % od ukupnih potreba (slika 8). Sistemizacijom podataka i analizom stanja funkcioniranja hidromelioracijskih sustava za podzemnu odvodnju (za potrebe izrade Strategije upravljanja vodama, u 2001. i 2002. godine utvrđeni su sljedeći aktualni pokazatelji: izgrađeni i u potpunoj funkciji su hidromelioracijski sustavi za odvodnju podzemnih voda na 121.484 ha (14,8 %), a dijelom su u funkciji na 27.168 ha (3,3 %). Smanjenje za 12.878 ha u odnosu na stanje iz 1990. godine je posljedica ratnog djelovanja u 1991. i 1992. godini i neodržavanja hidromelioracijskih sustava za odvodnju površinskih kanala na privremeno okupiranom području Hrvatske. Zbog zamuljenja i prekomjerne „obraslosti“ (mulj - nanos, šiblje, trnje, stabla) melioracijskih kanala, kao i tipskih betonskih propusta na njima došlo je do „zamuljenja“ i začepjenja isteka (izljeva) drenažnih cijevi te prestanka ili smanjenja (27.168 ha) stupnja odvodnje podzemnih voda iz podoraničnog sloja tla, odnosno iz zone korijena biljaka. Osnovni projektno - izvedbeni parametri hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda prikazani su na slici 7. Na 148.652 ha poljoprivrednog zemljišta ugrađeno je 53.089.480 m PVC drenažnih cijevi od čega su:

- promjera 50, 65 i 80 mm 94,8 % (cijevi „sisala“),
- a samo 5,2 % s promjerom 100, 125, 160, 180, 200 mm (cijevi skupljači i kolektori).

Najviše hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda izgrađeno je u 1985. godini - 18.500 ha; 1986. godine - 15.689 ha; 1983. godine - 14.539 ha, a u 1990. godini samo 6.420 ha. Od 1991. do 2018. godine hidromelioracijski sustavi za odvodnju podzemnih voda izgrađeni su na samo 1.380 ha poljoprivrednih zemljišta.

Prosječan razmak ugrađenih drenažnih cijevi „sisala“ je 28 m, a dubina ugradnje od 0,90 do 1,30 m, dok je minimalni pad 0,2 %. Dužina drenažnih cijevi „sisala“ je od 120 do 300

m, a širina drenažnog rova 0,14 - 0,18 m. Dubina ugradnje drenažnih cijevi skupljača i kolektora kreće se od 1,30 do 1,70 m, a širina drenažnog rova od 0,23 do 0,28 m. Također je važan podatak da je 99 % hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda izgrađeno na poljoprivrednom zemljištu pravnih osoba (bivših poljoprivrednih kombinatora), a samo 1 % na površinama obiteljskih poljoprivrednih gospodarstava. Filteri materijala od separiranog šljunka su ugrađeni na 31 %, a od stiropora i plastike na 5 %, odnosno ukupno na 36 % poljoprivrednih zemljišta na kojima su izgrađeni hidromelioracijski sustavi za odvodnju podzemnih voda. U procesu izrade projektnih rješenja hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda, u najvećoj mjeri su korištene norme i iskustva iz Njemačke i Nizozemske, s obzirom da ne postoje hrvatski tehnički uvjeti i normativi. Iako su obavljani poslovi istraživanja na 4 pokusna polja (sliv Karašice i Vučice, Biđa i Bosuta, Lonje i Črnc polje) različitih terenskih obilježja i projektno - izvedbenih parametara, nisu izrađeni hrvatski normativi za projektiranje, izgradnju, održavanje i korištenje hidromelioracijskih sustava za odvodnju podzemnih voda.



Slika 8. Pregled ukupnog izvršenja rada strojeva na izvedbi cijevne drenaže poljoprivrednih zemljišta u Republici Hrvatskoj od 1973. do 1990. godine

ZAKLJUČAK

Od ukupnih potreba od 1.673.792 ha, hidromelioracijski sustavi za odvodnju površinskih voda izgrađeni su u potpunosti na 43,3 %, a dijelom na 19,4 %. Hidromelioracijski sustavi za odvodnju podzemnih voda izgrađeni su na 14,8 %, a dijelom na 3,3 % od ukupnih potreba na 822.350 ha. Pored nedovoljnog stupnja izgrađenosti prisutan je i problem (ne)izvršavanja poslova redovnog održavanja hidromelioracijskih sustava za odvodnju - posebno od 1991. do 2018. godine. Od 1991. do 2018. godine došlo je i do pogoršanja stanja u poljoprivredi te smanjenja realnog iznosa sredstava za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih sustava za odvodnju površinskih voda. Također je važan pokazatelj da su najbolja projektno - izvedbena rješenja hidromelioracijskih sustava za odvodnju

površinskih voda ostvarena na površinama gdje je prethodno provedena (re)komasacija zemljišta. Izgradnja i redovno održavanje hidromelioracijskih sustava za odvodnju je preduvjet za stvaranje i održavanje vodnog režima u skladu s potrebama optimalnog razvoja biljaka te ostvarenja njihovih visokih i stabilnih prinosa. Viša razina raznovrsne biljne proizvodnje je preduvjet kako uspješnijeg razvoja poljoprivrede tako i cjelokupnog gospodarstva Hrvatske. To je moguće ostvariti izgradnjom i redovnim održavanjem hidromelioracijskih sustava za odvodnju i navodnjavanje zemljišta, kao i vodnih građevina za zaštitu od poplava i erozijskih procesa na slivnim i vodnim područjima. Hidromelioracijski sustavi su sastavni dio programa zaštite prirodnih resursa i ljudskih dobara nacionalne strategije proizvodnje hrane.

LITERATURA

- [1] Skupina autora; (1984.): *Priručnik za hidrotehničke melioracije*, I. kolo, *Odvodnjavanje, knjiga 2., Podloge*, Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb, str. 1-156.
- [2] Racz, Z; (1986.): *Agrikulturna mehanika tla*, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu, str. 1-131.
- [3] A. Kos, Z; (1989): *Hidrotehničke melioracije, Odvodnjavanje*; Školska knjiga, Zagreb.
- [4] Marušić, J., (1992): *Analiza građenja hidromelioracijskih sustava u Hrvatskoj od 1975. do 1990. g.* Građevinar, 44, Zagreb., str. 445-452.
- [5] Marušić, J., (1994.): *Ratne štete, obnova i održavanje hidromelioracijskih sustava za odvodnju*. Savjetovanje „Poljoprivreda i gospodarenje vodama”, Bizovačke Toplice, str. 317-336. 2910-2936-2943.
- [6] Marušić, J; Mađar, S.; Tomić, F; (1998.): *Hidromelioracijski sustavi za odvodnju, sjetvene površine i prirodi pšenice i kukuruza u Hrvatskoj od 1976. do 1996. g.*, Hrvatske vode, 6, 22, Zagreb, str. 1-20.
- [7] Vidaček, Ž; (1998.): *Gospodarenje melioracijskim sustavima odvodnje i natapanja*, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, Zagreb, str. 1-168.
- [8] Marušić, J; (1999.): *Hidromelioracijski sustavi podzemne odvodnje* Građevni godišnjak '99, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb, str. 297-341.
- [9] Marušić, J; (2000.): *Komasacije i hidromelioracije zemljišta - preduvjet dugoročnog i stabilnog razvitka poljoprivrede*, Geoetski list, Zagreb, str. 105-120.
- [10] Marušić, J; (1998.-2005.): *Optimalizacija hidromelioracijskih sustava za odvodnju*, istraživačko-znanstveni projekt - Izvješća, Ministarstvo znanosti i tehnologije i Hrvatske vode, Zagreb.
- [11] Marušić, J; (2003.): *Stanje i značenje hidromelioracijskih objekata i sustava za poljoprivrednu proizvodnju u Hrvatskoj*, Priručnik za hidrotehničke melioracije, III. kolo, Knjiga 1, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, HDON i HHD, Zagreb, Rijeka, str. 49-96.
- [12] Marušić, J; (2003.): *Izgradnja i održavanje hidromelioracijskih sustava za odvod-*

- nju u Hrvatskoj*, „Stanje i održivi razvoj hidromelioracijskih sustava u Hrvatskoj”, Hrvatske vode, 11 (2003.), 45, Zagreb, str. 1-12.
- [13] Marušić, J.; Pondeljak, J; (2005): *Značenje crpnih stanica za vodni režim melioracijskih područja*, Priručnik za hidrotehničke melioracije, III. kolo, knjiga 2., Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje (HDON) i Hrvatsko hidrološko društvo, (HHD) Zagreb, str. 131-168.
- [14] Marušić, J.; Tadić, L; (2005.): *The level of construction and maintenance of hydromelioration system for drainage in Croatia*, ICID, 21st European Regional Conference, Irrigation and Drainage, Frankfurt 8Oder), Germany and Stubice, Poland, str. 1-8.
- [15] Skupina autora, (2006.): *Strategija upravljanja vodama*, nacrt, Hrvatske vode i Uprava vodnog gospodarstva, MPŠVG, Zagreb
- [16] Marušić, J; (2007.): *Izgradnja, obnova i održavanje hidrotehničkih građevina za zaštitu od površinskih voda u Hrvatskoj*, Zbornik radova „Melioracijske mjere u svrhu unapređenja ruralnog prostora, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti u suradnji s Hrvatskim društvom za odvodnju i navodnjavanje, Zagreb, str. 77- .97.
- [17] Marušić, J; Holjević, D; Đuroković, Z; (2016): *Komasacije i hidrotehničke melioracije - preduvjet gospodarenja poljoprivrednim zemljištem*, Sabor hrvatskih graditelja, Cavtat, HSGI, str. 607-618.
- [18] Marušić, J; Holjević, D; (2016): *Stupanj izgrađenosti i problem održavanja hidrotehničkih sustava površinske odvodnje*, Okrugli stol „Hidrotehničke melioracije u Hrvatskoj - stanje i izazovi“; HDON, HV, HVG, Višnjica - Slatina, str. 55-68.

AUTORI

prof. dr. sc. Josip Marušić, dipl. ing. građ. ^a

doc. dr. sc. Danko Holjević, dipl. ing. građ. ^b

^a Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, ul. Jordanovac 43 A, Zagreb, 10000, Hrvatska, josip.marusic12@gmail.com

^b Hrvatske vode, VGO za slivove sjevernog Jadrana, Đure Šporera 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, danko.holjevic@voda.hr



R 2.23.

USPOREDBA KONCENTRACIJA NITRATA, OBORINA I RAZINA PODZEMNIH VODA OPAŽENIH NA POKUSNOJ DIONICI KANALA

Tamara Brleković, Lidija Tadić

SAŽETAK: Kako bi se definirali odnosi između koncentracije nitrata, oborina i podzemne vode te analiziralo onečišćenje podzemne vode uslijed poljoprivrednih aktivnosti, na bankinama melioracijskog kanala smještenog u blizini Osijeka ugrađeni su piezometri dubine 5 m iz kojih su analizirani uzorci podzemne vode u razdoblju od lipnja 2014. do lipnja 2016. godine. Kako je u melioracijskom kanalu vegetacija, a samo s lijeve strane poljoprivredna parcela, radila se i usporedba koncentracija opaženih na piezometrima koji su smješteni u istoj ravnini, ali na suprotnim bankinama. T je analiza pokazala da je 78,1 % slučajeva, koncentracija nitrata na lijevoj obali kanala, uz poljoprivrednu parcelu bila veća nego zabilježena koncentracija nitrata na desnoj obali u isto vrijeme unatoč malo udaljenosti između piezometara. U radu su analizirane i korelacije nizova koncentracije nitrata, oborina i razina podzemne vode. Kako provedena analiza nije pokazala značajnu korelaciju, pristupilo se usporedbi distribucija navedenih nizova, a to je rađeno preko kopula. Značajnu korelaciju (koeficijent korelacije 0,706) pokazala je jedino usporedba maksimalnih zabilježenih razina podzemnih voda (gornji kvartil) i koncentracije nitrata na piezometrima smještenim na desnoj bankini kanala.

KLJUČNE RIJEČI: nitrati, kopula, korelacija, oborine, piezometri, podzemna voda, vegetacija

COMPARISON OF NITRATE CONCENTRATIONS, PRECIPITATION AND GROUNDWATER LEVELS OBSERVED ON THE CANAL TEST SECTION

ABSTRACT: In order to define the relationship between nitrate concentrations, precipitation and groundwater and analyse groundwater pollution caused by agricultural activities, piezometers (of 5 m depth) were installed in the banks of an amelioration drainage canal located near Osijek. Groundwater samples from the piezometers were analysed in the period from June 2014 to June 2016. As there is an agricultural lot only on the left side of the canal and the rest contains vegetation, a comparison of concentrations observed in the piezometers located on the same plane but on the opposite canal banks was also performed. T-analysis showed that the nitrate concentration along the agricultural lot on

the canal's left bank was higher in 78.1 % of the cases than the simultaneously measured nitrate concentration on its right bank despite a short distance between the piezometers. The paper further analysed the correlations of the series of nitrate concentrations, precipitation and groundwater levels. As the performed analysis showed no significant correlation, the distributions of the copula series were also compared. Only the comparison of the maximum recorded groundwater levels (upper quartile) and nitrate concentrations in the piezometers located on the right canal bank showed a significant correlation (correlation coefficient of 0.706).

KEYWORDS: nitrates, copula, correlation, precipitation, piezometers, groundwater, vegetation

1. UVOD

Nitrati predstavljaju najčešće antropogeno onečišćenje podzemnih voda i često služe kao indikator kvalitete (Burton, 2007). Njihova prisutnost u podzemnim vodama izaziva značajan problem zbog negativnog utjecaja na ljudsko zdravlje i okoliš. Konzumiranje vode s povećanom koncentracijom nitrata uzrokuje kod djece i odraslih različite bolesti kao što su methemoglobinemija i rak, a u okolišu uzrokuju eutrofikaciju površinskih voda (Jiang i Somers, 2015; Wheeler i drugi, 2015; Filipović i drugi, 2013; Jovanović i drugi, 2008). Stabilan su spoj zbog čega su postojani u tlu i vodi, a zbog malih brzina strujanja podzemne vode, predstavljaju dugotrajno opterećenje na kvalitetu podzemne vode.

Nitrati nastaju procesima razlaganja dušika i njegovih spojeva. U podzemnu vodu dospijevaju najčešće poljoprivrednim aktivnostima koje predstavljaju najznačajniji antropogeni izvor onečišćenja nitratima (Matiatos, 2016; Menció i drugi, 2016).

Voda koja se ispire s poljoprivrednih parcela je bogata nutrijentima koji su preostali od primijenjenih gnojiva. Takva voda procjeđivanjem ili površinskim otjecanjem dolazi do melioracijskih kanala koji okružuju poljoprivredne parcele. Osim kvalitete vode (prisutnost nutrijenata), određena količina vode je uvijek prisutna jer se melioracijski kanali projektiraju na nižim točkama terena, a zbog prisutnosti vode, izražen je i rast vegetacije u njima. Vegetacija koristi nutrijente iz vode za rast i razvoj pri čemu smanjuje njihovu koncentraciju u vodi pa se koristi za pročišćavanje vode u biljnim uređajima za obradu otpadne vode, ali i u zaštitnim pojasevima (Borin i drugi, 2010). Kako su u melioracijskim kanalima ispunjeni nužni uvjeti za interakciju vegetacije i vode, i oni mogu imati ulogu na poboljšanje kvalitete vode.

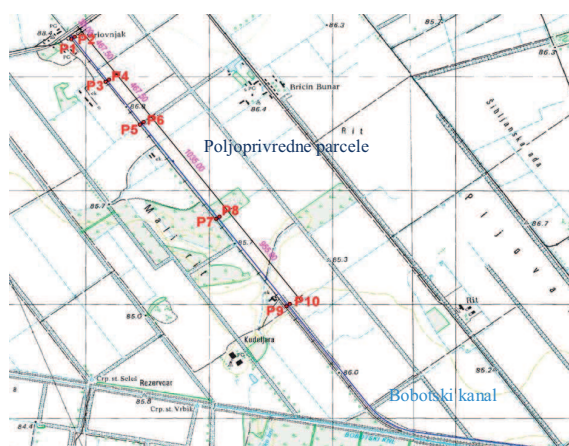
Kako bi se definirali odnosi između tih složenih pojava i analiziralo onečišćenje podzemne vode uslijed poljoprivrednih aktivnosti, na bankinama melioracijskog kanala smještenog u blizini Osijeka ugrađeni su piezometri iz kojih su analizirani uzorci podzemne vode.

2. MATERIJALI I METODE

Na pokusnoj dionici melioracijskog kanala Pumpa Orlovnjak provodila su se dvogodišnja terenska mjerenja, od lipnja 2014. do lipnja 2016. godine. Ovaj se kanal nalazi južno od Osijeka između naselja Antunovac i Tenja, a pripada slivnom području rijeke Vuke. Duljine je 6+072 km, a ulijeva se u Bobotski kanal koji se u blizini Vukovara ulijeva u rijeku Vuku. Pokusna dionica na kojoj se provode istraživanja nalazi se na uzvodna 3 km kanala kako bi se eliminirao utjecaj uspora Bobotskog kanala (slika 1). S lijeve

strane kanala nalaze se poljoprivredne parcele na kojoj se redovno primjenjuje prihrana uzgajanih kultura u obliku dušičnih gnojiva u skladu s Načelima dobre poljoprivredne prakse.

Tijekom proljeća 2014. god. na bankine kanala ugrađeno je 10 plitkih piezometara. Jedan je oštećen netom poslije ugradnje (P7) pa se istraživanje provodilo na ostalih 9. Njihove su lokacije naznačene na slici 1. Parno označeni piezometri su smješteni odmah uz poljoprivredne parcele na lijevoj obali kanala, a neparno na desnoj uz prilazni put. Piezometri su od PVC cijevi promjera 7 cm dubine 5 metara, a filtri se nalaze između 2. i 5. metra.



Slika 1. Kanal Pumpa Orlovnjak s naznačenom lokacijom piezometara (Dadić i Tadić, 2015)

Od lipnja 2014. god. su dva puta mjesečno, otprilike u dvotjednim intervalima, mjerene razine podzemnih voda i uzimani uzorci koji se nošeni na laboratorijsku analizu kako bi se odredila koncentracija nitrata. Uzorkovanje se vršilo tako što se prvo crpila količina vode koja je stajala u piezometru, a tek nakon toga se voda uzimala za analizu. Sva su terenska mjerenja i uzimanje uzoraka vršena u ranim jutarnjim satima, a uzorci su čuvani na niskoj temperaturi do laboratorijske analize.

3. REZULTATI

Najmanji broj uzoraka je iz piezometara P-1 i P-2 zato što su tijekom jeseni 2015. godine, uslijed malo oborina, presušili. Kod piezometara P-9 i P-10 je također manji broj uzoraka, ali iz drugog razloga. Oni su u proljeće 2016. godine pretrpjeli oštećenja pa se na tim mjestima nisu mogli uzimati uzorci do ugradnje novih plitkih piezometara. Najveća zabilježena koncentracija je 43,34 mg/l na piezometru P-4, a najmanja 0 na piezometru P-10.

Važno je istaknuti da tijekom cijelog analiziranog razdoblja, ni u jednom uzorku nije detektirana koncentracija nitrata veća od 50 mg/l što je maksimalna dopuštena koncentracija prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN56/2013), ali i granična vrijednost prema Nitratnoj direktivi (91/676/EEZ).

U tablici 2. prikazan broj uzoraka po pojedinom paru piezometara kao i koliko je puta razlika u koncentracijama na parnim piezometrima bila veća od koncentracije zabilježene na neparno označenom piezometru. Za sve pozitivne razlike određena je i srednja razlika, odnosno, postotak po paru.

Tablica 2. Analiza koncentracije nitrata po parovima piezometara

Par piezometara	Broj uzoraka	Frekvencija pojavljivanja $P_{\text{parno}} - P_{\text{neparno}} > 0$	$\frac{\text{Konc}_{\text{parno}} - \text{Konc}_{\text{neparno}}}{\text{Konc}_{\text{neparno}}} * 100$
P-1 i P-2	24	17	54,43 %
P-3 i P-4	28	27	52,35 %
P-5 i P-6	29	27	63,17 %
P-9 i P-10	24	11	80,05 %

Iz tablice 2. je vidljivo da je u velikom broju mjerenja, točnije 78,1 % slučajeva, koncentracija nitrata na lijevoj obali kanala bila veća nego zabilježena koncentracija nitrata na desnoj obali u isto vrijeme. To se najviše puta dogodilo na piezometrima P-3 i P-4, čak 27 od 28 mjerenja, i na piezometrima P-5 i P-6 (27 od 29 mjerenja).

Kako je već pokazano, koncentracije nitrata na parno označenim piezometrima su značajno veće od onih zabilježenih na neparno označenim piezometrima. Stoga su pri analizi korelacije formirana dva niza koncentracija nitrata. Prvi sadrži sve koncentracije zabilježene na neparnim piezometrima, a drugi one zabilježene na parnim piezometrima. Tako formirani nizovi uspoređivani su s nizom zabilježenih razina podzemne vode i nizom količina oborina koji je dobiven od DHMZ-a. Osim te usporedbe, analizirana je i korelacija između koncentracija nitrata i oborina s vremenskim odmakom od 2 tjedna i mjesec dana. Isti vremenski odmak primijenjen je i za razine podzemnih voda. Vremenski je odmak uzet u obzir je se pretpostavlja da se utjecaj oborina na podzemne vode i nitrata očituje tek nakon nekog vremena.

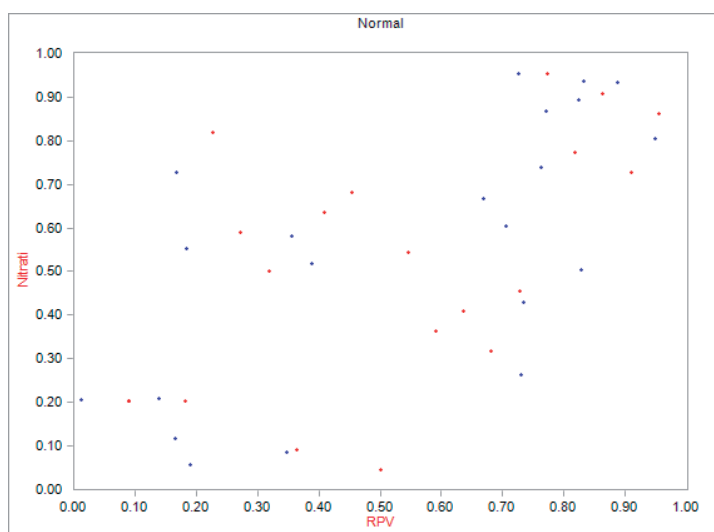
Zbog složenosti procesa, koeficijenti korelacije za sve analizirane parametre i slučajeve su dosta niski. Kod usporedbe podzemnih voda i oborina čak su zanemarivi. Najveća korelacija je postignuta kod koncentracije nitrata i podzemnih voda za vremenski odmak od mjesec dana (0,434) kod parnih piezometara. Kod neparnih piezometara je koeficijent korelacije također za ta dva parametra najveći iako je osjetno manji nego kod parnih, a varira od 0,243 do 0,256, ovisno o vremenskom odmaku.

Kako provedena analiza nije pokazala značajnu korelaciju, pristupilo se usporedbi distribucija navedenih nizova. Od svakog niza podataka formiran je histogram učestalosti po razredima. Kod nitrata su to razredi od 5 mg/l, kod razina podzemne vode (RPV) je 0,5 m.n.m. a kod oborina razred iznosi 12,5 mm. Na histograme koji prikazuju učestalost pojavljivanja određenog razreda, pridodane su distribucije koje najbolje odgovaraju prema kriterijima (Dadić, 2016). Tako definirane distribucije su međusobno uspoređivane preko kopula pri čemu su se kod odabira vrste kopula opet uzimali u obzir isti kriteriji kao i kod distribucija.

Analizom korelacije marginalnih distribucija preko Normalne kopule, potvrđeni su rezul-

tati dobiveni korelacijom nizova podataka. Razlika je vrlo mala pa je i ovdje najveća korelacija postignuta između nitrata zabilježenim na parnim piezometrima i razina podzemne vode gdje se koeficijent korelacije kreće od 0,3629 koji je dobiven kod usporedbe bez vremenskog odmaka do 0,4196 za vremenski odmak od mjesec dana.

Kako su sve provedene usporedbe pokazale veću povezanost između koncentracije nitrata i razine podzemnih voda, provela se dodatna analiza prema kriteriju maksimalnih i minimalnih razina podzemnih voda za oba niza piezometara. Jedino je značajnu korelaciju pokazala usporedba maksimalnih zabilježenih razina podzemnih voda (gornji kvartil) i koncentracije nitrata na neparno označenim piezometrima gdje koeficijent korelacije iznosi 0,706. Izgled ulaznih podataka i onih dobivenih preko Normalne kopulom je prikazan na slici 2.



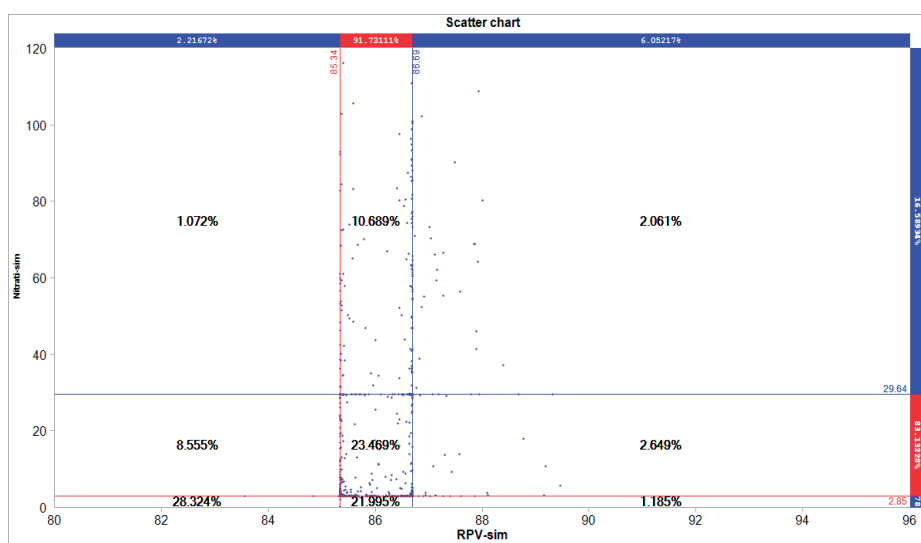
Slika 2. Vrijednosti dobivene kopulom (plavo označeno) i ulazni podatci (crveno označeno)

Na slici 2. je uočljivo dijagonalno grupiranje vrijednosti uz manje rasipanje što je rezultat većeg koeficijenta korelacije (0,706).

Ni u jednom od promatranih slučajeva nikakva korelacija nije postignuta između zabilježenih razina podzemne vode i oborina, a niti između oborina i koncentracije nitrata. Razlog tome je neposredna blizina kanala. Do sada provedena istraživanja o utjecaju oborina na nitrata (Filipović, 2012; Hooda i drugi, 2000) tvrde da porastom količine oborina, raste i koncentracija nitrata u podzemnoj vodi i da se taj odnos mijenja pri pojavi ekstremnih oborina uslijed kojih se koncentracija nitrata smanjuje. Rezultati ovog istraživanja nisu potvrdili postojanje korelacije između oborina i koncentracije nitrata, ali su potvrdili činjenicu da koncentracija nitrata opada porastom dubine podzemne vode (Rutkoviene i drugi, 2005).

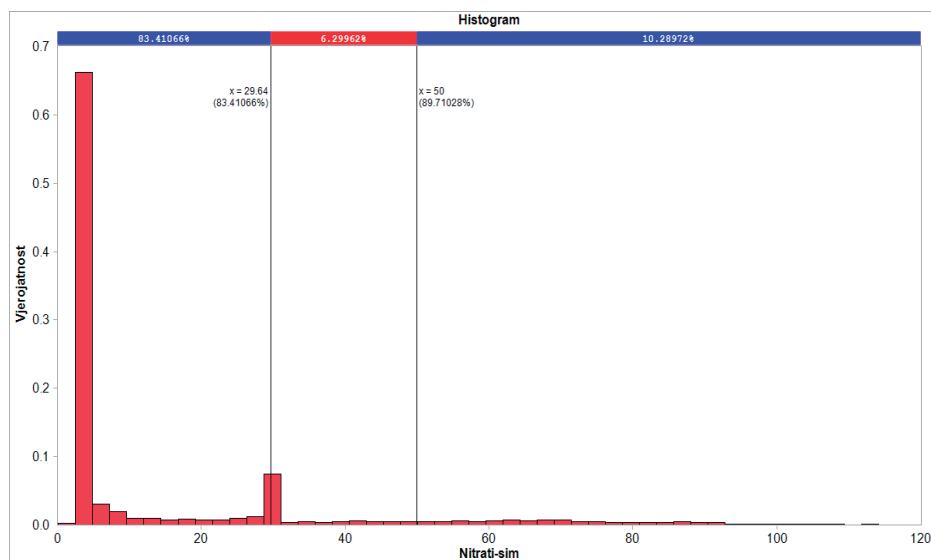
Koristeći Normalnu kopulu, generirano je 10 000 nasumičnih parova razine podzemnih voda i koncentracija nitrata kako je prikazano na slici 3. Na y osi su simulirane vrijednosti nitrata, a na x razina podzemne vode. Horizontalne linije predstavljaju najveću i najmanju

zabilježenu koncentraciju nitrata iz analiziranog niza, a iznose 29,64 i 2,85 mg/l. Vertikalne linije predstavljaju najveće i najmanje zabilježene razine podzemnih voda (86,69 i 85,34 m.n.m.). Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja (koincidencije) koncentracije nitrata većih od 29,64 mg/l uz visoke razine podzemnih voda (86,69 m.n.m. i veće) iznosi 2,413 %. Vjerojatnost istovremenog pojavljivanja koncentracija nitrata većih od 2,85 mg/l i razina vode iznad 85,34 m.n.m. iznosi 49,01 %.



Slika 3. Vjerojatnosti koincidencije koncentracije nitrata i razina podzemne vode

Na slici 4 prikazan je histogram vrijednosti koncentracije nitrata koje su dobivene korelacijom s razinama podzemne vode i oborinama. Lijeva linija je postavljena na iznos najveće zabilježene koncentracije kod neparno označenih piezometara (29,64 mg/l), a desna na maksimalno dopuštenu koncentraciju nitrata (50 mg/l). Na slici se vidi da vjerojatnost pojavljivanja maksimalno zabilježene koncentracije, i većih od nje, iznosi 16,58 %, dok je vjerojatnost pojavljivanja koncentracije od 50 mg/l, što je granična vrijednost prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN56/2013), ali i prema Nitratnoj direktivi (91/676/EEZ), i veće 10,29 %.



Slika 4. Histogram vrijednosti koncentracije nitrata

ZAKLJUČAK

Analizom i uspoređivanjem uzoraka vode iz parova piezometara koji su postavljeni u istim ravninama na obalama melioracijskog kanala, opažene su značajno manje koncentracije nitrata na onim piezometrima koji nisu uz poljoprivrednu parcelu, a udaljeni su samo nekoliko metara od onih koji jesu, čime se potvrđuje da prisustvo melioracijskih kanala, a posebice vegetacije u njima, utječe na smanjenje koncentracije nitrata u podzemnim. Najveća zabilježena koncentracija nitrata iznosi 43,34 mg/l što je manje od 50 mg/l koliko iznosi maksimalna dopuštena koncentracija propisana Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN56/2013), ali i Nitratnoj direktivi (91/676/EEZ).

Daljnja analiza rezultata terenskih mjerenja je pokazala da opažene koncentracije nitrata nemaju nikakvu korelaciju s količinom oborina, dok s razinama podzemne imaju vrlo mali koeficijent korelacije. Najveća je korelacija postignuta između maksimalnih razina podzemne vode i koncentracije nitrata na desnoj obali kanala čime je potvrđeno da koncentracija nitrata opada porastom dubine vode. Izračunata je i vjerojatnost pojave maksimalno dopuštene koncentracije nitrata od 50 mg/l i veće u podzemnim vodama u blizini melioracijskog kanala te ona iznosi 10,29 %. Ovima je pokazano da primjenom Načela dobre poljoprivredne prakse, onečišćenje podzemnih voda nitratima čak i u neposrednoj blizini poljoprivrednih parcela je malog intenziteta.

LITERATURA

- [1] Burton, M.A., (2007): *Application of a nitrate fate and transport model to the Abbotsford-Aumas aquifer, Whatcom county*, Washington, PhD Thesis, Faculty of Western Washington University, Washington.
- [2] Borin, M., Passoni, M., Thiene, M., Tempesta, T., (2010): *Multiple functions of buffer strips in farming areas*, European Journal and Agronomy (32), 103-111.
- [3] Dadić, T., (2016): *Pronos nitrata u uvjetima automorfnih i hidromorfnih tala na primjeru sliva rijeke Vuke*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Osijek.
- [4] Dadić, T., Tadić, L., (2015): *Promjena razine i kakvoće plitkih podzemnih voda opažanih na pokusnom kanalu*, Zbornik radova 6. hrvatske konferencija o vodama (Urednik: Biondić, D, Holjević, D. ,Vizner M.), Hrvatske vode, Zagreb, 269-277.
- [5] Filipović, V., (2012): *Primjena numeričkog modeliranja u procjeni kretanja vode i koncentracije nitrata u uvjetima hidromorfnih tala*, doktorska disertacija, Agronomski fakultet, Zagreb.
- [6] Filipović, V., Petošić, D., Nakić, Z., (2013): *Prisutnost nitrata u podzemnim vodama; izvori i procesi*, Hrvatske vode (21/84), 119-128.
- [7] Jiang, Y. i Somers, G., (2009): *Modeling effects of nitrate from non-point sources on groundwater quality in an agricultural watershed in Prince Edward Island, Canada*, Hydrogeology Journal (17), 707–724. DOI 10.1007/s10040-008-0390-2.
- [8] Jovanović, N.Z., Hon, A., Israel, S., Le Maitre, D., Rusinga, F., Soltau, L., Tredoux, G., Fey, M.V., Rozanov, A., van der Merwe N., (2008): *Nitrate leaching from soils cleared of alien vegetation*, WRC Report No. 1696/1/08.
- [9] Matiatos, I., (2016): *Nitrate source identification in groundwater of multiple land-use areas by combining isotopes and multivariate statistical analysis: A case study of Asopos basin (Central Greece)*, Science of the Total Environment (541), 802–814, doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.09.134.
- [10] Menció, A., Mas-Pla, J., Otero, N., Regàs, O., Boy-Roura, M., Puig, R., Bach, J., Domènech, C., Zamorano, M., Brusi, D., Folch, A., (2016): *Nitrate pollution of groundwater; all right..., but nothing else?*, Science of the Total Environment (539), 241–251. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.08.151.
- [11] Nitratna direktiva-91/676/EEZ.
- [12] Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju, NN br. 56/2013.
- [13] Rutkoviene, V., Kusta, A., Česonienė, L., (2005): *Environmental Impact on Nitrate Levels in the Water of Shallow Wells*, Polish Journal of Environmental Studies (14/5), 631-637.
- [14] Wheeler, D.C., Nolan, B.T., Flory, A.R., DellaValle, C.T., Ward, M.H., (2015): *Modeling groundwater nitrate concentrations in private wells in Iowa*, Science of the Total Environment (536), 481–488. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.07.080.

AUTORI

doc. dr. sc. Tamara Brleković, mag.ing.aedif. ^a

prof. dr. sc. Lidija Tadić, dipl.ing.građ. ^b

^a Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Ulica Vladimira Preloga 3, 31 000 Osijek, Hrvatska, tamaradadic@gfos.hr

^b Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Ulica Vladimira Preloga 3, 31 000 Osijek, Hrvatska, ltadic@gfos.hr



R 2.24.

PRIKAZ ISTRAŽIVANJA ZADRŽAVANJA TEŠKIH METALA U NANOSU MELIORACIJSKIH KANALA

Marija Leko – Kos, Lidija Tadić

SAŽETAK: U kontinentalnom dijelu Hrvatske, gdje je poljoprivreda dominantna gospodarska grana, pritisci na površinske i podzemne vode, u kvalitativnom i kvantitativnom smislu su značajni. Problem onečišćenja nanosa u melioracijskim kanalima drugi je važan aspekt onečišćenja, a puno je manje istraživanja koja se njime bave. Godišnja akumulacija nanosa u kanalima je velika, a povećava je smanjeno održavanje kanala, zadržavanje na vegetaciji i smanjena količina vode kao posljedica učestalijih suša. Koncentracije teških metala variraju ovisno o hidrološkim uvjetima, prisutnim uzrocima onečišćenja i lokalnim uvjetima. Prema veličini koncentracije trebala bi se odrediti mogućnost odlaganja izvađenog sedimenta na poljoprivredne površine za što u mnogim zemljama ne postoje propisane mjere praćenja, kao ni granične vrijednosti, a Hrvatska je među tim zemljama. U radu se daje prikaz istraživanja provedenog tijekom dvogodišnjeg razdoblja (2016. - 2018.). Rezultati su pokazali vrlo varijabilne koncentracije teških metala u sedimentu kanala, posebice bakra. Takav onečišćeni nanos uglavnom se zadržava u kanalima dok ga se, u okviru tehničkog održavanja ne izmulji i onda se postavlja problem njegovog odlaganja.

KLJUČNE RIJEČI: melioracijski kanal, nanos, onečišćenje, teški metali

RESEARCH OVERVIEW OF THE HEAVY METAL RETENTION IN THE SEDIMENT OF AMELIORATION CANALS

ABSTRACT: In the continental part of Croatia, in which agriculture is the dominant sector of the economy, pressures on surface waters and groundwater are significant, both in the quantitative and qualitative sense. Another important aspect of pollution, which is far less investigated, is sediment pollution. The annual accumulation of sediment in amelioration canals is high, increased by poor canal maintenance, sediment retention by vegetation and reduced water quantities caused by increasingly frequent droughts. Heavy metal concentrations vary depending on the hydrological conditions, present sources of pollution and local conditions. The possibility of dredged sediment deposition on agricultural should be determined according to the levels of heavy metal concentrations, for which there are no proscribed monitoring measures or threshold values in many countries, Croatia included. The paper presents the research carried out in a two-year period (2016 – 2018). The re-

sults revealed very variable concentrations of heavy metals, copper in particular, in the canal sediment. Such polluted sediment remains mostly in the canals until it is dredged out as part of regular maintenance activities, which leaves open the issue of its disposal.

KEYWORDS: amelioration canal, sediment, pollution, heavy metals

1. UVOD

Pojava sedimenta u vodotocima je hidrološka i hidraulička pojava koja utječe na morfologiju vodotoka, kako prirodnih tako i umjetnih. Iako nizinska područja u pravilu nisu jako ugrožena erozijom, ipak se tisuće tona muljnog sedimenta godišnje izvadi iz melioracijskih kanala (Ferrero, 2002). Kvaliteta, odnosno stupanj onečišćenosti sedimenta također se razlikuje u prirodnim i umjetnim vodotocima, primjerice koncentracija teških metala višestruko je veća u umjetnim vodotocima (kanalima) nego u prirodnim vodotocima (Ferrato i drugi, 2013). Godišnja akumulacija sedimenta u kanalima je velika, a povećava je smanjeno održavanje kanala, zadržavanje uslijed obrasta kanala vegetacijom i smanjena količina vode, što u kvalitativnom smislu utječe na njegovu stabilnost i mogućnost pronosa u okoliš, posebice podzemne vode (Haetley i Dickinson, 2010). Važnost ovog problema proizlazi i iz ukupne dužine kanalske mreže, odnosno količine mulja koji se istaloži i koji treba ukloniti da bi se održala funkcionalnost melioracijskih sustava (Savić i drugi, 2009). Slična situacija je i u Hrvatskoj, gdje je samo na području malog sliva Vuka u 2016. godini izvađeno oko 112.000 m³ sedimenta, a to je područje koje prema riziku od vodne erozije, spada u područje niskog rizika (Husnjak, 2000).

Istraživanjima u svijetu najviše je obuhvaćen problem onečišćenja teškim metalima u riječnom sedimentu (Szalinska i drugi, 2006; Pandey i drugi 2017), a zatim u akumulacijama (Avila - Perez i drugi, 1999; Carneiro i drugi, 2014). Problemi vezani uz onečišćenje sedimenta u melioracijskim kanalima posljednjih godina postaju sve češće predmet istraživanja, posebice u Nizozemskoj i Italiji (Lawrence, 1998; Kalderman, 2000, 2001; Maggi, 2002). Onečišćujuće tvari koje dominiraju u sedimentu su fosfor i teški metali, a najveći uzročnici onečišćenja su promet i poljoprivreda, a koncentracije variraju ovisno o hidrološkim i hidrografskim karakteristikama sliva (trajanju i intenzitetu oborina, pojavnosti velikih voda i povezanosti s ostalom hidrografskom mrežom i uvjetima onečišćenja u njoj), lokalnim geografskim uvjetima i slično. Stoga se javlja potreba pristupanja sedimentu kao spremnicima onečišćujućih tvari. Općenito, ovaj problem ima dvojak karakter - problem definiranja statusa sedimenta s obzirom na stupanj onečišćenosti i problem kategorizacije sedimenta u cilju određivanja mogućnosti njegovog odlaganja.

Pristupimo li sedimentu kao bitnom čimbeniku u okolišnim istraživanjima i monitoringu, budući da ima svojstva svojevrsnog vremenskog zapisa onečišćenja, poznavanje njegovog sastava prilikom odlaganja izvan kanala isto tako predstavlja bitan čimbenik.

Kako u Hrvatskoj ne postoji regulativa koja se odnosi na odlaganje izumljenog sedimenta s obzirom na sastav ili količinu, s materijalom se postupa u okvirima postojeće regulative, odlaže se unutar zaštitnog pojasa ili se tretira kao otpad.

Problem onečišćenosti sedimenta akumuliranog u kanalima postaje tema interesa znanstvenika osobito nakon donošenja Okvirne direktive o vodama EU (WFD 2000/60/EC) koja mijenja pristup na području upravljanja vodnim sustavima te nalaže praćenje kvalitete sedimenta kao sastavnih dijelova akvatičnih sustava. Upravo zbog karakteristi-

ka izmuljenog materijala, važeći propisi zemalja koje imaju relevantnu legislativu, nalažu rukovanje s izmuljenim materijalom na ekološki prihvatljiv način s ciljem sprječavanja širenja onečišćenja u okoliš (Dalmacija, 2013).

To otvara nekoliko novih problema: problem monitoringa, problem legislative u smislu dozvoljenih graničnih vrijednosti onečišćenja, problem odlaganja i problem remedijacije (Leko - Kos, 2019). Prihvaćenjem Okvirne direktive o vodama preuzeta je i obaveza monitoringa površinskih voda i sedimenta prema kojoj svaka zemlja članica treba izvršiti identifikaciju onečišćenih sedimenata budući da isti mogu predstavljati prepreku u uspostavljanju dobrog ekološkog statusa vodnog tijela. Zakon o vodama (Narodne novine, br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14, 46/18), standard kakvoće voda definira kao koncentraciju određene onečišćujuće tvari ili skupine onečišćujućih tvari u vodi, sedimentu ili bioti koje ne bi smjele biti prekoračene u cilju zaštite ljudskog zdravlja i vodnog okoliša.

U nastavku se daju granične vrijednosti koncentracije teških metala u sedimentima prema kriterijima raznih zemalja (tablica 1).

Tablica 1. Granične vrijednosti koncentracije teških metala u sedimentima prema kriterijima raznih zemalja

Teški metal	Prijedlog hrvatskih graničnih vrijednosti	Kriteriji za kvalitetu sedimenta drugih zemalja - granične vrijednosti (mg kg ⁻¹)				
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Živa	0,25	0,5 - 1	-	-	-	0,3
Bakar	28	60 - 90	197	36	35,7	36
Kadmij	0,6	0,5 - 1	3,53	0,8	0,6	0,8
Krom	57	40 - 80	90	100	37,3	100
Nikal	47	30 - 50	36	35	-	35
Olovo	31	50 - 100	91,3	85	35	85
Cink	90	60 - 150	315	140	123	-

Prema praksi zemalja koje imaju propisane vrijednosti kvalitete sedimenta, definirano je po nekoliko klasa, odnosno kriterija prema kojima se propisuje način postupanja s izmuljenim sedimentom. Usporedba u tablici je dana prema ciljanim vrijednostima nekih od zemalja, onih vrijednosti onečišćenja do kojih sedimenti mogu biti dislocirani bez posebnih mjera zaštite.

U nastavku su navedeni kriteriji obuhvaćeni tablicom 1:

Izrada prijedloga graničnih vrijednosti za određene opasne tvari u sedimentu kopnenih površinskih voda (Institut Ruđer Bošković, 2017), u sklopu kojega je dan prijedlog graničnih vrijednosti za 7 teških metala i 1 metaloid u sedimentu kopnenih površinskih voda koji ide u pravcu sljedećega koraka u razvoju monitoringa sedimenta i odnosi se na procjenu njegovog onečišćenja. U Hrvatskoj ovaj prijedlog čini značajniji pomak, jer su, kako se i navodi u samom zaključku prijedloga, predložene granične vrijednosti dobra osnova za buduću legislativu u tom području. Isto tako se navodi kako je poželjno narednih 5 godina pratiti trendove vrijednosti koncentracija elemenata u sedimentima hrvatskih

rijeka na svim dosada praćenim postajama koje ne udovoljavaju predloženim kriterijima. Predlaže se također provođenje još jedne detaljne evaluacije nakon čega je moguća i korekcija graničnih vrijednosti;

Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (Narodne novine, br. 9/14) - podaci o graničnim vrijednostima su dani prema karakteristikama tla (pjeskovito, praškasto - ilovasto i glinovito tlo). Vrijednosti su navedene s obzirom na praksu odlaganja izumljenoga materijala iz kanala;

Razina mogućeg efekta (US EPA 2001);

Nizozemski sustav klasifikacije maksimalno dopuštenih koncentracija metala - ciljana vrijednost;

Kanadski propisi - teorijski moguća vrijednost utjecaja na vodene organizme;

Uredba o graničnim vrijednostima zagađujućih materijala u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo postizanje Republike Srbije. Uredbom su definirane i vrijednosti teških metala prilikom odlaganja, čije su ciljane vrijednosti istovjetne navedenima, osim za vrijednost žive za koju je ciljana vrijednost jednaka nuli. Vrijednosti se odnose na standardni sediment koji se sastoji od 10 % organske tvari i 25 % gline, a za sve ostale izmijenjene odnose sadržaja gline i organske tvari propisani su korekcijski faktori.

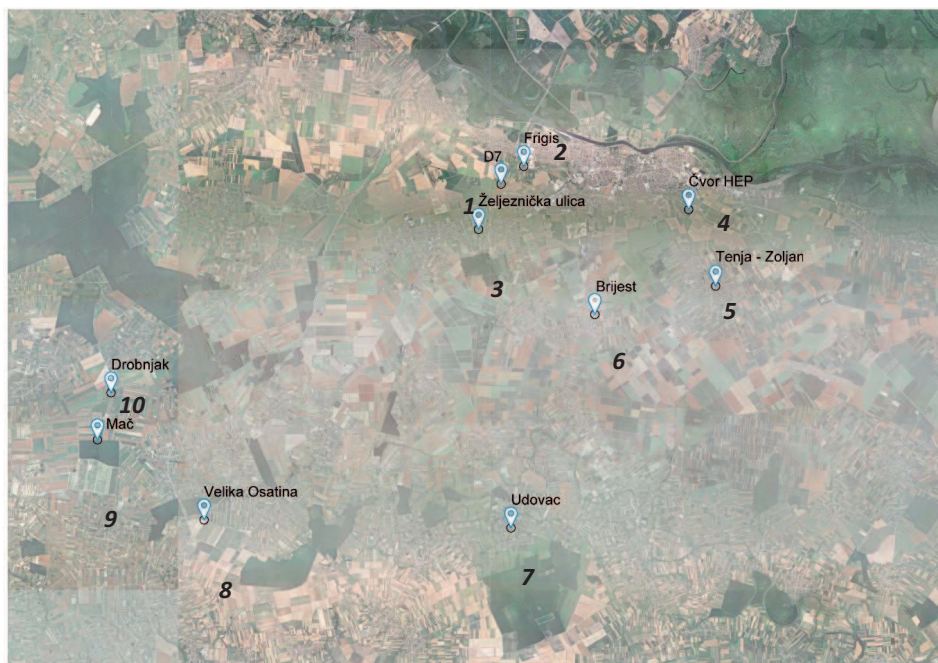
2. OPIS ISTRAŽIVANJA

Istraživanje onečišćenosti sedimenta u melioracijskim kanalima provedeno je u razdoblju od 2016. do 2018. godine na slivu rijeke Vuke. Ovaj sliv ima sustav površinske odvodnje vrlo velike gustoće, a samim tim su i potrebe za održavanjem vrlo velike. U tablici 2. prikazane su količine izmuljenog sedimenta u razdoblju od 5 godina.

Tablica 2. Količine izvađenog sedimenta iz melioracijskih kanala materijala (mali sliv Vuka, 2013. - 2017.)

Godina	Količina (m³)
2013.	69.220
2014.	75.518
2015.	38.815
2016.	116.719
2017.	184.036

Istraživanje je provedeno u dvije faze. U prvoj fazi je na deset lokacija izvršeno uzorkovanje sedimenta iz melioracijskih i cestovnih kanala (slika 1).



Slika 1. Situacija područja istraživanja i lokacije uzimanja uzoraka sedimenta

Zatim su laboratorijski ispitane koncentracije teških metala koje su se kretale u određenom rasponu (tablica 3) i uspoređene su s najstrožim graničnim vrijednostima. Iz tablice je vidljivo da su u uzorcima uzetim na lokacijama 3, 6 i 8 koncentracije bakra višestruko veće (crvena boja) od bilo kojeg kriterija opisanog u tablici 1. Oba kanala nalaze se u područjima s evidentnim antropogenim utjecajima (cesta, farma i slično). Koncentracije kadmija, olova, nikla i kroma pokazuju neznatno povećanje koncentracije (žuta boja) u odnosu na ranije opisane, dok je koncentracija žive unutar dozvoljenih granica.

Tablica 3. Analiza teških metala odabranih lokacija

mg kg ⁻¹	8	5	6	4	3	1	2	7
Cd	0,62	0,22	0,22	0,36	0,22	0,19	0,19	0,58
Pb	15,6	22,8	17,3	139	21,8	15,6	11,6	14,3
Ni	27,8	27,1	36,9	34,8	40,2	24,7	16,9	39,6
Hg	0,14	0,12	0,15	0,12	0,12	0,1	0,07	0,17
Cu	362	22,2	247	25,5	1543	14,6	8,11	27,3
Cr	50,6	47,6	53,8	53,1	48,7	46,7	28,7	55,7

Kako je već navedeno, nakon uzimanja uzoraka u širem području, odabran je kanal s oznakom „10“ koji je okružen poljoprivrednim površinama i gdje je bio pretpostavljen utjecaj otpadnih voda farme, a time i prisustvo teških metala u sedimentu. Koncentracije teških metala u kanalu „10“ po stacionažama prikazane su u tablici 4.

Tablica 4. Analiza teških metala u sedimentu na kanalu „10“

element (mg kg ⁻¹)	Stacionaže kanala „10“					
	2 + 500	2 + 200	1 + 900	2 + 500	0 + 800	0 + 120
Cd	0,15	0,38	0,51	0,47	0,25	0,18
Pb	18,5	19,1	8,9	11,8	19,9	20,9
Ni	41,6	50,5	29,6	31,6	41,5	48,3
Hg	0,17	0,24	0,87	0,35	0,18	0,24
Cu	40,9	485	1239	1489	139	89,5
Cr	75,9	78,3	38,4	44	69,6	85,6

Tablica 4 pokazuje da su u uzorcima uzetim duž kanala „10“ ponovo značajno povišene koncentracije bakra (crvena boja). Kadmij i olovo ne premašuju dopuštene vrijednosti, a nikal, živa i krom imaju različite vrijednosti koncentracije, od dopuštenih do neznatno povećanih (žuta i crvena boja). Prekoračenja su izraženija u sredini kanala (od stac. 2 + 200 do stac. 0 + 800) i prema ušću, odnosno kraju kanala. Opet su za granične vrijednosti uzete u obzir sve preporuke kriterija opisanih u tablici 1. Sediment prema analizi pripada klasi izuzetno onečišćenoga sedimenta za koji je obavezna remedijacija ili čuvanje materijala u kontroliranim uvjetima uz posebne mjere zaštite kako bi se spriječilo rasprostiranje onečišćujućih materijala u okoliš (Uredba o graničnim vrijednostima RS). Izvršena analiza ukazuje na opravdanost uvođenja kontrole izmuljenog materijala iz melioracijskih kanala kako bi se u što skorije vrijeme spriječilo odlaganje uz ili na poljoprivredne površine materijala koji po prisutnosti bakra (tablica 3, tablica 4) višestruko premašuje dozvoljene vrijednosti.

ZAKLJUČAK

Onečišćenost sedimenta prisutna je u melioracijskim kanalima ravničarskih područja što se pokazalo ispitivanjem. Na širem analiziranom području onečišćenja teškim metalima ne prelaze granice maksimalno dopuštenih, koja su definirana pravilnicima različitih europskih i izvan europskih zemalja. Na užem analiziranom području (mikro slivu) koncentracije teških metala i nadalje ostaju unutar maksimalno dopuštenih granica, osim u slučaju bakra, što se može pripisati točkastom izvoru onečišćenja. Istraživanja su provedena indikativno, daljim postupcima potrebno utvrditi i jesu li izvađeni sedimenti ekološki prihvatljivi za samo vodno tijelo, ali upućuju na nužnost provođenja analize prilikom iskopa sedimenta i njegovog odlaganja na poljoprivredna zemljišta.

Bitno je za naglasiti, da su analizirana manja vodna tijela, dok su analizama u Planu upravljanja vodnim područjima obuhvaćene tekućice sa slivnom površinom većom od 10 km² i stajačice s površinom vodnog lica od 0,5 km². Istovremeno, 80 % duljine evidentiranih tekućica i 2 % površine evidentiranih stajačica otpada na vrlo mala vodna tijela za koje se ne provodi tipizacija ni ocjenjivanje prema odredbama Okvirne direktive o vodama. Za sva takva tijela ocjenjivanje se vrši prema standardima koji vrijede za veće vodno tijelo s kojim su u površinskom kontaktu ili koji vrijede za najbliže ili

najprimjerenije tijelo. Monitoring sedimenta na većim vodotocima ne daje realnu sliku onečišćenog sedimenta. Mali vodotoci, uključujući i kanale, su upravo oni na kojima onečišćenje brže ostavlja traga, a teže je vratiti ga u prirodno ili zadovoljavajuće stanje. Uzroci onečišćenja sedimenta u melioracijskim kanalima su dominantno antropogeni, sve ljudske aktivnosti vezane uz korištenje zemljišta i voda od izgradnje i održavanja do poljoprivredne proizvodnje.

Osim što su monitoringom obuhvaćeni veći vodotoci, isti se provodi i za registrirane točkaste izvore onečišćenja. Kako proces uspostavljanja monitoringa iziskuje još dosta vremena, kontrola izmuljenoga materijala i propisivanje načina rukovanja u ovisnosti o razini onečišćenja doprinijelo bi sprečavanju nekontroliranog zadržavanja onečišćenja na površinama uz male vodotoke.

LITERATURA

- [1] Avila-Perez, P., Balcazar, M., Zarazua-Ortega, G. et al. (1999): *Heavy metal concentrations in water and bottom sediments of a Mexican reservoir*, The Science of the Total Environment, 234, 1999, str. 185-196.
- [2] Dalmacija, B., Rončević S. (2013) *Kvalitet površinskih voda i sedimenta - procena i upravljanje rizikom*, Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno - matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine.
- [3] Ferrero A., Lisa L., Parena S., Sudiro L. (2002): *Runoff and soil erosion from tilled and controlled grass - covered vineyards in a hillside catchment*, 9th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB) Demänovská dolina (Slovakia), 25 - 28 September 2002, str. 105-111.
- [4] Ferronato, C., Antisari, L. V., Modesto, M. M., Vianello, G. (2013): *Speciation of heavy metals at water-sediment interface*, <https://eqa.unibo.it/article/view/3932> [20.04. 2016].
- [5] Frančisković-Bilinski, S., Mlakar, M., Bilinski, H., (2017): *Izrada prijedloga graničnih vrijednosti za određene opasne tvari u sedimentu kopnenih površinskih voda*, (elaborat).
- [6] Hartley, W., Dickinson, N.M. (2010): *Exposure of anoxic and contaminated canal sediments: Mobility of metal(loid)s*, *Environmental Pollution*, 158 (3), str. 649-658.
- [7] Husnjak S. (2000): *Procjena rizika erozije tla vodom metodom kartiranja u Hrvatskoj*. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, disertacija.
- [8] Kelderman P., Drossaert, W.M.E., Zhang M. et al. (2000): *Pollution assessment of the canal sediments in the city of Delft (the Netherlands)*, *Water Research* 34 (3), str. 936-944.
- [9] Lawrence, P., Atkinson, E. (1998): *Deposition of fine sediments in irrigation canals*, *Irrigation and Drainage Systems* 12, str.371-385.
- [10] Leko - Kos, M. (2019): *Nastanak i pokretljivost sedimenta onečišćenog teškim metalima u melioracijskim kanalima ravničarskih područja*, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek. Disertacija.
- [11] Maggi I., Maraga F., Ottone C. (2002): *Erosive rains related to in-channel sedi-*

- ment delivery in a small Alpine basin (North-Western Italy)*. 9th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins, Demänovská dolina (Slovakia), 25 - 28 September str. 91-99.
- [12] Pandey, J., Singh, R. (2017): *Heavy metals in sediments of Ganga River: up - and downstream urban influences*, Appl Water Sci. 7:1669. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0334-7>.
- [13] Savić R., Pantelić S., Belić Anđelka. (2009): *Utjecaj kanalskih sedimenata na životnu sredinu*, Zaštita prirode, vol. 60, br. 1-2, str. 663-670.
- [14] Službeni glasnik RS. *Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje*. Službeni glasnik RS, 50/12 (2012).
- [15] Szalinska, E., Drouillard, K.G., Fryer, B., Haffner, G.D. (2006): *Distribution of Heavy Metals in Sediments of the Detroit River*, J. of Great Lakes Research, Volume (32) 3, str. 442-454.
- [16] *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000* <https://www.voda.hr/hr/okvirna-direktiva-o-vodama>.
- [17] *Plan upravljanja vodnim područjima za razdoblja 2013. - 2015.* (Narodne novine, broj 82/13).
- [18] *Plan upravljanja vodnim područjima za razdoblja 2016. - 2021.* (Narodne novine, broj 66/16).
- [19] *Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja* (Narodne novine, broj 9/14).
- [20] *Pravilnik o tehničkim, gospodarskim i drugim uvjetima za uređenje sustava melioracijske odvodnje te osnovama za tehničko i gospodarsko održavanje sustava* (Narodne novine, broj 4/98).
- [21] *Uredba o standardu kakvoće voda* (Narodne novine, br. 73/13, 151/14, 78/15, 61/16 i 80/18).
- [22] *Zakon o održivom gospodarenju otpadom* (Narodne novine, br. 94/13, 73/17 i 14/19).
- [23] *Zakon o vodama* (Narodne novine, br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14, 46/18).

AUTORI

dr. sc. Marija Leko – Kos ^a

prof. dr. sc. Lidija Tadić ^b

^a Institut IGH d.d., PC Osijek, Drinska 18, Osijek, 31000, Hrvatska, marijalekokos@gmail.com

^b Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Ul. Vladimira Preloga 3, Osijek, 31000, Hrvatska, ltadic@gfos.hr



R 2.25.

**DINAMIKA POVRŠINSKOG OTJECANJA I
KONCENTRACIJE NITRATA S NAGNUTOG
VINOGRADARSKOG POLOŽAJA USLIJED RAZLIČITOG
INTENZITETA OBORINA**

**Gabrijel Ondrašek, Monika Zovko, Vilim Filipović, Lana Filipović,
Filip Kranjčec, Marina Bubalo Kovačić, Nada Maurović,
Željko Andabaka, Edi Maletić, Vedran Krevh, Davor Romić**

SAŽETAK: Reljefno-razvijeni tereni poput južnih/jugozapadnih brdskih ekspozicija jedni su od najpovoljnijih za uzgoj vinove loze. Međutim, uslijed nagiba takvi položaji su ujedno vrlo podložni eroziji i površinskom otjecanju, posebice nakon obilnijih oborina. Jedan od takvih položaja u zagrebačkom vinogorju, na pokušalištu Jazbina (Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za vinogradarstvo i vinarstvo) s izraženim nagibom (19 %) i tehnologijom međurednog travnatog malča je odabran za provedbu ovog istraživanja. U razdoblju istraživanja (rujan 2018. - veljača 2019.) na sredini međurednog prostora 20-godišnjeg vinograda sorte Pinot bijeli, postavljeni su sakupljači površinskog otjecanja unutar kojih je aplicirana poznata koncentracija nitratnog oblika dušika. Tijekom istraživanja u vinogradu su na meteorološkoj postaji (Pinova) kontinuirano bilježeni meteorološki i vegetacijski parametri te su pored prirodnih oborina simulirani i oborinski događaji različitog intenziteta. Neposredno nakon oborina obavljeno je mjerenje volumena površinskog otjecanja i njegovo uzorkovanje za laboratorijska ispitivanja koja su provedena u akreditiranom laboratoriju MELILAB Zavoda za melioracije. Rezultati istraživanja potvrđuju da intenzitet oborina na istraživanom vinogradarskom terenu znatno utječe na intenzitet površinskog otjecanja, kao i na određene kemijske promjene sastava vode koja otječe, odnosno koncentraciju nitrata. Temeljem navedenog zaključujemo da je u cilju sprječavanja mogućih negativnih učinaka u okolišu (npr. onečišćenje površinskih i/ili podzemnih vodnih resursa), nužno sve agrokemijske zahvate na vinogradarskim površinama provoditi sukladno dobrim (održivim) poljoprivrednim praksama.

KLJUČNE RIJEČI: površinsko otjecanje, nitrati, oborine, vinograd, gnojidba

DYNAMICS OF SURFACE RUNOFF AND NITRATE CONCENTRATION FROM HILLSLOPE VINEYARD POSITION DUE TO DIFFERENT INTENSITY OF PRECIPITATION

ABSTRACT: Terrains with high relief, such as southern/south-western hillslope terrain positions, are among the most favourable areas for vine cultivation. Due to the sloping terrain, however, they are also susceptible to erosion and surface runoff, especially after intensive precipitation. One such site, the Jazbina experimental station located in the Zagreb County (UniZG Faculty of Agriculture, Department of Viticulture and Enology), with a pronounced slope (19 %) and inter-row grassing (mulching) practice, was selected for this research. In the research period from September 2018 – February 2019, surface runoff collectors were set up in the centre of the inter-row area of a 20-year old Pinot Blanc vineyard, where nitrates were applied. During the research in the vineyard, meteorological and vegetation parameters were continuously monitored at a meteorological station (Pinova). In addition to natural precipitation, different intensity precipitation events were simulated as well. Immediately after precipitation, the volume of surface runoff was measured and samples were taken for the analyses in an accredited laboratory (MELILAB, UniZG Faculty of Agriculture, Department of Soil Amelioration). The research results confirm that the precipitation intensity on the researched vineyard terrain significantly affects not only the surface runoff but also certain chemical changes in its composition, i.e. nitrate concentration. Our conclusion is that in order to prevent potential negative environmental impacts (e.g. surface and/or groundwater pollution), all agrochemical interventions on vineyard surfaces should be performed in accordance with good (sustainable) agriculture practice.

KEYWORDS: surface runoff, nitrates, precipitation, vineyard, fertilization

1. UVOD

U intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji na reljefno-razvijenim (nagnutim) terenima (vinogradi, voćnjaci, maslinici), primjena agrokemikalija (mineralnih gnojiva/zaštitnih sredstava) neposredno prije oborina većeg intenziteta može prouzročiti negativne posljedice u (agro)okolišu kao što je onečišćenje površinskih i/ili podzemnih vodnih resursa (Ondrašek, 2019). Pored navedenog, mineralna ishrana dušičnim hranivima, prije svega nitratnim oblicima (NO_3^-), u skladu sa dobrom poljoprivrednom praksom bi se trebala obavljati višekratno tijekom vegetacije u manjim količinama kako bi usvajanje, odnosno NO_3^- prihrana bila učinkovitija sa ekonomsko-ekološkog aspekta. Razlog tomu je taj što uslijed negativnog naboja, NO_3^- ioni posjeduju jedan od najslabijih sorpcijskih potencijala na organo-mineralne koloide tla, uslijed čega su podložni ispiranju iz površinskih u podpovršinske horizonte tla. Nadalje, NO_3^- prihrana se vrlo često u sklopu agrotehničkih operacija obavlja na samu poljoprivrednu površinu (tzv. površinsko deponiranje), bez dublje inkorporacije (deponiranja). U takvim uvjetima, čak i na blago nagnutim terenima (oko 10 %), ukoliko nedugo nakon (NO_3^-) prihrane padnu relativno veće količine oborina (>10 mm) jačeg intenziteta (uslijed kojeg je dodatno smanjena infiltracijska sposobnost tla), vrlo je vjerojatno da će NO_3^- (i ostale slične agrokemikalije) u većoj koncentraciji, putem slivnih površinskih voda (površinskim otjecanjem), dospjeti

u krajnje recipijente (melioracijske kanale, potoke, podzemne vodonosnike) i postati određena prijetnja (rizik) u okolišu (npr. Romić i sur., 2014; Ondrašek i sur., 2015). Da bismo ispitali navedenu pretpostavku, odnosno utvrdili utjecaj različitog intenziteta oborina na dinamiku površinskog otjecanja i koncentraciju nitrata u istim slivnim površinskim vodama, provedeno je istraživanje u agroekološkim uvjetima vinogradarske regije kontinentalne Hrvatske.

2. MATERIJALI I METODE

Za provedbu ovog istraživanja odabran je položaj sa izraženijim nagibom u vinogradu zagrebačkog vinogorja Jazbina, kojim gospodari Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za vinogradarstvo i vinarstvo (Slika 1 lijevo). U odabranom nasadu, starosti 20 godina konvencijalnim pristupom (redovita mineralna gnojidba i zaštita od bolesti/štetnika) se uzgaja sorta Pinot Bijeli pomoću jednostrukog Guyot uzgojnog oblika uz primjenu tehnologije međurednog travnatog malča (Slika 1).



Slika 1. Prikaz nasada vinograda na lokaciji Jazbina (lijevo) i postavljenog sakupljača površinskog otjecanja u međurednom prostoru neposredno prije uzorkovanja (desno)

Za potrebe istraživanja, u sredini međurednog prostora, u triplikatu su postavljeni sakupljači površinskog otjecanja (veličine 1m x 1m) na način da se sakupi površinsko otjecanje (slivne površinske oborinske vode) unutar sakupljača, a da se onemogući pritjecanje oborine/suspenzije tla van sakupljača (Slika 1 desno). Također, svaki sakupljač je postavljen na način da cjelokupan sadržaj površinskog otjecanja (volumen vode i suspenzije tla) bude sakupljen u ukopanom plastičnom spremniku (10 L) neposredno pored svakog sakupljača (Slika 1 desno). Neposredno nakon postavljanja sakupljača, na površini svakog sakupljača simulirana je NO_3^- gnojidba na način da je ručno (prskalicom) aplicirana vodena otopina amonij-nitratnog (NH_4NO_3) oblika dušika, ekvivalentna količini gnojidbe od 100 kg/ha. Tijekom istraživanja (listopad 2018. - veljača 2019.) neposredno nakon prirodnih i simuliranih (kišenjem) oborina je izmjeren volumen površinskog otjecanja i prikupljen prosječan uzorak iz svakog sakupljača za laboratorijsko utvrđivanje koncentracije NO_3^- .

Nagib terena na mjestu postavljenih sakupljača je izmjeren pomoću klinometra (Suunto PM-5) i izradom 3-D modela reljefa. 3-D model reljefa (Slika 1) je izrađen na način da je obavljeno snimanje terena pomoću bespilotne letjelice DJI Phantom 3 Advanced s kamerom Sony CMOS (1/2.3", 12.4 MP). Prilikom snimanja prikupljeno je 136 snimaka na prosječnoj visini leta od 30 m. Za obradu prikupljenih podataka korišten je softverski program Agisoft Photoscan. Za orijentaciju snimaka nisu korištene referentne točke na terenu već je rekonstrukcija dobivena pomoću poznatih koordinata vanjske orijentacije i automatski određenih točaka-poveznica (SfM).

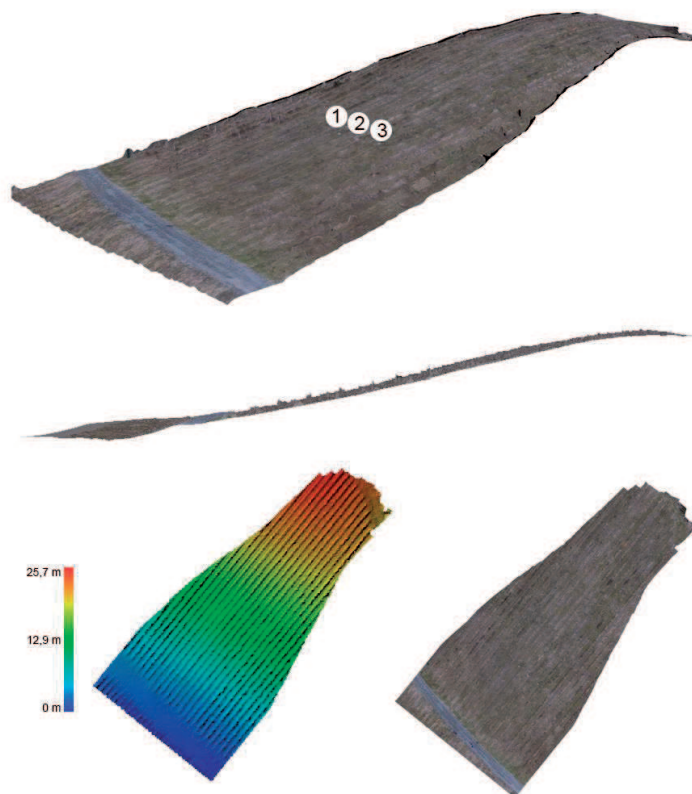
U svrhu analize klimatskih pokazatelja tijekom istraživanja korišteni su podaci s meteorološke stanice Pinova-meteo (Pinova d.o.o., Čakovec) koja je bila postavljena u neposrednoj blizini istraživanog vinograda.

Za određivanje pedoloških karakteristika tla uzet je prosječan uzorak u porušenom stanju te inoks cilindri (250 cm³) za određivanje hidrauličkih svojstava tla. Sva ispitivanja fizikalno-kemijskih i hidrauličkih karakteristika uzoraka tla i slivnih voda površinskog otjecanja su provedena u Analitičkom laboratoriju Zavoda za melioracije (MELILAB) Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

3. REZULTATI

Površinsko otjecanje (*eng. surface runoff*) je hidro(pedo)loški proces koji se javlja na reljefno razvijenim terenima (npr. Slika 1), te ga je moguće definirati kao udio oborina koji se ne infiltrira u solum tla nego otječe njegovom površinom (Ondrašek, 2019), eventualno uzrokujući eroziju (ovisno o pokrovu) i transport erodirane mase (suspenzije) tla niz padinu. Izravnim mjerenjima nagiba terena istraživanog vinograda Jazbina, utvrđeno je da na lokaciji postavljenih sakupljača površinskog otjecanja (klinometar Suunto PM-5) nagib terena iznosi 19 %, a što je potvrđeno i izradom 3-D modela reljefa (Slika 2). Na tako reljefno razvijenom terenu, moguće je očekivati relativno izraženije površinsko otjecanje uslijed intenzivnijih oborina, pogotovo ukoliko je površina tla bez vegetacijskog pokrova i/ili se plitko obrađuje, a što nije bio slučaj na istraživanoj lokaciji. Naime, upravo u cilju sprječavanja erozije tla na lokaciji Jazbina se provodi međuredna tehnologija travnatog malča čija uloga je višestruka (obogaćivanje tla organskom tvari, reduciranje zbijenosti tla, omogućavanje pravovremene zaštite od bolesti/štetnika, poticanje bioraznolikosti površinskog soluma itd).

Naime, prethodne pedološke analize na lokalitetu Jazbina (Bažon i sur., 2013; Ondrašek i sur., neobjavljeno) su potvrdila da je tlo eksperimentalnog područja Jazbina vrlo antropogenizirano te da prema recentnoj klasifikaciji tala Hrvatske (Husnjak, 2014) pripada redu semiterestričnih (semihidromorfnih) tala, razredu antropogenih semiterestričkih tala, tipu rigolano semiterestričko tlo (podtip: iz pseudogleja na padinama obronaka, varijetet: plitko rigolano). Miješanjem i homogeniziranjem više prirodnih horizonata dubokom obradom (rigolanjem) nastao je fizikalno-kemijski relativno homogeniji površinski antropogeni horizont rigosola, koji ovisno o poziciji vinograda na istraživanoj lokaciji varira po dubini od 40 do 70 cm. Istraživani podtip tla je zbog svojih nepovoljnih prije svega fizikalnih (slaba vodopropusnost, velika zbijenost tj volumna gustoća, povećani udio čestica praha i gline, nestabilna struktura) i kemijskih značajki (slaba opskrbljenost organskom tvari, povećana kiselost) (Husnjak, 2014; Ondrašek i sur., neobjavljeno) na nagnutim terenima vrlo sklon eroziji vodom. Također, pseudoglej obrončani (rigosol) s



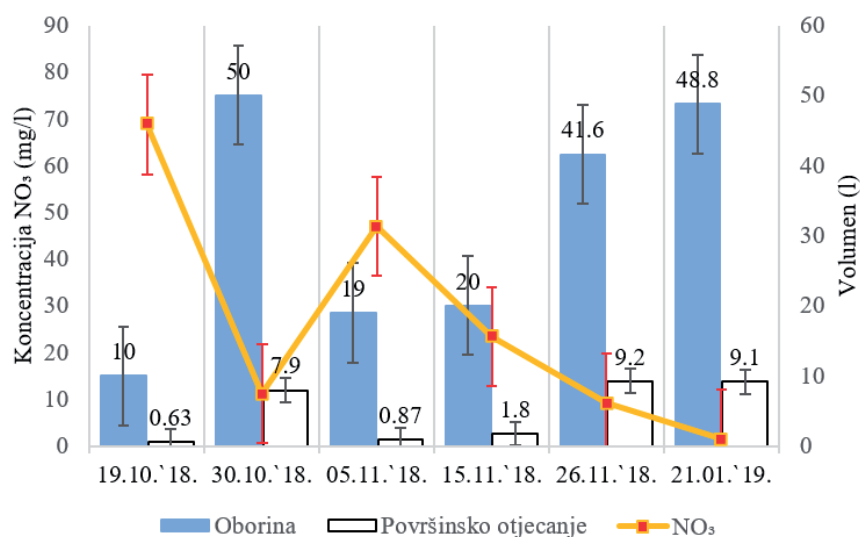
Slika 2. Prikaz različitih pozicija 3-D modela nasada vinograda na istraživanoj lokaciji Jazbina sa označenim mjestima (1, 2 i 3) postavljenih sakupljača površinskog otjecanja

izraženijim nagibom uglavnom se koristi za uzgoj vinove loze (i voća) te je pri uklanjanju navedenih pedoloških ograničenja i podizanju plodnosti tla, potrebno redovito provoditi agrotehničke i hidrotehničke mjere uređenja tla (Husnjak, 2014; Romić i sur., 2014). U ovome istraživanju smo se fokusirali samo na vrlo plitki površinski sloj tla (0-15), budući se na njemu odvija površinsko otjecanje, međutim potrebno je napomenuti da se on po većini fizikalno-kemijskih parametara bitno razlikuje od dubljih slojeva Ap horizonta (podaci nisu prikazani). Tijekom analize hidrauličkih parametara tla po pojedinim horizontima i na temelju rezultata provedenih mjerenja infiltracije vode (mini disk infiltrometar) utvrđene su niske vrijednosti hidrauličke provodljivosti tla (podaci nisu prikazani), ukazujući na opasnost od mogućeg površinskog otjecanja oborina. Utvrđena reakcija tla ($\text{pH}=6,94$) u analiziranom površinskom sloju je vrlo povoljna s aspekta vinogradarske proizvodnje, budući je na površini obavljena kalcifikacija terena (Tablica 1). Prema mehaničkom sastavu površinskog sloja tla utvrđen je povećan sadržaj čestica praha (68 %) i gline (25), dok je udio čestica pijeska gotovo zanemariv (7 %) te je tlo moguće okarakterizirati sa praškasto glinasto ilovastom teksturom (Tablica 1).

Tablica 1. Mehanički sastav i određeni kemijski parametri površinskog sloja tla na lokaciji Jazbina

Dubina (cm)	Parametri					
	pH (H ₂ O) 25°C	EC. (25°C) dS/m	Humus (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃ mg/kg
				mg/100g		
0 - 15	6,94	0,049	2,1	2,2	9,69	<3,54
	Mehanički sastav					
	Pijesak (2-0,063 mm)		Prah (0,063-0,002 mm)		Glina (< 0,002 mm)	
	7		68		25	

Tijekom perioda istraživanja na lokaciji Jazbina ukupna količina oborina je iznosila 193 mm (Slika 3). Ukupno je bilo šest oborinskih događanja, od kojih četiri prirodna i dva simulirana (kišenjem) (19.10. i 15.11.2018.) oborinska događaja različitog intenziteta (Slika 3) i trajanja (između 1 i 33 sata; podaci nisu prikazani). Prvi oborinski događaj (19.10.) je simuliran kišenjem kako bi se utvrdio učinak relativno veće količine oborina (10 mm) i jačeg intenziteta (u trajanju od svega 1 sata) na intenzitet površinskog otjecanja i koncentraciju nitrata neposredno nakon gnojidbe (Slika 3). Najviša koncentracija nitrata (gotovo 70 mg/l) u vodama površinskog otjecanja je utvrđena nakon prvog (simuliranog) oborinskog događaja, tj u prvom uzorku voda površinskog otjecanja (Slika 3).



Slika 3. Dinamika oborina i površinskog otjecanja (L) te koncentracije nitrata (mg/L) u uzorcima slivnih voda tijekom pojedinih oborinskih događaja u periodu istraživanja na lokaciji Jazbina

Međutim, u istome uzorku je utvrđena i relativno najmanja količina (volumen) površinskog otjecanja, od svega 0,63 mm (6,3 %). Nakon toga, u drugom oborinskom događaju koji je trajao 8 sati i prilikom kojeg je palo 50 mm oborina, količina površinskog otjecanja je iznosila 15,8 % (7,9 mm), a koncentracija nitrata svega 11 mg/L (Slika 3). Međutim, prilikom trećeg oborinskog događaja (05.11.) koji je trajao 9 sati i prilikom kojeg je palo 19 mm oborina, količina površinskog otjecanja je iznosila 4,6 % (0,87 mm), ali je koncentracija nitrata iznosila relativno (u odnosu na prethodni uzorak) visokih 47 mg/L (Slika 3).

Utvrđeni „skok“ (nagli porast) koncentracije nitrata u vodi površinskog otjecanja prilikom trećeg oborinskog događaja u odnosu na prethodni (drugi oborinski događaj), moguće je obrazložiti tzv. „efektom razrjeđenja“. Naime, relativno niska koncentracija nitrata u slivnim oborinskim vodama nakon drugog uzorkovanja (11 mg/L) je vrlo vjerojatno bila „razrijeđena“ u relativno velikom volumenu (7,9 L) slivnih voda. Suprotno, prilikom idućeg (trećeg) oborinskog događaja, volumen slivnih voda je iznosio samo 0,87 L te je iz tog razloga „koncentrirao“ relativno visok sadržaj nitrata (47 mg/L) u svome volumenu (Slika 3). Međutim, nakon trećeg oborinskog događaja, koncentracija nitrata u slivnim oborinskim vodama je kontinuirano opadala, s 23 mg/L (četvrti oborinski događaj) na svega 0,2 mg/L (zadnji oborinski događaj) (Slika 3), sugerirajući da se većina nitrata isprala prilikom prethodnih oborinskih događaja.

Na temelju iznesenog može se konstatirati kako su različiti intenzitet i količina oborina bitno utjecali na dinamiku koncentracije nitrata u slivnim oborinskim vodama vinograda. Površinsko otjecanje i erozija tla (Slika 1 desno) koja je također utvrđena tijekom pojedinih oborinskih događaja (podaci nisu prikazani) može stoga znatno utjecati i na kakvoću okolnih recipijenata slivnih voda (npr. melioracijski kanali, potoci, akumulacije, jezera, podzemne vode) na način da će se pojedine kemijske supstance, u ovome slučaju nitrati, odnosno erodirani an/organski koloidi tla istaložiti u njima i imati utjecaj na njih. Primjerice, povećanjem nitrata u površinskim vodnim resursima može dovesti do procesa antropogene eutrofikacije (Filipović i sur., 2014; Ondrašek i sur., 2015), dok povećana koncentracija nitrata u vodi (hrani) može imati niz negativnih učinaka na naše zdravlje (Bubalo, 2016) (detaljnije pojašnjeno kasnije).

U skladu s navedenim, dušik iz mineralnih i/ili organskih gnojiva koja se primjenjuju u poljoprivrednoj proizvodnji predstavlja jedan od glavnih pritisaka na vodne resurse u Europi (91/676/EEZ) i svijetu. Kako bi se zaštitili vodni resursi od štetnog djelovanja nitrata iz poljoprivrede kao potencijalnog izvora onečišćenja, 1991. je usvojena tzv. Nitratna direktiva, odnosno Direktiva Vijeća europske ekonomske zajednice o zaštiti voda od onečišćenja koje uzrokuju nitrati poljoprivrednog podrijetla (91/676/EEZ). Naime, povećana koncentracija nitrata u vodama i hrani predstavlja potencijalan rizik za zdravlje ljudi. Utvrđeno je u brojnim studijama da povećana koncentracijom nitrata u vodi za piće može u ljudskome organizmu uzrokovati razna akutna i/ili kronična (kancerogeno) oboljenja (Nujić i Habuda-Stanić, 2017). Iz tog razloga su maksimalno dopuštene koncentracije nitrata u vodi za piće na nacionalnoj razini (50 mg/L) regulirane Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/2008). Također, određeni standardi, indeksi i pokazatelji (koncentracije nitrata i dr.) kakvoće površinskih voda (uključivo podzemne vode i vode Jadranskog mora) su definirani Uredbom o standardu kakvoće voda (NN 73/2013; NN 78/2015). Potrebno je napomenuti kako su utvrđene

koncentracije nitrata u površinskim slivnim vodama povremeno, tijekom perioda istraživanja premašile (prvi oborinski događaj sa 69 mg/L), odnosno gotovo dosegle (treći oborinski događaj s 47 mg/L) maksimalno dopuštenu koncentraciju nitrata u vodi za piće (Slika 3). Također, prema kategorizaciji Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 73/2013; NN 78/2015) u većem broju uzoraka slivnih voda iz vinograda koncentracija nitrata je bila višestruko veća od graničnih vrijednosti (1,5 mg N/L) za kategoriju dobrog ekološkog stanja površinskih voda.

Bez obzira na relativno veliku koncentraciju jednokratno apliciranih nitrata u ovome istraživanju (100 kg/ha), činjenica je da na istraživanom lokalitetu postoje prirodni klimatski (npr. relativno izraženije i intenzivnije oborine) i pedološki (duboko obrađena antropogena tla na nagnutim pozicijama) uvjeti koji favoriziraju površinsko otjecanje (npr. >22 % tijekom petog oborinskog događaja). Iz tog razloga je potrebno agrotehničke mjere gnojidbe provoditi sukladno načelima dobre poljoprivredne prakse kako bi se smanjio/izbjegao rizik onečišćenja vodnih (i ostalih okolišnih) resursa nitratima iz poljoprivrede.

ZAKLJUČAK

Vinogradarski položaji kontinentalnog i mediteranskog dijela Hrvatske uglavnom su pozicionirani na reljefno razvijenim (nagnutim) terenima te su stoga vrlo podložni izraženijem površinskom otjecanju slivnih voda i eroziji tla. Iz tog razloga u kontinentalnom dijelu vrlo često se primjenjuje agrotehnička mjera međurednog zatravnjivanja (malča) vinograda. U sklopu provedenih istraživanja u zagrebačkom vinogorju Jazbina odabrana je nagnuta ploha vinograda sa međurednim travnatim malčem na kojoj je aplicirana jednokratna doza N-gnojiva, te je praćena dinamika oborina, površinskog otjecanja i koncentracija nitrata u slivnim površinskim vodama. Utvrđeno je da ovisno o intenzitetu oborinskih događaja površinsko otjecanje može varirati između 5 i >22 %, a koncentracija nitrata u slivnim vodama može doseći i gotovo 70 mg/L. Rezultati istraživanja jasno ukazuju da je agrotehničku mjeru gnojidbe na lokacijama s izraženim nagibom, a posebice potencijalno štetnih nitratnih oblika N-gnojiva, nužno obavljati u skladu s načelima dobre poljoprivredne prakse s ciljem da se spriječe rizici onečišćenja voda i tala nitratima.

LITERATURA

- [1] Bažon, I., Bakić, H., Romić, M. (2013): *Soil geochemistry as a component of terroir of the wine-growing station Jazbina*, Zagreb. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 78(2): 95-106.
- [2] Bubalo Kovačić, M. (2016.): *Model predviđanja koncentracije nitrata u podzemnim vodama pod utjecajima iz poljoprivrede*, Doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Zagreb.
- [3] Filipović, V., Petošić, D., Nakić, Z. (2013): *Prisutnost nitrata u podzemnim vodama; izvori i procesi*, Hrvatske vode, 119-128.
- [4] Husnjak, S. (2014): *Sistematika tala Hrvatske*. Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb.
- [5] NN 73/2013 (18.6.2013.), Uredba o standardu kakvoće voda.

- [6] NN 78/2015 (17.7.2015.), Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće vode.
- [7] Nitratna direktiva (91/676/EEC).
- [8] Nujić Marija, Habuda-Stanić Mirna. (2017.): *Nitrates and nitrites, metabolism and toxicity*. Hrana u zdravlju i bolesti, 6 (2017), 2; 63-72.
- [9] Ondrasek, G. (2019): *Irrigation in Agroecosystems*. DOI: 10.5772/intechopen.73607. IntechOpen, London, UK.
- [10] Ondrašek, G, Petošić, D, Mustać, I, Filipović, V, Petek, M, Lazarević, B, Bubalo, M. (2015): *Voda u agroekosustavima*. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb, 344 str.
- [11] Romić, D., Husnjak, S., Mesić, M., Salajpal, K., Barić, K., Poljak, M., Romić, M., Konjačić, M., Vnučec, I., Bakić, H. et al. (2014): *Utjecaj poljoprivrede na onečišćenje površinskih i podzemnih voda u Republici Hrvatskoj*, Hrvatske vode, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet.

AUTORI

prof.dr.sc. Gabrijel Ondrašek ^a

doc.dr.sc. Monika Zovko ^a

doc.dr.sc. Vilim Filipović ^a

dr.sc. Lana Filipović ^a

Filip Kranjčec mag.ing.agr. ^a

dr.sc. Marina Bubalo Kovačić ^a

Nada Maurović dipl.ing. ^a

doc.dr.sc. Željko Andabaka ^b

prof.dr.sc. Edi Maletić ^b

Vedran Krevh mag.ing.agr. ^a

prof.dr.sc. Davor Romić ^a

^a Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet Zavod za melioracije, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, gondrasek@agr.hr, mzovko@agr.hr, vfilipovic@agr.hr, lfilipovic@agr.hr, fkranjcec@agr.hr, mbubalo@agr.hr, nmaurovic@agr.hr

^b Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet Zavod za vinogradarstvo i vinarstvo, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, zandabaka@agr.hr, emaletic@agr.hr, vkrevh@agr.hr, dromic@agr.hr



R 2.26.

UČINKOVITOST CIJEVNE DRENAŽE NA PSEUDOGLEJU MJERENA U 20-GODIŠNJEM RAZDOBLJU

Milan Mesić, Željka Zgorelec, Aleksandra Perčin,
Ivana Šestak, Marija Galić

SAŽETAK: Na terenskom pokusu s različitim količinama mineralnog dušika (0, 100, 150, 200, 250 i 300 kg N ha⁻¹) mjereno je drenski istek u razdoblju od listopada 1997. do prosinca 2018. godine. Provedena je usporedba prosječnog drenskog isteka iz 20 drenskih cijevi sa izračunatim viškovima vode. Tip tla na kojem je provedeno istraživanje je Pseudoglej ravničarski, hidromelioriran cijevnom drenažom, s Ach + Ecg - Ecg - Btg slijedom horizonata tla. Plodosmjena je uključivala četiri kulture: kukuruz, ozimu pšenicu, uljanu repicu i soju. Pokusni gnojidbeni tretmani bili su: 1. Kontrola-negnojeno, 2. N0 PK, 3. N100 PK, 4. N150 PK, 5. N200 PK, N250 PK, N250 PK + fosfogips, N250 PK + Zeolit tuf + CaCO₃, 9. N300 PK i 10. Crni ugar. Prosječna godišnja (1965.-1990.) količina oborina za najbližu meteorološku postaju iznosi 865 mm godišnje. U razdoblju istraživanja prosječna količina oborina iznosila je 795 mm godišnje. Godišnje variranje izmjerene količine isteka mijenjalo se tijekom razdoblja istraživanja od minimalno 0 mm u 2011. godini do maksimalno 245 mm u 2001. godini. Na temelju prikupljenih podataka, prosječni drenski istek iznosio je 14,6 % prosječne količine oborine izmjerene na pokusnom polju. U usporedbi s viškom vode, drenaža je uklonila je 45,8 % viška vode iz polja.

KLJUČNE RIJEČI: učinkovitost cijevne drenaže, pseudoglej, evapotranspiracija, višak vode

EFFICIENCY OF PIPE DRAINAGE ON PSEUDOGLEY MEASURED IN A 20-YEAR PERIOD

ABSTRACT: In a field trial with different quantities of mineral nitrogen (0, 100, 150, 200, 250 and 300 kg N ha⁻¹), drain discharge was measured in the period from October 1997 to December 2018. A comparison was made between the average drain discharge from 20 drain pipes and the calculated excess water. The soil type on which the research was conducted was lowland pseudogley, hydroameliorated using pipe drainage, with Ach + Ecg - Ecg - Btg sequence of soil horizons. The crops rotation included four crops: maize, winter wheat, rapeseed and soy. The trial fertilizer treatments were: 1) control – unfertilized; 2) N0 PK; 3) N100 PK; 4) N150 PK; 5) N200 PK; 6) N250 PK; 7) N250 PK + phosphogypsum; 8) N250 PK + zeolitic tuff + CaCO₃; 9) N300 PK and 10) black fallow. The average

annual precipitation quantity (1965-1990) at the nearest meteorological station was 865 mm per year. In the research period, the average annual precipitation quantity equalled 795 mm per year. The measured discharge ranged during the research period from a minimum of 0 mm in 2011 to a maximum of 245 mm in 2001. Based on the collected data, the average drain discharge was 14.6 % of the average precipitation quantity measured in the test plot. In view of excess water, drainage removed 45.8 % of it from the field.

KEYWORDS: efficiency of pipe drainage, pseudogley, evapotranspiration, excess water

1. UVOD

Voda kao izuzetno važan prirodni resurs predstavlja ključ održivog razvoja. U prirodnim uvjetima, predstavlja sastavni dio tla, gdje je poznavanje vodnih obilježja samog tla temelj svih hidrotehničkih ili agrotehničkih melioracijskih zahvata s ciljem održavanja vodozračnog režima (Petošić, 2015). Tla gdje se pojavljuje nemogućnost obrade zbog prekomjernog sadržaja vode mogu se učinkovito razviti u obradiva poljoprivredna zemljišta primjenom hidro i agro-meliorativnih tretmana (Tomić i drugi, 2002). Stoga, pojam podzemne odvodnje podrazumijeva odvođenje suvišnih voda s poljoprivrednog zemljišta uz pomoć podzemnih odnosno drenažnih cijevi, uz očekivano trajno poboljšanje tla za uzgoj različitih poljoprivrednih kultura. Danas se brojna istraživanja baziraju na primjeni podzemne drenaže u svrhu smanjenja saliniteta tla, poboljšanju karakteristika tla i povećanju prinosa usjeva (Botcher i drugi, 1981; Skaggs i Tibrizi, 1982; Hornbuckle i drugi, 2007). Opravdano djelovanje drenažnih cijevi kroz povećanje prinosa ispitivanih usjeva istraženo je od strane nekoliko autora (Tomić i drugi, 1994; Šimunić, 1995). Ritzema (2008) i Ghumman (2010) zabilježili su smanjenje EC vrijednosti korištenjem drenažnog sustava odvodnje za 50 % i 17 %. Razmak drenskih cijevi odnosno razmak na kojem je potrebno ugraditi drenažu, smatra se jednim od ključnih elemenata kod samog postavljanja (Petošić, 2015). Tako su Tomić i drugi (2002) ispitivali utjecaj različitih razmaka između odvodnih cijevi na prinos ratarskih kultura te zabilježili zadovoljavajuće prinose pri razmaku cijevi od 15 metara.

S obzirom da se odvodnja smatra važnom praksom upravljanja vodama te predstavlja sastavni dio učinkovitih sustava proizvodnje usjeva, produktivnost poljoprivrednih zemljišta može se održati i poboljšati samo ako se provode postupci odvodnje na zemljištima pod usjevima koja su trenutno pogođena viškom vode i visokim vodostajima. Stoga, cilj ovog istraživanja bio je prikazati utjecaj cijevne drenaže na uklanjanje viška vode iz poljoprivrednog tla tokom dvadesetogodišnjeg perioda.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Lokacija istraživanja i pokusne varijante

U radu su prikazani podatci o drenskom isteku sa višegodišnjeg poljskog pokusa postavljenog u Potoku, Popovača, na tabli T-9 još 1996. godine. Tip tla na kojemu je provedeno istraživanje je ravničarski, distrični, drenirani pseudoglej. Pokus je postavljen tako da se površina koju zauzima pojedina pokusna varijanta dijeli u četiri ponavljanja, odnosno u četiri parcele. Veličina pokusne parcele uvjetovana je razmakom drenskih cijevi, kao i s njihovom dužinom. Zbog stagnacije vode u profilu tla, drenske cijevi postavljene su na

prosječnoj udaljenosti od 20 metara. Svaka varijanta uključuje dvije drenske cijevi, jednu sa i jednu bez filter materijala. Veličina osnovne parcele za svaku varijantu je 30 x 130 m, uključujući međuprostore. Ukupna površina pokusa je 39.000 m², a zajedno sa zaštitnim pojasom površina pokusa iznosi 44 800 m².

Pokus sadrži 10 varijanti sa šest rastućih količina primijenjenog mineralnog dušika u rasponu od 0 do 300 kg N ha⁻¹ te konstantnim količinama fosfora (120 kg P ha⁻¹) i kalija (180 kg K ha⁻¹) koje su primijenjene na svim varijantama osim kontrolne. Pokusne varijante su: (i) Kontrola, (ii) N0+P+K, (iii) N100+P+K, (iv) N150+P+K, (v) N200+P+K, (vi) N250+P+K, (vii) N250+P+K + fosfogips, (viii) N250+P+K+Zeolitni tuf+ CaCO₃, (ix) N300+P+K te (x) Crni ugar – obrada bez sjetve i gnojidbe. Osim hraniva (N, P, K) na sedmoj varijanti tlu je u razmaku od šest godina (1996., 2002. i 2009.) dodan i fosfogips u iznosu od 12 t/ha. Od 2013. godine, umjesto fosfogipsa, u primjenu je uvršten dolomit. Na osmoj varijanti uz hraniva se svake tri godine primjenjuje i zeolitni tuf u kombinaciji sa CaCO₃ u količini od 3 t/ha i to prije osnovne obrade tla.

Test kulture ovisne o plodoredu u razdoblju od 1997. do 2018. godine bile su: kukuruz (*Zea Mays* L.): 1999., 2004., 2007., 2013., 2015., 2017.; uljana repica (*Brassica napus* L.): 1998., 2001., 2009., 2011.; soja (*Glycine* L. max): 2002., 2005., 2018. i ozima pšenica (*Triticum aestivum* L.): 1997., 2000., 2003., 2006., 2008., 2010., 2012. i 2016.

Za ovaj rad korišteni su prosječni isteci svih 20 drenskih cijevi, što u stvari predstavlja 20 ponavljanja, što govori da su podatci vrlo pouzdani. Istek je mjereno ručno na dnevnoj osnovi tijekom razdoblja postojanja drenskog isteka.

2.2. Klimatska obilježja područja

Klima istraživanog područja je umjereno kontinentalna. U uvjetima takve klime, vrlo su dobre mogućnosti uzgoja najvažnijih ratarskih kultura. Prikaz klime temelji se na prosječnim vrijednostima meteoroloških pokazatelja za meteorološku postaju Sisak, za razdoblje od 1965. – 1990. godine (Tablica 1). Na temelju višegodišnjeg prosjeka i rasporeda količine oborina, srednja količina oborina za istraživano razdoblje iznosila je 865 mm godišnje, dok je prosječna temperatura zraka iznosila 10,7 °C što bi značilo da područje pripada umjereno toploj vlažnoj klimi.

Tablica 1. Prikaz srednjih količina oborina (mm) te prosječnih temperatura zraka (°C) za razdoblje od 1965. - 1990. godine, Sisak

1965-90.	Srednje količine oborina (mm) i prosječne temperature zraka (°C)												Suma/ Prosjek
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
mm	53	51	59	73	80	90	77	85	80	63	87	65	865
°C	-0,2	2,0	6,6	11,0	15,9	19,0	20,8	19,8	16,1	10,8	5,3	1,4	10,7

Količina oborina na lokaciji istraživanja u razdoblju od 1997. do 2018. godine prikazana je u tablici 2. Uspoređujući količine jednogodišnjih suma oborina za pojedine godine u istraživanom periodu uočava se da su tri godine (1998., 2010. i 2014.) u prosjeku zabilježile 27,7 % više oborina u odnosu na prosječnu sumu oborina u referentnom periodu (1965.-1990.). U 2011. godini zabilježena je najmanja pojedinačna suma oborina i iznosila je 385 mm što je u odnosu na količinu oborina u referentnom razdoblju (865 mm)

ekvivalentno smanjenju od 55,5 %. Prvi istek vode iz drenskih cijevi zabilježen je sredinom studenog 1997. godine, a posljednji početkom travnja 2018. godine.

Tablica 2. Količina oborina na lokaciji istraživanja u razdoblju od 1997. do 2018. godine

Godina	Oborine, mm												Suma
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1997.	44	55	24	46	73	81	103	63	30	76	127	86	807
1998.	65	23	58	59	103	107	121	87	174	120	102	49	1067
1999.	36	36	24	112	92	74	80	67	67	47	59	79	772
2000.	26	49	72	125	28	48	58	3	82	49	96	79	814
2001.	88	4	102	60	35	121	35	44	197	15	78	35	814
2002.	16	49	32	135	79	63	90	78	112	67	114	41	876
2003.	54	16	8	27	40	29	63	38	91	94	46	7	512
2004.	52	40	51	125	67	101	52	54	97	124	58	46	867
2005.	8	48	55	50	67	66	83	148	83	10	36	91	745
2006.	23	28	33	79	72	42	54	139	38	21	52	41	618
2007.	63	43	82	1	95	28	36	30	141	108	73	49	749
2008.	10	2	74	30	14	108	71	57	95	66	48	85	659
2009.	61	19	40	30	54	73	64	30	29	76	61	65	602
2010.	84	56	60	47	124	170	108	113	167	43	99	48	1120
2011.	8	11	23	21	26	53	44	37	39	60	0	64	385
2012.	23	39	12	35	119	79	23	7	102	76	71	105	692
2013.	117	72	117	60	66	32	57	40	144	38	149	2	893
2014.	40	110	32	129	154	66	93	87	180	133	49	58	1128
2015.	76	78	28	56	177	43	33	38	97	170	34	3	831
2016.	95	121	86	30	96	97	62	90	58	77	98	0	910
2017.	34	50	46	49	99	129	62	45	153	80	76	104	926
2018.	59	115	110	30	112	126	51	56	62	26	52	25	825
Prosjeck	49	48	53	61	82	79	66	61	102	72	72	53	795

Izvor: DHMZ (1997-2018), Meteorološka postaja Sisak

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

3.1. Evapotranspiracija prema metodi Thornthwaite-a

Evapotranspiracija je vrlo važan proces unutar vodnog režima tla. Predstavlja onu količinu vode koja se gubi iz tla procesima evaporacije i transpiracije s određene površine u određenom vremenu. Biljke mogu ostvariti maksimalnu potrošnju vode samo u optimalnim uvjetima opskrbljenosti tla vodom. Ti uvjeti predstavljaju potencijalnu evapotranspiraciju (PET), dok u uvjetima nedostatka vode, stvarno utrošena količina vode u tlu je manja od potencijalne i predstavlja stvarnu evapotranspiraciju (SET).

Bilanciranje vode u tlu provedeno je prema metodi Thornthwaite-a, a određene su potencijalna i stvarna evapotranspiracija, te manjak i višak vode čije su ukupne sume vrijednosti za svaku istraživanu godinu prikazane u Tablici 3.

Prema prosječnim vrijednostima za referentno razdoblje, stvarna evapotranspiracija iznosi 654,6 mm godišnje, a manjak vode javlja se u kolovozu i rujnu, u ukupnom iznosu 27,5 mm. Višak vode javlja se najvećim dijelom tijekom zimskih mjeseci te početkom proljeća zaključno s travnjem, a iznosi ukupno 210,8 mm.

Prema prosječnim vrijednostima za istraživano 20-godišnje razdoblje, stvarna evapotranspiracija iznosi 766,2 mm, a manjak vode javlja se tijekom svih godina osim 1998., 2010. i 2014. i iznosi 156,0 mm. Višak vode zabilježen je tijekom svih godina (263,5 mm) (Tablica 3).

Tablica 3. Suma evapotranspiracije za istraživano razdoblje od 1997. do 2018. godine

Suma evapotranspiracije od 1997. do 2018. godine												
	1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.
PET	704,0	724,1	726,3	764,2	733,0	738,3	761,0	696,7	693,8	723,5	755,4	736,8
R	723,1	1030,1	680,7	622,2	816,3	789,0	661,1	861,6	668,9	592,9	747,2	616,3
SET	582,8	724,1	632,1	496,6	571,7	646,3	426,1	605,4	639,3	577,7	461,2	562,9
M	121,2	0,0	94,3	267,6	161,3	92,0	334,9	91,3	54,6	145,7	294,2	173,9
V	223,9	343,3	140,1	216,9	242,1	229,9	86,3	261,1	105,2	82,5	287,9	95,6
	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	Suma	Prosjek
PET	750,5	720,9	735,6	762,9	722,6	734,6	744,6	731,1	667,7	763,5	16091,1	766,2
R	580,1	1050,5	473,9	769,0	812,4	1121,7	864,7	876,7	708,9	556,3	16623,6	791,6
SET	480,1	720,9	394,7	575,8	568,2	734,6	630,5	684,9	565,4	611,8	12893,0	614,0
M	270,4	0,0	340,9	187,1	154,4	0,0	114,2	46,2	179,6	151,7	3275,5	156,0
V	121,4	563,5	14,4	235,0	503,7	716,1	375,5	339,2	93,1	256,9	5533,7	263,5

3.2. Drenski istek

Prosječni izmjereni drenski istek za razdoblje istraživanja bio je 122 mm godišnje (Tablica 4). Prosječna godišnja količina oborina mjerena na lokaciji istraživanja iznosi 834 mm. Prosječni višak vode izračunat prema metodi Thornthwaite-a iznosi 265 mm. Godišnje variranje izmjerenog isteka mijenjalo se tijekom razdoblja istraživanja od minimalno 0 mm u 2011. godini do maksimalno 245 mm u 2001. godini. Prosječno gledajući, cijevnom drenažom je svake godine otišlo 14,6 % vode. Tijekom dugogodišnjeg istraživanja, zabilježeni su određeni ekstremi viška vode. Ti ekstremi pripisuju se većim količinama oborina krajem godine u zimskim mjesecima, koji su se zbog veće količine snijega i tendencije njegovog otapanja nakon procjeđivanja manifestirali u narednoj godini.

Tablica 4. Relacija između oborina, drenskog isteka i računski dobivenog viška vode

Godina	Oborine (mm)	Drenski istek (mm)	ET VV	VV = 100 (%)	O = 100 (%)
1997.	807	116	224	51,8	14,4
1998.	1067	240	343	69,9	22,5
1999.	772	244	140	174,1	31,6
2000.	714	124	217	57,2	17,4
2001.	814	245	242	101,2	30,1
2002.	876	164	230	71,3	18,7
2003.	512	51	86	59,1	10,0
2004.	867	182	261	69,7	21,0
2005.	745	141	105	134,0	18,9
2006.	618	53	82	64,3	8,6
2007.	749	78	288	27,1	10,4
2008.	659	77	96	80,5	11,7
2009.	602	91	121	75,0	15,1
2010.	1120	85	564	15,1	7,6
2011.	385	0	14	0,0	0,0
2012.	692	13	235	5,5	1,9
2013.	893	146	504	29,0	16,3
2014.	1128	209	716	29,2	18,5
2015.	813	88	376	23,4	10,8
2016.	910	91	339	26,8	10,0
2017.	926	29	93	31,1	3,1
2018.	825	83	257	32,3	10,1
Prosjek	834	122	265	45,8	14,6

ZAKLJUČAK

U terenskom pokusu s različitim količinama mineralnog dušika (0, 100, 150, 200, 250 i 300 kg Nha⁻¹) mjeren je drenski istek. Provedena je usporedba prosječnog drenskog isteka iz 20 drenskih cijevi na površini od 4 ha sa izračunatim viškovima vode, na temelju modela izračuna evapotranspiracije prema Thornthwaite-u. Istraživanje je provedeno na Pseudoglej ravničarskom, hidromelioriran cijevnom drenažom, s Ach + Ecg - Ecg - Btg slijedom horizonata tla. Zbog stagnacije vode u tlu ugrađene su drenske cijevi na prosječnoj udaljenosti od 20 m.

Ukupno je analiziran istek iz 20 drenskih cijevi u razdoblju od 20 godina (1998. - 2018.). Istek je mjeren ručno na dnevnoj osnovi tijekom razdoblja postojanja drenskog isteka. Plodosmjena je uključivala kukuruz, ozimu pšenicu, uljanu repicu i soju. Pokusni gnojidbeni tretmani bili su: 1. Kontrola-negnojeno, 2. N0 PK, 3. N100 PK, 4. N150 PK, 5. N200 PK, N250 PK, N250 PK + fosfogips, N250 PK + Zeolit tuf + CaCO₃, 9. N300 PK i 10. Crni ugar.

Prosječna godišnja (1965-1990) količina oborina za najbližu meteorološku postaju iznosi 865 mm godišnje. U razdoblju istraživanja (1998.-2018.) prosječna količina oborina izm-

jerena na lokaciji istraživanja iznosila je 795 mm godišnje.

Prosječan višak vode prema metodi Thonthwaith-a iznosio je 265 mm godišnje. Prosječni izmjereni drenski istek za razdoblje istraživanja bio je 122 mm godišnje. Godišnje variranje izmjerene isteka mijenjalo se tijekom razdoblja istraživanja od minimalno 0 mm u 2011. godini do maksimalno 245 mm u 2001. godini.

Na temelju podataka prikupljenih u 20-godišnjem razdoblju, prosječni drenski istek bio je 122 mm i iznosio je 14,6 % prosječne količine oborine izmjerene na pokusnom polju. U usporedbi s viškom vode izračunatom po modelu Thornthwaith-a, drenaža je uklonila je 45,8 % viška vode iz polja.

LITERATURA

- [1] Tomić, F, Šimunić, I, Petošić, D, Romić, D, Šatović, Z, (2002): *Effect of Drainpipe Spacing on the Yield of Field Crops Grown on Hydroameliorated Soil*, *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 67 (2), 101-105.
- [2] Petošić, D, (2015): *Drenaža*, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb, 219.
- [3] Tomić, F, Petošić D, Šimunić I, (1994): *Reguliranje suvišnih voda tla u svrhu ostvarivanja održive poljoprivrede*, *Poljoprivredne aktualnosti*, 30 (3-4), 295-310.
- [4] Šimunić, I, (1995): *Reguliranje suvišnih voda tla kombiniranom detaljnom odvodnjom u Lonjskom Polju*, *Poljoprivredna znanstvena smotra*, 60, (3-4), 279-306.
- [5] Botcher, A, B, Monke, E, J, Huggins, L, F, (1981): *Nutrient and sediment loadings from a subsurface drainage system*, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 24 (5), 1221-1226.
- [6] Skaggs, R, W, Tibrizi, A, N, (1982): *Effect of Drainage System Design on Surface and Subsurface Runoff from Artificially Drained Lands*, *Proc. Inst. Symp. Rainfall-Runoff Modeling*, Mississippi State University, 142-157.
- [7] Hornbuckle, J, W, Christen, E, W, Faulkner, R, D, (2007): *Evaluating a multi-level subsurface drainage system for improved drainage water quality*, *Agricultural water management*, 89 (3), 208-216.
- [8] Ritzema, H, P, Satyanarayana, T, V, Raman, S, Boonstra, J, (2008): *Subsurface drainage to combat waterlogging and salinity in irrigated lands in India: Lessons learned in farmers' fields*, *Agricultural Water Management*, 95 (3), 179-189.
- [9] Ghumman, A, R, Ghazaw, Y, M, Niazi, M, F, (2010): *Impact assessment of subsurface drainage on waterlogged and saline lands*, *Environmental Monitoring and Assessment*, 172 (1-4), 189-197.

AUTORI

prof.dr.sc. Milan Mesić ^a

izv.prof.dr.sc. Željka Zgorelec ^a

doc.dr.sc. Aleksandra Perčin ^a

doc.dr.sc. Ivana Šestak ^a

mag.ing.agr. Marija Galić ^a

^a Agronomski fakultet Sveučilište u Zagrebu, Zavod za opću proizvodnju bilja, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, mmesic@agr.hr, zzgorelec@agr.hr, apercin@agr.hr, isestak@agr.hr, mcacic@agr.hr



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE NA INVESTICIJSKOM VALU

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

R 2.27.

**SIMONA – PROJEKT USPOSTAVE SUSTAVA NADZORA
KAKVOĆE DRENAŽNOG SEDIMENTA
DUNAVSKOG SLIJEVA**

**Danijel Ivanišević, Ivan Mišur, Ana Čaić Janković, Ajka Šorša,
Josip Halamić, Đorđa Medić, Jasmina Antolić, Aleksandra Kovačević,
Jelena Vićanović**

SAŽETAK: Projekt SIMONA (eng. *Sediment-quality Information, MONitoring and Assessment system to support transnational cooperation for joint Danube Basin water management*) je Interreg projekt u okviru Programa međunarodne suradnje na području dunavskog slijeva. Dunavski slijev je sustav vodotoka koji se proteže kroz 19 europskih država, stoga je međunarodna suradnja jedino rješenje za kvalitetno i odgovorno upravljanje vodnim resursima tog slijeva. U projektu sudjeluje ukupno 29 institucija partnera iz 14 europskih zemalja. Dio njih čine znanstvene institucije, dok se dio odnosi na institucije zadužene za upravljanje vodama na državnoj razini.

Svrha projekta je uspostava zajedničkog, međunarodnog sustava nadzora kakvoće drenažnog sedimenta, pri čemu se kakvoća odnosi na sadržaj prioriternih anorganskih i organskih tvari propisanih Okvirnom direktivom o vodama Europske Unije. Cilj projekta je uskladiti i normirati protokole uzorkovanja, laboratorijskih analiza i procjene kakvoće drenažnog sedimenta, u svim državama koje sudjeluju u projektu. Također, cilj je izraditi mrežnu aplikaciju koja će služiti kao sustav za unos i procjenu podataka.

Zajednički sustav nadzora omogućit će cjelovitu procjenu stanja kakvoće drenažnog sedimenta na području dunavskog slijeva, kao i razmjenu i usporedbu podataka među državama članicama projekta. Također, omogućit će pristup podacima i drugim zainteresiranim istraživačima.

KLJUČNE RIJEČI: projekt SIMONA, Okvirna direktiva o vodama, dunavski slijev, drenažni sediment

SIMONA PROJECT – ESTABLISHING QUALITY MONITORING SYSTEM FOR DRAINAGE SEDIMENT IN THE DANUBE BASIN

ABSTRACT: The SIMONA project (Sediment-quality Information, MONitoring and Assessment system to support transnational cooperation for joint Danube Basin water management) is an Interreg project under the Danube Transnational Programme. The Danube

river basin is a system of watercourses extending across 19 European countries, thus international cooperation is the only solution for the quality and responsible management of its water resources. 29 partner institutions from 14 European countries are participating in the project. Some of them are represented by scientific institutions while the rest are institutions responsible for water management at the national level.

The purpose of the project is to establish a common, international monitoring system for drainage sediment quality, whereby the quality refers to the content of priority inorganic and organic substances proscribed under the EU Water Framework Directive. The project's objective is to harmonise and standardise the sampling protocols, laboratory analyses and evaluation of drainage sediment quality in all participating countries. It further aims to create a web application that will serve as a data entry and evaluation system.

The joint monitoring system will allow a comprehensive evaluation of drainage sediment quality in the Danube river basin as well as the exchange and comparison of data among the participating countries. It will also provide data access to other interested researchers.

KEYWORDS: SIMONA project, Water Framework Directive, Danube river basin, drainage sediment

1. UVOD

Vodne ekosustave, izuzev samog biljnog i životinjskog svijeta, čini i okolina u kojima ti organizmi žive i s kojom su u neprestanom međudjelovanju. Tu okolinu izravno čine voda i sediment. Europska unija (EU) je 2000. godine donijela Okvirnu direktivu o vodama (ODV; eng. *Water Framework Directive*), koja je nastala kao odgovor na potrebu država EU za jedinstvenim zakonodavnim okvirom, koji bi prvenstveno zaštitio vodne ekosustave i omogućio unaprjeđenje njihova stanja (Europska komisija, 2000). U skladu s tim, predložen je popis prioriternih tvari (eng. *priority substances*) koje mogu utjecati na kakvoću vodnih ekosustava. Popis je od tada nadopunjen i danas sadrži 45 prioriternih tvari. Uz popis, utvrđene su i odgovarajuće granične vrijednosti koncentracija prioriternih tvari koje se odnose na vodu kao medij (Europska komisija, 2013). U okviru direktive o standardima kvalitete okoliša u području vodne politike (Europska komisija, 2008) isto se preporuča i za drenažni sediment, za koji granične vrijednosti još uvijek nisu utvrđene. Potrebu za tim dodatno opravdava onečišćenje drenažnog sedimenta utvrđeno u okviru projekata *The Joint Danube Surveys 1 i 2*.

Provedba ODV zahtijeva savladavanje mnogih prepreka, poput prekogranične suradnje država članica EU, ali i država članica EU i susjednih država. Primjerice, ODV preporuča upravljanje vodama po jedinicama sljevova ili drenažnih bazena (eng. *catchment* ili *drainage basin* ili *watershed*), koji predstavljaju važnu referentnu jedinicu za praćenje stanja i gospodarenja okolišem (Vogt, 2007). Granice sljevova nisu uvijek unutar jedne države, već se često radi o regionalnim sljevovima koji obuhvaćaju područja više država. Primjer takvog sljjeva je i onaj rijeke Dunav (*Slika 1.*) koji u različitoj mjeri obuhvaća područja 19 država. Obzirom na velik broj država čiji dijelovi pripadaju dunavskom sljjevu, za kvalitetno upravljanje vodama neophodna je i međusobna suradnja tih država. Slijedom toga, za provođenje ODV su potrebni zajednički normirani i usklađeni protokoli uzorkovanja, laboratorijskih analiza i nadzora kakvoće drenažnog sedimenta.



Slika 1. Dunavski slijev

Projekt SIMONA (eng. *Sediment-quality Information, MONitoring and Assessment System to support transnational cooperation for joint Danube Basin water management*) je Interreg projekt u okviru Programa međunarodne suradnje na području dunavskog slijeva, u razdoblju od 2014. do 2020. godine. Svrha projekta je uspostava zajedničkog, međunarodnog sustava praćenja kakvoće drenažnog sedimenta, pri čemu se ona odnosi na sadržaj prioriternih anorganskih i organskih tvari propisanih ODV. Cilj projekta je uspostava sustava koji će uskladiti i normirati protokole uzorkovanja, laboratorijskih analiza i procjene kakvoće drenažnog sedimenta u svim državama koje sudjeluju u projektu. Također, cilj je izraditi mrežnu aplikaciju koja će služiti kao sustav za unos i procjenu podataka o kakvoći drenažnog sedimenta.

U projektu SIMONA sudjeluje ukupno 29 institucija partnera iz 14 europskih zemalja. Dio njih čine znanstvene institucije, dok su dio institucije koje su zadužene za upravljanje vodama na državnoj razini.

2. MATERIJALI I METODE

Drenažni sediment zbog svoje reprezentativnosti predstavlja osnovni i najkorisniji medij uzorkovanja u istraživanju sljevova ili drenažnih bazena (Johnson i drugi, 2008). Sedimentološki gledano, najveći dio sedimenta, koji procesima trošenja i/ili precipitacijom nastaje na području slijeva kroz vrijeme, biva ispran u vodotok i istaložen u koritu ili na mjestima gdje su uvjeti za to najpovoljniji. Drugim riječima, drenažni sediment je kompozitni uzorak sačinjen od materijala prisutnog uzvodno od mjesta uzorkovanja i u tom smislu predstavlja čitavo područje slijeva (Plant i Hale, 1994). Iz tog razloga,

kemijski sastav drenažnog sedimenta moguće je korelirati s geogenim i/ili antropogenim procesima unutar slijeva. Drenažni sediment mogu predstavljati različiti mediji uzorkovanja, odnosno: vodotočni sediment (eng. *stream sediment* ili *bottom sediment*), naplavni sediment (eng. *floodplain sediment*), sediment u suspenziji (eng. *suspended sediment*) i jezerski sediment (eng. *lake sediment*). U okviru projekta SIMONA, obradit će se sve navedene vrste drenažnog sedimenta.

Projekt se provodi u nekoliko koraka. Prvi korak, koji je u trenutku pisanja ovog rada završen, podrazumijeva izradu baze aktualnih zakona, propisa, uredbi i pravilnika, kao i pozitivnih te negativnih iskustava u praćenju kakvoće drenažnog sedimenta, ali i vode, tla i zraka. Bazu čine podaci svih država partnera, a popunjava se putem jedinstvenog, prethodno izrađenog upitnika. U drugom koraku izdvajaju se oni zakoni, propisi, uredbe i pravilnici, koji se odnose isključivo na drenažni sediment, koji su primjenjivi u svim državama partnerima i koji su u skladu s ODV i pripadajućim dokumentima Zajedničke implementacijske strategije (eng. *Common Implementation Strategy*). Na temelju izdvojene dokumentacije izrađuju se usklađeni i normirani protokoli uzorkovanja i laboratorijskih analiza drenažnog sedimenta. Treći korak projekta podrazumijeva izradu protokola procjene kakvoće drenažnog sedimenta. U sklopu ovog koraka izradit će se i aplikacija SIMONA na mreži, koja će sadržavati sve izrađene protokole te činiti sustav za unos i procjenu unesenih podataka. U četvrtom koraku projekta, na temelju iskustva iz prethodnih aktivnosti izradit će se protokoli nadzora, odnosno uzorkovanja, laboratorijske analize i procjene kakvoće drenažnog sedimenta velikih jezera i akumulacija. U posljednjem koraku projekta provest će se obuka projektnih partnera, uključujući pridružene strateške partnere ili njihove zastupnike, kao i dionika te svih zainteresiranih stručnjaka iz područja upravljanja vodama.

3. REZULTATI I RASPRAVA

Jedan od osnovnih preduvjeta za provedbu ovog, ali i sličnih projekata je vertikalna suradnja, u smislu suradnje znanstvenih institucija (primjerice geoloških službi i instituta) i javnih institucija koje izravno ili neizravno sudjeluju u izradi zakonodavnog okvira (primjerice institucije zadužene za upravljanje vodama na državnoj razini). Ovakva suradnja je neophodna kako bi u zakonodavstvo bile uvrštene najnovije znanstvene spoznaje i iskustva. Primjerice, u hrvatskom dijelu dunavskog slijeva moguće je za očekivati povišene koncentracije arsena, ali geogenog, a ne antropogenog porijekla (Halamić i Miko, 2009). Nadalje, dunavski slijev se prostire kroz 19 država, a unutar njega primjerice slijev Save kroz 5 ili slijev Drave također kroz 5 država. Drugim riječima, granice slijevova se ne podudaraju s državnim granicama te je stoga neophodno da države čiji se dijelovi nalaze unutar slijeva imaju usklađeni i normirani nadzor, odnosno usklađene i normirane protokole uzorkovanja, laboratorijskih analiza i procjene kakvoće drenažnog sedimenta. Ovo je važno kako bi rezultati nadzora kojeg države provode na svom području bili usporedivi s rezultatima nadzora ostalih država. Također, izvori onečišćenja mogu biti ranije uočeni, pa i mjere sprječavanja daljnjeg onečišćenja i mjere sanacije mogu biti učinkovitije. Iako u projektu SIMONA ne sudjeluju sve države kroz koje se prostire dunavski slijev, već njih 13, velika većina površine slijeva je obuhvaćena (*Slika 1.*).

Preporuka za uvrštenje drenažnog sedimenta u sustav nadzora vodnih ekosustava temelji

se na značajnom potencijalu drenažnog sedimenta za zadržavanje potencijalno opasnih prioritetnih tvari. Na taj način se smanjuje učestalost uzorkovanja, ali i osigurava trag potencijalno štetnih antropogenih aktivnosti, koje u stupcu vode, ukoliko uzorkovanje nije istovremeno kad i potencijalno štetna antropogena aktivnost, ne bi bile jasno vidljive. Tako je preporuka Europske komisije (2010) da se uzorkovanje drenažnog sedimenta u svrhu nadzora i procjene stanja okoliša radi jednom godišnje (uz izuzetke ovisno o okolnostima, na primjer ekološke nesreće), za razliku od primjerice vode, koju se preporuča uzorkovati u razmacima od jednog mjeseca. Ipak valja naglasiti da su od 45 potencijalno štetnih organskih i anorganskih tvari propisanih ODV, neke topivije u vodi, a neke u sedimentu. One topivije u vodi nije preporučljivo mjeriti u sedimentu i obratno. Općenito vrijedi pravilo da se tvari s $\log K_{ow} > 5$ mjere u sedimentu dok se tvari s $\log K_{ow} < 3$ mjere u vodi, pri čemu je K_{ow} raspodjelni koeficijent, odnosno omjer koncentracije tvari u oktanolu i vodi (Petrović i drugi, 2007).

U okviru dosadašnjih projektnih aktivnosti i rezultata, izrađena je baza važećih zakona, propisa, uredbi i pravilnika, kao i pozitivnih te negativnih iskustava u praćenju kakvoće drenažnog sedimenta, ali i vode, tla i zraka s kojima je drenažni sediment u određenoj mjeri povezan, kako bi postojao širi kontekst u okviru kojeg će se u budućnosti izraditi spomenuti protokoli. Iz dosad prikupljenih podataka vidljivo je da jedino Slovačka od država projektnih partnera ima određenu vrstu zakonodavnog okvira koji obuhvaća nadzor kakvoće drenažnog sedimenta. Međutim, ostali partneri u projektu imaju iskustva u vidu istraživanja kakvoće drenažnog sedimenta stečenog kroz sudjelovanje u raznim projektima poput *FOREGS*-a (Salminen i drugi, 2005, De Vos i drugi, 2006) i *GEMAS*-a (Reimann i drugi, 2014a, b). Osim iskustva projektnih partnera, organizacijska struktura projektne skupine također osigurava ispunjenje zacrtanih ciljeva. Radi povećanja učinkovitosti tako velike projektne skupine partnera, 8 radnih skupina (RS) preuzelo je brigu o aktivnostima iz njihova područja. Tako su uspostavljene sljedeće radne skupine: RS za uzorkovanje, RS za laboratorijske analize i RS za procjenu kakvoće drenažnog sedimenta, zatim RS za jezera i akumulacije, RS testnih područja (RS Drave, RS južnog Dunava i RS gornje Tise) te RS nacionalnih stručnjaka.

Na kraju treba spomenuti aplikaciju na mreži koja će sadržavati izrađene protokole i služiti kao sustav za unos podataka o kakvoći drenažnog sedimenta. To će omogućiti uspostavu baze usporedivih podataka za područje velikog dijela dunavskog slijeva. U konačnici će omogućiti nadzor vodnog ekosustava Dunava u cjelini, ali i otvoriti prostor drugim vrstama istraživanja, poput primjerice geokemijskih, geostatističkih, hidroloških ili hidrogeoloških.

ZAKLJUČAK

Projekt SIMONA nastao je kao odgovor na potrebu da se zaštiti vodni ekosustav slijeva rijeke Dunav. U tom smislu, cilj projekta je izrada usklađenih i normiranih protokola nadzora, odnosno uzorkovanja, laboratorijskih analiza i procjene kakvoće drenažnog sedimenta. U svrhu ostvarenja navedenog cilja, projekt se temelji na vertikalnoj suradnji državnih institucija i međunarodnoj suradnji država članica projekta.

Dosadašnji rezultati pokazali su da većina država članica projekta nema zakonsku regulativu za nadzor kakvoće drenažnog sedimenta, ali gotovo sve institucije koje rade na projektu posjeduju znanje i iskustvo iz područja geokemijskih istraživanja.

Sustav nadzora drenažnog sedimenta bit će uspostavljen kroz aplikaciju na mreži, koja predstavlja svojevrsnu novinu u tom području. Ovakav sustav omogućit će jednostavnu i brzu razmjenu podataka među državama članicama projekta, omogućit će njihovu usporedbu i konačno nadzor nad vodnim resursima na području velikog dijela slijeva, što je i preporuka ODV. Osim navedenog, omogućit će brz i jednostavan pristup podacima i zainteresiranim istraživačima iz drugih grana znanosti, kao i odgovornima za upravljanje vodnim resursima dunavskog slijeva.

LITERATURA

- [1] De Vos, W. i Tarvainen, T., (2005): *Geochemical Atlas of Europe. Part 2 Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps and Related Publications*, Geological Survey of Finland, Espoo, 692 str.
- [2] Europska komisija, (2000): *Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike*, Službeni list Europske unije, L327/1, 48-119.
- [3] Europska komisija, (2008): *Direktiva 2008/105/ez Europskog parlamenta i Vijeća od 16. prosinca 2008. o standardima kvalitete okoliša u području vodne politike i o izmjeni i kasnijem stavljanju izvan snage Direktiva Vijeća 82/176/EEZ, 83/513/EEZ, 84/156/EEZ, 84/491/EEZ, 86/280/EEZ i izmjeni Direktive 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća*, Službeni list Europske unije, L384/84, 235-248.
- [4] Europska komisija, (2010): *Vodič o kemijskom praćenju sedimenta i biote prema Okvirnoj direktivi o vodama, CIS vodič br. 25*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 74 str.
- [5] Europska komisija, (2013): *Direktiva 2013/39/eu Europskog parlamenta i Vijeća od 12. kolovoza 2013. o izmjeni Direktiva 2000/60/EZ i 2008/105/EZ u odnosu na prioritetne tvari u području vodne politike*, Službeni list Europske unije, L226, 1-17.
- [6] Halamić, J. i Miko, S., (2009): *Geokemijski atlas Republike Hrvatske*, Hrvatski geološki institut, Zagreb, 87 str.
- [7] Johnson, C. C., Flight, D. M. A., Ander, L. E., Lister, R. T., Breward, N., Fordyce, F. M. i Nice, S. E., (2008): *The collection of Drainage Samples for Environmental Analyses from Active Stream Channels*. U: De Vivo, B., Belkin, H. E. i Lima, A. (ur.): *Environmental Geochemistry. Site Characterization, Data Analysis and Case Histories*, Elsevier, Amsterdam, 59-92.
- [8] Petrović, M., Eljarrat, E., Diez, S., Kowalewska, G. i Barceló, D., (2007): *Chemical analysis of contaminants in sediments*. U: Barceló, D. i Petrović, M. (ur.): *Sustainable Management of Sediment Resources. Sediment Quality and Impact Assessment of Pollutants*, Elsevier, Amsterdam, 61-129.
- [9] Plant, J. A. i Hale, M., (1994): *Introduction: The Foundations of Modern Drainage Geochemistry*. U: Hale, M. i Plant, J. A. (ur.): *Drainage Geochemistry*, Elsevier, Amsterdam, 3-9.
- [10] Reimann, C., Birke, M., Demetriades, A., Filzmoser, P. i O'Connor, P., (2014a): *Chemistry of Europe's agricultural soils – Part A: Methodology and inter-*

pretation of the GEMAS data set, Geologisches Jahrbuch (Reihe B 102), Schweizerbarth, Hannover, 528 str.

- [11] Reimann, C., Birke, M., Demetriades, A., Filzmoser, P. i O'Connor, P., (2014b): *Chemistry of Europe's agricultural soils – Part B: General background information and further analysis of the gemas data set*, Geologisches Jahrbuch (Reihe B 102), Schweizerbarth, Hannover, 352 str.
- [12] Salminen, R., Batista, M. J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P. J., Olsson, S.Å., Ottesen, R.-T., Petersell, V., Plant, J.A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandström, H., Siewers, U., Steenfelt, A. i Tarvainen, T., (2005): *Geochemical Atlas of Europe. Part 1 Background Information, Methodology and Maps*, Geological Survey of Finland, Espoo, 526 str.
- [13] Vogt, J., Soille, P., de Jager, A., Rimavičiūtė, E., Mehl, W., Foisneau, S., Bódis, K., Dusart, J., Paracchini, M. L., Hastrup, P. i Bamps, C., (2007): *A pan-European River and Catchment Database*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 121 str.

AUTORI

Danijel Ivanišević, dipl.ing.geol. ^a

dr.sc. Ivan Mišur, dip.ing.geol. ^a

Ana Čaić Janković, mag.chem. ^a

dr.sc. Ajka Šorša, dipl.ing.geol. ^a

izv.prof.dr.sc. Josip Halamić, dipl.ing.geol. ^a

Đorđa Medić, dipl.ing.kem. ^b

Jasmina Antolić, dipl.ing.preh.teh. ^b

Aleksandra Kovačević, dipl.ing.teh. ^c

mr. Jelena Vićanović, dipl.ing.teh. ^c

^a Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska, divanisevic@hgi-cgs.hr, imisur@hgi-cgs.hr, acaic@hgi-cgs.hr, asorsa@hgi-cgs.hr, jhalamic@hgi-cgs.hr

^b Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska, dorda.medic@voda.hr, jasmina.antolic@voda.hr

^c Javna ustanova „Vode Srpske“, Miloša Obilića 51, 76300 Bijeljina, Republika Srpska, akovacevic@vodiers.org, jvicanovic@vodiers.org



R 2.28.

**POGODNOST POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA ZA
NAVODNJAVANJE NA LOKACIJAMA IDEJNIH
PROJEKATA SUSTAVA NAVODNJAVANJA U
REPUBLICI HRVATSKOJ**

Stjepan Husnjak, Domagoj Rastija

SAŽETAK: Cilj ovog rada je ukazati na stanje pogodnosti zemljišta za navodnjavanje na projektnom području dosadašnjih idejnih projekata sustava navodnjavanja, te predložiti smjernice daljnjeg projektiranja navodnjavanja vezano uz pojedine klase pogodnosti zemljišta. Za izradu ovog rada korištene su izrađene agronomske osnove idejnih projekata navodnjavanja u Hrvatskoj od 2005. godine do danas.

Inventarizacija površina pojedinih klasa pogodnosti prikazuje se na temelju analize podataka za 48 idejnih projekata, u okviru kojih je istraženo oko 40.000 ha poljoprivrednog zemljišta.

Najveća površina odnosi na Sustav navodnjavanja Baranja – lateralni kanal Kneževi Vinogradi-Zmajevac (5.000 ha) dok se najmanja površina odnosi na Sustav navodnjavanja Poljoprivredna škola Vinkovci (56) ha. Prosječna projektna površina po idejnom projektu iznosi oko 830 ha.

Temeljem procjene sadašnje pogodnosti, utvrđeno je da se na projektnim područjima nalazi ukupno oko 10.109 ha (ili 25 %) dobro pogodnih tala ili tala P-1 klase pogodnosti, potom 18.463 ha (46 %) umjereno pogodnih tala ili tala P-2 klase pogodnosti, 8.758 ha (22 %) ograničeno pogodna tla P-3 klase pogodnosti, te 2.664 ha (7 %) privremeno nepogodna tla N-1 klase pogodnosti. Trajno nepogodna tla N-2 klase pogodnosti na analiziranim projektnim područjima nisu utvrđena.

Analizom podataka potencijalne pogodnosti, utvrđeno je da se na projektnim područjima nalazi ukupno 20.270 ha (50 %) potencijalno pogodnih tala P-1 klase pogodnosti, zatim 15.914 ha (40 %) potencijalno umjereno pogodnih zemljišta P-2 klase pogodnosti, te 3.810 ha (10%) potencijalno ograničeno pogodnih tala P-3 klase pogodnosti. Potencijalno privremeno (N-1) i trajno (N-2) nepogodna tla na projektnim područjima nisu utvrđena. Od ukupne površine ograničeno pogodnih tala (P-3 klase pogodnosti), oko 84 % zemljišta može postati dobro ili umjereno pogodan za navodnjavanje (P-1 ili P-2 klasa pogodnosti), dok oko 16 % ostaje i dalje ograničeno pogodan za navodnjavanje.

Od ukupne površina privremeno nepogodnih tala N-1 klase pogodnosti mali dio (oko 9 %) može postati dobro ili umjereno pogodan za navodnjavanje (P-1 ili P-2 klasa pogodnosti), dok preostali dio (ili 91 %) može postati samo ograničeno pogodan za navodnjavanje (P-3

klasa pogodnosti).

KLJUČNE RIJEČI: idejni projekti, navodnjavanje, sadašnja i potencijalna pogodnost, tlo

SUITABILITY OF AGRICULTURAL LAND FOR IRRIGATION IN THE LOCATIONS OF THE PRELIMINARY IRRIGATION SYSTEM DESIGNS IN THE REPUBLIC OF CROATIA

ABSTRACT: The aim of this paper is to present the status of land suitability for irrigation in the project areas of the past preliminary irrigation system designs and to propose guidelines for further irrigation system designs with regard to individual classes of land suitability. In the preparation of this paper, we used the agronomic irrigation bases developed for the preliminary irrigation system designs in Croatia since 2005 to the present.

The presentation of the inventory of surfaces belonging to individual classes of land suitability is based on a data analysis of 48 preliminary designs, with approximately 40,000 ha of agricultural land included in the research.

The Irrigation System Baranja - Lateral Canal - Kneževi Vinogradi – Zmajevac covers the largest surface (5.000 ha) whereas the Irrigation System Agricultural School Vinkovci covers the smallest one (56 ha). The average project area according to the preliminary designs is about 830 ha.

Based on the assessment of the current land suitability, it was determined that the project areas cover a total of about 10,109 ha (25 %) of highly suitable soils (class S-1), 18,463 ha (46 %) of moderately suitable soils (class S-2), 8,758 ha (22 %) of marginally suitable soils (class S-3) and 2,664 ha (7 %) of currently not suitable soils (class N-1). Permanently not suitable soils (class N-2) were not identified in the analysed project areas.

A data analysis of potential land suitability revealed that the project areas contain a total of 20,270 ha (50 %) of potentially highly suitable soils (class S-1), 15,914 ha (40 %) of potentially moderately suitable soils (class S-2) and 3,810 ha (10 %) of potentially marginally suitable soils (class S-3). Potentially currently (class N-1) and permanently (class N-2) not suitable soils were not identified in the project areas.

Of the total surface of marginally suitable soils (class S-3), about 84 % of the land may become highly or moderately suitable for irrigation (class S-1 or S-2) while about 16 % remains currently not suitable for irrigation.

Of the total surface of soils currently not suitable for irrigation (class N-1), a small portion (about 9 %) may become highly or moderately suitable for irrigation (class S-1 or S-2) while the remaining portion (91 %) may become only marginally suitable for irrigation (class S-3).

KEYWORDS: preliminary designs, irrigation, current and potential suitability, soil

1. UVOD

U Hrvatskoj se od 2005. godine provodi „Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama“ (Romić i Marušić, 2005). Pored planskih dokumenata i idejnih rješenja, izrađuju se i idejni projekti navodnjavanja kao

podloge za projektiranje i izgradnju sustava za navodnjavanje, te za dobivanje lokacijske dozvole. U okviru idejnih projekata, a za potrebe izrade agronomske osnove, obavljaju se detaljna terenska i laboratorijska istraživanja tala s ciljem utvrđivanja pogodnosti tla/zemljišta za navodnjavanje. Prilikom procjene pogodnosti, utvrđuju se ograničenja tla, za čije se otklanjanje preporučuju agromelioracijski i/ili hidromelioracijski zahvati. Cilj ovog rada je utvrditi pogodnost zemljišta za navodnjavanje na projektnom području dosadašnjih idejnih projekata navodnjavanja, te predložiti smjernice daljnjeg projektiranja navodnjavanja vezano uz pojedine klase pogodnosti zemljišta.

2. KORIŠTENI MATERIJALI

Za izradu ovog rada korištene su izrađene agronomske osnove idejnih projekata navodnjavanja u Hrvatskoj od 2005. godine do danas, a u čijoj su realizaciji najvećim dijelom sudjelovali stručnjaci s Sveučilišta u Zagrebu - Agronomskog fakulteta, Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera iz Osijeka, te Visokog gospodarskog učilišta u Križevcima.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Prikaz načina izrade dijela idejnih projekata koji se odnose na značajke tala i pogodnost zemljišta

3.1.1. Utvrđivanje značajki tala i izrada pedoloških karata

Značajke tla utvrđuju se na temelju detaljnih terenskih i laboratorijskih istraživanja, pri čemu se pedološke karte izrađuju uglavnom u mjerilu 1:10.000, rjeđe u mjerilu 1:5.000. Kriteriji i normativi navedeni su u projektnim zadacima, pri čemu se uvažavaju smjernice Stručnog tima za provedbu projekata navodnjavanja.

3.1.2. Prikaz procjene pogodnosti zemljišta za navodnjavanje

Procjena pogodnosti zemljišta za navodnjavanje vrši se prema kriterijima i normativima FAO metoda procjene zemljišta (FAO 1976), odnosno djelomičnoj modifikaciji FAO metode (Vidaček, 1981), uvažavajući pri tome značajke tla i reljefa, te zahtjeve dominantnih kultura koje se na pojedinom području uzgajaju.

U sklopu procjene pogodnosti sistematske jedinice tla svrstavaju se u redove, klase i potklase pogodnosti za navodnjavanje. Redovi određuju pogodnost (P) ili nepogodnost (N) tla odnosno zemljišta. Klase određuju stupanj pogodnosti prema sljedećem:

- Klasa P-1: pogodna tla bez značajnih ograničenja za navodnjavanje ili s ograničenjima koja neće značajno utjecati na produktivnost, dobit i primjenu navodnjavanja,
- Klasa P-2: umjereno pogodna tla, s ograničenjima koja umjereno ugrožavaju produktivnost, dobit i primjenu navodnjavanja,
- Klasa P-3: ograničeno pogodna tla, s ograničenjima koja znatno ugrožavaju produktivnost, dobit i primjenu navodnjavanja.
- Klasa N-1: privremeno nepogodna tla, s ograničenjima koja u postojećem stanju isključuju tehnološki i/ili ekonomski opravdanu primjenu navodnjavanja,

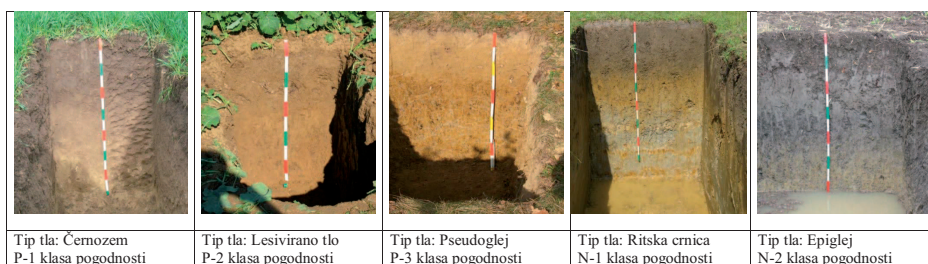
Klasa N-2: trajno nepogodna tla, s ograničenjima koja isključuju bilo kakvu mogućnost tehnološki i/ili ekonomski opravdanu primjenu navodnjavanja.

Potklase pogodnosti određuju dominantne odnosno najvažnije vrste i intenzitete ograničenja tla za navodnjavanje (tablica 1).

Tablica 1. Dominantna ograničenja kod pojedinih klasa pogodnosti tla za navodnjavanje

Klasa pogodnosti tla	Dominantna ograničenja
P-1, dobro pogodna	Nedostatak hraniva, manji nedostatak organske tvari
P-2, umjereno pogodna	Kiselost tla, zbijenost tla, nedostatak organske tvari, nepovoljna stabilnost strukturnih agregata,
P-3, ograničeno pogodna	Javljanje stagnirajućih oborinskih voda kraćeg do srednjeg trajanja, slabija profilna dreniranost, vertičnost, plitka ekološka dubina, skeletna tekstura, mali kapacitet tla za vodu
N-1, privremeno nepogodna	Javljanje visokih podzemnih voda u riziosfernom sloju, srednje dugo do dugotrajno javljanje stagnirajućih površinskih voda, plitka ekološka dubina, slaba profilna dreniranost
N-2, trajno nepogodna	Javljanje visokih podzemnih voda u riziosfernom sloju, dugotrajno do vrlo dugotrajno javljanje stagnirajućih površinskih voda, glinasta tekstura, vertičnost, vrlo plitka ekološka dubina, vrlo slaba profilna dreniranost, visoka stjenovitost

Važniji tipovi tala koji karakteriziraju navedene klase pogodnosti prikazani su na slici 1.



Slika 1. Važniji tipovi tala koji karakteriziraju pojedine klase pogodnosti tla za navodnjavanje

3.2. Inventarizacija površina pojedinih klasa pogodnosti zemljišta za navodnjavanje na projektnim područjima idejnih projekata.

Inventarizacija površina pojedinih klasa pogodnosti prikazuje se na temelju analize dostupnih podataka za 48 idejnih projekata. Procjenjujemo da je realizirano još nekoliko takvih projekata koji su nam trenutno nisu dostupni. Popis dostupnih idejnih projekata s podacima o godini izrade, površini projektnog područja te mjerilu izrađene pedološke karte, prikazan je u tablici 2.

Tablica 2. Popis idejnih projekata navodnjavanja s osnovnim podacima

Broj	Naziv projekta	Godina	Površina ha	Mjerilo karte
1	Pilot projekt navodnjavanja Gat – Veliškovci	2005.	500	1:5.000
2	Pilot projekt navodnjavanja Kapinci – Vaška	2007.	1.280	1:10.000
3	Sustav navodnjavanja Budimci-Krndija	2007.	630	1:10.000
4	Sustav navodnjavanja Ramanovci-Bektež	2007.	880	1:10.000
5	Sustav navodnjavanja „Novi Gradac – Detkovic“	2008.	760	1:10.000
6	Sustav navodnjavanja 1. Pilot projekt na Bujištini-Petrovija	2009.	510	1:10.000
7	Sustav navodnjavanja Baranja – lat. kan. Kneževi v.-Zmajevac	2010.	5.000	1:10.000
8	Sustava navodnjavanja Dalj / idejni projekt	2013.	880	1:10.000
9	Sustav navodnjavanja Puškaš	2013.	925	1:10.000
10	Sustav odvodnje i navodnjavanja objekta Đolta	2015.	180	1:5.000
11	Sustav navodnjavanja Velika Ludina	2015.	455	1:10.000
12	Sustav navodnjavanja Lukač – I. faza	2015.	920	1:10.000
13	Sustav navodnjavanja Slobodnica	2016.	1.855	1:10.000
14	Sustav navodnjavanja Donje polje - Jadratovac	2015.	270	1:10.000
15	Sustava navodnjavanja Kapinci - Vaška – II. faza	2014.	570	1:10.000
16	Sustav navodnjavanja Sinjskog polja – I. faza Trnovača	2014.	480	1:10.000
17	Sustav navodnjavanja Vranskog polja – 1 faza	2015.	1.585	1:10.000
18	Sustav navodnjavanja Čepić polje	2017.	365	1:10.000
19	Sustav navodnjavanja Belica	2016.	720	1:10.000
20	Sustav navodnjavanja Prelog-Donji Kraljevec	2011.	2360	1:10.000
21	Sustav navodnjavanja Donji Miholjac-Viljevo	2012.	1270	1:10.000
22	Sustav navodnjavanja Dravski rit - I. faza	2016.	1690	1:10.000
23	Sustav navodnjavanja Ervenica	2014.	740	1:10.000
24	Sustav navodnjavanja Grabovo II	2013.	605	1:10.000
25	Sustav navodnjavanja Kapelica – Kaniška Iva	2015.	416	1:10.000
26	Sustav navodnjavanja Kapelna	2012.	1215	1:10.000
27	Sustav navodnjavanja Kitišanci	2012.	1200	1:10.000
28	Sustav navodnjavanja Komletinci	2015.	290	1:10.000
29	Sustav navodnjavanja Lipovac	2009.	1.045	1:10.000
30	Sustav navodnjavanja Ljeskovac	2016.	103	1:10.000
31	Sustav navodnjavanja Novaljsko Polje	2010.	168	1:10.000
32	Sustav navodnjavanja Oriovac	2016.	608	1:10.000
33	Sustav navodnjavanja Tovarnik	2016.	1747	1:10.000
34	Sustav navodnjavanja Kaptol	2007.	175	1:10.000
35	Sustav navodnjavanja Bunina	2014.	120	1:10.000
36	Sustav navodnjavanja Konavosko polje	2008.	2315	1:10.000
37	Sustav navodnjavanja Cerna	2009.	560	1:10.000
38	Sustav navodnjavanja GAT-proširenje	2018.	615	1:10.000
39	Sustav navodnjavanja Mala šuma-vrt	2018.	78	1:10.000
40	Sustav navodnjavanja Miholjački Poreč	2014.	490	1:10.000
41	Sustav navodnjavanja Donja Baštica	2014.	123	1:10.000
42	Sustav navodnjavanja Puškaš	2013.	925	1:10.000
43	Sustav navodnjavanja Orubica	2006.	440	1:10.000
44	Sustav navodnjavanja Baštica 1. faza	2008.	340	1:10.000

45	Sustav navodnjavanja Poljoprivredni Institut Osijek	2006.	260	1.10.000
46	Sustav navodnjavanja Poljop. škola Vinkovci	2009.	56	1:10.000
47	Sustav navodnjavanja Koljak	2008.	480	1.100.00
48	Sustav navodnjavanja Sopot	2011.	795	1.10.000

U okviru navedenih 48 idejnih projekata, istraživano je ukupno oko 40.000 ha, pri čemu se najveća površina odnosi na Sustav navodnjavanja Baranja – lateralni kanal Kneževi Vinogradi-Zmajevac (5.000 ha), dok se najmanja površina odnosi na projekt Sustav navodnjavanja Poljoprivredna škola Vinkovci (56) ha. Prosječna projektna površina po idejnom projektu iznosi oko 830 ha.

Inventarizacija površina pojedinih klasa sadašnje i potencijalne pogodnosti poljoprivrednog zemljišta po pojedinim idejnim projektima prikazana je u tablici 3. Analizom podataka sadašnje pogodnosti, utvrđeno je da se na projektnim područjima nalazi ukupno 10.109 ha zemljišta dobro pogodnih tala ili tala P-1 klase pogodnosti, a što predstavlja ukupno oko 25 % u odnosu na cjelokupnu analiziranu površinu. Umjereno pogodna tla ili tala P-2 klase pogodnosti nalaze se na 18.436 ha odnosno na 46 % istraživanih površina. Ograničeno pogodna tla P-3 klase pogodnosti, nalaze se na 8.758 ha odnosno na 22 % projektnih površina. Najmanju površinu zauzimaju privremeno nepodgovna tla N-1 klase pogodnosti, koja se nalaze na 2.664 ha te zauzimaju oko 7 % projektne površine. Trajno nepodgovna tla N-2 klase pogodnosti na analiziranim projektnim područjima nisu utvrđena, tablica 3.

Tablica 3. Površina klasa sadašnje i potencijalne pogodnosti na cjelokupnim površinama idejnih projekata

Klasa pogodnosti za navodnjavanje	sadašnja		potencijalna	
	ha	%	ha	%
P-1	10.109	25	20.270	50
P-2	18.463	46	15.914	40
P-3	8.758	22	3.810	10
N-1	2.664	7		
N-2				
Ukupno	39.994	100	39.994	100

U okviru uređenja zemljišta, preporučene su agromelioracijske i/ili hidromelioracijske mjere. Temeljem pretpostavke da će preporučene mjere biti provedene, procijenjena je i potencijalna pogodnost poljoprivrednog zemljišta za navodnjavanje. Analizom podataka te pogodnosti, utvrđeno je da se na projektnim područjima nalazi ukupno oko 20.270 ha zemljišta potencijalno dobro pogodnih tala ili tala P-1 klase pogodnosti, a što predstavlja ukupno oko 50 % u odnosu na cjelokupnu istraživanu površinu zemljišta za navodnjavanje. Potencijalno umjereno pogodnih zemljišta P-2 klase pogodnosti ima oko 15.914 ha, odnosno 40 % cjelokupne istraživane površine. Potencijalno ograničeno pogodnih tala P-3 klase pogodnosti, procijenjeno je da ima 3.810 ha, odnosno oko 10 % projektne površine, tablica 3. Potencijalno privremeno (N-1) i trajno (N-2) nepodgovnih tala na projektnim područjima ne bi trebalo biti, uz uvjet da se provode preporučene mjere popravke tala.

U praksi se često postavlja pitanje troškova uređenja zemljišta i svrsishodnosti navodnjavanja, odnosno ekonomske isplativosti na zemljištima ograničeno pogodnih tala P-3 klase pogodnosti i zemljištima privremeno nepogodnih tala N-1 klase pogodnosti. Detaljnom analizom površina klasa sadašnje i potencijalne pogodnosti pojedinih idejnih projekata, utvrđeno je od ukupne površine ograničeno pogodnih tala koja iznosi 8.758 ha, oko 84 % zemljišta može postati dobro ili umjereno pogodan za navodnjavanje (P-1 ili P-2 klasa pogodnosti), dok oko 16 % ostaje i dalje ograničeno pogodan (P-3 klasa) za navodnjavanje, tablica 4. Ukupna površina privremeno nepogodnih tala N-1 klase pogodnosti iznosi 2.663 ha. Primjenom melioracijskih zahvata, svega 229 ha (oko 9 %) može postati dobro ili umjereno pogodan za navodnjavanje (P-1 ili P-2 klasa pogodnosti), dok preostali dio (ili 91 %) može postati samo ograničeno pogodan za navodnjavanje (P-3 klasa pogodnosti), tablica 4.

Tablica 4. Analiza površina zemljišta sadašnje pogodnosti uz uvjet izvođenja preporučenih agromelioracijskih i hidromelioracijskih zahvata

Klasa sadašnje pogodnosti	Površina ha	Mjere za uređenje	Površina klase potencijalne pogodnosti, ha	
			P-1 ili P-2	P-3
P-3	8.758	Agro- i hidromelioracije	7.382	1.376
N-1	2.663	Hidro- i agromelioracije	229	2.434

Najveći dio takvih tala nalazi se na projektnim područjima Sustava navodnjavanja Slobodnica i Oriovac.

ZAKLJUČAK

Na analiziranim projektnim područjima sustava navodnjavanja idejnih projekata čija je ukupna površina oko 40.000 ha, oko 71 % zemljišta je s aspekta sadašnje pogodnosti dobro (P-1 klasa) ili umjereno dobro (P-2 klasa) pogodan za navodnjavanje.

S aspekta potencijalne pogodnosti, oko 90 % zemljišta je dobro (P-1 klasa) ili umjereno dobro (P-2 klasa) pogodan za navodnjavanje.

Od ukupne površine ograničeno (P-3 klasa pogodnosti) pogodnog zemljišta za navodnjavanje, čak oko 84 % može nakon primjene melioracijskih zahvata postati pogodan ili umjereno pogodan za navodnjavanje. Od ukupne površine privremeno nepogodnog (N-1 klasa pogodnosti) zemljišta za navodnjavanje, samo oko 10 % može nakon primjene melioracijskih zahvata postati pogodan ili umjereno pogodan za navodnjavanje.

Navedeni podaci ukazuju da se na područjima analiziranih idejnih projekata sustava navodnjavanja nalaze dominantno pogodna i umjereno pogodna tla, kako s aspekta sadašnje pogodnosti, tako odnosno znatno više s aspekta potencijalne pogodnosti.

LITERATURA

- [1] FAO (1976): *A framework for land evaluation*, Soil Bull, No. 32. FAO, Rome and ILRI, Wageningen. Publ. No. 22.
- [2] Husnjak, S. (2014): *Sistematika tala Hrvatske*. Hrvatska Sveučilišna naklada, Zagreb, 373 str.
- [3] Husnjak, S. (2003): *Tla hidromelioracijskih sustava odvodnje vodnog područja sliva Save*, Hrvatske vode, godina 11, br. 45, 459-463.
- [4] Husnjak, S., Šimunić, I. (2006): *Tla hidromelioracijskih sustava odvodnje vodnog područja slivova Drave i Dunava*, Hrvatske vode, 14(56/57), 311-317.
- [5] Husnjak S. (2007): *Poljoprivredna tla Hrvatske i potreba za melioracijskim mjerama*, Zbornik radova znanstvenog skupa: Melioracijske mjere u svrhu unapređenja ruralnog prostora s težištem na nacionalni projekt navodnjavanja, (Urednik - Maceljki M. i Tomić F.), Akademija znanosti i umjetnosti, razred za prirodne znanosti, Zagreb, 21-37.
- [6] Lončarić, Z., Rastija, D., Popović, B., Karalić, K., Ivezić, V., Zebec, V. (2014): *Uzorkovanje tla i biljke za agrokemijske i pedološke analize* (Urednik – Lončarić Z.), Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Poljoprivredni fakultet, Osijek
- [7] Rastija, D., Lončarić, Z., Rastija, M., Japundžić-Palenkić, B., Semialjac, Z. (2008): *Režim vlažnosti lesiviranoga tla na području istočne Hrvatske*, Poljoprivreda, 14, 2; 38-45
- [8] Romić, D., Marušić, J. i grupa autora (2005): *Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u republici Hrvatskoj*, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb.
- [9] Semialjac, Z, Rastija, D., Zebec, V., Japundžić-Palenkić, B. (2009): *Irrigation Soil Suitability on Ivankovo Area*, Proceedings of the 1st International Scientific and Expert Conference TEAM 2009, University of Applied Sciences of Slavonski Brod, Slavonski Brod, 329-334.
- [10] Vidaček, Ž. (1981): *Procjena proizvodnog prostora i prikladnosti tla za navodnjavanje u Istočnoj Slavoniji i Baranji*, Poljoprivredna znanstvena smotra, br. 57(0), 471-502.
- [11] Zebec, V., Semialjac, Z., Dadić, M., Lončarić, Z., Marković, M. Rastija, D. (2018): *Pogodnost lesiviranih tala za navodnjavanje na području Istočne Hrvatske*, Proceedings of the 53rd Croatian and 13th International Symposium on Agriculture, Sveučilište u Osijeku Poljoprivredni fakultet, Osijek 86-90.
- [12] xxx Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet – Zavod za pedologiju, arhiva stručnih projekata
- [13] xxx Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku - Fakultet agrobiotehničkih znanosti –Zavod za agroekologiju i zaštitu okoliša, arhiva stručnih projekata
- [14] xxx Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, arhiva stručnih projekata

- [15] xxx Hrvatske vode - Jedinica za provedbu nacionalnog programa navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama, arhiva projekata
- [15] xxx Hrvatske vode - Zaključak sa sastanka u svezi provedbe projekata sustava navodnjavanja na poljoprivrednim površinama (Višnjica, 2016).

AUTORI

prof.dr.sc. Stjepan Husnjak ^a

prof.dr.sc. Domagoj Rastija ^b

^a Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet - Zavod za pedologiju,
Svetošimunska cesta 25, Zagreb, 10000, Hrvatska, shusnjak@agr.hr

^b Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Fakultet agrobiotehničkih znanosti –
Zavod za agroekologiju i zaštitu okoliša, Vladimira Preloga 1, Osijek, 31000,
Hrvatska, domagoj.rastija@pfos.hr



R 2.29.

ANALIZA ODABIRA TEHNIČKIH RJEŠENJA ZAHVATA VODE IZ VODOTOKA ZA POTREBE NAVODNJAVANJA

**Danko Holjević, Rene Lustig, Marinko Galiot, Marko Blagus,
Zoran Jakelić, Mario Bagarić**

SAŽETAK: Osnovu svakog sustava navodnjavanja čine tri elementa: tehničko rješenje zahvata vode, distribucije vode do parcele, te način korištenja vode na parceli u okviru ciklusa poljoprivredne proizvodnje. Cilj svake projektne dokumentacije sustava za navodnjavanje je postići optimalno rješenje za sva tri elementa sustava navodnjavanja, odnosno osigurati maksimalnu učinkovitost cijelog sustava uz uvjet minimaliziranih troškova izgradnje, ali i kasnijih troškova korištenja (energija, održavanje i dr.) odnosno upravljanja. Projektantska praksa ukazuje na veliki broj mogućih tehničkih rješenja dostupnih u postojećoj domaćoj i stranoj literaturi, a čija primjena najviše ovisi o pretpostavljenim ulaznim parametrima. Odabir „optimalnog“ rješenja zahvata vode, prvenstveno je određen analizom troškova gradnje, ali i troškova rada, održavanja i upravljanja sustavom navodnjavanja. Hrvatska projektantska praksa, kao i iskustva na izgradnji novih sustava navodnjavanja, pokazuju da troškovi zahvata vode iz velikih vodnih tokova čine značajni dio investicije, dok kod troškova rada, održavanja i upravljanja sustavom navodnjavanja oni čine glavnu stavku troškova. U radu je dat prikaz dosadašnje prakse u Hrvatskoj, a u sklopu analize odabira tehničkog rješenja prikazana je inovativna konstrukcija zahvata vode, koja je u svojoj inačici doživjela implementaciju u okviru projektne dokumentacije za sustav navodnjavanja Dalj. Zaključno se u radu analiziraju prednosti i nedostaci odabranog tehničkog rješenja, koje prema dostupnim podacima predstavlja potpunu novost ne samo u Hrvatskoj inženjerskoj praksi.

KLJUČNE RIJEČI: tehničko rješenje, zahvat vode, crpke, sustav, navodnjavanje, odabir

ANALYSIS OF THE SELECTION OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR ABSTRACTING WATER FROM WATERCOURSES FOR IRRIGATION PURPOSES

ABSTRACT: Any irrigation system consists of three main elements: a technical solution for water abstraction, a technical solution for distribution of water to a land plot and the method of on-farm use of water within the cycle of agricultural production. The purpose of any design document for an irrigation system is to achieve an optimum solution for all three elements of the irrigation system, i.e. to ensure maximum efficiency of the entire

system, with both minimized construction costs and subsequent operation and management costs (energy, maintenance, etc.). Design practice indicates a large number of possible technical solutions available in domestic and foreign literature, whose application depends primarily on the assumed input parameters. The selection of the “optimum” water abstraction solution is defined primarily through an analysis of construction costs but also of the system operation, maintenance and management costs. Design practice in Croatia as well as experiences from the construction of new irrigation systems show that the costs of abstracting water from large watercourses account for a significant share of the investment whereas in the irrigation system operation, maintenance and management costs they represent the main cost item. The paper gives an overview of the practice in Croatia to date while the analysis of the selection of the technical solution presents an innovative water abstraction structure, a variant of which was implemented in the design documents for the Dalj irrigation system. Finally, the paper analyses the advantages and disadvantages of the selected solution which, based on available data, is something completely new in the Croatian engineering practice and beyond.

KEYWORDS: technical solution, water abstraction, pump, system, irrigation, selection

1. UVOD

Pokretanjem projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj, odnosno usvajanjem strategije pod nazivom: Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj – NAPNAV, u srpnju 2005. godine, započeo je ciklus intezivnog ulaganja u razvoj sustava navodnjavanja u Hrvatskoj. U proteklih 14 godina stečena su mnoga iskustva, kako na organiziranju krajnjih korisnika, tako i na području planiranja, odabira lokacija, projektiranja i na koncu izgradnje i puštanja u pogon sustava navodnjavanja.

Osnovu svakog sustava navodnjavanja čini potreba sljedećih rješenja:

- zahvata vode,
- distribucija vode do parcele,
- korištenje vode na parceli u okviru ciklusa poljoprivredne proizvodnje.

Cilj svake projektne dokumentacije sustava za navodnjavanje je postići optimalno rješenje za sva tri elementa sustava navodnjavanja, odnosno osigurati maksimalnu učinkovitost cijelog sustava uz uvjet minimaliziranih troškova izgradnje, ali i kasnijih troškova korištenja (energija, održavanje i dr.), odnosno upravljanja. Svakako se radi o kompleksnom i složenom inženjerskom problemu, koji iziskuje cjelovit i integralan pristup načinu odabira projektnog rješenja, kako oblika i načina zahvata vode, tako i distribucije odnosno korištenja vode na parceli. Dosadašnja iskustva s izradom tehničke dokumentacije u okviru realizacije NAPNAV-a posebno su ukazala na problem optimalnog zahvata vode iz velikih vodnih tokova i akumulacija. Projektantska praksa ukazala je na veliki broj mogućih tehničkih rješenja, dostupnih u postojećoj domaćoj i stranoj literaturi, čija primjena najviše ovisi o pretpostavljenim ulaznim parametrima. Upravo veliki broj ulaznih parametara i karakteristika vodnih tokova ili akumulacija umnogome određuje odabir tehničkog rješenja zahvata vode. Odabir „optimalnog“ rješenja zahvata vode, prvenstveno je određen analizom troškova gradnje, ali i troškova

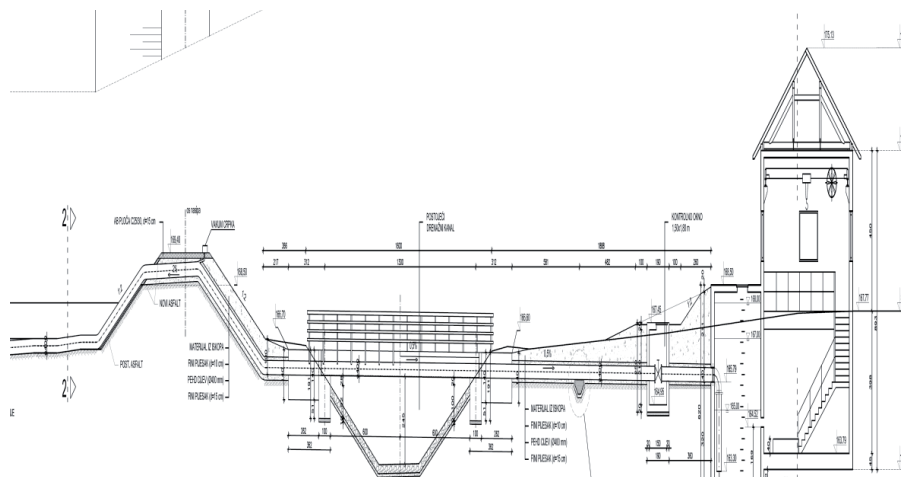
rada, održavanja i upravljanja sustavom navodnjavanja. Hrvatska projektantska praksa kao i iskustva na izgradnji novih sustava navodnjavanja pokazuju da troškovi zahvata vode iz velikih vodnih tokova čine značajni dio investicije, dok kod troškova rada, održavanja i upravljanja sustavom navodnjavanja oni čine glavnu stavku troškova. Nastavno možemo reći da je dosadašnja projektantska praksa pokazala veliku raznolikost odabranih rješenja, odnosno izostanak alternativnih analiza (potkrijepljenih financijskim pokazateljima) mogućih rješenja u okviru faze projektiranja, što ukazuje na mogućnost i potrebu dodatne analize ovog problema, sa svrhom standardiziranja i **optimaliziranja tih i takovih rješenja zahvata vode iz velikih vodnih tokova i akumulacija za potrebe navodnjavanja.**

2. POSTOJEĆA TEHNIČKA RJEŠENJA

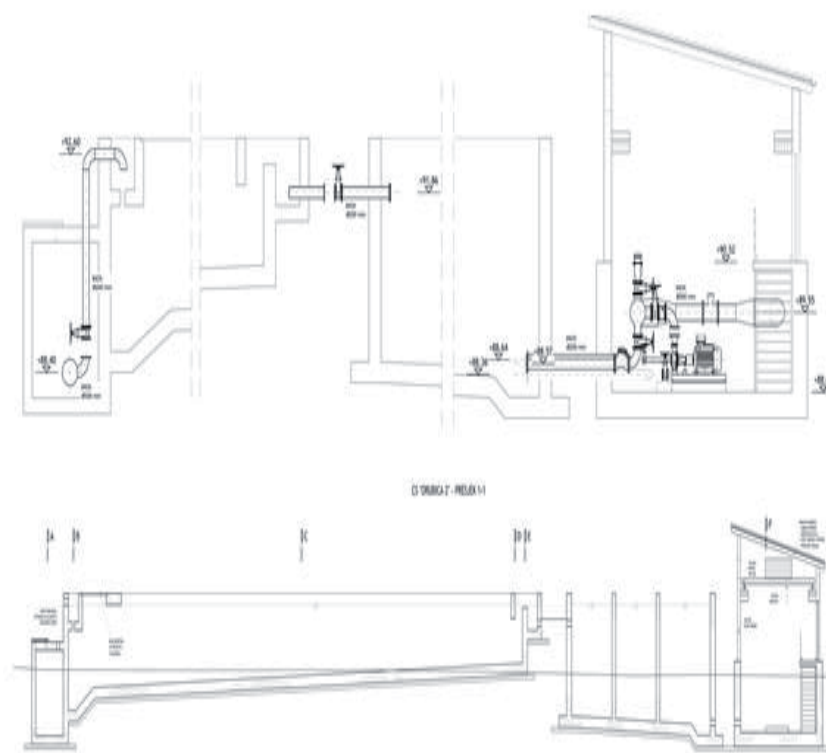
Kod zahvata vode za potrebe navodnjavanja iz velikih rijeka načelno postoje dva tehnička rješenja, a to su:

- gravitacijski zahvat vode u koritu vodotoka koji zahvaća vodu na nivou male vode te ga putem cijevi, kanala ili mikrotunela dovodi do crpne stanice u zaobalju vodotoka,
- dvostupanjski tlačni zahvat vode iz vodotoka koji uključuje niskotlačne crpke u samom vodotoku (s funkcijom savladavanja visinske razlike do kote zaobalja) te crpnu stanicu u zaobalju vodotoka.

Oba tehnička rješenja izazovna su s aspekta projektiranja (zamuljivanje, poplavne vode, način temeljenja i odabir tehničkog rješenja konstrukcije, utrošak električne energije te način i troškovi održavanja) ali i samog izvođenja odabranog tehničkog rješenja. Posebni problemi mogu se očekivati tijekom izgradnje osobito s aspekta zaštite i stabilnosti građevinske jame, ali i načina smanjenja nivoa podzemnih voda i sprječavanja prodora iste u samu jamu tijekom građenja. Dosadašnja iskustva na projektiranju i izgradnji zahvata vode na rijeci Dravi za potrebe sustava navodnjavanja Gat, Kapinci-Vaška i Međimurje ukazuju na različita tehnička rješenja, ali i velike probleme u samoj izgradnji objekata. Kod sustava navodnjavanja Gat (Tadić, 2005) izabrano je gravitacijsko tehničko rješenje sa zahvatom u koritu putem cijevi do taložnice i crpne stanice u zaobalju vodotoka (slika 1.). U slučaju sustava navodnjavanja Kapinci Vaška (Sečen) gravitacijski zahvat ostvaren je izgradnjom mikrotunela od korita do lokacije crpne stanice (slika 2.). Na sustavu navodnjavanja Međimurje (Kešetović, 2007) zahvat iz akumulacije na rijeci Dravi ostvaren je izgradnjom površinskog cijevovoda preko zaštitnih nasipa akumulacije do ukopane crpne stanice u zaobalju, a isti funkcionira na principu natege (slika 3.). Zahvatna građevina s niskotlačnom crpnom stanicom u koritu vodotoka i crpnom stanicom u zaobalju projektirane su na sustavima navodnjavanja Orubica (Matković, 2012) na rijeci Savi (slika 4.).



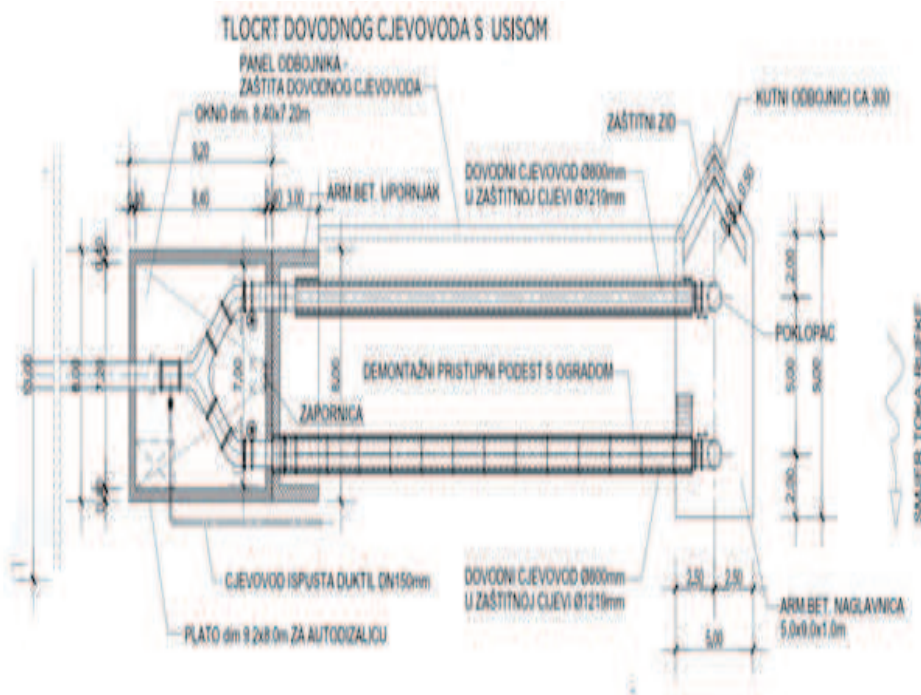
Slika 3. Tehničko rješenje zahvaćanja vode na sustavu navodnjavanja Međimurje



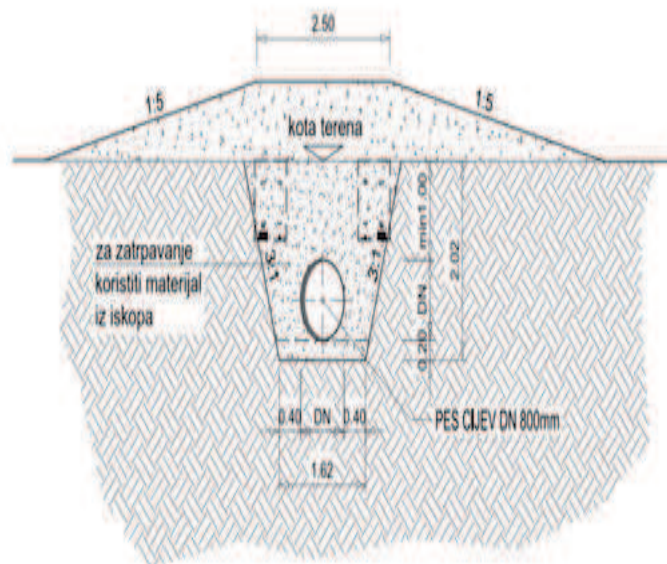
Slika 4. Tehničko rješenje zahvata vode na sustavu navodnjavanja Orubica

odgovarajućih difuzora po visini pilota omogućuje ulazak vode u pilote. Uz uvjet postavljanja niskotlačnih pumpi unutar istih, konstruktivnim povezivanjem više pilota ostvaruju se mogućnosti zahvaćanja vode iz vodotoka. Visinu zahvata vode u funkciji oscilacije vode u vodotoku moguće je osigurati ugradnjom više usisnih glava po visini pilota. Konstruktivno povezivanje više pilota, ostvaruje se izgradnjom naglavne pločeplatforme, a izvedbom lakog čeličnog mosta postiže se povezivanje zahvata s obalom vodotoka. Od zahvata vode do objekta crpne stanice u zaobalju vodotoka gradi se čelični cjevovod, na kojem se postavlja zasunsko okno neposredno uz konstrukciju čeličnog mosta na obali korita vodotoka. Uzdužni profil tehničkog rješenja usisa vode, s čeličnim mostom i zasunskom građevinom dan je na slici 5.

Tehničko rješenje zasunskog okna (tlocrt) i način polaganja čeličnog dovodnog cjevovoda dano je na slikama 6. i 7.

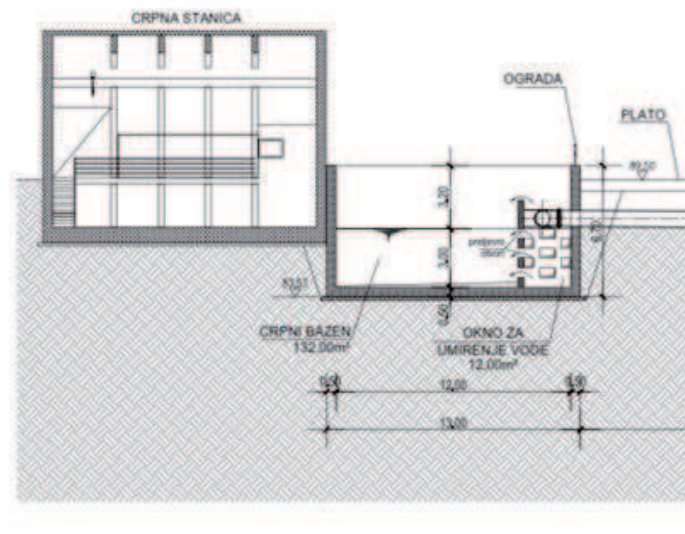


Slika 6. Tehničko rješenje zasunskog okna



Slika 7. Način polaganja čeličnog dovodnog cjevovoda

Uzdužni presjek crpne stanice s bazenom dan je na slici 8.



Slika 8. Uzdužni presjek crpne stanice s bazenom

Zahvaćanje vode iz pilota ostvaruje se putem potopnih crpki, dok je kapacitet zahvata vode za navodnjavanje moguće modificirati u funkciji ne samo kapaciteta crpki već i broja pilota koji čine konstrukciju zahvata vode. Način postavljanja i pričvršćenja potopnih crpki dat je na slici 9.

4. ANALIZA ODABIRA TEHNIČKIH RJEŠENJA

Za potrebe analize tehničkih rješenja zahvaćanja vode iz velikih vodnih tokova provedena je usporedba klasičnih tehničkih rješenja zahvata vode te zahvata iz alternativnog rješenja. Analiza je provedena s aspekta tehnike izgradnje, troškova izgradnje, održavanja i operativnih troškova te zaključno s aspekta sigurnosti konstrukcije. Rezultati provedenih analiza vezanih za aspekt odabira mogućih tehnologija izgradnje građevine za zahvat vode iz vodotoka, ukazuju na prednosti alternativnog rješenja u odnosu na klasična, prvenstveno u smislu mogućnosti izgradnje zahvata u uvjetima protoke u koritu bez posebnih mjera za osiguranje suhih uvjeta gradnje. Nastavno analiza sigurnosti same građevine u razdobljima propagacije velikih vodnih valova kod alternativnog rješenja ukazuje na izostanak mogućih problema za sigurnost i stabilnost konstrukcije, čak i u slučaju pojave udara plutajući predmeta ili udara broda. S aspekta analize troškova izgradnje svih analiziranih rješenja proizlazi i činjenica da alternativno tehničko rješenje ima manje ukupne troškove izgradnje. Analiza troškova operativnog rada ukazuje na minimalna odstupanja u vrijednostima istih, dok se kod pitanja troškova održavanja ponovo ukazuju razlike kod svakog od mogućih rješenja. Načelno gledajući, alternativno rješenje ipak ostvaruje manje troškove održavanja, a i značajno je olakšana mogućnost pristupa svim dijelovima konstrukcije u gotovo svim uvjetima tečenja u koritu vodotoka. Opisano predloženo alternativno rješenje zahvata vode iz velikih vodotoka upotrebom novih pilotski konstrukcija otvara i neke inženjerske izazove, a to su prije svega način fiksiranja pilota u samo dno vodotoka (u slučaju sustava navodnjavanja Dalj, taj problem riješen je upotrebom bušenih pilota), konstruktivno rješenje usisa vode na čeličnom pilotu, oblik i zaštita samog difuzora za zahvat vode, pitanje taloženja finih čestica nanosa oko i unutar konstrukcije zahvata vode te na koncu dugopročni utjecaj hidromorfoloških procesa na odabir lokacije za izgradnju konstrukcije za zahvaćanje.

ZAKLJUČAK

Zaključujući analizu odabira tehničkih rješenja objekta zahvata vode za potrebe navodnjavanja iz velikih vodnih tokova, potrebno je istaknuti činjenicu da su postojeća, do sada korištena tehnička rješenja ukazala na potencijalne tehničke, izvođačke i uporabne probleme kako za investitora građevine tako i za korisnika sustava navodnjavanja. Načelno gledajući, moguće alternativno rješenje zahvata vode nudi dio odgovora na do sada uočene probleme te zaslužuje priliku da se izgradi u okviru realizacije NAPNAV-a. Uvjerni smo da će na primjeru sustava navodnjavanja Dalj, ovo originalno i inovativno rješenje (ne samo u hrvatskoj stručnoj praksi), uspješno odgovoriti na sve izazove izgradnje, korištenja i održavanja sustava navodnjavanja.

LITERATURA

- [1] Kešetović E. (2007): *Glavni projekt - Sustav za navodnjavanje pilot područja veličine cca. 250 ha u Međimurskoj županiji na području k.o. Strahohinec, Kuršanec i Nedelišće*, IGH d.d.
- [2] Lustig,R.,Dragčevoc,B,Slatina,N.,Stanić,B.,Ganić,I.,Pavoković.D.,Piškulić.M. (2015): *Studija alternativnog zahvaćanja vode iz vodotoka za potrebe navodnjavanja Rijekaprojekt, Rijeka*
- [3] Lustig,R.(2018):*IzvedbeniprojektsustavanavodnjavanjaDalj*,Rijekaprojekt,Rijeka
- [4] Matković B. (2012) : *Glavni projekt – Sustav navodnjavanja Orubica*, IGH d.d.
- [5] Sečen V.: *Glavni projekt – Projekt navodnjavanja Kapinci Vaška*, Elektroprojekt d.d.
- [6] Tadić Z. (2005) : *Idejni projekt – Pilot projekt navodnjavanja 500 ha na području Belišća – lokacija Gat*, Hidroing d.o.o.

AUTORI

Doc.dr.sc. Danko Holjević ^a

Rene Lustig, dipl.ing.građ. ^b

Marinko Galiot, dipl.ing.građ. ^c

Marko Blagus mag.ing.aedif. ^d

Zoran Jakelić, dipl.ing.građ. ^e

Mario Bagarić, dipl.ing.građ. ^f

^a Hrvatske vode, VGO Rijeka , Đure Šporera 3, Rijeka 51000, Hrvatska, danko.holjevic@voda.hr

^b Rijekaprojekt, Moše Albaharija 10a, Rijeka 51000, Hrvatska, rlustig@rijekaprojekt.hr

^c Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska, marinko.galiot@voda.hr

^d Hrvatske vode, Splavarska 2a, Osijek 31000, Hrvatska, marko.blagus@voda.hr

^e Hrvatske vode, Vukovarska 35, Split 21000, Hrvatska, zoran.jakelic@voda.hr

^f Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb 10000, Hrvatska, mario.bagaric@voda.hr



R 2.30.

UTJECAJ OBLIKA USMJERIVAČA TOKA NA POLJE BRZINE U DOVODNOM KANALU

Antonija Cikojević, Gordon Gilja, Eva Ocvirk, Neven Kuspilić

SAŽETAK: Oblikovanje ulaza u hidrotehničke dovodne kanale je izazov s aspekta osiguranja hidrauličke učinkovitosti samog kanala jer je njegov smještaj u prostoru najčešće uvjetovan vanjskim čimbenicima i raspoloživim prostorom. Postizanje ravnomjerne raspodjele brzine toka u dovodnom kanalu moguće je ostvariti izvedbom masivnog zida koji usmjerava tok na njegovom ulazu. U ovom radu analiziran je utjecaj oblika usmjerivača toka na polje brzine u hidrotehničkom dovodnom kanalu za tri različite geometrije. Cilj ovog rada je odrediti utjecaj usmjerivača toka na raspored polja brzine toka i gubitke u dovodnom kanalu pri karakterističnim hidrološkim događajima. Učinkovitost pojedinog rješenja ocijenjena je usporedbom s geometrijom ulaza bez izvedbe usmjerivača na temelju rezultata 2D numeričkog modela tečenja: brzine toka, dubine toka i hidrauličkih gubitaka. Na temelju analize je zaključeno da izvedba usmjerivača toka potencijalno može doprinijeti povećanju protočnosti kanala, kao i uspostavi jednolikog polja brzine.

KLJUČNE RIJEČI: Usmjerivač toka, dovodni kanal, raspored polja brzine, hidraulički gubici

INFLUENCE OF THE DEFLECTION WALL ON VELOCITY DISTRIBUTION IN THE INTAKE CHANNEL

ABSTRACT: Designing the entrance into a hydrotechnical intake channel presents a challenge with regard to the manner in which a desired hydraulic efficiency of the channel can be achieved when its spatial placement is generally limited by external factors and available space. A uniform velocity field distribution in the intake channel can be achieved by the execution of a massive deflection wall to streamline the flow at the channel entrance. This paper analyses the impact of the shape of a deflection wall on the velocity distribution in the intake channel for three different geometries. The aim of the paper is to determine the impact of the deflection wall on the velocity distribution and hydraulic losses in the intake channel under characteristic hydrological boundary conditions. Hydraulic efficiency of each alternative was evaluated using a 2D numerical model of flow: flow velocity, flow depth and hydraulic losses. Based on the analysis, it was concluded that execution of a deflection wall has the potential to improve the hydraulic efficiency of a channel and establish a uniform velocity distribution.

KEYWORDS: deflection wall, intake channel, velocity distribution, hydraulic losses

1. UVOD

Dimenzioniranje hidrotehničkih građevina uz osiguranje projektom zahtijevane protočnosti unutar raspoloživog prostora često predstavlja izazov u inženjerskoj praksi. Oblikovanje ulaza u hidrotehničke dovodne kanale je izazov s aspekta osiguranja hidrauličke učinkovitosti samog kanala jer na njegov smještaj u prostoru, kao i na duljinu, mogu uvelike utjecati vanjski čimbenici i namjena zemljišta. Stoga je potrebno na relativno kratkim dionicama osigurati uspostavu ravnomjernog rasporeda polja brzine toka prema zahvatu uz postizanje maksimalne protočnosti, tj. minimizaciju gubitaka. Jedno od mogućih rješenja je izvedba usmjerivača toka na ulazu u dovodni kanal. Uloga usmjerivača toka je smanjiti vrtloženje (Gogus i drugi, 2016) i ujednačiti polje brzine. Jedno od prvih istraživanja usmjerivača toka provedeno je na hidrauličkom institutu Sveučilišta u Iowi gdje analizirana učinkovitost regulacije toka rijeke u zavoju izvedbom potopljenih lopatica (engl. *submerged vanes*) (Odgaard i drugi, 1983). Neka istraživanja koristila su sličnu građevinu koju su nazvali usmjeravajuće pero (engl. *deviation groyne*) čija je uloga promijeniti strujnu sliku preusmjeravanjem toka prema ribljem odmorištu (Ribi i drugi, 2014). Povećanje hidrauličke učinkovitosti dovodnog kanala posljedica je smanjenja ukupnih gubitaka u kanalu koje se povijesno ostvarivalo izvedbom prepreke (engl. *obstacle*) ispred ulazne građevine koja je navodila tok pod odgovarajućim kutom na turbinu (Gabl i drugi, 2018).

U ovom radu analiziran je utjecaj oblika usmjerivača toka na polje brzine u hidrotehničkom dovodnom kanalu. Motivacija istraživanja je analiza smanjenja gubitaka u dovodnom kanalu male hidroelektrane kod kojeg nepotreban hidraulički gubitak zbog lošeg oblikovanja rezultira značajnim smanjenjem proizvodnje električne energije. Ovi gubici naročito dolaze do izražaja kod složene hidrološko - hidrauličke situacije kao što je zahvat na ušću dva vodotoka. Na ušću vodotoka se, osim utjecaja samog zahvata, mora uzeti u obzir i složeno polje tečenja kao rezultat interakcije tokova obiju pritoka. Iz tog razloga fokus ovog istraživanja je generički slučaj zahvata vode u dovodni kanal male hidroelektrane na samom ušću dvaju vodotoka.

Cilj ovog rada je odrediti utjecaj usmjerivača toka na raspored polja brzine toka i gubitke u dovodnom kanalu korištenjem 2D numeričkih simulacija. Za analizu su korištene tri varijante geometrije usmjerivača toka, pri čemu je učinkovitost svake pojedine varijante procijenjena usporedbom s geometrijom ulaza bez izvedbe usmjerivača. Rezultati numeričkog modela varijantnih rješenja s usmjerivačem toka uspoređeni su s varijantom dovodnog kanala bez njega preko karakterističnih vrijednosti brzine toka, dubine toka i hidrauličkih gubitaka.

2. METODOLOGIJA

Kao primjer za analizu odabran je zahvat na ušću dvaju vodotoka koji imaju sličan režim voda. Nizvodna dionica vodotoka odvojena je od ušća pragom kojim se omogućuje zahvat cjelokupnog volumena vode sve dok je vodostaj niži od njegove krune. U trenutku kada vodostaj nadvisi kotu krune praga dotok s uzvodne dionice se dijeli na tok kroz dovodni kanal i prelijevanje preko praga te se potencijalno smanjuje protočnost dovodnog kanala.

Definirani plan numeričkih simulacija usmjeren je ka optimizaciji oblika i položaja usmjerivača toka u svrhu postizanja tražene protočnosti dovodnog kanala pri rasponu hidroloških događaja koji obuhvaćaju situacije kada sav protok prolazi dovodnim kanalom te situacije u kojima se aktivira prelijevanje preko praga.

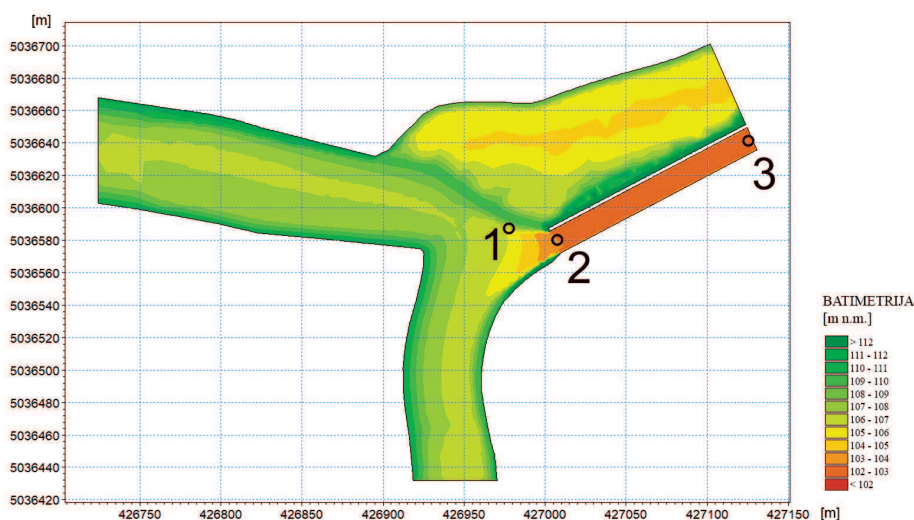
Na temelju jednodimenzionalnog hidrauličkog proračuna za karakteristični hidrološki događaj provedena je kalibracija modela. Kalibracija je provedena usporedbom izračunatih i snimljenih vodostaja na dvije uzvodne vodomjerne postaje i jednoj nizvodnoj. Uzvodne vodomjerne postaje udaljene su na gornjem vodotoku 6,6 km od ušća, na donjem 19,6 km, dok je nizvodna vodomjerna postaja 8 km dalje od ušća. Njome je određen Manningov koeficijent i koeficijent prelijevanja preko pragova na modeliranoj riječnoj dionici. Iz rezultata jednodimenzionalnog modela tečenja dobiveni su rubni uvjeti koji će služiti kao ulazni podatak za dvodimenzionalni hidraulički proračun. Osnovni karakteristični hidrološki događaj predstavlja dotok iz jednog vodotoka $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$, a drugog $Q = 35 \text{ m}^3/\text{s}$ što u dovodnom kanalu predstavlja sumarnih $Q_i = 65 \text{ m}^3/\text{s}$ i pri čemu je vodostaj jednak koti krune praga. Ovaj karakteristični hidrološki događaj predstavlja sličan instalirani protok onome nedavno izgrađenih malih hidroelektrana u Hrvatskoj (Gilja i drugi, 2013; Građevinski fakultet, 2012; Ocvirk i drugi, 2015). Za ostale simulirane hidrološke događaje odabrani su dotoci s uzvodnog sliva veći od karakterističnih (iz jednog vodotoka $Q = 32 \text{ m}^3/\text{s}$ i drugog $Q = 37 \text{ m}^3/\text{s}$, ukupno $>Q_i = 69 \text{ m}^3/\text{s}$) pri čemu dolazi do odijeljivanja protoka kroz dovodni kanal i prelijevanja preko praga. U trenutku kada se model stacionira i dalje prolazi $Q_{UK} = 65 \text{ m}^3/\text{s}$ kroz dovodni kanal no dodatnih $4 \text{ m}^3/\text{s}$ se prelijeva preko praga. Događaj $>Q_i$ služi za procjenu učinkovitosti doprinosa usmjerivača toka u uvjetima kada vodotokom dolazi protok veći od instaliranog te je potrebno zadržati maksimalnu učinkovitost dovodnog kanala, što podrazumijeva svođenje gubitaka na minimum.

2.1 Oblik i položaj usmjerivača toka

Za numeričke simulacije uspostavljene su četiri varijante modela koje imaju jednaku geometriju ušća i kanala, a mijenjao se oblik i položaj usmjerivača toka u koritu. Kota krune usmjerivača zadržala se konstantnom i višom od krune praga. Uzevši u obzir da usmjerivač toka remeti lokalno polje tečenja, prvo je provedena numerička simulacija varijante VAR_0 čiji je ulaz u dovodni kanal izveden bez usmjerivača toka. Svrha uspostavljanja varijante VAR_0 je kako bi se doprinos usmjerivača toka mogao usporediti s njegovim. U ostale tri varijante izveden je usmjerivač toka duljine 29 m, a međusobno se razlikuju jedino prema njegovom položaju. U varijanti VAR_1 usmjerivač toka se u potpunosti nalazi izvan dovodnog kanala, a položen je na simetrali kuta koji zatvaraju osi dvaju vodotoka. Os usmjerivača toka u varijanti VAR_2 postavljena je na istom pravcu kao i u varijanti VAR_1, ali je u odnosu na nju primaknut ulazu u dovodni kanal. U varijanti VAR_3 usmjerivač toka je potpuno uvučen u dovodni kanal i postavljen je paralelno sa zidovima dovodnog kanala. Položaj usmjerivača u svim varijantama se odabirao tako da je pozicioniran što bliže osi dovodnog kanala odnosno da po širini dijeli dovodni kanal na dva podjednaka dijela kako ne bi došlo do nepovoljnih hidrauličkih uvjeta (Le i drugi, 2018). U svrhu preglednije analize rezultata određene su tri točke u kojima će se promatrati rezultati. Referentna točka u koritu (točka 1) nalazi se u koritu ispred dovodnog kanala, točka 2 nalazi se na samom ulazu u dovodni kanal i točka 3 na

izlazu iz dovodnog kanala (Slika 1).

U ovako projektiranom kanalu dolazi do pojave lokalnih i linijskih hidrauličkih gubitaka. Lokalni gubitak predstavlja prijelaz iz prirodnog korita u umjetni dovodni kanal pri čemu dolazi do nagle promjene geometrije na ulazu u kanal, ubrzanja toka i posljedično lokalnog gubitka energije. Povećani linijski gubici u kanalu u usporedbi s prirodnim koritom posljedica su povećane brzine tečenja u dovodnom kanalu uzrokovanih zahvatom vode. Optimalni oblik usmjerivača toka u kontekstu ovog rada je onaj kojim se postižu najmanji lokalni i linijski gubici te najveće protočnosti dovodnog kanala u trenucima kada je dotok veći od karakterističnog te dolazi do prelijevanja preko praga. Podaci za kvantifikaciju navedenih parametara direktan su rezultat proračuna numeričkim modelom.



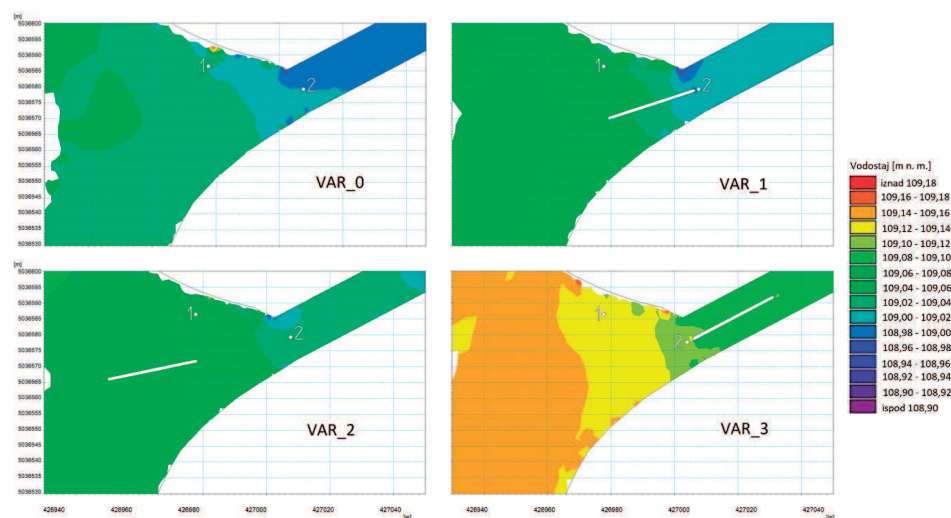
Slika 1. Prikaz konfiguracije dna terena i referentnih točaka s kojih će se očitavati rezultati

3. REZULTATI

2D numerički model definiran je za karakteristični hidrološki režim pri punom kapacitetu dovodnog kanala, stoga je protok u jednom vodotoku $35 \text{ m}^3/\text{s}$, a u drugom $30 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je vodostaj na izlazu iz modela (u kanalu) 109 m n. m. Ovisno o geometriji pojedinog varijantnog rješenja na domeni modela se realizira pripadno polje brzine i vodostaja s karakterističnim obilježjima. U nastavku (Slika 2) su prikazani rezultati numeričkog modela za karakteristični hidrološki događaj ($Q_p = 65 \text{ m}^3/\text{s}$) preko polja vodostaja. Razlike u vodostajima na domeni modela posljedica su lokalnih i linijskih gubitaka, a promatrane su usporedbom rezultata na tri prethodno opisane karakteristične točke. Razlika vodostaja između točaka 1 i 2 predstavlja primarno lokalne gubitke na ulazu u dovodni kanal, dok razlike u vodostajima između točaka 2 i 3 predstavljaju primarno linijske gubitke duž dovodnog kanala. Razlika vodostaja između točaka 1 i 3 predstavlja ukupne gubitke u promatranom sustavu, s tim da je vodostaj na lokaciji točke 1 isti za sve varijante tj. predstavlja vodostaj dovoljno daleko od zahvata na koji ne utječu predložene varijante

usmjerivača toka.

Promatrajući početak dovodnog kanala, primjećuje se da je najviši vodostaj realiziran za varijantu VAR_3 (109,10 m n. m.) dok za ostale varijante vodostaj na ulazu u kanal iznosi 109,00 m n. m. U varijanti VAR_3 usmjerivač toka se u potpunosti nalazi unutar dovodnog kanala i na taj način smanjuje protočnu površinu kanala te posljedično stvara uspor. Vidljivo je da između varijanti VAR_1 i VAR_2 nema značajne razlike u polju vodostaja, tj. da položaj usmjerivača rezultira zanemarivom razlikom u vodostaju.



Slika 2. Raspored polja vodostaja za karakteristični hidrološki događaj Q_i

Detaljan prikaz gubitaka prikazan je u tablici u nastavku (Tablica 1). Najveći lokalni gubitak na ulazu u kanal ostvaruje se u varijanti VAR_1 čiji je usmjerivač na samom ulazu u dovodni kanal, dok su za ostale 3 varijante lokalni gubici jednaki. Najveći linijski gubici duž kanala manifestirali su se u varijanti VAR_2 čiji je usmjerivač toka smješten na relativno velikoj udaljenosti izvan dovodnog kanala, dok su najmanji za VAR_1. Za ostale varijante su linijski gubici jednaki. Ukupno gledajući gubitke od referentne točke u koritu izvan dovodnog kanala do njegovog izlaza (1-3) najveći zbrojeni lokalni i linijski gubici za protok Q_i ostvaruju se za varijante VAR_1 i VAR_2 (5 cm), dok su za varijante VAR_0 i VAR_3 zanemarivo manji (4 cm) (Tablica 1).

Ako se promatraju gubici pri protoku $>Q_i$, vidljiv je drugačiji trend od onog pri protoku Q_i . Najmanji lokalni gubici se javljaju za VAR_0, dok su za sve ostale varijante veći i međusobno jednaki. Linijski gubici pokazuju suprotan trend, najveći su za VAR_0, dok su za sve ostale varijante manji i jednaki. Rezultantni ukupni gubici su najmanji pri varijanti VAR_0 (3 cm), dok su za ostale varijante jednaki i zanemarivo veći (4 cm).

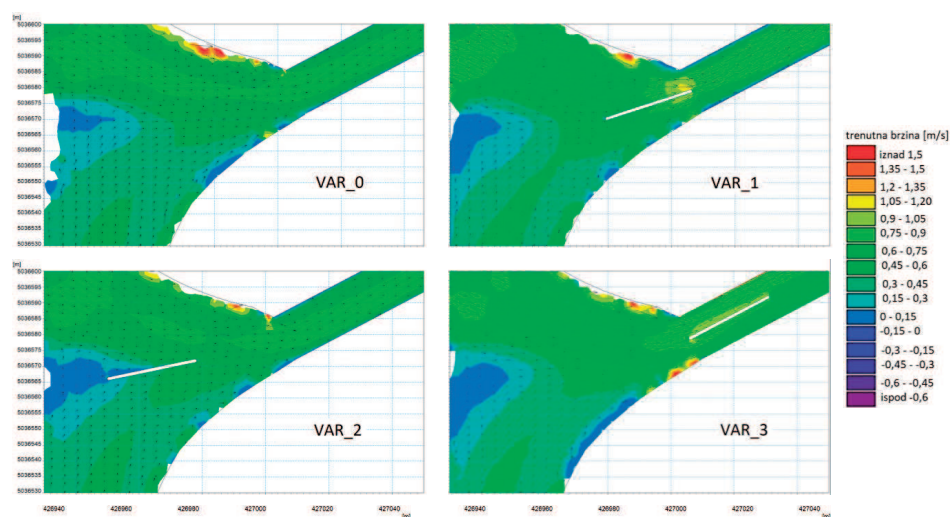
Analiza gubitaka je pokazala da se gubici između pojedinih varijanti ne razlikuju značajno, tj. da se doprinos usmjerivača toka na gubitke u sustavu ne može nedvojbeno potvrditi ili odbaciti. Budući da analizom gubitaka nije jednoznačno moguće odrediti najpovoljnije rješenje, potrebno je analizirati polje brzine kao dodatni kriterij. Poželjno je ostvariti jednoliko tečenje u dovodnom kanalu kako bi se osigurao jednolik tok i na taj

način olakšalo njegovo korištenje.

Raspored polja brzine za karakteristični protok Q_i prikazan je na grafici u nastavku (Slika 3) za sva varijantna rješenja. Vidljivo je da, kao i kod polja vodostaja, nema značajnijih razlika na cjelokupnoj domeni modela. Polje brzine u dovodnom kanalu nizvodno od usmjerivača toka je jednoliko u svim varijantama. Za varijantu VAR_0 dominantan tok dolazi s lijeve obale te se posljedično i lokalno najveće brzine javljaju uz nju. Iz desnog pritoka su brzine manje i do 0,2 m/s. Izgradnjom usmjerivača u VAR_1 uočava se koncentracija toka s lijeve pritoke uz nizvodni rub usmjerivača, a smanjenje brzine uz lijeve obale.

Tablica 1. Hidraulički gubici za sve varijante ovisno o različitim hidrološkim događajima i razlike gubitaka svih varijanti u odnosu na varijantu bez usmjerivača.

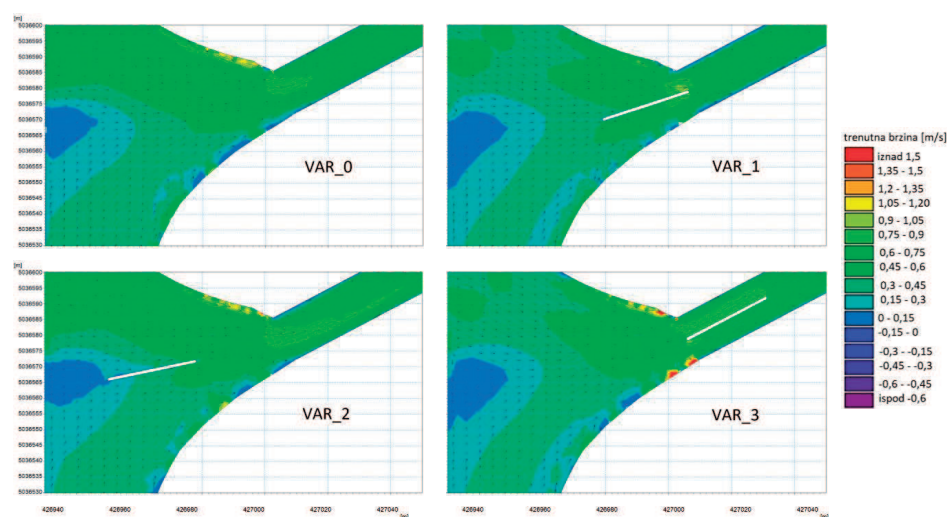
		Gubici [cm]			
		VAR_0	VAR_1	VAR_2	VAR_3
1-2	Q_i	2	4	2	2
	$>Q_i$	1	3	3	3
2-3	Q_i	2	1	3	2
	$>Q_i$	2	1	1	1
1-3	Q_i	4	5	5	4
	$>Q_i$	3	4	4	4
		Razlike u odnosu na VAR_0 [cm]			
		VAR_0	VAR_0	VAR_0	VAR_0
1-2	Q_i	/	2	0	0
	$>Q_i$	/	2	2	2
2-3	Q_i	/	-1	1	0
	$>Q_i$	/	-1	-1	-1
1-3	Q_i	/	1	1	0
	$>Q_i$	/	1	1	1



Slika 3. Raspored polja brzina za karakteristični hidrološki događaj Q_i

Uočava se i povećanje brzine toka u desnom pritoku uzvodno od usmjerivača. Za VAR_2 je vidljivo da se položaj usmjerivača poklapa s rubom korita lijevog pritoka te stoga ne ograničava značajno njegov tok. Također se položaj usmjerivača nalazi van korita desnog pritoka te iz istog razloga ne utječe na raspored polja brzine u njemu. Za VAR_3 vidljivo je da stvaranje uspora utječe samo na lokalni raspored polja brzine oko usmjerivača. Promatra li se polje brzine oko usmjerivača toka vidljivo je da dolazi do lokalne neravnomjernosti brzine toka, uz njegovu lijevu stijenku dolazi do ubrzanja te povećanja zone većih brzina neposredno na ulazu u kanal. Brzina toka uz desnu stijenku usmjerivača ne mijenja se značajno u odnosu na varijantu VAR_0.

Za varijantu VAR_0 s povećanjem protoka na $>Q_i$ dolazi do povećanja dubine toka i posljedično neznatnog smanjenja srednje brzine toka po cijeloj domeni osim u dovodnom kanalu (Slika 4). Za varijantu VAR_2 je vidljivo polja brzine vrlo slično onome u VAR_0, i po smjeru i po iznosu. Za varijante VAR_1 i VAR_3 vidljiv je jednak trend promjena kao kod prethodne dvije varijante, s tim da je smanjenje brzine izraženije u lijevom pritoku. Kao i za protok Q_i , u varijanti VAR_3 se javlja lokalno najveća brzina toka neposredno uz stijenke usmjerivača toka te lijevu i desnu obalu na ulazu u kanal.



Slika 4. Raspored polja brzine za hidrološki događaj veći od karakterističnog $>Q_i$

Iako su identificirani površinski poremećaji u polju brzine lokalnog karaktera te se nizvodno ne prenose, oni predstavljaju potencijalan izvor hidrauličkih gubitaka. Polje brzine toka usrednjeno po dubini potencijalno skriva nejednolikost unutar samog vodnog stupca koje bi mogle dodatno utjecati na hidrauličku učinkovitost kanala. Nameće se pitanje da li polje brzine u dubljim slojevima dovodnog kanala prati trend brzine usrednjene po dubini i koliko je odstupanje profila brzine od njegove srednje vrijednosti. Može se zaključiti da rezultati polja brzine usrednjene po dubini ne odražavaju stvarni doprinos usmjerivača toka u odnosu na varijantu bez njegove izvedbe. S obzirom da se dvodimenzionalna analiza pokazala nedovoljno detaljnom za donošenje zaključaka o doprinosu usmjerivača toka, potencijalno istraživanje na detaljnijem, trodimenzionalnom, modelu tečenja koristilo bi za ocjenu raspodjele brzine toka po dubini toka.

ZAKLJUČAK

U ovom redu prikazana je kvalitativna analiza doprinosa izvedbe usmjerivača toka na raspored polja brzine u hidrotehničkom kanalu za tri različite izvedbe. Rezultati numeričkog modela varijantnih rješenja u usporedbi s varijantom dovodnog kanala bez usmjerivača pokazuju njegov mjerljiv utjecaj na lokalne i linijske gubitke, kao i na lokalno polje brzine. Analizom je potvrđeno da izvedba usmjerivača toka ne doprinosi značajno smanjenju hidrauličkih gubitaka i povećanju protočnosti kanala, ali i da je dvodimenzionalna analiza nedovoljno detaljna za donošenje zaključaka o doprinosu usmjerivača toka na profil brzine po dubini kanala. Stoga je potrebno analize hidrotehničkih kanala u svrhu njihovog hidrauličkog oblikovanja provoditi korištenjem trodimenzionalnog numeričkog modela kojim će se dobiti detaljniji uvid u strujnu sliku po cijelom poprečnom profilu.

LITERATURA

- [1] Gabl, R., Innerhofer, D., Achleitner, S., Righetti, M. & Aufleger, M., (2018): *Evaluation criteria for velocity distributions in front of bulb hydro turbines*, Renewable Energy, 121 745-756
- [2] Gilja, G., Ocvirk, E. & Beraković, B., (2013): *Hydrological analysis of flow variations on SHPP site*, 13th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering (A. Šoltész, Š. Stanko & I. Škultétyová), Slovak University of Technology in Bratislava, 121-128
- [3] Gogus, M., Altan-Sakarya, A.B. & Koken, M., (2016): *Experimental Investigation of the Anti-Vortex Devices of Beyhan 1 Dam and Hydroelectric Power Plant Water Intake Structure*, Procedia Engineering, 161 881-886
- [4] Građevinski fakultet, S.u.Z., (2012): *Glavni projekt MHE Ilovac na r. Kupi*, Tekonet d. o. o., Zagreb
- [5] Le, T.B., Crosato, A., Mosselman, E. & Uijttewaal, W.S.J., (2018): *On the stability of river bifurcations created by longitudinal training walls. Numerical investigation*, Advances in Water Resources, 113 112-125
- [6] Ocvirk, E., Gilja, G. & Berbić, J., (2015): *Analysis of SHPP Brodarci influence on production of HPP Ozalj*, 14th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering (J. Říha, T. Julínek & K. Adam), Institute of Water Structures, FCE, BUT, 479-486
- [7] Odgaard, A.J. & Kennedy, J.F., (1983): *RIVER-BEND BANK PROTECTION BY SUBMERGED VANES*, Journal of Hydraulic Engineering-Asce, 109 (8), 1161-1173
- [8] Ribí, J.M., Boillat, J.L., Peter, A. & Schleiss, A.J., (2014): *Attractiveness of a lateral shelter in a channel as a refuge for juvenile brown trout during hydropeaking*, Aquatic Sciences, 76 (4), 527-541

AUTORI

Antonija Cikojević, mag. ing. aedif. ^a

doc. dr. sc. Gordon Gilja, dipl. ing. građ. ^b

izv. prof. dr. sc. Eva Ocvirk, dipl. ing. građ., dipl. ing. mat. ^c

prof. dr. sc. Neven Kuspilić, dipl. ing. građ. ^d

^a Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, acikojevic@grad.hr

^b Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, ggilja@grad.hr

^c Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, ocvirk@grad.hr

^d Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, kuspa@grad.hr



R 2.31.

UTJECAJ NAVODNJAVANJA I GNOJIDBE DUŠIKOM NA UROD I KAKVOĆU ZRNA KUKURUZA (ZEA MAYS L.)

**Marko Josipović, Antun Jambrović, Jasna Šoštarić, Monika Marković,
Miroslav Dadić, Hrvoje Plavšić**

SAŽETAK: Kukuruz je u dugom kontinuitetu najzastupljenija žitarica na oranicama Republike Hrvatske. Tijekom višegodišnjega razdoblja (2000. - 2015.) istraživani su učinci navodnjavanja i gnojidbe dušikom na urode i kakvoću različitih kultivara kukuruza. Iz višegodišnjih rezultata izdvojen je dio istraživanja koja su posebno obilježila razdoblje istraživanja sa stanovišta uroda i kakvoće zrna kukuruza istraživanih čimbenika. Navedena istraživanja su publicirana. Poljski pokusi izvođeni su na pokušalištu Poljoprivrednoga instituta Osijek (PIO), a u plodosmjenu su bili kukuruz i soja. Hibridi kukuruza u pokusu su široko rasprostranjeni na poljoprivrednim površinama Republike Hrvatske, a kreacije su PIO - a. Pokusi su postavljeni prema „split split plot“ metodi u tri ponavljanja, sa slučajnim rasporedom blokova, na eutričnom kambisolu. Glavni čimbenik (A) bio je navodnjavanje: A1 = kontrola (bez navodnjavanja), samo prirodne oborine; A2 = održavanje sadržaja vode u tlu navodnjavanjem od 60 % do 100 % poljskog vodnog kapaciteta (PVK) i A3 = održavanje sadržaja vode u tlu navodnjavanjem od 80 % do 100 % PVK. Gnojidba dušikom (N) bila je pod čimbenik: B1 - kontrola (0 kg N ha^{-1}), B2 = 100 kg N ha^{-1} i B3 = 200 kg N ha^{-1} . Pod čimbenik (C) bio je genotip, hibridi kukuruza, koji su mijenjani tijekom godina istraživanja. Navodnjavanje je rezultiralo značajno većim urodom zrna na A2 varijanti prema kontroli kao i B2 varijanta gnojidbe N prema kontroli. Bogatije navodnjavanje (A3) kao i veća gnojidba N (B3) rezultirala je većim urodima prema kontroli i prema nižoj stepenici navodnjavanja i gnojidbe N. Rezultati također ukazuju da održavanje sadržaja vode u tlu navodnjavanjem od 80 do do 100 % PVK i gnojidba sa 200 kg N ha^{-1} rezultiraju najvećim urodima zrna. Hibrid kukuruza je tijekom svih godina istraživanja rezultirao statistički značajnim razlikama u urodu i kakvoći zrna kukuruza. Navodnjavanjem i gnojidbom N se također mijenjaju i pokazatelji kakvoće, sadržaj ulja, bjelančevina i škroba u zrnu. Sadržaji proteina, škroba i ulja su pokazali vrlo male oscilacije vrijednosti tijekom godina istraživanja, kao i vrlo malo variranje u okviru postavljenih varijanti pokusa.

KLJUČNE RIJEČI: navodnjavanje, gnojidba dušikom, kukuruz, urod, kakvoća

IMPACT OF IRRIGATION AND NITROGEN FERTILIZATION ON THE YIELD AND QUALITY IN MAIZE GRAIN (ZEA MAYS L.)

ABSTRACT: Maize has a long continuity of being the prevalent cereal on the fields in the Republic of Croatia. In the period 2000 - 2015, the impacts of irrigation and nitrogen fertilization on the yields and quality of different maize cultivars were researched. From the multi-year results, a part of research that particularly marked the research period from the aspect of maize grain yield and quality of investigated factors has been selected. The mentioned research has been published. The field trials were conducted at the experimental station of the Agricultural Institute Osijek (PIO), with double cropping comprised of corn and soy. The corn hybrids, created by PIO, included in the trial are widespread on agricultural surfaces in the Republic of Croatia. The trials were set on eutric cambisol by split-split plot method according to randomized block design in three replicates. The main factor (A) was irrigation: A1 = control (non-irrigation), only natural precipitation; A2 = water content in soil by irrigation of 60 % - 100 % field capacity (FC), and A3 = maintaining water content in soil by irrigation of 80 % - 100 % FC. Nitrogen (N) fertilization was a sub-factor: B1 - control (0 kg N ha⁻¹), B2 = 100 kg N ha⁻¹ and B3 = 200 kg N ha⁻¹. The sub sub-factor (C) was the genotype, maize hybrids, which were changed over the years of research. Irrigation resulted in a significantly higher grain yield in the A2 variant compared to the control as well as the B2 variant with N fertilization compared to the control. Higher levels of irrigation (A3) and N fertilization (B3) resulted in higher yields compared to the control and lower levels of irrigation and N fertilization. The results further showed that maintaining water content in soil by irrigation of 80 - 100 % FC and fertilization with 200 kg N ha⁻¹ result in the highest grain yields. In all research years, the maize hybrid resulted in statistically significant differences in the yield and quality of maize grain. Additionally, irrigation and N fertilization also affected quality indicators, oil content, proteins and starch in the grain. The contents of protein, starch and oil showed very small oscillations in values during the research years and very small variations within the set variants of the trial.

KEYWORDS: irrigation, nitrogen fertilization, maize, yield, quality

1. UVOD

Kukuruz je u Republici Hrvatskoj najzastupljenija žitarica u poljoprivrednoj proizvodnji. Prema službenim statističkim podacima (Statistički ljetopis, 2017) od 860.126 ha oraničnih površina u Hrvatskoj (pet-godišnji prosjek 2012. - 2016.) kukuruzom je bilo zasijano 271.843 ha (31,6 % oranica). Kukuruz je uz pšenicu i rižu najzastupljenija žitarica u svijetu sa sve većim udjelom u ljudskoj ishrani. Analize višegodišnjih nizova oborine i temperatura zraka kao i simulacijski modeli ukazuju na trend povećanja temperature zraka (Pandžić, 1993; Anić i sur., 2009; cit. Špoljar 2012), iako neki autori za „promjenu klime“ traže konkretne i znanstveno utemeljene dokaze (Bonacci, 2007; Leroux, 2005) prilično detaljno elaborirajući da klimatske promjene treba vrlo oprezno tumačiti, naglašavajući pogotovo pouzdanost različitih prognoznih modela i duljinu niza koji se analizira. Oborine se vrlo malo povećavaju ili čak smanjuju (Anić i sur., 2009., cit. Špoljar 2012.). Pišući o klimatskim promjenama u Karpatskom bazenu Jolankai i

Birkaš (2007.) navode za poljoprivredu dva bitna elementa, jedan je količina oborina, a druga je njihova raspodjela. Također navode da je u ljetnome razdoblju samo od 60 do 80 % oborina korisno za biljke jer su gubitci veliki. Kontinuirani porast temperature zraka praćen je povećanim frekvencijama anomalija vremena kao globalnoga procesa. Također navode da u Mađarskoj, u Karpatskom bazenu dvije činjenice mogu biti promatrane: na prvome mjestu uzlazni hod temperature zraka magnitudom od 1 °C u stotinu godina, a drugi je trend smanjenja količine oborina za oko 83 mm u jednome stoljeću, što u našem istraživanju nije slučaj, bez obzira na razdoblje od samo 16 godina. Što se temperature tiče to stoji, no trend smanjenja oborina je ovdje lokalnoga karaktera.

Prema Kovačeviću i sur. (2009) značajna variranja prosječnih uroda kukuruza po godinama, uglavnom su rezultat manje ili više povoljnih prilika tijekom vegetacije. Vremenske prilike (lipanj-kolovoz) u dvije vegetacije (2000. kao nepovoljna i 2005. godina kao povoljna godina: Novi Sad i Osijek) mogu poslužiti kao tipičan primjer utjecaja vremenskih prilika na prinose kukuruza, Kovačević i sur. (2009). Utjecaj vremenskih prilika na urode kukuruza bio je predmetom istraživanja u brojnim radovima (Kovačević i sur. 1994, 2009a, 2009b; Kovačević i sur. 2012; Romić i sur., 2003; Josipović i sur., 2005; Kovačević i Josipović, 2005; Šoštarić i Josipović, 2006; Josipović i sur. 2007; Jelić i sur., 2009; Josipović i sur., 2012; Kovačević i Josipović, 2015). Analizirajući tridesetogodišnje podatke (1981. – 2010.) za područje Bjelovara Špoljar i sur. (2012) utvrdili su pozitivan trend srednjih godišnjih temperatura zraka, potencijalne evapotranspiracije, stvarne evapotranspiracije te višak i nedostatak vode ($p < 0,05$), što naglašava sve veću potrebu za navodnjavanjem poljoprivrednih kultura. Potreba za navodnjavanjem poljoprivrednih kultura prilično je detaljno istražena u Hrvatskoj (Romić i sur., 2003; Romić i Marušić, 2006; Tomić i sur., 2007; Kovačević i sur., 2012, Kovačević i sur., 2014), a sada je na redu njezina realizacija putem NAPNAV-a (Romić i Marušić, 2006) i drugih projekta. Cilj ovoga rada je istraživanje utjecaja navodnjavanja i gnojidbe dušikom na urod i kakvoću zrna kukuruza. U radu je dan pregled do sadašnjih publiciranih rezultata višegodišnjih istraživanja korisnih za znanost i agronomsku struku.

2. MATERIJAL I METODE

Tijekom 16 godina (2000. – 2015.) provedeni su poljski pokusi na Poljoprivrednome institutu Osijek sa raznim varijantama navodnjavanja, gnojidbom dušikom i različitim kultivarima kukuruza i soje. U ovome radu je zbog obima rezultata izdvojen samo dio publiciranih istraživanja koji je reprezentativan za obavljena istraživanja. Varijante navodnjavanja su bile A1=kontrola - samo prirodne oborine; A2=održavanje sadržaja vode u tlu navodnjavanjem, od 60 % do 100 % poljskoga vodnog kapaciteta (PVK) i A3=održavanje sadržaja vode u tlu navodnjavanjem, od 80 % do 100 % PVK. Navodnjavano je samohodnim vučenim rasprskivačem u praksi poznatom kao tifon sa kišnim krilom. Izvor vode je bio dubinski bunar (38 m dubine, a crpka je bila postavljena na 19 m dubine. Radni tlak na izlazu iz crpke bio je od 0,55 do 0,60 MPa, a na mlaznicama od 0,25 do 0,35 MPa. Kakvoća vode za navodnjavanje je pripadala C2S2 klasi prema US Salinity Laboratory standardima. Sadržaj vode u tlu je mjereno Watermark gipsanim blokovima, a na osnovu sadržaja vode prema zadanim varijantama se počelo navodnjavati. Pokusi su postavljani prema split split plot metodi u tri ponavljanja, sa slučajnim rasporedom blokova, na eutričnom kambisolu. Glavni čimbenik (A) bio je navodnjavanje: A1 =

kontrola (bez navodnjavanja, samo prirodne oborine); A2 = održavanje sadržaja vode u tlu navodnjavanjem od 60 % do 100 % poljskog vodnog kapaciteta (PVK) i A3 = održavanje sadržaja vode u tlu navodnjavanjem od 80 % do 100 % PVK. Gnojidba dušikom (N) bila je pod čimbenik: B1- kontrola (0 kg N ha⁻¹), B2 = 100 kg N ha⁻¹ i B3 = 200 kg N ha⁻¹. Dušik je na varijantama B2 i B3 raspodijeljen ručno u tri dijela: prva trećina u osnovnoj obradi zaoravanjem „zimске brazde“ u obliku uree, druga trećina pred sjetveno također u obliku uree, a treća trećina je podijeljena u dva dijela i dodana u prvoj kultivaciji (faza razvoja 3-4 lista kukuruza) i drugoj kultivaciji kukuruza (faza razvoja 6-8 listova kukuruza). Fosfor i kalij su rasipačem umjetnoga gnojiva raspodijeljeni po tlu i zaorani pri oranju „zimске brazde“ i pred sjetveno umjetnim gnojivom 0:20:30 u ukupnoj količini 120 odnosno 180 kg ha⁻¹ na dva jednaka dijela. Pod čimbenik (C) bio je genotip, hibridi kukuruza, koji su mijenjani tijekom godina istraživanja. Imali su oznake od C1 do C4. Berba je obavljena specijaliziranim kombajnom za pokuse Wintersteiger Nuresy master. Pokazatelji kakvoće zrna sadržaj škroba, bjelančevina i ulja određeni je na Infrateck grain analyzeru. Sadržaj vode u zrnu i hektolitarska masa određeni su na uređaju Dicky John. Dio objavljenih rezultata provedenih istraživanja su sabrani u ovaj rad kako bi se zbirno prikazali i iz višegodišnjih rezultata pregledno prikazala određena znanstvena i stručna rješenja, korisna i potrebna agronomskoj i građevinskoj struci.

2.1. Vremenske prilike tijekom istraživanja

U Tablici 1 je prikazana količina oborine po mjesecima tijekom istraživanja (2000.-2015. godina), kao i višegodišnji prosjek (1961. - 1990., meteorološka postaja Osijek, DHZ). Tijekom vegetacije je u istraživanom razdoblju količina oborine iznosila prosječno 399,5 mm, dakle nešto više od višegodišnjega prosjeka (368,4 mm), a iznosila je 154,5 mm (najsušnija 2000. godina) do 696,4 mm (2005.). Tijekom vegetacije je bilo 9 (od 16) godina s većom količinom oborine od prosjeka. Godišnja količina oborine u istraživanome razdoblju je također bila u prosjeku 31,1 mm (8 %) veća od višegodišnjeg prosjeka. Za poljoprivrednu proizvodnju proljetnih kultura je vrlo bitna količina oborine u razdoblju lipanj – kolovoz, jer u pravilu oslikava karakter godine sa stanovišta oborine. Tako je u lipnju, srpnju i kolovozu u prosjeku palo 204,7 mm, što je malo manje od višegodišnjega prosjeka za isto razdoblje.

U Tablici 2 su prikazane prosječne temperature zraka, °C po mjesecima za razdoblje istraživanja i višegodišnji prosjek. Prosječna godišnja temperatura zraka je u istraživanome razdoblju iznosila 11,9 °C, što je više za 1,1 °C od prosjeka, a prosječna temperatura zraka u vegetaciji (travanj – rujanj) za 1,1 °C i razdoblje lipanj – kolovoz za 1,6 °C od višegodišnjega prosjeka. Lipanj, srpanj i kolovoz su bili topliji od prosjeka za 1,3, 1,6 i 1,8 °C. Dakle, evapotranspiracija je u istraživanome razdoblju bila također veća.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA

U sve tri godine istraživanja (2003. - 2005.) bio je vrlo značajan učinak navodnjavanja na urod zrna kukuruza (slično kao: Pepo i sur, 2008; Pejić i sur. 2010; Plavšić, 2012; Marković, 2013), ali ne i na pokazatelje kakvoće. Navodnjavanje je na sadržaj ulja i proteina imalo značajan utjecaj u samo jednoj godini (sušna 2003, Josipović i sur., 2007), što je slično istraživanjima Svečnjaka i sur. 2007. te Hegy i sur. 2008. Hibridi kukuruza

su pokazali vrlo značajan učinak u svim svojstvima tijekom tri godine osim u sadržaju škroba. Veća gustoća sklopa također nije značajno utjecala na kakvoću zrna kukuruza, što ukazuje da su noviji hibridi otporniji na stres izazvan većim brojem biljaka po jedinici površine.

U četverogodišnjim istraživanjima Josipović i sur. (2010a) su istraživali sadržaj ulja. Sadržaj ulja u zrnu kukuruza iznosio je od 3,44 do 4,20 % (raspon 0,66 %) tijekom istraživanja (Tablica 3). Navodnjavanje nije rezultiralo statistički značajnim razlikama, gnojidba N povećala je sadržaj ulja samo u 2007. (sušnoj godini), dok su razlike između hibrida bile statistički vrlo značajne u tri od četiri godine istraživanja.

U višegodišnjim istraživanjima (2006. - 2009.) sadržaj škroba u zrnu kukuruza, Josipović i sur. (2010b, Tablica 4) utvrdili su variranja od samo 2 %. Gnojidba N je imala statistički značajan utjecaj u svim godinama istraživanja. Prosječni sadržaj škroba u zrnu je iznosio 71,66 %, 71,24 % i 71,09 % na tretmanu gnojidbe dušikom 0, 100 i 200 kg N ha⁻¹. Povećana gnojidba N rezultirala je smanjenjem sadržaja škroba. Genotip je također statistički značajno utjecao na sadržaj škroba u svim godinama istraživanja. Prosječni sadržaj škroba je iznosio 71,68 %, 71,34 %, 71,18 % i 71,13 %, za OSSK 552, OSSK 602, OSSK 617 i OSSK 596. Hibrid OSSK 552 je u svim godinama istraživanja imao najveći sadržaj škroba.

Tablica 1. Količina oborina tijekom istraživanja (2000. - 2015.) i višegodišnji prosjek
(1961. - 1990.), Osijek, DHMZ RH

Količina oborina (mm)																		
Mj \ God	2000.	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	1961. - 1990.	2000. - 2015.
I.	17,5	74,6	11,1	66,4	50,4	35,5	32,9	25,3	33,0	59,5	84,0	23,6	28,0	60,8	51,8	73,6	46,9	45,5
II.	14,8	22,9	48,2	15,6	50,0	66,2	50,1	46,5	4,6	28,6	58,6	18,4	53,7	85,8	48,0	57,1	40,2	41,8
III.	41,0	83,0	10,1	4,6	40,6	54,0	52,5	76,0	85,2	26,5	22,2	37,1	0,9	84,3	39,4	50,5	44,8	44,2
IV.	27,5	72,0	63,8	11,9	136,6	55,3	86,8	2,9	49,9	18,7	71,1	20,4	47,3	44,7	81,3	12,9	53,8	50,2
V.	26,3	60,1	135,4	18,4	65,1	46,1	78,6	56,1	66,7	39,4	120,8	81,2	93,5	118,9	159,4	113,4	58,5	80,0
VI.	9,6	239,5	36,6	43,9	76,7	112,0	91,0	33,3	76,3	62,8	233,6	49,9	67,9	63,2	91,0	17,1	88,0	81,5
VII.	62,8	77,1	59,3	59,8	43,5	170,8	14,6	27,4	79,3	13,8	31,5	73,8	47,8	36,5	66,4	25,6	64,8	55,6
VIII.	5,3	7,1	84,3	41,8	106,5	237,6	133,5	45,0	46,2	60,6	110,8	4,6	4,0	32,9	54,3	105,8	58,5	67,5
IX.	23,0	195,2	81,6	50,7	41,2	74,6	10,9	65,2	86,3	10,0	108,4	15,9	32,3	129,0	68,9	41,1	44,8	64,6
X.	10,1	5,1	58,8	132	93,8	4,1	31,1	92,5	29,8	55,3	67,1	28,7	65,4	52,3	87,9	142,1	41,3	59,8
XI.	42,4	74,0	40,2	44,8	114,6	15,9	33,2	102,7	47,9	67,8	56,3	0,4	50,2	63,8	8,8	45,1	57,3	50,5
XII.	36,7	33,9	24,4	26,6	42,3	111,2	32,6	48,0	40,8	100,8	72,6	69,1	104,3	0,0	65,8	1,9	51,6	50,7
Ukupno	317	944,5	653,8	516,5	861,3	983,3	647,8	620,9	646,0	543,8	1037	423,1	595,3	772,2	823,0	686,2	650,5	692,0
IV. - IX.	154,5	651,0	461,0	226,5	469,6	696,4	415,4	229,9	404,7	205,3	676,2	245,8	292,8	425,2	521,3	315,9	368,4	399,5
VI. - VIII.	77,7	323,7	180,2	145,5	226,7	520,4	239,1	105,7	201,8	137,2	375,9	128,3	119,7	132,6	211,7	148,5	211,3	204,7

Tablica 2. Srednja mjesečna temperatura zraka tijekom istraživanja (2000. - 2015.) i višegodišnji prosjek (1961. - 1990.), Osijek, DHMZ RH

Srednje temperature zraka (°C)																		
God Mj	2000.	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	1961. - 1990.	2000. - 2015.
I.	-1,6	2,7	-0,2	-2,4	-1,4	0,0	- 1,6	5,8	1,5	-1,1	-0,8	1,1	2,2	2,1	3,7	2,9	-1,2	0,8
II.	4,2	4,2	6,0	-3,1	2,3	-3,2	1,1	6,1	4,9	2,3	1,4	0,7	-4,1	2,9	5,6	2,5	1,6	2,1
III.	7,0	9,9	8,4	5,9	5,8	4,1	5,3	8,5	7,5	6,8	6,8	6,4	8,7	5,2	9,5	7,5	6,1	7,1
IV.	14,9	10,9	11,2	11,3	11,7	11,5	12,7	13,3	12,5	14,6	12,4	13,2	12,5	13,1	13,2	12,1	11,3	12,6
V.	18,4	18,4	18,6	20,1	14,6	17,0	16,2	18,2	18,1	18,3	16,5	16,7	16,9	16,7	16,1	17,8	16,5	17,4
VI.	22,5	18,1	21,1	24,3	19,2	19,5	20,1	22,3	21,5	19,2	20,4	20,8	22,5	20,0	20,4	20,8	19,5	20,8
VII.	21,7	21,6	22,3	22,1	21,5	21,5	23,5	23,8	21,8	23,2	23,2	22,2	24,8	22,9	21,8	24,6	21,1	22,7
VIII.	23,7	22,7	20,9	23,6	21,0	19,3	19,3	22,2	21,8	22,9	21,7	23,1	24,1	22,9	20,8	23,7	20,3	22,1
IX.	16,7	14,9	15,4	15,9	15,5	17,1	17,8	14,5	15,7	19,1	15,6	20,3	18,9	15,9	17,0	17,9	16,6	16,8
X.	14,1	13,9	11,3	9,4	13,2	11,7	13,0	10,3	13,0	11,5	9,1	10,6	12,1	13,7	13,3	11,1	11,2	12,0
XI.	10,0	3,5	8,8	7,5	6,2	5,0	7,8	4,0	7,5	8,2	8,9	2,3	9,0	7,8	8,3	7,5	5,4	7,0
XII.	3,0	-3,8	0,9	1,4	1,9	1,7	3,0	0,1	3,8	3,1	0,3	3,4	0,4	1,6	3,5	3,2	0,9	1,7
Prosjek	12,9	11,4	12,1	11,3	11,0	10,4	11,5	12,4	12,5	12,3	11,3	11,7	12,3	12,1	12,8	12,6	10,8	11,9
IV. - IX.	19,7	17,8	18,3	19,6	17,3	17,7	18,3	19,1	18,6	19,6	18,3	19,4	20,0	18,6	18,2	19,5	17,6	18,7
VI. - VIII.	22,6	20,8	21,4	23,3	20,6	20,1	21,0	22,8	21,7	21,8	21,8	22,0	23,8	21,9	21,0	23,0	20,3	21,9

Marković i sur. (2017) su tijekom trogodišnjih istraživanja proučavali urod zrna kukuruza, sadržaj prolina u listu i apsolutnu masu zrna. Varijanta navodnjavanja rezultirala je statistički vrlo značajno većim urodom zrna kukuruza u dvije sušne godine. Gnojidba N kao i interakcija navodnjavanja i gnojidbe N su bile statistički vrlo značajne u sve tri godine istraživanja.

U četverogodišnjim istraživanjima, Josipović i sur. (2014) su utvrdili prosječan urod zrna samo oplodnih linija kukuruza 1.809 kg ha⁻¹, ostvaren bez gnojidbe što je indikator vrlo plodnog tla. Urodi zrna (4-godišnji prosjeci) ovisno o godini iznosili su od 823 (2007.) do 2.450 (2006.) kg ha⁻¹, bez navodnjavanja 1.500 kg ha⁻¹, a navodnjavanjem su povećani za 21 % (B2), odnosno za 41 % (B3). Urodi pojedinih samo oplodnih linija bili su od 1.259 (C3) do 2.765 (C1) kg ha⁻¹. Razlike u sadržaju proteina, škroba i ulja u zrnu bile su od 9,61 % do 11,84 %, od 68,51 % do 70,93 %, odnosno od 3,50 % do 4,17 % (utjecaj godine). Genotip C2 se izdvajao većim sadržajem proteina (10,93 %) od preostala tri genotipa (prosjeak 9,96 %). Utjecaj genotipa na sadržaj škroba i ulja u zrnu bio je od 69,83 % (C4) do 70,58 % (C1), odnosno od 3,56 % (C3) do 4,09 % (C1).

Tablica 3. Utjecaj navodnjavanja, gnojidbe N i genotipa na urod zrna i sadržaj ulja u zrnu 2006. - 2009. godine (Josipović i sur. 2010a.)

Sadržaj ulja u zrnu (%)									
Utjecaj navodnjavanja: A1 - kontrola - bez navodnjavanja; A2 - 60 % - 80 % PVK; A3 - 80 % - 100 % PVK					Utjecaj gnojidbe N: B1 - kontrola - bez gnojidbe N; B2 - 100 kg N ha ⁻¹ ; B3 - 200 kg N ha ⁻¹				
God.	A1	A2	A3	Pros.	God.	B1	B2	B3	Pros.
2006.	3.641	3.622	3.632	3.632	2006.	3.606	3.646	3.643	3.632
2007.	3.622	3.594	3.589	3.602	2007.	3.536	3.614	3.656	3.602
2008.	3.423	3.438	3.454	3.439	2008.	3.413	3.435	3.468	3.439
2009.	4.185	4.197	4.228	4.203	2009.	4.135	4.217	4.258	4.203
Pros.	3.718	3.713	3.726	3.719	Pros.	3.673	3.728	3.756	3.719
LSD	2006.	2007.	2008.	2009.	LSD	2006.	2007.	2008.	2009.
5 %	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	5 %	n.s.	0.040	n.s.	n.s.
1 %	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	1 %	n.s.	0.053	n.s.	n.s.
Utjecaj genotipa: C1 = OSSK596; C2 = OSSK617; C3 = OSSK602; C4 = OSSK552 na sadržaj ulja					Interakcija				
God.	C1	C2	C3	C4	God.	2006	2007.	2008.	2009.
2006.	3.643	3.630	3.581	3.674	AxB	n.s.	n.s.	0.014	n.s.
2007.	3.581	3.607	3.633	3.585	AxC	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
2008.	3.442	3.521	3.357	3.435	BxC	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
2009.	4.269	4.288	4.149	4.108	AxBxC	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Pros.	3.734	3.762	3.680	3.701	PVK = poljski vodni kapacitet				
LSD	2006.	2007.	2008.	2009.	n.s. = nije signifikantan				
5 %	0.061	n.s.	0.051	0.067					
1 %	0.081	n.s.	0.068	0.090					

Tablica 4. Utjecaj navodnjavanja, gnojidbe N i genotipa na koncentraciju škroba u zrnu kukuruza (Josipović i sur. 2010b.)

God.	Sadržaj škroba (%) u zrnu kukuruza (PVK = poljski vodni kapacitet)				
Učinak navodnjavanja (nav.): A1 = nenavodnjavano, A2 = navodnjavanje pri. 60 % PVK; A3 = navodnjavanje pri. 80 % PVK					
	A1	A2	A3	Pros. A	
2006.	70.924	70.999	70.996	70.973	
2007.	70.092	70.314	70.428	70.278	
2008.	72.198	72.254	72.367	72.273	
2009.	71.819	71.801	71.772	71.798	
Pros.	71.258	71.342	71.391	71.331	
LSD A	A - 2006. god.	A - 2007. god.	A - 2008. god.	A - 2009. god.	
1 %	0.098	0.164	0.214	0.256	
5 %	0.074	0.124	0.160	0.193	
Učinak gnojidbe N (N kg ha ⁻¹ : B1 = 0; B2 = 100; B2 = 200)					
	B1	B2	B3	Pros. B	
2006.	71.058	70.942	70.918	70.973	
2007.	70.628	70.247	69.958	70.278	
2008.	72.553	72.236	72.031	72.273	
2009.	72.385	71.552	71.456	71.798	
Pros.	71.656	71.244	71.091	71.331	
LSD B	B - 2006. god.	B - 2007. god.	B - 2008. god.	B - 2009. god.	
1 %	0.098	0.164	0.214	0.256	
5 %	0.074	0.124	0.160	0.193	
Učinak genotipa: C1 = OSSK 596; C2 = OSSK 602; C3 = OSSK 617; C4 = OSSK 552					
	C1	C2	C3	C4	Pros.
2006.	70.970	70.896	70.911	71.113	70.973
2007.	70.007	70.441	70.187	70.482	70.278
2008.	72.167	72.140	72.063	72.722	72.273
2009.	71.365	71.865	71.572	72.388	71.798
Pros.	71.127	71.336	71.183	71.676	71.331
LSD	C - 2006. god.	C - 2007. god.	C - 2008. god.	C - 2009. god.	
1 %	0.113	0.190	0.247	0.296	
5 %	0.085	0.143	0.185	0.222	

Tablica 5. Utjecaj godine (faktor A), navodnjavanja (faktor B) i genotipa (faktor C) na uzgoj kukuruza na eutričnom kambisolu u uvjetima bez gnojidbe N - urod i sadržaj ulja (Josipović i sur., 2014)

God. (A1: 2006., A2: 2007., A3: 2008. A4: 2009.), navodnjavanje (B1: nenavodnjavano, B2: 65 - 100 % PVK, B3: 80 - 100 % PVK) i učinci genotipa (inbred linija: C1 = Os 438 - 95, C2 = Os 30 - 8, C3 = Os 6 - 2, C4 = Os 1 - 44); PVK = poljski vodni kapacitet								
God. (A)	Navodnjavanje (B)			Genotip (C)				Pros. A
	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	
Prinos zrna (kg ha ⁻¹)								
A1	2.082	2.784	2.485	3.786	2.461	1.098	2.456	2.450
A2	564	690	1.216	925	818	838	712	823
A3	1.390	1.729	2.100	2.981	1.233	1.096	1.648	1.740
A4	1.967	2.033	2.672	3.370	2.038	2.002	1.487	2.224
Pros. B	1.500	1.809	2.118	Prosjeck C				
				2.765	1.637	1.259	1.576	
		B1		2.295	1.081	1.005	1.622	
		B2		2.839	1.656	1.240	1.500	
		B3		3.162	2.176	1.531	1.605	
	A	B	C	AB	AC	BC		
LSD 5 %	71	100	76	224	176	147		
LSD 1 %	94	132	100	314	253	206		
Sadržaj bjelančevina u zrnu (% u suhoj tvari)								
A1	9,29	9,38	9,18	9,06	10,21	9,17	8,70	9,29
A2	11,50	12,13	11,88	11,69	11,89	11,66	12,11	11,84
A3	9,65	9,54	9,65	8,83	10,42	9,56	9,65	9,61
A4	10,31	10,12	9,86	9,62	11,20	9,47	10,09	10,10
Pros. B	10,19	10,29	10,14	Prosjeck C				
				9,80	10,93	9,96	10,14	
		B1		9,83	10,97	10,17	9,79	
		B2		9,93	11,05	9,90	10,29	
		B3		9,64	10,78	9,83	10,33	
	A	B	C	AB	AC	BC		
LSD 5 %	0.19	ns	0.30	ns	0.69	ns		
LSD 1 %	0.25	ns	0.39	ns	0.99	ns		

Tablica 6. Utjecaj godine (faktor A), navodnjavanja (faktor B) i genotipa (faktor C) na uzgoj kukuruza na eutričnom kambisolu u uvjetima bez gnojidbe N - sadržaj škroba i ulja (Josipović i sur., 2014)

God. (A1: 2006., A2: 2007., A3: 2008. A4: 2009.), navodnjavanje (B1: nenavodnjavano, B2: 65 - 100 % PVK, B3: 80 - 100 % PVK) i učinak genotipa (inbrad linije: C1 = Os 438 - 95, C2 = Os 30 - 8, C3 = Os 6 - 2, C4 = Os 1 - 44); PVK = poljski vodni kapacitet									
God.	Navodnjavanje (B)			Genotip (C)				Pros.	
(A)	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	A	
Sadržaj škroba u zrnu (% na suhu tvar)									
A1	70,24	70,59	70,70	71,03	69,84	70,78	70,39	70,51	
A2	68,47	68,54	68,51	68,96	68,61	68,57	67,89	68,51	
A3	70,69	70,99	71,19	71,87	70,25	71,11	70,59	70,96	
A4	70,47	70,61	70,80	70,47	70,10	71,48	70,44	70,63	
Pros. B	69,97	70,18	70,30	Pros. C		70,58	69,70	70,48	69,83
		B1		70,40	69,45	70,17	69,84		
		B2		70,52	69,72	70,69	69,80		
		B3		70,82	69,94	70,60	69,85		
	A	B	C	AB	AC	BC			
LSD 5 %	0,21	0,20	0,28	ns	0,65	0,54			
LSD 1 %	0,28	ns	0,37	ns	0,93	0,76			
Sadržaj ulja u zrnu (% na suhu tvar)									
A1	3,86	3,86	3,77	3,99	3,84	3,49	3,99	3,83	
A2	3,90	3,59	3,58	3,93	3,75	3,50	3,58	3,69	
A3	3,51	3,46	3,53	3,74	3,27	3,39	3,58	3,50	
A4	4,11	4,18	4,23	4,71	4,02	3,85	4,11	4,17	
Pros. B	3,85	3,77	3,78	Prosjeck C		4,09	3,72	3,56	3,82
		B1		4,11	3,97	3,53	3,76		
		B2		4,09	3,60	3,54	3,86		
		B3		4,08	3,59	3,61	3,83		
	A	B	C	AB	AC	BC			
LSD 5 %	0,13	ns	0,11	ns	0,26	0,21			
LSD 1 %	0,18	ns	0,15	ns	0,37	ns			

ZAKLJUČAK

Navodnjavanje je u svim godinama istraživanja rezultiralo statistički značajno većim urodima zrna kukuruza prema kontroli i varijantama racionalnoga navodnjavanja. Gnojidba dušikom je također u svim godinama rezultirala statistički značajno ili vrlo značajno većim urodom prema kontroli i manjoj gnojidbi (100 kg N ha⁻¹). Hibridi kukuruza su se u urodu i kakvoći u svim godinama statistički značajno razlikovali. Interakcije istraživanih čimbenika su ovisno o godini bile statistički značajne ili vrlo značajne. Navodnjavanje, gnojidba i genotip (hibrid kukuruza) su uz agrotehničko znanje vrlo bitni čimbenici sa kojima proizvođači kukuruza mogu utjecati na urod i kakvoću zrna,

kao i brojne mogućnosti racionalizacije proizvodnje. Svakako se uz navedeno treba vrlo umješno proučavati vremenske prilike i na temelju njih odrediti najbolje kombinacije, kako bi rezultat proizvodnje bio što bolji.

LITERATURA

- [1] Bonacci, O. (2007): *Odnos antropogenih djelatnosti i globalnih promjena*. Zbornik radova 4. Hrvatska konferencija „Hrvatske vode i Europska unija - izazovi i mogućnosti“. Opatija 17-19. svibnja 2007. 37-46.
- [2] Hegy, Z., Arendas, T., Pinter, J., Marton, C. L. (2008): *Evaluation of the grain yield and quality potential of maize hybrids under low and optimum water supply levels*. *Cer.Res.Com.* 36: 1259–1262.
- [3] Jelić, M., Kovačević, V., Djalović, I., Biberdžić, M. (2009): *Climate change influences on maize yields in Serbia and Croatia*. *Research Journal of Agricult. Sci.* 41.1 Agroprint Editorial Timisoara. 44-48.
- [4] Jolankai, M. i Birkás, M. (2007): *Global Climate Change Impacts on Crop Production in Hungary*. *Agriculturae Conspectus Scientificus.* 72: 1. 17-20.
- [5] Josipović M., Kovačević V., Petošić D., Šošćarić J. (2005): *Wheat and maize yield variations in the Brod - Posavina area*. *Cereal Research Communications.* 33. 1. 229-233.
- [6] Josipovic, M., Jambrovic, A., Plavšić, H., Liović, I. Šošćarić, J. (2007): *Responses of grain composition traits to high plant density in irrigated maize hybrids*. VI Alps - Adria Scientific Workshop, Obervellach, Austria. 549-552.
- [7] Josipović, M., Kovačević, V., Marković, M., Brkić, I., Sudar, R., Šošćarić, J. (2010a): *Irrigation, nitrogen and genotype on oil status in maize grain*. Proceedings and Abstracts in 3rd International scientific / professional conference, Agriculture in nature and environment protection, Vukovar, 31st May - 2nd June 2010. 65-70.
- [8] Josipović, M., Kovačević, V., Plavšić, H., Jambrović, A., Liović, I., Marković, M. (2010b): *Effect of irrigation, N fertilization and genotype to starch content in maize grain*. Proceedings and Abstracts in 3rd International scientific / professional conference, Agriculture in nature and environment protection, Vukovar, 31st May - 2nd June 2010. 70-76.
- [9] Josipovic, M., Kovacevic, V., Sostaric, J., Plavsic, H., Markovic, M. (2012): *Irrigation and nitrogen fertilization needs for maize in Osijek - Baranya County*. *Növénytermelés.* 61. 45-48.
- [10] Josipović, M., Plavšić, H., Kovačević, V., Marković, M., Iljkić, D. (2014): *Impacts of irrigation and genotype on yield, protein, starch and oil contents in grain of maize inbred lines*. *Genetika.* 46 (1), 243-253.
- [11] Kovačević, V., Josipović, M., Grgić, D. (1994): *Pregled rezultata proizvodnje kukuruza u Slavoniji i Baranji (1960. - 1980.)*. *Poljoprivredne aktualnosti* 30(94) 1-2. 141-151.
- [12] Kovačević, V., Josipović, M. (2005): *Maize yield variations among the years in the Eastern Croatia*. In: Proceedings of the XL Croatian Symposium on Agriculture

- with International Participation (Kovačević V. and Jovanovac Sonja Eds.), 15-18 February 2005, Opatija, Croatia, pp. 455-456.
- [13] Kovačević, V., Jolankai, M., Birkas, M., Lončarić, Z., Šošćarić, J. (2009): *Influences of precipitation and temperature trend on maize yields*. In: Proceedings of the XLIV Croatian Symposium on Agriculture with International Participation (Lončarić Z. and Marić Sonja Eds.), 16-20 February 2009, Opatija, Croatia. 541-545.
- [14] Kovačević, V., Jolankai, M., Birkas, M., Lončarić, Z., Šošćarić, J. (2009a): *Influences of precipitation and temperature trend on maize yields*. U: Proceedings of the XLIV Croatian Symposium on Agriculture with International Participation (Marić, S. i Lončarić, Z. ur.), 16-20 February 2009, Opatija, Croatia. 541-545.
- [15] Kovačević, V., Šošćarić, J., Josipović, M., Iljkić, D., Marković, M. (2009b): *Precipitation and temperature regime impacts on maize yields in eastern Croatia*. Research Journal of Agricultural Science 41 (1), Agroprint Editorial Timisoara.49-43.
- [16] Kovacevic, V., Rastija, M., Josipovic, M. (2012): *Precipitation and temperature regimes specificities for maize growing in the eastern Croatia since 2000*. Proceedings of the 3rd International Scientific Symposium „Agrosym Jahorina 2012“. 15.-17. Nov. 2012. Jahorina. RS, B&H. 81-86.
- [17] Kovačević, V., Josipović, M. (2015): *Aktualna pitanja uzgoja žitarica u istočnoj Hrvatskoj*. Zbornik radova sa znanstvenog skupa “Proizvodnja hrane i Šumarstvo - temelj razvoja istočne Hrvatske”. Osijek, 14-15.05.2013. Matić, S., Tomić, F., Anić, I. (ur.). Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti Znanstveno vijeće za poljoprivrednu i šumarstvo i dr., Zagreb. 109-120.
- [18] Leroux, M. (2005): *Global Warming - Myth or Reality - The Earning ways of Climatology*. Springer Verlag. Berlin. & Praxis. Chichester.
- [19] Marković, M., Josipović, M., Plavšić, H., Brkić, I., Šošćarić, J. (2011.): *Yield and yield parameters of maize (Zea mays L.) genotypes in irrigated and fertilized conditions*. Novemyter. Supl. 3. 60. 345-348.
- [20] Markovic, M. (2013): *Utjecaj navodnjavanja i gnojidbe dušikom na urod i kvalitetu zrna hibrida kukuruza (Zea mays L.)* - doktorski rad. Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet.
- [21] Marković, M., Šošćarić, J., Josipović, M., Zebec, V., Špoljarević, M., Lisjak, M., Teklić, T. (2017): *The response of maize (Zea mays L.) grain yield to water and nitrogen supply in an eastern Croatian environment*. Irrig. and Drain. 66: 206-2017.
- [22] Pandžić, K. (1993): *Klimatološko meteorološki aspekt suše*. Zbornik radova “Okrugli stol o suši”, Hrvatsko hidrološko druš. i Hrvatsko druš. za odvodnju i navodnjavanje. Zagreb. 21-27.
- [23] Pejić, B., Djalović, I., Seremesić, S. (2010): *Prinos i produktivnost utrošene vode navodnjavanog kukuruza u klimatskim uvjetima Vojvodine*. Zbornik radova, 45. hrvatski i 5. međunarodni skup agronoma, Opatija 2010.
- [24] Pepo, P., Vad. A., Berenyi, S. (2008): *Effects of irrigation on yields of maize (Zea mays L.) in different crop rotations*. Cer. Res. Com. 36 (1): 735-738.

- [25] Plavšić, H. (2012): *Reakcija samooplodnih linija kukuruza na sadržaj vode i dušika u tlu*. Disertacija. Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet.
- [26] Romić, D., Cibilić, A., Josipović, M., Ondrašek, G. (2003): *Navodnjavanje - mjera suvremene poljoprivrede (Irrigation - a Measure of Modern Agriculture)*. Hrvatske vode 11 45. 525-530.
- [27] Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2017.
- [28] Romić, D. i Marušić, J. (2006): *Nacionalni projekt navodnjavanja, gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u RH*, Zbornik radova, 41 Hrvatski i 1. Međunarodni simpozij agronoma. Opatija, 2006.
- [29] Svečnjak, Z., Varga, B., Grbesa, D., Pospišil, M., Macesić, D. (2007): *Environmental and management effects on grain quality of maize hybrids*. Cer. Res. Com. 35: 1117-1120.
- [30] Šoštarić J., Josipović M. (2006): *Weather and soil influences on maize yield in the eastern Croatia*. Universitatea se Stiinte Agricole si Medicina Veterinara Iasi, Lucrari Stiintifice - Volume 49, seria Agronomie. 161-167.
- [31] Špoljar, A., Petrović, D., Kamenjak, D., Kaučić, D., Kvaternjak, I. (2012): *Klimatske promjene i potreba za navodnjavanjem na području Bjelovara*. 5th International scientific/professional conference. „Agriculture in nature and environment protection“. 4-6 June 2012. Croatia, Vukovar. 339-343.
- [32] Tomić, F., Romić, D., Mađar, S. (2007): *Stanje i perspektive melioracijskih mjera u Hrvatskoj*. Zbornik radova znanstvenog skupa: Melioracijske mjere u svrhu unapređenja ruralnog prostora. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Razred za prirodne znanosti i Razred za tehničke znanosti, Zagreb 7-20.

AUTORI

dr. sc. Marko Josipović ^a

dr. sc. Antun Jambrović ^a

prof. dr. sc. Jasna Šoštarić ^b

doc. dr. sc. Monika Marković ^b

mr. sc. Miroslav Dadić ^b

dr. sc. Hrvoje Plavšić ^a

^a Poljoprivredni institut Osijek, Južno predgrađe 17, Osijek, 31000, Hrvatska, marko.josipovic@poljinos.hr, antun.jambrovic@poljinos.hr, hrvoje.plavsic@poljinos.hr

^b Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, V. Preloga 1, Osijek, 31000, Hrvatska, jasna.sostaric@fazos.hr, monika.markovic@fazos.hr, dadicm@fazos.hr



R 2.32.

PLANOVI NAVODNJAVANJA I ULOGA VIŠENAMJENSKIH AKUMULACIJA NA DRAVI U NJIHOVOJ REALIZACIJI

Nenad Heček

SAŽETAK: Razvoj poljoprivrede i prehrambene industrije jedan je od strateških pravaca razvoja Republike Hrvatske. Rijeka Drava sa svojim vodnim blagom i aluvijalna dravska dolina sa svojim tlima značajan je potencijalni čimbenik takvog razvoja. Stabilna i sigurna poljoprivredna proizvodnja zahtjeva uređeno zemljište koje je zaštićeno od vanjskih i suvišnih vlastitih voda, uz dopunsko navodnjavanje kada je to potrebno. Hrvatska elektroprivreda izgradila je na području sjeverozapadne Hrvatske na dravskom toku akumulacije HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava. Navedene akumulacije planirane su kao višenamjenske, a osnovna namjena tih akumulacija je proizvodnja električne energije. Planovi navodnjavanja i Međimurske i Varaždinske županije prepoznali su akumulacije na Dravi kao glavni izvor vode za navodnjavanje.

KLJUČNE RIJEČI: navodnjavanje, Drava, akumulacija, Međimurska županija, Varaždinska županija

COUNTY IRRIGATION PLANS AND THE ROLE OF MULTI-PURPOSE RESERVOIRS ON THE DRAVA RIVER IN THEIR IMPLEMENTATION

ABSTRACT: Agriculture and food industry development is one of the strategic development goals of the Republic of Croatia. The Drava River, with its abundance of water and soils in its alluvial valley, is an important factor in this development. A stable and reliable agricultural production requires regulated land which is protected from exogenous and excess endogenous water and supplemented by irrigation, if necessary. In northwestern Croatia, Hrvatska elektroprivreda (HEP, national energy company) built the reservoirs of the HPP Varaždin, HPP Čakovec and HPP Dubrava on the Drava River. These reservoirs were planned as multi-purpose facilities with power generation as their main use. The irrigation plans of both the Međimurje County and Varaždin County recognized these reservoirs as the main source of water for irrigation.

KEYWORDS: irrigation, Drava River, accumulation, Međimurje County, Varaždin County

1. UVOD

Razvoj poljoprivrede i prehrambene industrije jedan je od strateških pravaca razvoja Republike Hrvatske. Rijeka Drava sa svojim vodnim blagom i aluvijalna dravska dolina sa svojim tlama značajan je potencijalni čimbenik takvog razvoja. Stabilna i sigurna poljoprivredna proizvodnja zahtjeva uređeno zemljište koje je zaštićeno od vanjskih i suvišnih vlastitih voda, uz dopunsko navodnjavanje kada je to potrebno. Hrvatska elektroprivreda izgradila je na području sjeverozapadne Hrvatske na dravskom toku akumulacije HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava. Navedene akumulacije planirane su kao višenamjenske, a osnovna namjena tih akumulacija je proizvodnja električne energije.

Neke komponente višenamjenskog korištenja, kao što su obrana od poplava, regulacija i stabilizacija vrlo „živog“ dravskog toka i sl., proizlaze iz samog tehničkog rješenja objekta, dok se za poljoprivredu otvaraju mogućnosti značajnog razvoja. Ovdje se prije svega misli na poboljšanje uvjeta gravitacijske odvodnje zaobalja, a u prostoru akumulacije osiguranje po kvaliteti dobre, visinski povoljno smještene i količinski dovoljno za navodnjavanje poljoprivrednih površina smještenih uz akumulacije.

Uz rijeku Dravu, odnosno uz izgrađene višenamjenske akumulacije smještena je Međimurska i Varaždinska županija. Prvi plan navodnjavanja jedne županije u RH bio je Plan navodnjavanja Međimurske županije koji je izrađen 2003. godine, a posljednji je Plan navodnjavanja Varaždinske županije koji je izrađen 2018. godine. Oba plana navodnjavanja prepoznala su rijeku Dravu i višenamjenske akumulacije kao glavni izvor vode za razvoj navodnjavanja u te dvije regije. Od izrade Plana navodnjavanja Međimurske županije proteklo je šesnaest godina te su započele aktivnosti na njegovoj realizaciji.

2. PRIKAZ POSTOJEĆEG STANJA

Izgradnju sustava navodnjavanja, odnosno povećanje poljoprivrednih površina pod navodnjavanjem treba temeljiti na onim površinama koja zadovoljavaju slijedeća tri eliminacijska kriterija: pogodnost tla za navodnjavanje, mogućnost dobave vode i iskazana spremnost proizvođača za navodnjavanje. Mogućnost zahvata odnosno blizina izvora vode za navodnjavanje element je tehničkog rješenja koji može ograničavati veličinu planiranih površina poljoprivrednog zemljišta za koje je moguće osigurati dovoljne količine vode za navodnjavanje. Navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta traži značajne količine vode za navodnjavanje koju treba osigurati u vrijeme njenog općenitog nedostatka u prirodi. Preduvjet izgradnje sustava za navodnjavanje je utvrđena spremnost poljoprivrednih proizvođača na korištenje sustava za navodnjavanje.

Na području Varaždinske i Međimurske županije tlo je temeljno prirodno bogatstvo te predstavlja njezin najznačajniji prirodni resurs. Stoga je nužno o tome voditi računa kako bi ga se iskorištavalo na trajno održivi način i time doprinosilo gospodarskom razvoju ovog područja. Pogodnost tla za navodnjavanje određuje se temeljem pedološko-hidropedoloških istražnih radova i ekspertnom ocjenom. Ekspertna ocjena pogodnosti za navodnjavanje uvažava i druge uvjete kao što su okrupnjenost posjeda, agrotehničke mjere radi aktiviranja potencijalne pogodnosti tla za navodnjavanje i dr. Od ukupne površine Međimurske županije 729 km² na poljoprivredno zemljište otpada

53.829 ha odnosno 74 % površine, a od ukupne površine Varaždinske županije 1.261 km² na poljoprivredno zemljište otpada 60.592 ha odnosno 48 % površine. U tablici 1 prikazana je sadašnja pogodnost poljoprivrednog zemljišta za navodnjavanja u te dvije županije. Pogodnih, umjereno pogodnih i ograničeno pogodnih tala za navodnjavanje je u Međimurskoj županiji 43.830 ha (82 %), a u Varaždinskoj županiji 44.696 ha (74 %). Manja površina klase pogodnosti P-1 u Međimurskoj županiji u odnosu na Varaždinsku županiju rezultat je primjene strožih kriterija u postupku procjene pogodnosti zemljišta navodnjavanje u razdoblju prije donošenja NAPNAV-a. Prostorni raspored tala je takav da se najkvalitetnija i najpogodnija tla za navodnjavanje (P-1 i P-2) nalaze u dravskoj aluvijalnoj nizini, odnosno uz rijeku Dravu kao mogući izvor vode za navodnjavanje.

Tablica 1. Sadašnja pogodnost tla za navodnjavanje

Klasa	Opis klase	Međimurska županija		Varaždinska županija	
		ha	%	ha	%
P-1	Pogodna tla	54	0,1%	9.834	16,2%
P-2	Umjereno pogodna tla	38.373	71,3%	13.162	21,7%
P-3	Ograničeno pogodna tla	5.804	10,8%	21.700	35,8%
N-1	Privremeno nepogodna tla	9.598	17,8%	13.371	22,1%
N-2	Trajno nepogodna tla	0	0,0%	2.525	4,2%
		53.829	100%	60.592	100%

Glavni vodotoci Varaždinske županije su rijeka Drava, Bednja i Plitvica, dok su u Međimurskoj županiji to rijeka Drava, Mura i Trnava. Karakteristični protoci tih vodotoka dani su u tablici 2. Drava se po svom kišno-ledenjačkom režimu razlikuje od gotovo svih rijeka u Hrvatskoj:

- mala vodnost zimi, a najveća u drugoj polovici proljeća i čitavo ljeto – velike vode javljaju se na Dravi od travnja do studenoga,
- prilična uravnoteženost protoka tijekom godine,
- najbolja uravnoteženost srednjih godišnjih protoka među svim velikim rijekama u Hrvatskoj.

Maloj varijaciji srednjih godišnjih protoka najviše pridonose alpski ledenjaci koji se u sušnim godinama više tope nego u kišnim. Tako se može reći da ledenjaci imaju svojstvo akumulacija sa djelomičnim sezonskim i višegodišnjim izravnanjem.

Poput Drave i Mure karakterizira ujednačenost srednjih godišnjih protoka što je posljedica prirodne akumulacije vode u krutom stanju (snijeg i led) u planinskom dijelu slivnog područja. Kako zbog toga što je Mura granična rijeka tako i zbog toga što je područje uz Muru proglašeno zaštićenim krajolikom pa je svaka mogućnost izgradnje na rijeci nepoželjna. Planom navodnjavanja Mura nije razmatrana kao izvorište vode za navodnjavanje. Za razliku od Drave i Mure ostale vodotoke karakterizira izuzetno mala vodnost tijekom ljetnih mjeseci, kada se pojavljuju minimalni protoci na tim vodotocima koji iznose od 130 do 490 l/s.

Na Dravi je izgrađen veliki broj hidroelektrana: 12 u Austriji, 8 u Sloveniji i 3 u Hrvatskoj. Dužina prirodnog toka Drave od hrvatske granice do HE Dubrava iznosila je 80,8 km, a danas je 26,7 km toka unutar akumulacijskih jezera, a 54,1 km su stara korita. Hidroelektrane zbog svog načina rada uzrokuju dnevne oscilacije vodostaja u jezeru od

oko 1 m. Osnovne karakteristike hidroelektrana na Dravi u RH dane su u tablici 3. Drenažni kanali hidroelektrana imaju značajan utjecaj na otjecanje podzemnih voda i regionalno snižavanja vodne plohe. Na početku toka Drave kroz Hrvatsku, zbog usporavanja vode na akumulacijskim jezerima, dolazi do povećanja razine podzemnih voda koje je ublaženo kolmatacijom akumulacija i drenažnim kanalima s vanjske strane nasipa. Nizvodno od hidroelektrana, uslijed zaustavljanja nanosa na branama, eksploatacije sedimenta i drugih čimbenika, dolazi do erozivnog spuštavanja dna korita odnosno snižavanja razina površinskih i podzemnih voda.

Tablica 2. Protoci značajnijih vodotoka u Varaždinskoj i Međimurskoj županiji (m^3/s)

Vodotok	Qsr	Qsr.mj.min	Qsr.mj.maks	Qmin
Drava (Donja Dubrava)	290,69	211,64	375,68	30,40
Plitvica (Vidovićevo mlin)	2,28	0,94	3,89	0,49
Bednja (Ludbreg)	6,27	2,29	11,71	0,33
Mura (Goričan)	170,58	100,09	234,74	44,90
Trnava (Donji Hrašćan)	1,54	0,39	2,93	0,13

Tablica 3. Osnovne karakteristike hidroelektrana na Dravi u RH

	HE Varaždin	HE Čakovec	HE Dubrava
Početak proizvodnje	1975.	1982.	1989.
Instalirana protoka (m^3/s)	450	500	500
Volumen akumulacije ($10^6 m^3$)	8,0	51,0	93,5
Površina vodnog lica akumulacije (km^2)	3,0	10,5	16,6
Nivo vode u akumulaciji (mn.m.)	190,0 - 191,0	167,0 - 168,0	148,6 - 149,6

Tablica 4. Prikaz stanja vodnih tijela prema elementima bitnim za navodnjavanje

Akumulacija / Vodotok	Ekološko stanje		Kemijsko stanje	Ukupno stanje
	fizikalno-kemijski pokazatelji	Specifično onečišćujuće tvari		
Akumulacija HE Varaždin	Vrlo dobro	Vrlo dobro	Dobro	Dobro
Akumulacija HE Čakovec	Vrlo dobro	Vrlo dobro	Dobro	Dobro
Akumulacija HE Dubrava	Vrlo dobro	Vrlo dobro	Dobro	Dobro
Plitvica	Vrlo loše	Vrlo dobro	Dobro	Vrlo loše
Bednja	Umjereno	Vrlo dobro	Dobro	Umjereno
Mura	Dobro	Vrlo dobro	Dobro	Dobro
Trnava	Vrlo loše	Vrlo dobro	Nije dobro	Vrlo loše

Osim zadovoljenja potrebne količine vode za navodnjavanje bitna je i njezina kvaliteta i mogućnost primjene u navodnjavanju. S te strane rijeka Drave, odnosno akumulacijska jezera prema osnovnim fizikalno-kemijskim pokazateljima i specifično onečišćujućim tvarima na temelju kojih je ocijenjeno stanje voda u Planu upravljanja vodnim područjima za razdoblje 2016 – 2021. te na temelju praćenja u sklopu tehničkih promatranja zadovoljava kriterije vrlo dobrog, odnosno dobrog stanja te je prema kemijskim parametrima u dobrom

stanju, dok vodna tijela Plitvice, zatim vodna tijela Bednje u Varaždinskoj županiji te Trnave u Međimurskoj županiji ne zadovoljavaju kriterije dobrog stanja. Prikaz stanja vodnih tijela prema elementima bitnim za navodnjavanje dan je u tablici 4.

Zbog svega navedenog jedini sigurni izvor vode za navodnjavanje u Međimurskoj i Varaždinskoj županiji je rijeka Drava sa svojim višenamjenskim akumulacijama koja zadovoljava potrebe za vodom po količini i po kriterijima kvalitete vode za navodnjavanje.

3. TEHNIČKO RJEŠENJE NAVODNJAVANJA

3.1. Postojeće stanje navodnjavanja

Prije pokretanja Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj (2005.) jedini korišteni izvor vode za navodnjavanje u Međimurskoj i Varaždinskoj županiji bila je podzemna voda. Prema popisu poljoprivrede 2003. g. u Međimurskoj se županiji navodnjavalo 320,16 ha (1,85 % korištene površine), a u Varaždinskoj županiji 538,26 ha poljoprivredne površine (1,40 % korištene površine).

Tijekom 2014. godine Republika Hrvatska je omogućila legalizaciju bunara uz ishođenje vodopravne dozvole. Na području Varaždinske županije u 2018. godini ukupno je 709 legaliziranih zdenaca za navodnjavanje. Najveći broj zdenaca je u općini Vidovec (447) i općini Maruševac (123). Ukupno se iz tih zdenaca navodnjava 438,36 ha. Osim legaliziranih zdenaca za navodnjavanje dva subjekta imaju koncesiju za korištenje podzemne vode za navodnjavanje kojima se navodnjava još dodatnih 16,74 ha. U Međimurskoj županiji ukupno je 379 legaliziranih zdenaca kojima se navodnjava 563,25 ha, te su izdane tri koncesije za navodnjavanje još 30,76 ha. Prostorni raspored legaliziranih zdenaca za navodnjavanje prikazan je na slici 1, a u tablici 5 dan je broj legaliziranih zdenaca za navodnjavanje u obje županije. Dakle ukupna površina navodnjavanja na području Varaždinske županije prema tim službenim podacima iznosi 455,10 ha, a u Međimurskoj županiji 594,01 ha.

Tablica 5. Legalizirani zdenaci za navodnjavanje

Županija	Vodopravna dozvola		Koncesija	
	Broj zdenaca	Površina nav. (ha)	Broj koncesija	Površina nav. (ha)
Međimurska županija	379	563,25	3	30,76
Varaždinska županija	709	438,36	2	16,74
UKUPNO	1088	1001,61	4	39,50

Uzimajući u obzir ove legalizirane zdenice i pripadajuće navodnjavane površine može se pretpostaviti da realno postoji i veći broj zdenaca koji se koriste za navodnjavanje, ali nisu legalizirani. Naime, prilikom legalizacije zdenaca još su 328 zahtjeva u Varaždinskoj županiji i 210 u Međimurskoj županiji odbijena zbog određenih manjkavosti prilikom podnošenja zahtjeva.

U planovima navodnjavanja sugerira se da se kao zahvat vode za navodnjavanja koriste postojeće višenamjenske akumulacije, dok se zahvati podzemnih voda trebaju izbjegavati, odnosno da je potrebno prvenstveno čuvati vodonosnike za potrebe javne vodoopskrbe (crpljenje vode iz zdenaca na crpilištima javnih isporučitelja vodnih usluga).

3.2. Predloženo rješenje navodnjavanja

Potencijal zemljišta za navodnjavanje u Međimurskoj županiji procijenjen je kao pogodan za navodnjavanje na 43.830 ha, a u Varaždinskoj županiji na 44.696 ha. Planovi navodnjavanja Međimurske županije (Elektroprojekt d.d. i dr., 2003.) i Varaždinske županije (Elektroprojekt d.d., 2018.) prepoznali su izgrađene akumulacije kao primarni izvor vode za razvoj navodnjavanja na području tih županija, te površine uz Dravu kao najpogodnije za navodnjavanje.

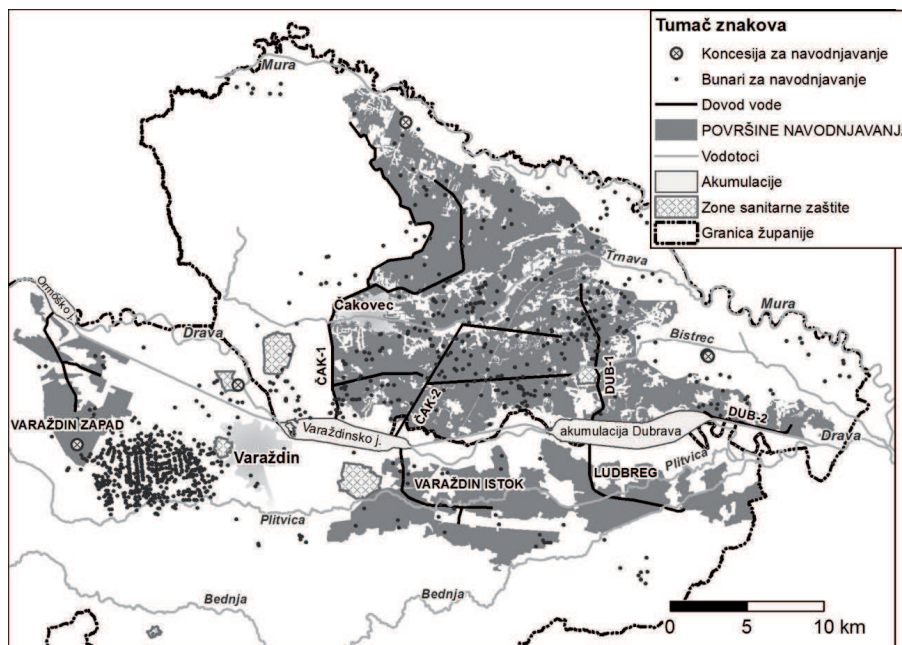
Plan navodnjavanja Međimurske županije predvidio je navodnjavanje 20.280 ha poljoprivrednog zemljišta, a Plan navodnjavanja Varaždinske županije 11.326 ha vodom iz dravskih akumulacija. Prikaz tehničkog rješenja prema Planovima navodnjavanja prikazano je na slici 1 i u tablici 6.

Odabrano rješenje navodnjavanja Donjeg Međimurja obuhvaća zahvat dravskih voda iz izgrađenih višenamjenskih akumulacija i gravitacijski dovod kanalom do područja navodnjavanja. Područje navodnjavanja odredila je raspoloživa visina uspora u akumulacijskom jezeru Čakovec i Dubrava, te namjena prostora koja je propisana Prostornim planom Međimurske županije. Ukupna površina navodnjavanja iznosi 20.280 ha od čega se dobavom vode iz Varaždinskog jezera navodnjava 16.370 ha, a iz akumulacijskog jezera Dubrava 9.910 ha. Ukupno je predviđeno četiri zahvata vode, po dva na Varaždinskom jezeru i akumulaciji Dubrava. Za navodnjavanje pleistocenske terase (područje sjeverno od Čakovca) planirano je mehaničko dizanje vode izgradnjom crpne stanice na dovodnom kanalu.

Za navodnjavanje najpogodnijeg tla u Varaždinskoj županiji koje se nalazi uz rijeku Dravu predviđeno je korištenje voda Drave zahvatom iz izgrađenih akumulacijskih jezera višenamjenskih hidrotehničkih sustava i gravitacijski dovod do područja navodnjavanja. Zatim je predviđena izgradnja crpnih stanica koje će zahvaćati vodu iz dovodnih cjevovoda i razvodnom tlačnom mrežom s hidrantima razvoditi vodu do poljoprivrednih površina. Predložena je podjela na tri neovisna sustava navodnjavanja s obzirom na izvor vode za navodnjavanje: SN Varaždin zapad (zahvat iz Ormoškog jezera), SN Varaždin istok (zahvat vode iz Varaždinskog jezera) i SN Ludbreg (zahvat vode iz akumulacije Dubrava). Budući da na području općine Vidovec postoji više od 700 legaliziranih zdenaca za navodnjavanje na tom području se ne predlaže izgradnja centralnog sustava navodnjavanja. Ukupna površina predloženih sustava za navodnjavanje iznosi 11.326 ha od čega se dobavom vode iz Ormoškog jezera predlaže navodnjavati 2.775 ha, iz Varaždinskog jezera 5.029 ha, a iz akumulacije Dubrava do 3.522 ha.

Za navodnjavanje svih 31.636 ha uz prosječno potrebu vode od 1730 m³/ha ukupno je potrebno 54,7 mil. m³ vode godišnje što je oko 0,5 % od srednje godišnje količine vode koja protječe Dravom.

Ključni elementi sustava navodnjavanja su zahvat vode koji se izvodi na nasipu akumulacijskog jezera i način glavnog dovoda vode do poljoprivrednih površina. Moguća su tri načina izvedbe zahvatne građevine za zahvat vode iz akumulacijskih jezera: zahvat vode nategom, zahvat vode cjevovodom izvedenim bušenjem nasipa, zahvat vode zahvatnom građevinom u tijelu nasipa.



Slika 1. Prikaz površina za navodnjavanje uz izgrađene višenamjenske akumulacije na Dravi

Tablica 6. Površine za navodnjavanje i količina vode za navodnjavanje

Područje navodnjavanja	Ormoško jezero	Varaždinsko jezero	Akumulacija Dubrava	Ukupno
Međimurska županija (ha):	0	16.370	3.910	20.280
- ČAK-1		10.830		
- ČAK-2		5.540		
- DUB-1			3.020	
- DUB-2			890	
Varaždinska županija (ha):	2.775	5.029	3.552	11.326
- Varaždin zapad	2.775			
- Varaždin istok		5.029		
- Ludbreg			3.552	
Ukupna površina (ha)	2.775	21.399	7.462	31.636
Ukupna količina vode (m³)	4.800.750	37.020.270	12.909.260	54.730.280

Jedino izvedba zahvata vode nategom ne zahtjeva pražnjenje akumulacije i tim se zahvatom ne narušava stabilnost postojećeg nasipa. S druge strane to je jedini mogući način zahvata koji se dozvoljava prema posebnim uvjetima HEP-a koji je vlasnik postojećih višenamjenskih akumulacija. Mana tog načina zahvata vode je što je za stavljanje u funkciju takvog zahvata potrebna vakuum crpka.

Dovod vode od zahvata do poljoprivrednih površina moguć je cjevovodom ili otvorenim kanalom. Dovod vode cjevovodom može se sastojati od jedne ili više cijevi ovisno o

potrebnom kapacitetu i financijskoj isplativosti. Dovod vode otvorenim kanalom moguće je zemljanim kanalom ili betonskim kanalom. Kod zemljanog kanala potrebno je predvidjeti foliju zbog osiguranja vodoodrživosti kanala. Dovod vode cjevovodom ima više prednosti: nema gubitaka od isparavanja; izvedba je podzemna, pa nema gubitka površine; ne stvara se umjetna barijera kao što je to slučaj s kanalima, moguće je iskoristiti tlačnu energiju vode u akumulaciji te je jednostavnije održavanje.

U obje županije glavni nedostatak efikasnog navodnjavanja i njegovog razvoja predstavlja usitnjenost poljoprivrednih parcela. Ipak, ključni element za izgradnju sustava navodnjavanja je iskazana spremnost poljoprivrednih proizvođača za korištenjem sustava navodnjavanja. Tako su preduvjet za početak izgradnje sustava navodnjavanja potpisani predugovori za 70% površina u obuhvatu sustava navodnjavanja kojim se budući korisnici obvezuju koristiti sustav navodnjavanja. Slijedom provedbe NAPNAV-a i Planova navodnjavanja u Međimurskoj županiji 2011. g. je izgrađen sustav javnog navodnjavanja Kuršanec na površini 250 ha, s mogućnošću proširenja za dodatnih 100 ha koji koristi vodu iz Varaždinskog jezera. U pripremi je još projektna dokumentacija za navodnjavanje 1733 ha sa zahvatom iz akumulacije Dubrava, a realizacija je predviđena kroz tri faze. U tijeku je postupak ishoda građevinske dozvole za prvu fazu. Zbog veće udaljenosti od rijeke Drave, a izvan aluvijalnog dravskog područja u pripremi je i projektna dokumentacija za navodnjavanje 719 ha sa centralnim zahvatom podzemne vode na području Belice. U tijeku je ishoda lokalne dozvole.

ZAKLJUČAK

Rijeka Drava sa svojim glacijalnim režimom predstavlja idealan izvor vode za navodnjavanje koja zadovoljava potrebu vode za navodnjavanjem količinski i svojom kvalitetom za navodnjavanje. Izgrađene višenamjenske akumulacije osiguravaju povoljnu i stalnu razinu vode u odnosu na površine navodnjavanja. Sa svrhom smanjenja ukupnih troškova predlaže se prilikom izrade projektne dokumentacije budućih energetske objekata na Dravi pravovremena priprema i projekata navodnjavanja za poljoprivredne površine koje bi bilo moguće navodnjavati iz njihovih akumulacija. Na taj bi se način mogao osigurati optimalni zahvat vode koji bi se izgradio tijekom izgradnje energetske objekta bez potrebe za dodatnim radovima na njegovim objektima i eventualnog narušavanja stabilnosti objekata.

LITERATURA

- [1] Elektroprojekt d.d. Zagreb, Hidroing d.o.o Osijek, Agronomski fakultet Zagreb, Plan navodnjavanja Međimurske županije, 2003.
- [2] Elektroprojekt d.d. Zagreb, Plan navodnjavanja Varaždinske županije, 2018.

AUTOR

Nenad Heček, dipl. ing. građ. ^a

^a Elektroprojekt d.d., Alexandera von Humboldta 4, Zagreb, 10000, Hrvatska, nenad.hecek@elektroprojekt.hr



R 2.33.

**KONTINUIRANO PRAĆENJE VODNOG REŽIMA
TALA I KAKVOĆE VODA U AGROEKOSUSTAVIMA NA
PODRUČJU MELIORACIJSKOG KANALA ZA
NAVODNJAVANJE BIĐ-BOSUTSKOG POLJA**

Dragutin Petošić, Ivan Mustać, Vilim Filipović, Nada Maurović

SAŽETAK: Praćenje (monitoring) kakvoće tla i voda na područjima korištenim za intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju predstavlja važnu metodu kontrole i prevencije onečišćenja okoliša. Monitoring je proces sa svrhom opetovanog motrenja mjerodavnih pokazatelja u okolišu, a u skladu s programom definiranim u prostoru i vremenu, te uz korištenje usporedive metodologije praćenja i prikupljanja podataka. U kompleksnim agroekosustavima nužna je kombinacija terenskih istraživanja, senzorne tehnologije, analitičkih metoda i numeričkih modela za predikciju mogućih negativnih utjecaja na okoliš. Kombinacija navedenih metoda je korištena i u višegodišnjem praćenju (2002. – 2018.) vodnog režima tala i kakvoće voda na području Dovodnog melioracijskog kanala za navodnjavanje Biđ-bosutskog polja. Terenski dio motrenja je uključivao: praćenje klimatskih podataka, detaljna hidropedološka istraživanja, ugradnju lizimetara, limnigrafa, pjezometara, motrenje razina podzemne vode te uzorkovanje površinske, procjedne i podzemne vode. Analitičke metode su uključivale određivanje fizikalno kemijskih parametara u uzorcima tla i voda. Sve navedeno je korišteno u obliku podloga za numeričko modeliranje utjecaja kanala na dinamiku podzemnih voda i simulaciju toka vode i transporta onečišćivala. Cilj rada je detaljno opisati metodologiju monitoringa vodnog režima tala i kakvoće voda uz analizu samo nekih značajnih rezultata višegodišnjeg praćenja koje se provodi na području melioracijskog kanala.

KLJUČNE RIJEČI: monitoring, vodni režim tala, kakvoća voda, matematički modeli, tok vode, okoliš, poljoprivreda

**CONTINUOUS MONITORING OF SOIL WATER REGIME AND
WATER QUALITY IN AGROECOSYSTEMS IN THE AREA OF THE
AMELIORATION DRAINAGE CANAL FOR IRRIGATION OF THE
BIĐ-BOSUT FIELD**

ABSTRACT: Monitoring of soil and water quality in areas utilized for intensive agricultural production is an important method for controlling and preventing environmental

pollution. The aim of this process is repeated monitoring of relevant environmental indicators in accordance with a spatially and temporally defined programme, and the use of comparable methodology for monitoring and data collection. In complex agroecosystems, it is necessary to combine field investigations, sensory technology, analytical methods and numerical models for predicting potential adverse impacts on the environment. A combination of the mentioned methods was used in the multi-annual monitoring (2002-2018) of soil water regime and water quality in the area of the supply amelioration drainage canal for irrigation of the Biđ-Bosut field. The monitoring of climate data, detailed hydropedological investigations, installations of lysimeters, limnigraphs and piezometers, groundwater level monitoring and sampling of surface waters, seepage water and groundwater were included in the field monitoring. Analytical methods included the determination of physicochemical parameters in soil and water samples. All mentioned procedures were used as input information for numerical modeling of the canal's impact on groundwater dynamics and for simulation of water flow and pollutant transport. The goal of the paper is to describe in detail the methodology of soil water regime and water quality monitoring, with an analysis of the most significant results of the multi-annual monitoring conducted in the area of the amelioration drainage canal.

KEYWORDS: monitoring, soil water regime, water quality, mathematical models, water flow, environment, agriculture

1. UVOD

Kontinuirano praćenje (monitoring) vodnog režima tala i kakvoće voda na području Melioracijskog kanala za navodnjavanje Biđ-bosutskog polja (MKBBP) započelo je 2002. godine. Samom monitoringu prethodili su detaljni istražni hidropedološki radovi koji su obavljani tijekom 2000. i 2001. godine. Monitoring je započet s ciljem utvrđivanja utjecaja izgradnje (tada budućeg) Višenamjenskog kanala Dunav-Sava (VKDS-a) na dinamiku podzemnih voda i okolni agroekosustav općenito.

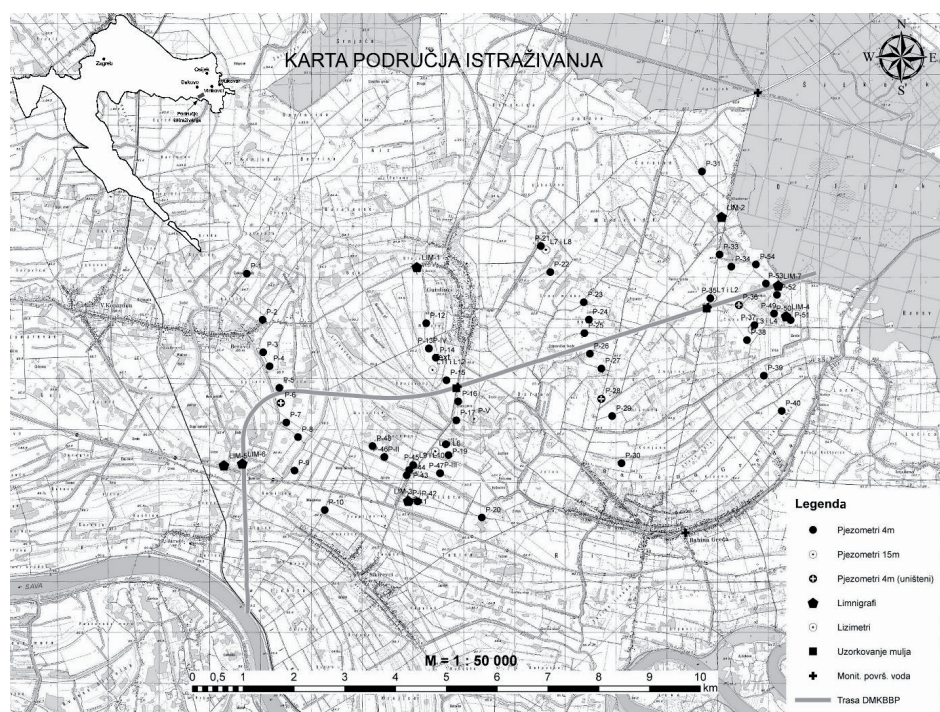
Početna mreža mjernih točaka koja se sastojala od 40 plitkih i 40 dubokih hidropedoloških pjezometara (1 i 4 m dubine) vremenom je nadograđivana. Do 2014. godine ugrađeno je dodatnih 8 pjezometara (4 m dubine), 7 automatskih pjezometarskih mjerača (limnigrafa; 4 m dubine), 5 vrlo dubokih hidrogeoloških pjezometara (15 m dubine) i 12 lizimetara Ebermayerovog tipa. Od početnog praćenja „nultog“ stanja, monitoring je prerastao u vrlo vrijedan izvor podataka svih bitnijih agroekoloških pokazatelja posebice površinskih, podzemnih i procjednih voda kao i poljoprivrednih tala na području istraživanja. Monitoring je rezultirao i izradom dva numerička modela koji su korišteni, uz terenska mjerenja i opažanja, za praćenje dinamike podzemnih voda i utjecaj Kanala na vodni režim tala okolnog područja te pronosa polutanata iz poljoprivrede kroz površinski solum tla prema podzemnim vodama.

Cilj rada je detaljno opisati metodologiju monitoringa vodnog režima tala i kakvoće voda uz analizu nekih od dobivenih rezultata istraživanja. Detaljni rezultati višegodišnjih istraživanja (2002. - 2018.) prikazani su u Izvešćima o istražnim radovima na godišnjoj razini. Također, zbirni višegodišnji rezultati (2002.-2009.) prikazani su u Sveučilišnoj monografiji „Značajke vodnog režima i kakvoće vode poljoprivrednih tala na području Višenamjenskog kanala Dunav-Sava“ izdanoj od strane Agronomskog fakulteta Zagreb.

Zbirni višegodišnji rezultati (2009. - 2013.) također su prikazani u „Završnom izvješću o istražnim radovima za razdoblje od 2009. do 2013.“. U tijeku je i izrada Završnog izvješća za razdoblje istraživanja od 2014. do 2018. godine.

2. MATERIJALI I METODE

Monitoring se kontinuirano provodio na području Dovodnog melioracijskog kanala za navodnjavanje Biđ-bosutskog polja (DMKBBP), a koje isključivo obuhvaća površinu poljoprivrednih tala od 7.200 ha. U geografskom pogledu područje monitoringa nalazi se u Biđ-bosutskom polju na prijelazu između Brodsko-posavske i Vukovarsko-srijemske županije i obuhvaća naselja Kladavac, Babina Greda, Gundinci i Sikirevci (slika 1).



Slika 1. Karta istraživanog područja s prikazom terenske opreme

Detaljna hidropedološka istraživanja provedena su prilikom uspostave monitoringa (2000) temeljem kojih je izrađena detaljna pedološka karta šireg područja DMKBBP. Analiza osnovnih klimatskih pokazatelja vršena je za najbližu meteorološku postaju (Gradište kod Županje). Prikupljeni klimatski parametri uključivali su praćenje količine oborina, relativne vlage i temperature zraka, insolacije i brzine vjetera. Na temelju navedenih podataka proračunate su vrijednosti evapotranspiracije pomoću Penman-Monteith jednadžbe (Smith, 1991).

Monitoring vodnog režima poljoprivrednih tala na području istraživanja vršen je putem 34 plitka hidropedološka pjezometara (1 m dubine), 48 dubokih hidropedoloških pjezometara (4 m dubine) i 5 vrlo dubokih hidrogeoloških pjezometara (15 m dubine). Mjerenja su

vršena klasičnom (ručnom) metodom svakih 10 dana ($3 \times$ mjesečno). Također, razina podzemne vode mjerena je i pomoću 5 automatskih mjerača (limnigrafa) na dnevnoj bazi, a ugrađena su i 2 limnigrafa preko kojih je praćena razina vode u DMKBBP.

Monitoring kakvoće i onečišćenja podzemne vode u pokrovnom (talnom) dijelu profila praćen je u prosjeku na 35 lokacija, a uzorci vode su uzorkovani i analizirani svakih 60 dana, odnosno 6 puta godišnje. Uzorkovanje i analiza podzemne vode u vrlo dubokim hidrogeološkim pjezometrima (15 m) vršeno je također svakih 60 dana na ukupno 5 lokacija. Na svim uzorcima vode analizirani su nitrati, amonijak i fosfati. Analize su obavljene u Zavodu za javno zdravstvo u Slavanskom Brodu, a interpretacija rezultata je izvršena u okviru postojećih propisa vezanih za kakvoću podzemnih i površinskih voda (N.N. 77/98, 137/08, 47/08).

Monitoring kakvoće i onečišćenja procjedne vode vršen je posredstvom lizimetara. Na području istraživanja je ugrađeno ukupno 12 lizimetara (tzv. Ebermayerovog tipa) na 6 lokacija. U procjednoj vodi (perkolatu) kod svih lizimetara analizirani su: nitrati, amonijak i fosfati. Uzorkovanje s analizom procjedne vode iz lizimetara vršeno je za svako oborinsko razdoblje koje je polučilo minimalnu količinu perkolata. Na navedenim lokacijama se kontinuirano vršilo i praćenje poljoprivredne proizvodnje: način obrade tla, plodored, uzgoj i prinos poljoprivrednih kultura, vrijeme i količina dodanih hranjiva (gnojidbe).

Monitoring kakvoće i onečišćenja površinske vode vršen je na 4 lokacije. Uzorkovanje i analiza površinske vode vršeno je svakih 60 dana. Kod svih uzoraka površinske vode analizirani su: nitrati, amonijak, fosfati, sulfati, pH, električna provodljivost i teški metali (Cu, Zn, Cd, Pb, Fe, Mn, Cr i Hg).

Monitoring onečišćenja mulja u DMKBBP vršeno je na dvije lokacije. Na uzorcima je izvršena analiza osnovnih kemijskih pokazatelja (pH, humus, N, P_2O_5 , K_2O) te teških metala (Cd, Co, Mo, Pb, Cr, Cu, Ni i Zn).

Laboratorijski rad i analize voda (podzemne, procjedne i površinske) izvršene su u Zavodu za javno zdravstvo Brodsko-posavske županije, a analize tla i mulja u laboratorijima Zavoda za melioracije Agronomskog fakulteta u Zagrebu.

Za simulaciju (modeliranje) utjecaja DMKBBP na dinamiku podzemnih voda u njegovom zaobalju korišten je programa VS2DTI (Verzija 1.2) koji je izrađen u *US Geological survey*. Program je predviđen za modeliranje dvodimenzionalnog toka i pronosa tvari u vertikalnoj ravnini, a moguće je modelirati nestacionaran tok i pronos u saturiranoj i u nesaturiranoj poroznoj sredini.

Za simulaciju toka vode i transporta onečišćivala (nitrata) korišteni su programski paketi HYDRUS-1D i HYDRUS-2D (Šimůnek i drugi, 2016). Za simuliranje toka vode u jednodimenzionalnoj ravnini korištena je Richardsova jednadžba za Darcyjev tok vode u (ne)saturiranom poroznom mediju dok je transport onečišćivala riješen jednadžbom advekcije i disperzije. Odnosi hidrauličkih parametara tla su opisani pomoću van Genuchten-Mualem modela (van Genuchten, 1980). Retencijske krivulje tla izrađene su pomoću programa RETC na temelju parametara koji su izmjereni laboratorijski na uzorcima prikupljenim u neporušenom stanju.

3. REZULTATI MONITORINGA

3.1. Klimatske i hidropedološke značajke područja monitoringa

Područje monitoringa nalazi se na prijelazu iz semiaridne u semihumidnu umjerenu kontinentalnu klimu (Petošić i drugi, 2002). Prosječna količina godišnjih oborina (1981-2018) na m.p. Gradište (45°09' N i 18°42' E) je iznosila 682,7 mm pri čemu na vegetacijsko razdoblje (travanj-listopad) otpada prosječno 439 mm, što čini 64,3 % od prosječnih ukupnih godišnjih količina oborina. Maksimalna mjesečna količina oborina zabilježena je u lipnju 2018. godine (257,4 mm), a minimalna u listopadu 1995. godine (0,2 mm). Prosječna vrijednost relativne vlage zraka (1981-2018) iznosila je 74,2 %. Vrijednost srednje godišnje temperature zraka (1981-2018) iznosila je 12,4 °C pri čemu je srednja mjesečna temperatura zraka u prosjeku najviša u srpnju (22,3 °C), a najniža u siječnju (0,8 °C).

Detaljni istražni hidropedološki radovi na širem području monitoringa (11.315 ha) provedeni su tijekom 2000. i 2001. godine prilikom kojih je utvrđeno šest osnovnih načina vlaženja tala: aluvijalni, semiglejno-pseudoglejni, hipoglejni, humoglejni, amfiglejni i hidromeliorirani (Petošić i drugi, 2002). Tip i podtip načina vlaženja tla unutar 2 m dubine, režim vlažnosti te pedosistematske jedinice područja monitoringa prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Načini vlaženja tla na području monitoringa

Dominantni način vlaženja tla unutar 2 m dubine			Skrraćeni naziv pedosistematske jedinice
Tip	Podtip	Režim vlažnosti	
Aluvijalni	Srednje duboko oglejeni	Kolebajuće srednje duboke podzemne vode u zoni izravnog utjecaja vodotoka	Aluvijalno oglejeno tlo
Livadsko/pseudoglejni	Umjereno pseudoglejni i srednje duboko glejni	Vlaženje sporo procjednim površinskim vodama do cca 1 m, a dublje srednje dubokim podzemnim vodama	Livadsko, pseudoglejeno tlo
Glejni	Hipoglejni	Prekomjerno vlaženje vrlo plitkim do plitkim podzemnim vodama	Hipoglejno tlo
Humoglejni	Plitko oglejeni	Vlaženje sporo procjednim i stagnirajućim te poplavnim površinskim vodama, a dublje plitkim jako kolebajućim podzemnim vodama	Humoglejno tlo
Glejni	Amfiglejni	Vlaženje sporo procjednim i stagnirajućim površinskim vodama, do 1 m, a dublje srednje dubokim podzemnim vodama	Amfiglejno tlo
Hidromeliorirani	Detaljno (otvoreni kanali + cijevna drenaža)	Zadovoljavajuća regulacija viška površinskih i podzemnih voda	Hidromeliorirano tlo

3.2. Monitoring vodnog režima poljoprivrednih tala

Motrenje vodnog režima tala na području DMKBBP vršeno je prvenstveno s hidropedološkog aspekta, pri čemu se kroz višegodišnja istraživanja željelo potvrditi: način vlaženja tla, kolebanja razine podzemne vode, smjer kretanja podzemne vode, te vremensko razdoblje punjenja i pražnjenja plitkog vodonosnog akvifera u solumu do maksimalno 4 m dubine. Generalno je utvrđeno da dominantan utjecaj na kolebanje razine podzemne vode u talnom plitkom akviferu imaju količina i raspored oborina, prostrano slivno područje, a posebice dinamika vodostaja u glavnom vodotoku područja, odnosno rijeci Savi.

Utvrđena je visoka do vrlo visoka korelacijska povezanost između vodnog režima poljoprivrednih tala, s vodnim režimom dubokog aluvijalnog vodonosnika pitke vode. Generalno je utvrđena pojava kontinuiranog sniženja razine podzemne vode u solumu poljoprivrednih tala što se može tumačiti kroz promjenu klimatskih, ali i antropogenih čimbenika.

3.2.1. Model procjene utjecaja DMKBBP na dinamiku podzemne vode

Utjecaj DMKBBP na dinamiku podzemne vode u solumu zaobalnih poljoprivrednih tala ovisi prvenstveno o geološkoj strukturi slojeva u koje je kanal usječen, razini vode u Kanalu i razini podzemne vode u dubokom vodonosniku područja. Utjecaj Kanala je modeliran na četiri karakteristična profila međusobno udaljenih 2.500 m za različite razine podzemne vode u tlu (1, 2, 3 i 4 m ispod površine terena). Stalna razina vode u Melioracijskom kanalu je u svim varijantama modeliranja usvojena s vrijednošću apsolutne visine od 80,00 m n.m. Za potrebe određivanja domene modeliranja usvojena je geometrija kanala iz projektne dokumentacije.

Generalno je utvrđeno da Kanal djeluje blago drenirajuće na cijelom području monitoringa osim na krajnjem istočnom dijelu, gdje je uz drenirajući potvrđen i prihranjujući utjecaj na vodni režim poljoprivrednih tala.

Širina zone blagog drenirajućeg utjecaja Kanala u kojoj dolazi do sniženja razine podzemne vode u plitkom talnom akviferu za više od 10 cm je relativno uska i niti na jednom profilu ne prelazi 500 m ukupne širine (250 m lijevo i desno od uzdužne osi kanala). Na istočnom i zapadnom djelu područja monitoringa, u slučaju kada je razina podzemne vode u tlu na 1, 2, 3 i 4 m dubine, širina spomenute zone se kreće u okviru maksimalnih vrijednosti od 500 m, 450 m, 400 m i 300 m. U centralnom dijelu područja monitoringa iste vrijednosti iznose 350 m, 300 m, 200 m i 50 m što se tumači slabijom vodopropusnošću tala u kojima je izgrađen kanal.

Kod sniženja razine podzemne vode u tlu ispod 4 m (istočni dio područja), u početku dolazi do stanja ekvilibrijuma, a zatim i prihranjujućeg utjecaja Kanala. Širina zone prihranjivanja, u uvjetima koji su potvrđeni tijekom razdoblja istraživanja nije prelazila 100 m širine.

3.3. Monitoring kakvoće i onečišćenja podzemne i procjedne vode

Obzirom na ukupni dušik, podzemna voda je na području monitoringa u dubokom podtalnom akviferu (voda za piće) tijekom 2018. godine po kakvoći odgovarala II./III. vrsti ekološke kakvoće. Onečišćenje podzemne vode s fosforom od veljače do prosinca bilo je više od maksimalno dozvoljene vrijednosti (MDK = 0,30 mg PO₄-P/L). Slična situacija zabilježena je i u prethodnim godinama istraživanja iako ne i u istim vremenskim razdobljima što je u svezi s vremenom, načinom i količinom gnojidbe uzgajanih poljoprivrednih kultura. Valja naglasiti da stanje onečišćenja podzemne vode dušikom nije alarmantno, ali iziskuje dodatnu edukaciju lokalnih poljoprivrednika u cilju odgovornijeg i stručnijeg gospodarenja.

Prodor mogućih polutanata iz poljoprivredne proizvodnje (teški metali, dušik, fosfor) prema plitkom talnom, a potom i dubokom vodonosniku pitke vode, motren je putem lizimetarskih mjerenja. Monitoring je vršen na ukupno 6 lokacija pomoću 12 lizimetara

tzv. Ebermeijerovog tipa. Na navedenim lokacijama praćena je i vrsta biljne proizvodnje te gnojidba uzgajanih kultura. Tijekom razdoblja monitoringa najćeće su uzgajane sljedeće kulture: kukuruz, jećam, pšenica, soja, lucerna, uljana repica i suncokret.

Utvrđeno je da koncentracije teških metala u procjednoj vodi (perkolatu) lizimetara tijekom razdoblja monitoringa generalno nisu predstavljale veću opasnost u pravcu ozbiljnijeg zagađenja podzemnih voda. Koncentracije fosfora u perkolatu lizimetara su povremeno prelazile maksimalno dozvoljene vrijednosti (MDK).

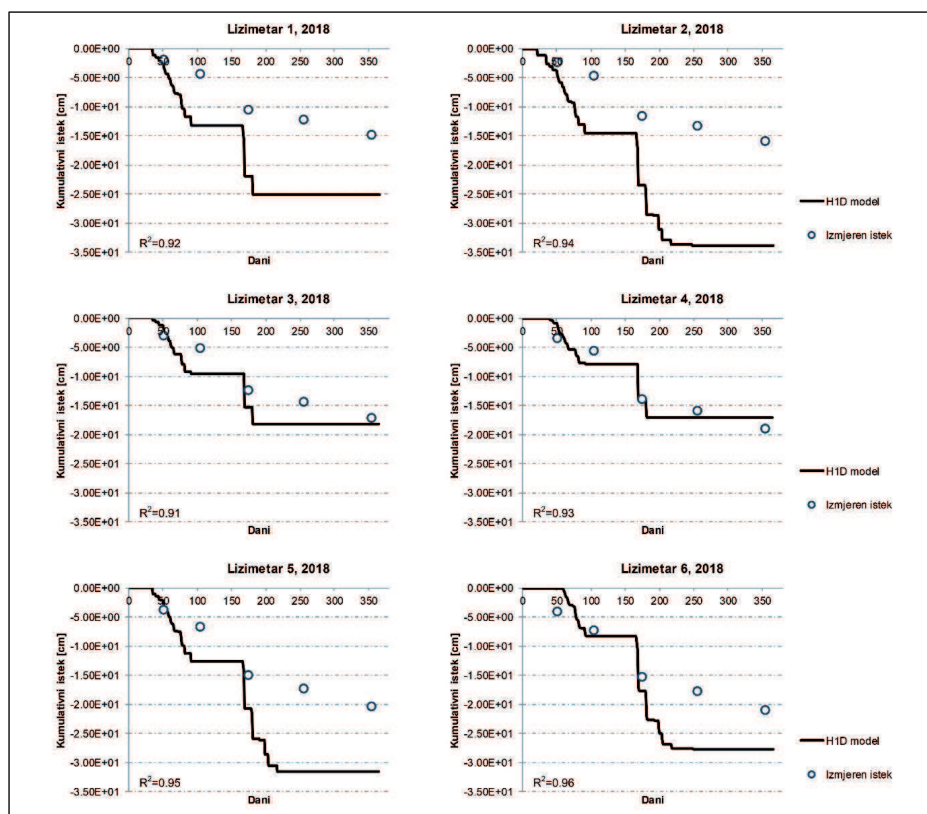
Tijekom razdoblja monitoringa utvrđene su učestale pojave povišene koncentracije nitrata kao i ukupnog dušika u perkolatu lizimetara što je potvrđeno i na temelju numerićkog modeliranja.

3.4. Rezultati numerićkog modela toka vode i pronosa nitrata tijekom 2018. godine

Kumulativne vrijednosti kolićine procjedne vode (perkolata) u 2018. godini, izmjerene su na lizimetrima u poljskim uvjetima. Simulirane vrijednosti istih izraćunate su pomoću programa HYDRUS-1D. Numerićke su simulacije provedene u trajanju od 365 dana poćevši s 01. sijećnjem 2018. godine. Kumulativne vrijednosti procijeđene vode iz lizimetara, simulirane pomoću programa HYDRUS-1D ovisile su prvenstveno o vrijednostima oborina i evapotranspiracije. Model je uspješno slijedio izmjerene kolićine perkolata tijekom istraćivanog razdoblja što je vidljivo iz visokih vrijednosti koeficijenta determinacije ($R^2 = 0,91-0,96$; Slika 2). Visoke vrijednosti R^2 ukazuju na podudarnost u temporalnoj varijabilnosti isteka, iako su konaćne simulirane kumulativne vrijednosti isteka nešto više od izmjerenih. Kolićine perkolata u lizimetrima su varirale od lokacije do lokacije kako slijedi: $L_1=149$ mm; $L_2=160,4$; $L_3=172,4$ mm; $L_4=189,9$ mm; $L_5=203,6$ mm; $L_6=210,4$ mm. Kolićine perkolata su bile nešto više nego prethodnih godina s obzirom na oborine (851,8 mm) te uprosjećena ćini oko 21 % od oborina palih u 2018. godini što je rezultiralo i povećanjem procjeđivanja onećišćivala do dubljih slojeva tla i podzemne vode.

Na lokaciji 6 tijekom 2018. godine je provedena mineralna gnojidba NPK (15:15:15; 300 kg ha⁻¹), KAN (100 kg ha⁻¹) tijekom travnja i još jedna dodatna gnojidba tijekom listopada KAN-om (70 kg ha⁻¹) te NPK (0:20:30; 300 kg ha⁻¹). Povećana koncentracija nitrata je vidljiva odmah nakon poćetne faze kad je došlo do transformacije amonijaka do nitrata. Gnojidba NPK i KAN-om je provedena 10. travnja (100. dan) što je dovelo do povećane koncentracije nitrata nakon 121 dana.

Također, primijećen je trend ubrzanog procjeđivanja nitrata u dublje slojeve tla (ispod zone korijena) tijekom cijele godine, što je rezultat povećanih kolićina oborina i njihovog rasporeda. Dio nitrata vremenom dospijeva do podzemnih voda i postaje nedostupan za uzgajane kulture te uzrokuje povišene koncentracije koje su vidljive i u analiziranim uzorcima vode iz hidropedoloških pjezometra.



Slika 2. Izmjerene i simulirane (HYDRUS-1D) kumulativne vrijednosti procjedne vode (perkolata) iz lizimetara u 2018. godini

3.5. Monitoring kakvoće i onečišćenja površinskih voda i mulja u DMKPPB

Motrenje kakvoće površinskih voda na području DMKBBP tijekom 2018. godine vršeno je na četiri lokacije, a motreni su sljedeći pokazatelji: $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, SO_4^{2-} , pH, EV ($\mu\text{s/cm}$), EC (ds/m), Fe^{2+} i Mn^{2+} .

Sadržaj ukupnog dušika i fosfora u površinskoj vodi Biđa, Istočne Berave i DMKBBP-a tijekom razdoblja monitoringa varirao je kroz vrijeme, ali su često izmjerene povišene vrijednosti koje su nerijetko prelazile maksimalno dopuštene koncentracije (MDK). Pa ipak, valja naglasiti kako su te vrijednosti u 2018. godini bile znatno povoljnije u odnosu na prethodne godine.

Ostale navedene komponente u pravilu nisu pokazivale povišene vrijednosti u površinskoj vodi tijekom razdoblja monitoringa, s izuzetkom srednjih vrijednosti koncentracije željeza i mangana, koje su tijekom 2018. godine na svim lokacijama bile više od MDK. Povećane koncentracije teških metala u sedimentima melioracijskih kanala mogu nepovoljno, toksično, pa i kancerogeno djelovati na biološku raznolikost u zoni navedenih hidrotehničkih građevina. Stoga se od 2014. godine započelo s praćenjem i analizom koncentracije teških metala (Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn i Hg) u sedimentima mulja

Melioracijskog kanala na dvije lokacije.

Koncentracije svih analiziranih teških metala u sedimentu mulja kanala kroz sve 4 godine monitoringa bile su znatno ispod maksimalno dozvoljenih vrijednosti sadržaja teških metala u poljoprivrednim tlima (N.N., 39/2013).

ZAKLJUČAK

Na području monitoringa (DMKBBP), koje se nalazi na prijelazu iz semiaridne u semihumidnu umjerenu kontinentalnu klimu ukupno je izdvojeno 6 tipova tala: aluvijalno, livadsko-pseudooglejeno, hipoglejno, humoglejno, amfiglejno i hidromeliorirano tlo.

Dominantni utjecaj na razinu podzemne vode (vodni režim) u talnom plitkom akviferu imaju količina i raspored oborina, prostrano slivno područje, a posebice dinamika vodostaja u rijeci Savi pri čemu komunikacija podzemnih voda talnog i dubokog vodonosnika pokazuje visoku do vrlo visoku korelaciju.

DMKBBP djeluje blago drenirajuće na cijelom području monitoringa (u prosjeku 100 do 200 m lijevo i desno od osi kanala) osim na krajnjem istočnom dijelu, gdje je uz drenirajući utvrđen i prihranjujući utjecaj Kanala na vodni režim tala u njegovom užem zaobalju. Intenzitet utjecaja Kanala ovisi prvenstveno od geološke strukture slojeva u koje je kanal usječen, razini vode u Kanalu i razini podzemne vode u plitkom talnom kao i dubokom vodonosniku područja.

U podzemnim i procjednim vodama na području monitoringa povremeno su utvrđene prekomjerne koncentracije ukupnog dušika, nitrata i fosfora (najčešće iz pravca poljoprivrede) iako se zadnjih godina primjećuje blagi trend smanjenja tih vrijednosti. Teški metali ne predstavljaju opasnost za podzemne vode područja. Slična situacija zabilježena je i u površinskim vodama, iako zabrinjavaju povišene koncentracije Fe i Mn. Analize uzoraka mulja iz DMKBBP pokazuju znatno manju koncentraciju teških metala od MDK kroz sve četiri godine praćenja.

Izgradnjom DMKBBP ostvareni su osnovni preduvjeti za navodnjavanje poljoprivrednih površina kojima obiluje zaobalje kanala.

LITERATURA

- [1] Bear, J. (1979): *Hydraulics of Groundwater*. McGraw Hill. New York.
- [2] Bogunović M., Vidaček Ž., Husnjak S., Sraka M. (1998.): *Inventory of soils in Croatia*. Agriculture Conspectus Scientificus 63: (3), 105–112.
- [3] Filipović, V., Petošić, D., Nakić, Z., Mustać, I., Ružičić, S., Zovko, M., Bubalo, M. (2012): *Identifying spatial and temporal variation of nitrate concentration in shallow groundwater aquifer*. Journal of food agriculture & environment. 10, 3/4; 1001-1004.
- [4] Filipović, V., Petošić, D., Šimunić, I., Mustać, I., Svečnjak, Z., Zovko, M., Bubalo, M., Matijević, L. (2011): *Evaluating the impacts of agriculture to groundwater pollution in a shallow Aquifer in Eastern Croatia*. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary medicine Cluj-Napoca. 68, 2; 37-44.
- [5] Mustać, I., Gjetvaj, G., Petošić, D., Tomić, F. (2011): *Utjecaj budućeg višenamjenskog kanala Dunav-Sava na dinamiku podzemnih voda*. Tehnički vjesnik, Osijek. 18, 2; 211-218.

- [6] Mustać, I., Petošić, D., Gjetvaj, G., Filipović, V. (2011): *Groundwater Dynamics in Drained Soils of the Biđ-field District*. ACS. Agriculturae conspectus scintificus. 76 (2011), 1; 41-47.
- [7] Petošić, D., Tomić, F., Dolanjski, D., Mustać, I. (2002): *Studija: Vodni režim i stanje tala na području donjeg toka budućeg kanala Dunav-Sava, s monitoringom za 2002. godinu*. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
- [8] Petošić, D., Kovačević, V., Mustać, I. (2018): *Nitrogen and phosphorus leaching from the hydromorphic soils of biđ-bosut field in croatia*. Zemljište i biljka. 67, 1; 64-77.
- [9] Petošić D., Kovačević V., Mustać I., Filipović V., Dujlović D. (2011): *Utjecaj poljoprivrede na kakvoću procjernih voda na području melioracijskog kanala za navodnjavanje Biđ-bosutskog polja*. Hrvatske vode. 19 (78) 241–250.
- [10] Petošić, D., Bubalo Kovačić, M., Filipović, V., Knežević, D., Mustać, I. (2018): *Utjecaj uzgoja ratarskih kultura na onečišćenje voda Biđ-bosutskog polja*. Rijeka Bosut i Pobosučje u prošlosti, sadašnjosti i budućnosti, Vinkovci, Hrvatska Akademija znanosti i umjetnosti. 147-170.
- [11] Smith M. (1991): CROPWAT: Manual and Guidelines, FAO of UN, Rome, Italy.
- [12] Šimůnek, J., van Genuchten M.Th., Šejna, M. (2016): *Recent developments and applications of the HYDRUS computer software packages*. Vadose Zone. 15(7).
- [13] van Genuchten M.Th. (1980): *A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Science Society of America Journal. 44: 892–1037.
- [14] Uredba o klasifikaciji voda, N.N. 77/98 i 137/08 .
- [15] Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, N.N. 47/08.
- [16] Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja N.N. 39/13.

AUTORI

prof. dr. sc. Dragutin Petošić ^a

doc. dr. sc. Ivan Mustać ^a

doc, dr. sc. Vilim Filipović ^a

Nada Maurović, dipl. ing. ^a

^a Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za melioracije, Svetošimunska c. 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, dpetosic@agr.hr; imustac@agr.hr; vfilipovic@agr.hr; nmaurovic@agr.hr



ANALIZA POJAVE HIDRAULIČKOG UDARA NA SUSTAVU NAVODNJAVANJA VALTURA

Siniša Družeta, Bojan Crnković, Jerko Škifić, Danko Holjević

SAŽETAK: Za potrebe vlastite poljoprivredne proizvodnje Kaznionica u Valturi koristi sustav navodnjavanja koji uključuje akumulaciju Bakranjuša, crpnu stanicu, distribucijsku cjevovodnu mrežu te dobavni sustav kojim se puni akumulacija. Analizirani su rizici od pojave hidrauličkog udara uslijed naglog automatskog zatvaranja ventila na rolomatima odnosno provedena je provjera maksimalnih mogućih tlakova u sustavu u tim slučajevima. U analizi je korišten vlastiti računalni program STRAN u kojem je implementiran numerički model temeljen na Allievijevom 1D modelu strujanja tekućine u cijevima. Provedeni su proračuni za četiri brzine zatvaranja ventila na rolomatima i za tri lokacije korištenog hidranta. Dobiveni rezultati simulacija pokazuju da se porast tlaka uslijed hidrauličkog udara uzrokovanog naglim zatvaranjem ventila na uređajima za navodnjavanje (vrijeme zatvaranja 1/2 s) kreće u rasponu 1,7-9,5 bar. Nadalje, rezultati jasno pokazuju da se porast tlaka uslijed hidrauličkog udara bitno smanjuje sa smanjenjem brzine zatvaranja ventila na uređaju za navodnjavanje. U tom smislu provedena analiza upućuje na zaključak da se problem hidrauličkog udara može u potpunosti riješiti sporijim zatvaranjem ventila na uređaju za navodnjavanje.

KLJUČNE RIJEČI: navodnjavanje, hidraulički udar, tranzijentne pojave, 1D numerički model, rolomat

ANALYSIS OF WATER HAMMER OCCURRENCE IN VALTURA IRRIGATION SYSTEM

ABSTRACT: For its own agricultural production, the Valtura Penitentiary uses an irrigation system consisting of the Bakranjuša reservoir, a pumping station, pipeline distribution network and supply system filling the reservoir. The risks of a hydraulic shock occurrence due to a sudden automatic shutdown of the traveling sprinklers' valves were analysed, i.e. a check of the maximum possible pressures in the system in such cases was performed. The analysis used the computer program STRAN, internally developed, in which a numerical model based on the Allievi 1D fluid flow model was implemented. The calculations were performed for four sprinkler valve closing speeds and three locations of the used hydrant. The obtained simulation results show that the pressure increase due to a hydraulic shock caused by a sudden closure of the traveling sprinklers' valve

(closing time 1/2 s) ranges from 1.7 to 9.5 bar. Additionally, the results clearly show that the pressure increase due to a hydraulic shock is significantly reduced by decreasing the valve closing speed. In this regard, the conducted analysis suggests that the problem of hydraulic shock can be fully solved by a slower closing of the sprinkler valve.

KEYWORDS: irrigation, water hammer, hydraulic transients, 1D numerical model, traveling sprinkler

1. UVOD

Kaznionica u Valturi za potrebe vlastite poljoprivredne proizvodnje koristi 440 ha poljoprivrednih površina u Valturskom polju u zaleđu Pule. Kaznionica je tijekom pedesetih i šezdesetih godina prošlog stoljeća izgradila sustav navodnjavanja koji je pokrивao oko 200 ha poljoprivrednih površina. U razdoblju od 2009. do 2016. godine sustav navodnjavanja Valtura obnovljen je te proširen izgradnjom novih cjevovoda i nove velike akumulacije Bakranjuša kapaciteta 650.000 m³ sa crpnom stanicom, iz koje se danas crpi voda za potrebe navodnjavanja poljoprivrednih površina Kaznionice.

Iz akumulacije do crpne stanice vode dvije HDPE cijevi promjera 600 mm postavljene unutar betonskog mikrotunela, odakle se voda dalje upućuje u distribucijsku mrežu sustava navodnjavanja. Crpna stanica sadrži četiri crpke u paralelnom radu, koje realiziraju maksimalni protok od 240 l/s i izlazni tlak od 90-115 m stupca vode. Crpna stanica je s distribucijskom mrežom povezana lijevano-željeznom cijevi unutrašnjeg promjera 500 mm, dok sam distribucijski dio sustava čine cijevi od polietilena (HDPE), unutrašnjih promjera 277 mm, 198 mm, 158 mm i 110 mm.

Za navodnjavanje se trenutno koriste rolomati tipa OCMIS 110 i Irrigazione Veneto 110, maksimalnog kapaciteta 25-27 l/s i potrebnog tlaka 6 bar (Slika 1).



Slika 1. Rolomat OCMIS 110 na poljoprivrednoj površini u Valturi

Hidraulički (vodni) udar je pojava naglog porasta tlaka pri naglom prekidu strujanja odnosno nagloj promjeni brzine strujanja fluida u nekoj točki cjevovodnog sustava. Pri radu sustava navodnjavanja hidraulički udar se može pojaviti uslijed naglog prekida

strujanja na periferiji distribucijskog sustava uzrokovanog zatvaranjem ventila na uređaju za navodnjavanje.

S obzirom da se ventili na uređajima za navodnjavanje zatvaraju automatski i to velikom brzinom, moguće je da bi tlak neposredno uzvodno od hidranta, na koji je spojen uređaj za navodnjavanje, porastao do opasnih veličina s obzirom na visoko radno opterećenje ugrađenih HDPE cijevi. Stoga je provedena analiza pojave hidrauličkog udara izazvanog naglim automatskim zatvaranjem ventila na uređajima za navodnjavanje.

2. RAČUNALNI MODEL

Za potrebe računalnog modeliranja hidrauličkog udara korišten je računalni program STRAN, u čijem razvoju su sudjelovali i autori ovog elaborata. Računalni program STRAN do danas je upotrijebljen na nizu stručnih elaborata i studija, kao i u znanstvenim istraživanjima (Sopta i drugi, 2004; Škifić i drugi, 2010; Škifić i drugi, 2013).

Implementirani numerički model temelji se na 1D nestacionarnom Allievijevom modelu strujanja tekućine u cijevima, koji pak proizlazi iz direktne primjene zakona očuvanja mase i količine gibanja. Model ne pretpostavlja pojavu kavitacije i promjenu gustoće fluida uslijed promjene tlaka u cijevi. Konačni oblik Allievijevog modela može se zapisati u obliku sustava parcijalnih diferencijalnih jednadžbi:

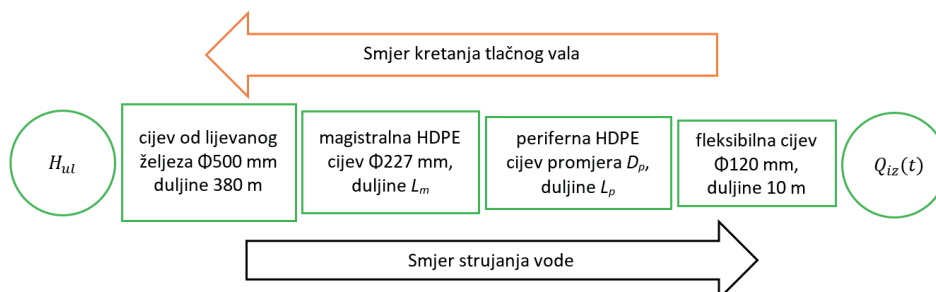
$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{\lambda|Q|Q}{2DA}, \quad (2)$$

gdje je $Q(x,t)$ volumni protok, $H(x,t)$ piezometrička visina (zbroj tlaka izraženog u visini stupca fluida i geodetske visine), A površina poprečnog presjeka cijevi, D promjer cijevi, c brzina zvuka i λ koeficijent trenja. Brzina zvuka c je brzina kojom poremećaji (tlačni valovi) propagiraju kroz fluid.

Diferencijalne jednadžbe (1)-(2) opisuju strujanje fluida i propagaciju hidrauličkog udara u jednoj cijevi. Za potrebe modeliranja više različitih cijevi, grananja, itd., u modelu se definiraju spojevi u kojima se propisuje jednaka piezometrička visina na krajevima svih spojenih cijevi te jednakost ukupnih ulaznih i izlaznih protoka za sve spojene cijevi u točki spoja. Također, za potrebe modeliranja strujanja u distribucijskom cjevovodu sustava navodnjavanja potrebno je zadati protok na hidrantu, što se zadaje kao vremenska funkcija protoka na izlazu vode iz cjevovoda $Q_{iz}(t)$. Konačno, na ulazu u sustav potrebno je zadati poznati tlak, koji se tipično ne mijenja u vremenu, tj. $H_{ul} = const$.

Upotrebom opisanog matematičkog modela odnosno razvijenog softvera STRAN, formiran je model sustava navodnjavanja za potrebe analize pojave hidrauličkog udara, s elementima modela prikazanim shemom na Slici 2.



Slika 2. Shema modeliranog dijela sustava navodnjavanja

Ovako definirani model korišten je u više varijanti, kako je to opisano u nastavku (Tablica 1). Varijante se razlikuju po duljini magistralne HDPE cijevi (L_m) te promjeru i duljini periferne HDPE cijevi (D_p i L_p). Korištene varijante modela odgovaraju realnoj upotrebi izabranih hidranata u sustavu navodnjavanja.

Tablica 1. Varijante modela

Varijanta	Duljina magistralne HDPE cijevi L_m [m]	Promjer periferne HDPE cijevi D_p [mm]	Duljina periferne HDPE cijevi L_p [m]
A	380	110	95
B	1195	158	415
C	40	277	130

Na temelju podataka o cijevima iz kataloga proizvođača Pipelife određena je brzina zvuka u HDPE cijevima $c_{HDPE} = 330$ m/s i brzina zvuka u lijevano-željeznoj cijevi $c_{duct} = 1000$ m/s. S obzirom na ograničene informacije o fleksibilnoj cijevi kojom se uređaj za navodnjavanje priključuje na hidrant, ona je u modelu reprezentirana kao čvrsta HDPE cijev istih karakteristika kao i ostale cijevi distribucijskog sustava, što je inženjerski konzervativno jer veća elastičnost cijevi amortizira oscilacije tlaka.

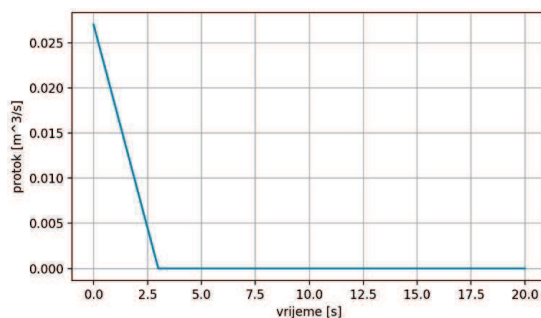
3. REZULTATI SIMULACIJA

Na uspostavljenom numeričkom modelu hidrauličkog udara provedene su simulacije za tri varijante modela i različite postavke rubnih uvjeta odnosno brzine zatvaranja ventila na uređaju za navodnjavanje.

Početni stacionarni protok u provedenim simulacijama iznosi 27 l/s, što odgovara maksimalnom kapacitetu korištenih rolomata. Time se modelira isključenje jednog uređaja za navodnjavanje, što predstavlja realnu situaciju u radu sustava navodnjavanja jer je gotovo nemoguće da se u danom trenutku istovremeno automatski isključe dva ili više potpuno nezavisna uređaja.

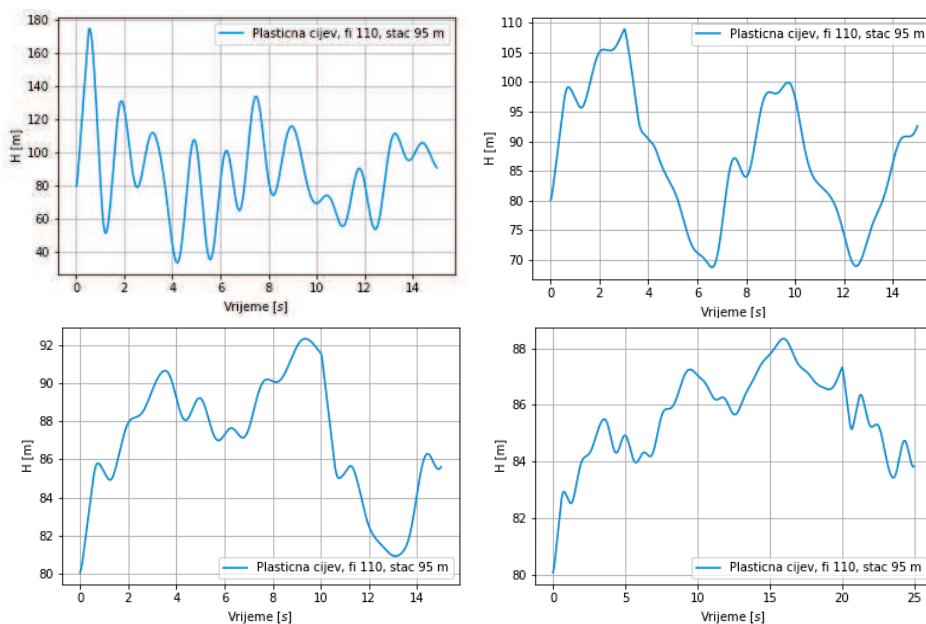
Provedeni su proračuni za četiri vremena zatvaranja ventila (1/2 s, 3 s, 10 s i 20 s), što je u modelu implementirano putem rubnog uvjeta protoka na izlaznoj granici $Q_{iz}(t)$, s odgovarajućim trajanjem linearnog smanjenja protoka od maksimalnog protoka (27 l/s) do nultog protoka (Slika 3). Rubni uvjeti tlaka su za svaku simulaciju tako postavljeni da se na nizvodnom kraju modela postižu tlakovi od 80-85 m stupca vode (8,0-8,5 bar),

što jest u okviru realnih vrijednosti, ali i fizikalno irelevantno jer ne utječe na amplitudu oscilacije tlaka hidrauličkog udara. Početni uvjet (strujanje u trenutku $t = 0$) definiran je stacionarnim strujanjem protoka 27 l/s kroz modelirani sustav.

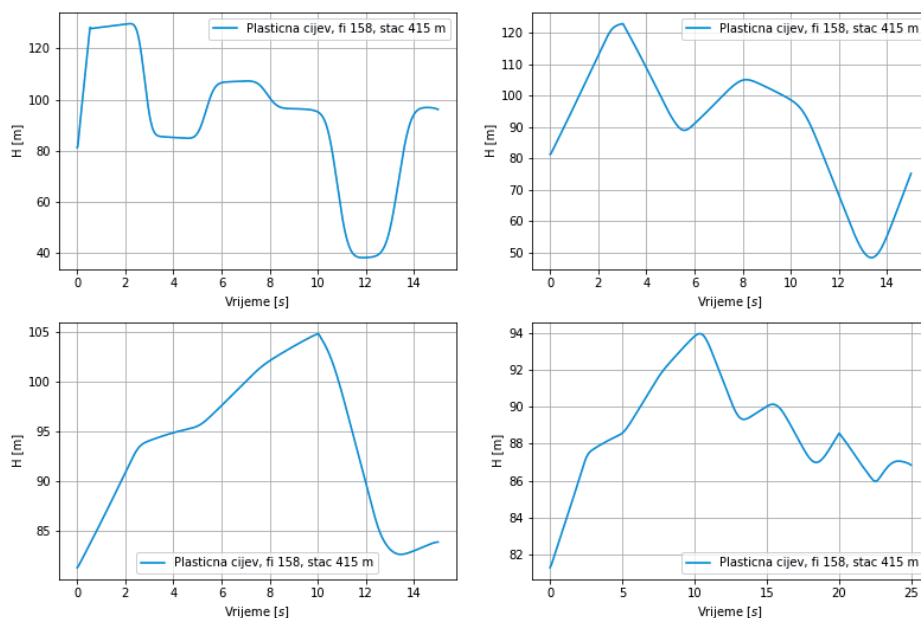


Slika 3. Primjer rubnog uvjeta protoka $Q_{iz}(t)$ na nizvodnoj strani fleksibilne cijevi (zatvaranje ventila na rolomatu u periodu od 3 s)

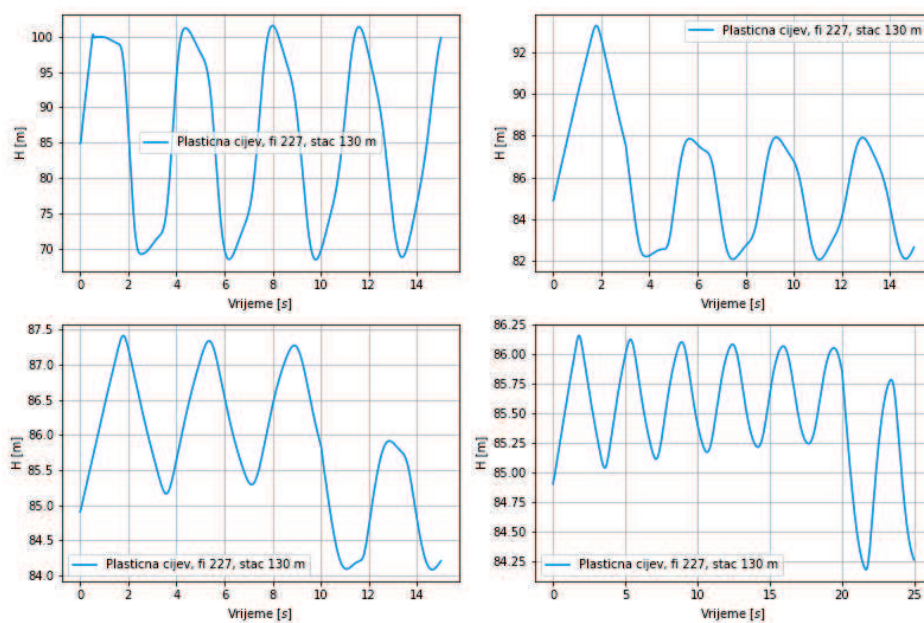
U nastavku su dani rezultati za tri varijante modela (Tablica 1) i za četiri vremena zatvaranja ventila na uređaju za navodnjavanje (Slike 4-6). Rezultati prikazuju samo prvih nekoliko oscilacija tlaka $H(t)$, jer su amplitude kasnijih tlačnih valova sve slabije.



Slika 4. Oscilacije tlaka na distribucijskoj cijevi pri hidrantu, varijanta A (periferna cijev $\Phi 110$ mm), zatvaranje ventila u 1/2, 3, 10 i 20 s (redom od gore lijevo)



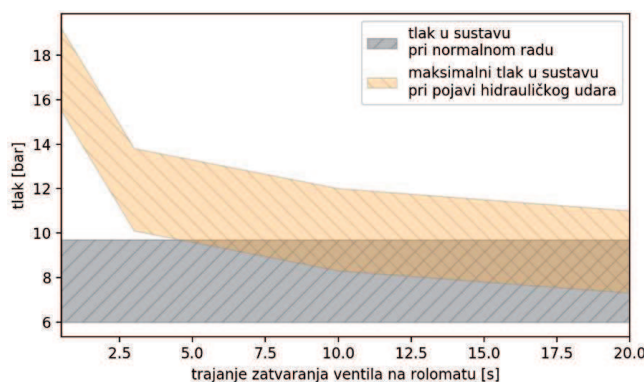
Slika 5. Oscilacije tlaka na distribucijskoj cijevi pri hidrantu, varijanta B (periferna cijev $\Phi 158$ mm), zatvaranje ventila u 1/2, 3, 10 i 20 s (redom od gore lijevo)



Slika 6. Oscilacije tlaka na distribucijskoj cijevi pri hidrantu, varijanta C (periferna cijev $\Phi 227$ mm), zatvaranje ventila u 1/2, 3, 10 i 20 s (redom od gore lijevo)

Gore prikazani rezultati simulacija hidrauličkog udara (Slike 4-6) pokazuju da se porast tlaka uslijed hidrauličkog udara uzrokovanog naglim zatvaranjem ventila na uređajima za navodnjavanje (vrijeme zatvaranja 1/2 s) kreće u rasponu od 1,7-9,5 bar. Očekivano, hidraulički udar je najsnažniji na cijevima manjeg poprečnog presjeka (unutarnji promjer $\Phi 110$ mm i $\Phi 158$ mm), dok je na većim cijevima dobiveni porast tlaka uglavnom puno manji.

Sažeti pregled ovih rezultata dan je na grafu koji prikazuje tlakove u sustavu u zavisnosti o brzini zatvaranja ventila na uređajima za navodnjavanje (Slika 7). Radni tlak u sustavu (pri normalnom radu, bez hidrauličkog udara) kreće se od minimalnih 6 bar (radni tlak rolomata) do maksimalnih 9,7 bar (Družeta i drugi, 2018).



Slika 7. Tlak u sustavu u zavisnosti o brzini zatvaranja ventila na uređaju za navodnjavanje

Iz dobivenih rezultata jasno je da se porast tlaka uslijed hidrauličkog udara konzistentno smanjuje sa smanjenjem brzine zatvaranja ventila na uređaju za navodnjavanje. Već za zatvaranje u periodu od 10-20 s porast tlaka ne prelazi maksimum od 1,3-2,3 bar, što u načelu ne predstavlja smetnju za ugrađene HDPE cijevi. Stoga svakako treba rješenje ovog problema prvenstveno tražiti u tehničkim rješenjima kojima se omogućava sporije zatvaranje ventila na uređaju za navodnjavanje.

Za zatvaranje u periodu od 3 s, koje se standardno izvodi na uređaju Ocmis 110, porast tlaka kreće se u rasponu 0,8-4,1 bar. Takav porast tlaka može se smatrati neopasnim dok god na hidrantu tlak ne prelazi vrijednost od 5,9 bar, što jest tehnički izvedivo u većini radnih režima sustava. S druge strane, trenutno zatvaranje ventila (vrijeme zatvaranja 1/2 s), kakvo se izvodi na uređaju Irrigazione Veneto 110, uzrokovat će vrlo velike tlakove u sustavu (okvirno do 15,5-19,2 bar), što sa sobom nosi bitno povećane rizike od oštećenja cijevi odnosno dovodi u pitanje siguran rad cijelog sustava. Ovako ekstremno visoki tlakovi, iako jesu kratkotrajni, skraćuju životni vijek cijevi te posljedično predstavljaju ozbiljan rizik za trajno ispravno funkcioniranje sustava navodnjavanja.

ZAKLJUČAK

U radu su analizirane pojave hidrauličkog udara uslijed naglog automatskog zatvaranja ventila na uređajima za navodnjavanje upotrebom 1D numeričkog modela strujanja fluida u cijevima. Provedeni su proračuni za četiri brzine zatvaranja ventila na rolomatima i za tri izabrana hidranta u upotrebi.

Provedena analiza pokazuje da hidraulički udar predstavlja realno opterećenje za sustav navodnjavanja Valtura i kao takvog ga se ne može zanemariti. Dobiveni rezultati simulacija hidrauličkog udara pokazuju da se porast tlaka uslijed hidrauličkog udara uzrokovanog naglim zatvaranjem ventila na rolomatima (vrijeme zatvaranja 1/2 s) kreće u rasponu 1,7-9,5 bar. Takvi rezultati simulacija u skladu su sa drugim rezultatima iz literature (Ananić i Gjetvaj, 2017), te kao takvi upućuju na standardne prijedloge rješenja odnosno pokazuju da se problem hidrauličkog udara može u potpunosti riješiti sporijim zatvaranjem ventila na uređaju za navodnjavanje.

S obzirom da rolomati Ocmis 110 već posjeduju uređaj za regulaciju brzine zatvaranja, tu bi mogućnost svakako trebalo iskoristiti i podesiti brzinu zatvaranja na 10-20 s (ili duže). Također, ako postoji tehnička opcija prilagodbe i ostalih uređaja za navodnjavanje na usporeno zatvaranje ventila, preporuka je provesti takvu nadogradnju.

LITERATURA

- [1] Ananić, M. T., Gjetvaj, G., (2017): *Vodni udar u sustavima navodnjavanja*, Građevinar, 69 (8), 633-638.
- [2] Družeta, S., Grbčić, L., Crnković, B., Škifić, J., (2018): *Analitički model funkcije Sustava navodnjavanja Valtura s analizom pojave vodnog udara u najnepovoljnijim uvjetima te prijedlog rješenja*, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka.
- [3] Grupa autora, (2014): *PE cijevi*, Pipelife Hrvatska Cijevni sustavi d.o.o., Sveta Nedjelja.
- [4] Škifić, J., Maćešić, S., Črnjarić-Žic, N., (2010): *Nonconservative Formulation of Unsteady Pipe Flow*, Journal of Hydraulic Engineering, 136 (8), 483-492.
- [5] Škifić, J., Radošević, A., Brajković, Đ., Družeta, S., Čavrak, M., (2013): *Numerical simulations of hydraulic transients in hydropower plant Jajce II*, Engineering Review, 33 (1), 51-56.
- [6] Sopta, L., Maćešić, S., Črnjarić-Žic, N., Škifić, J., Družeta, S., Crnković, B., (2004): *Numeričke simulacije hidrauličkih tranzijenata u HE Rijeka*, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka.

AUTORI

izv.prof.dr.sc. Siniša Družeta ^a

doc.dr.sc. Bojan Crnković ^b

Jerko Škifić, dipl.ing. ^c

dr.sc. Danko Holjević ^d

^a Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Vukovarska 58, Rijeka, 51000, Hrvatska, sinisa.druzeta@riteh.hr

^b Sveučilište u Rijeci, Odjel za matematiku, Radmile Matejčić 2, Rijeka, 51000, Hrvatska, bojan.crnkovic@unri.hr

^c Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Vukovarska 58, Rijeka, 51000, Hrvatska, jerko.skific@riteh.hr

^d Hrvatske vode, Verdijeva 4, Rijeka, 51000, Hrvatska, danko.holjevic@voda.hr



R 2.35.

**OPTIMALIZACIJA PROJEKTOG RJEŠENJA SUSTAVA
NAVODNJAVANJA LIŠANSKO POLJE – PODRUČJE
ŽAŽVIĆ S PRIKAZOM ANALIZE NESTACIONARNIH
POJAVA**

Berislav Glavaš, Zoran Jakelić, Ivna Sinovčić Jović

SAŽETAK: Lišansko polje je dio Kožlovačko – Morpolačkog polja koje se proteže između Benkovca na sjeverozapadu te Morpolače i Žažvića na jugoistoku. Predmetno melioracijsko područje Žažvić predstavlja uređeni dio Lišanskog polja bruto površine 250 ha. Na istom se izvodi sustav navodnjavanja Lišansko polje – područje Žažvić. Projektno rješenje je prošlo postupke revizije, recenzije i rasprave na stručnim tijelima di-onika projekta. Cilj ove procedure bilo je postizanje optimalnog tehničkog rješenja sustava navodnjavanja, koje će osigurati maksimalnu učinkovitost cijelog sustava uz uvjet minimaliziranih troškova izgradnje i eksploatacije te prihvatljivog utjecaja na okoliš. Provedene stručne rasprave dovele su do izmjena u projektu koje su nadalje inicirale provedbu dodatnih analiza i izračuna. Jedna od dodatnih analiza koju je trebalo detaljno razraditi po prijedlogu recenzije bila je analiza nestacionarnih pojava. U usvojenom rješenju sustava navodnjavanja voda se zahvaća iz podzemlja bunarima B1 i B2, svaki kapaciteta 20 l/s i dubine 70 m, kojima se puni zemljana akumulacija volumena 80.000 m³. Iz akumulacije voda se crpnim postrojenjem ukupnog kapaciteta 90+30 l/s tlači u distribucijsku PEHD mrežu duljine 7,4 km, profila od 110 mm do 225 mm. Voda se po tablama distribuira na 41 izljevnom mjestu/hidrantu. Provedena je analiza nestacionarnih pojava u sustavu crpna stanica - distribucijska mreža na hidrauličkom modelu kako bi se mogla definirati zaštita od vodnog udara. Proračun je rađen za konačni usvojeni kapacitet crpne stanice i redefiniranu distribucijsku mrežu. Analizirano je stanje pri ispadu crpki iz pogona. Razrađena su dva scenarija zaštite distribucijske mreže od tlačnih prekoračenja. Prvim scenarijem modelirana je zaštita samo sa odzračno-dozračnim ventilima. Drugim scenarijem modelirana je zaštita s tlačnim kotlom i odzračno-dozračnim ventilima. Kako bi se modelom što realnije opisalo stanje tlakova i protoka pri istovremenom ispadu crpki, modelirano je i zaustavljanje protoka na izljevnim mjestima. U provedenim scenarijima variralo se vrijeme zatvaranja izljevni mjesta. Izračuni su rađeni u programskom paketu SimpCore.

KLJUČNE RIJEČI: sustav navodnjavanja, tehničko rješenje, optimalizacija, nestacionarne pojave, recenzija

OPTIMISATION OF THE DESIGN SOLUTION FOR THE IRRIGATION SYSTEM “LIŠANSKO POLJE – PODRUČJE ŽAŽVIĆ” WITH A NON-STATIONARY PHENOMENA ANALYSIS

ABSTRACT: The Lišane field is a part of the Kožolovc - Morpolača field stretching between Benkovac in the northwest and Morpolače and Žažvić in the southeast. The amelioration area Žažvić is a cultivated part of the Lišane field (gross area of 250 ha) and the future location of the irrigation system “Lišansko polje – područje Žažvić”. The design solution was subject to revision, review and discussion by the expert bodies of the project stakeholders. This procedure aimed to find the optimal technical solution for the irrigation system that would ensure the maximum efficiency of the entire system with minimal construction and exploitation costs and acceptable environmental impact. The conducted expert discussions led to changes in the design and initiated further analyses and calculations. One of the proposed additional analyses, which had to be elaborated in detail, was the analysis of nonstationary phenomena. In the adopted technical solution for the irrigation system, water abstracted from the underground by wells B1 and B2, each with a capacity of 20 l/s and depth of 70 m, fills an 80,000 m³ earthen reservoir. It is then compressed by a pumping station (total capacity of 90+30 l/s) into a 7.4 km long distribution PEHD network (with 110 - 225 mm profiles) and distributed to irrigation plots by means of 41 outlet points / hydrants. The analysis of non-stationary phenomena in the pumping station system / distribution network was carried out to determine the protection needed against the water hammer. A calculation was made for the total adopted capacity of the pumping station and the redefined distribution network. The situation caused by a sudden pump shutdown was also analysed. Two scenarios for protecting the distribution network from the pressure exceedances were elaborated. The first scenario modelled the protection with only block and bleed air valves while the second scenario used a compressed air vessel and block and bleed air valves. In order to model a more realistic state of pressures and flows during a simultaneous pump shutdown, flow stopping was modelled at the outlet points. In the considered scenarios, the time during which the outlet points were closed was varied. The calculations were performed using the SimpipCore program package.

KEYWORDS: Irrigation system, technical solution, optimization, non-stationary phenomena, review

1. UVOD

Lišansko polje je dio prostranog Kožlovačko – Morpolačkog polja koje se proteže između Benkovca, na sjeverozapadu te Morpolače i Žažvića na jugoistoku u dužini od oko 15 km, ukupne površine 3.090 ha. Poljoprivredni kompleks Žažvić predstavlja uređeni dio Lišanskog polja bruto površine 250 hektara. Predmetno područje je zaštićeno od poplavnih voda, a sustav zaštite čine uređene bujice, kanalska mreža i nasipi koji štite od vanjskih voda. Unutar kompleksa formirani su odvodni kanali, putevi i vjetrozaštitni pojasevi, tako da proizvodne table obuhvaćaju neto 240 ha.

Žažvić je smješten na najnižoj koti Kožlovačko - Morpolačkog polja na nadmorskoj visini 98-100 m n.m.

Područje Žažvić presijeca korito bujice Duboka draga, koje je ujedno na ovom potezu

i granica između dvije županije – Zadarske i Šibensko-kninske. Poljoprivrednim kompleksom je do Domovinskog rata gospodarila Vrana d.d. iz Biograda n/M. Temeljem Odluke o izboru najpovoljnije ponude za zakup poljoprivrednog zemljišta u vlasništvu Republike Hrvatske na području Općine Lišane Ostrovičke, predmetno je zemljište dodijeljeno na korištenje Braniteljskoj udruzi „Agro Lišane“ iz Lišana Ostrovičkih.

Vlada RH je 2005. godine, uzevši u obzir činjenicu da se prema veličini navodnjavanih površina Republika Hrvatska nalazi na jednom od posljednjih mjesta u Europi i činjenicu da prirodni resursi RH osiguravaju razvoj navodnjavanja poljoprivrednog zemljišta, pokrenula projekt Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama – NAPNAV. Osnovni cilj projekta je poboljšanje gospodarenja prirodnim resursima, organiziranje infrastrukture u poljoprivredi, okrupnjavanje poljoprivrednih površina, uvođenje navodnjavanja i novih tehnologija proizvodnje.

Zadarska županija je u srpnju 2006. usvojila Plan navodnjavanja Zadarske županije, temeljem kojeg se predmetno područje pokazalo kao jedna od lokacija pogodnih za izgradnju sustava navodnjavanja. To je otvorilo mogućnost provedbe vodoistražnih radova i izradbu projektne dokumentacije za sustav navodnjavanja Lišansko polje – područje Žažvić.

Realizacija ovoga projekta (čija je izvedba u tijeku) financira se kroz Europski poljoprivredni fond ruralnog razvoja (EPFRR) za programsko razdoblje 2014. - 2020. Cilj ove mjere je smanjiti negativni utjecaj suše, stabilizirati poljoprivrednu proizvodnju te povećati konkurentnost cijelog poljoprivrednog sektora.

2. PRIHVACANJE KONAČNOG TEHNIČKOG RJEŠENJA

Početno tehničko rješenje postavljeno još 2008. godine idejnim projektom „Navodnjavanje Lišanskog polja – područje Žažvić“. Glavni projekti s takvim tehničkim rješenjem izrađeni su tijekom 2015. godine, a građevinska dozvola ishodena je u listopadu 2016. godine.

Iskustva na aktualnim projektima navodnjavanja pokazala su kako je u cilju izbjegavanja poteškoća u izgradnji i u korištenju sustava u fazi pripreme projekta potrebno:

- Izvršiti detaljnu recenziju idejnog i glavnog projekta te u toj fazi projektiranja vršiti suštinske izmjene u projektnoj dokumentaciji;
- Izvršiti detaljnu recenziju izvedbenog projekta i formirati detaljan izvedbeni troškovnik tek nakon prihvatanja izvedbenog projekta;
- Formirati detaljnu natječajnu dokumentaciju temeljem recenzirane i prihvaćene projektne dokumentacije i detaljnog troškovnika i izvršiti recenziju iste.

Ovakvim pristupom postiže se poboljšanje i optimalizacija tehničkog rješenja prije početka građenja, izbjegavaju nepotrebni troškovi i zastoji u fazi građenja, otklanjanju se nedostaci i poteškoće koje bi se inače pojavile u fazi korištenja (eksploatacije) i smanjuje rizik po okoliš.

Tijekom 2017. godine donesena je odluka da se u recenziju projektne dokumentacije krene s već dogotovljenim glavnim projektima te da se recenzija nastavi tijekom izrade izvedbenih projekata, neovisno od posljedica po već ishodu građevinsku dozvolu. Zaključak recenzije je bio kako je potrebno izvršiti preinake i dopune na dijelu tehničkih rješenja primijenjenih u glavnom projektu iz 2015. godine.

U konačno prihvaćenom tehničkom rješenju nedostatak vode za razvoj poljoprivrednih kultura procijenjen je na oko 180 litara vode po m² za vegetacijsko razdoblje svibanj – rujan. Obuhvaćeno je 250 ha poljoprivrednih površina bruto (232 ha neto) koje bi trebalo navodnjavati u razdoblju svibanj – kolovoz po sustavu rotacije (150 ha u jednoj sezoni navodnjavanja), što prethodno nije bio slučaj. Ukupne količine potrebne vode bile bi oko 490.000 m³, od čega bi mjesečne potrebe varirale od 10.500 m³ u svibnju do 160.000 m³ u srpnju.

Izmjenama prihvaćenim u recenziji smanjen je vršni kapacitet crpne stanice sa 180 l/s na 90+30 l/s (30 l/s u rezervi). Izmijenjena je zaštita građevne jame, originalno zamišljena izvedbom mlaznog injektiranja, a prihvaćeno je rješenje širokog iskopa sa izvedbom „u suho“. Izvršen je novi hidraulički proračun distribucijske mreže što je dovelo do smanjenja maksimalno potrebnog profila na 225 mm. Stoga je izmijenjen i odabir cijevnog materijala, izbačen je DUCTIL i zadržan samo tvrdi polietilen (PEHD). Način zahvaćanja vode nije mijenjan te su zadržana dva bušena bunara, svaki kapaciteta 20 (l/s), ali je povećana dubina bušotina sa 40 m na 70 m.

Gore opisano tehničko rješenje razrađeno je Izvedbenim projektom „Navodnjavanje Liškanskog polja, područje Žažvić“ (travanj 2017.) i u istom su obrađeni slijedeći dijelovi sustava:

- Bušotine i okna za zahvat vode B1 i B2, svaki projektiranog kapaciteta 20 l/s i dubine 70 m;
- Tlačni PEHD cjevovodi profila 200 mm i 250 mm približne duljine 2,4 km, koji dovode vodu crpljenu u bušotinama B1 i B2 do otvorene zemljane akumulacije, uz koje se polažu elektroenergetski kablovi za napajanje bušotina B1 i B2 i upravljački optički kablovi;
- Zemljana akumulacija zapremine 80.000 m³ koja služi za sezonsko (godišnje) izravnavanje potreba za vodom na području navodnjavanja;
- Crpna stanica „Akumulacija“ kapaciteta 90+30 l/s koja tlači vodu u distributivnu mrežu (režim rada crpki 3+1 u pričuvi);
- Elektroenergetski priključak i trafostanica „Akumulacija“ iz koje se napaja CS „Akumulacija“;
- Tlačna distributivna PEHD mreže koja vrši opskrbu vodom po parcelama profila 225 mm, 160 mm i 110 mm, ukupne duljine oko 7,4 km ;
- 41 hidrantsko priključno mjesto;
- Rekonstrukcija ulaza pristupnog puta na županijsku cestu.

Nakon dovršetka aktivnosti na izvedbenom projektu izvršene su potrebne preinake na idejnom i glavnom projektu te su poduzete radnje na izmjeni lokacijske i građevinske dozvole.



Slika 1. Pregledna karta sustava navodnjavanja Lišanskog polja – područje Žažvić

Recenzija je posebno obradila pitanje analize nestacionarnih pojava u distribucijskoj mreži koje su bile nedovoljno obrađene u verziji glavnog projekta iz 2015. godine. Ovo je rezultiralo izradom posebnog elaborata (6). U nastavku se daje kratak prikaz provedenog proračuna i rezultata analize iz ovog elaborata.

3. KRATAK PRIKAZ ANALIZE NESTACIONARNIH POJAVA

3.1. Hidraulički proračun zaštite od tlačnih prekoračenja, ispad crpki iz pogona

Zadaća hidrauličke analize distribucijske mreže sustava navodnjavanja Lišanskog polja jest dimenzioniranje potrebne zaštite tlačnog sustava od nedozvoljenih tlačnih prekoračenja koja nastaju u prijelaznim stanjima pogona kao što su ispad crpki iz pogona. Kako su crpke kontrolirane frekventnim prevaračem koji dozvoljava povećanje kapaciteta preko idealne radne točke, ispitan je pogonski slučaj istovremenog ispada crpki iz pogona kod punog angažiranog kapaciteta hidrantske mreže $Q_{uk}=100$ l/s. Hidraulički proračun modeliran je s pogonskom hrapavošću $k=0,25$ mm. Izračuni su rađeni u programskom paketu SimpipCore autora prof. dr. V. Jovića.

3.2. Uloga zračnih ventila kod prekida pogonske energije

U tlačnim cjevovodima kojima je trasa skoro horizontalno postavljena, kao što je to slučaj u ovom projektu, zračni ventili imaju ključnu ulogu zaštite sustava u nestacionarnim stanjima koja nastaju kod ispada crpnih stanica iz pogona. Kod ispada crpnih agregata iz pogona, bilo da se radi o prekidu pogonske energije ili normalnom gašenju, dolazi do negativnog tlačnog vala koji putuje nizvodno. Opadanje tlaka otvara zračne ventile u smjeru putovanja vala. U sustav se uvlači veća količina zraka. Otvaranje zračnih ventila razbija hidraulički sustav na više slobodno oscilirajućih cjelina. Sustav oscilira između susjednih otvorenih zračnih ventila sve dok se preostala energija gibanja ne potroši na savladavanje otpora gibanju. Kod ponovnog podizanja sustava u pogon pozitivni tlačni val prazni uvučeni zrak. Pražnjenje zraka kroz zračne ventile mora biti protokom manjim od kritičnog protoka podizanja kugli zračnog ventila.

3.3. Modeliranje izljevni mjesta

U slučaju ispada crpki iz pogona dolazi do prestanka navodnjavanja. Natapna mreža kao i izljevna mjesta (hidranti) ostaju bez vode. Ispuštanje u prostor s ambijentnim atmosferskim tlakom im je zajedničko svojstvo. Ispuštanje se odvija kroz otvor površine presjeka A i brzinom istjecanja v . Maksimalni protok na jednom izljevnom mjestu je $Q_i=5$ l/s, dok istovremeno može raditi 20 izljevni mjesta. Protočna krivulja u ovisnosti o piezometarskoj koti h , u kondenziranom obliku, je određena izrazom:

$$Q_i = a\sqrt{h_i - h_0}$$

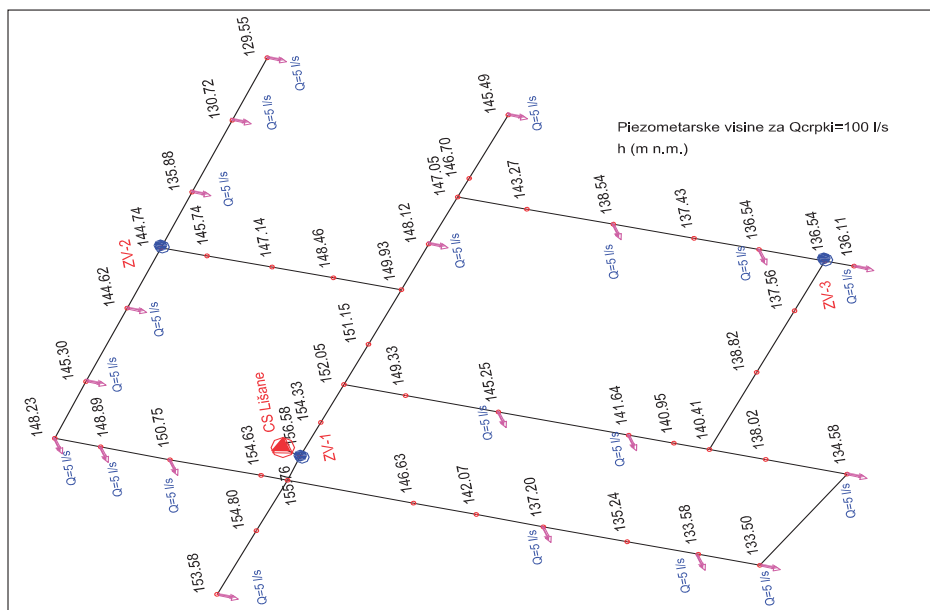
gdje je:

$Q_i=5$ l/s, maksimalni protok na jednom hidrantu

- h_i , piezometarska visina na „i-tom“ hidrantu neposredno prije ispada crpki iz pogona
- h_0 , kota položaja pripadajućeg hidranta
- a_i , parametar čija je vrijednost zadana preko vremenskog grafa:

$$t = 0 [s] \rightarrow a_i = \frac{Q_i}{\sqrt{h_i - h_0}} ; t = T_Z [s] \rightarrow a_i = 0$$

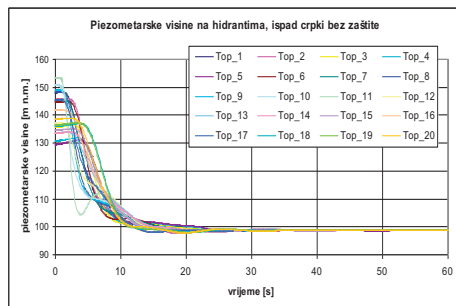
Na slici 2 prikazane su piezometarske visine u modeliranim čvorovima mreže u trenutku neposredno prije zatvaranja. Na situaciji su prikazana i hidranti te položaji modeliranih zračnih ventila.



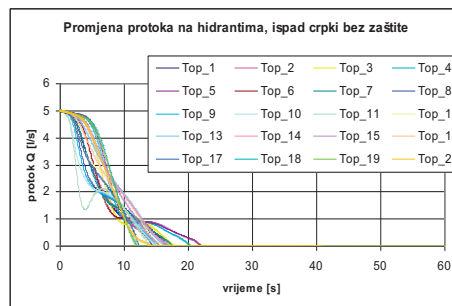
Slika 2. Piezometarske visine prije ispada crpki iz pogona, $Q_{crpki}=100$ l/s

3.4. Ispad crpki iz pogona bez zaštite cjevovoda

Kao osnovna i jedina zaštita modeliran je obvod usisnog i tlačnog kraja crpki s protupovratnim ventilom, ali nije došlo do njegovog otvaranja. Zračni ventili i tlačni kotao u ovoj varijanti nisu modelirani. Prema rezultatima proračuna vidi se da se javlja podtlak u čitavoj natapnoj mreži, a najveći podtlak je $P_{min}=-2,34$ m v.s. Podtlak koji se javlja veći je od dozvoljenog podtlaka (-2 m v. s.) za tvrdi polietilen (PEHD) dimenzioniranog za promatrani tlačni cjevovod. Maksimalni tlak nakon ispada crpki iz pogona bez zaštite nije veći od tlaka koji se javlja u stacionarnom pogonu, $P_{max}=60,6$ m v.s., na tlačnom kraju crpki.

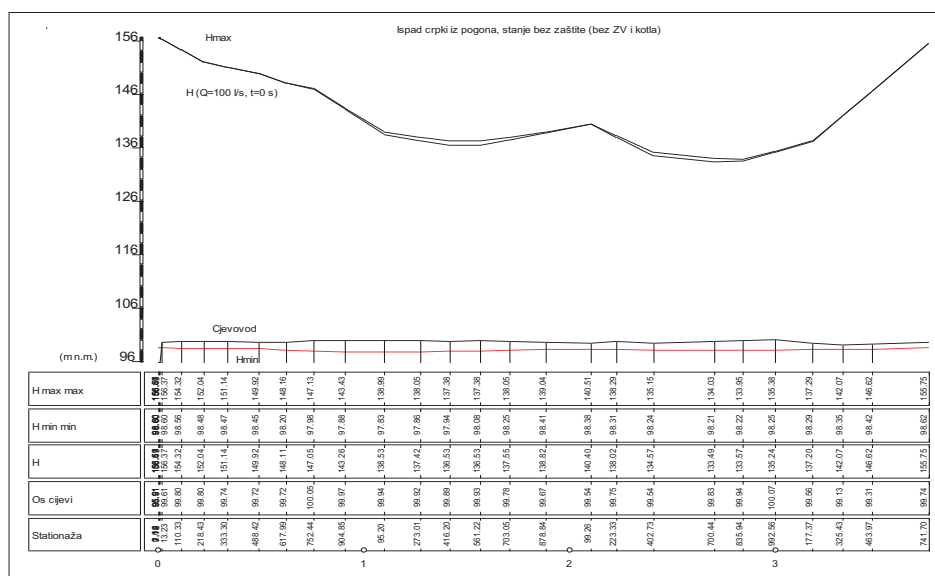


3. Piezometarske visine na hidrantima



4. Promjena protoka na hidrantima

Na slici 3 prikazane su promjene piezometarske visine, dok je na slici 4 promjena protoka na svim hidrantima. Ovisno o položaju hidranta, vrijeme zaustavljanja protoka je od $12 < T_z < 22$ sekunde nakon ispada crpki. Slika 5 prikazuje uzdužni presjek crpna stanica – dio mreže, s anvelopama min. i max. piezometarskih visina kod ispada crpki iz pogona te piezometarsku visinu prije ispada za $Q=100$ l/s. Nakon smirivanja oscilacija piezometarska visina u mreži je oko 98,7 m n.m.

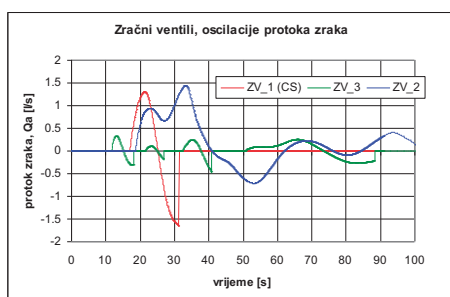


Slika 5. Uzdužni presjek, piezometarske visine kod ispada crpki iz pogona bez odgovarajuće zaštite

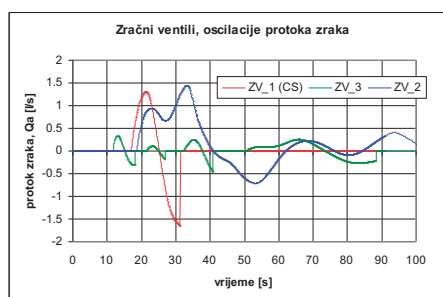
3.5. Zaštita tlačnog cjevovoda sa zračnim ventilima

Zbog pojave nedozvoljenog podtlaka potrebno je modelirati odgovarajuću zaštitu tlačnog cjevovoda. Za ovaj tip sustava primjerena je zaštita sa zračnim ventilima, ozračno-dozračnog tipa. Osim ovog tipa postoje i specijalni zračni ventili s bitno različitim

karakteristikama. Modelirana je osnovna zaštita pomoću jednog ZV na tlačnom kraju crpne stanice te dva ZV na trasi cjevovoda. Položaj modeliranih zračnih ventila prikazan je na shemi modela, slika 2. Osim ovih zračnih ventila potrebno je ugraditi zračne ventile na uzvišenim lomnim točkama kako bi se osigurala evakuacija zraka u redovitom pogonu. Maksimalni tlak u dovodnom sustavu je isti kao u stacionarnom pogonu, ali u nekim dijelovima cjevovoda nastaje podtlak, $P_{min} = -0,33$ m v.s. Navedeni podtlak je u granicama dozvoljenog podtlaka (2 m v. s.) za tvrdi polietilen (PEHD) dimenzioniranog za promatrani tlačni cjevovod. Prema rezultatima proračuna prikazane su oscilacije ulaznog/izlaznog protoka zraka (slika 6) i oscilacije piezometarskih visina (slika 7) na zračnim ventilima. Minimalna piezometarska visina u mreži spušta se na kotu otvaranja zračnih ventila, a prvi ventil se otvorio u 12-toj sekundi nakon ispada crpki. Nakon smirivanja oscilacija piezometarska visina u mreži je oko 100,3 m n.m.



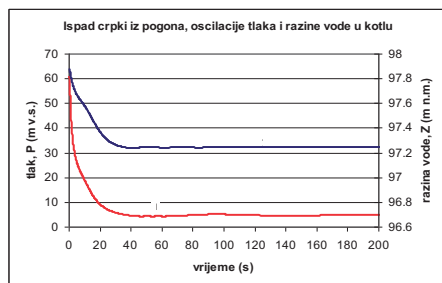
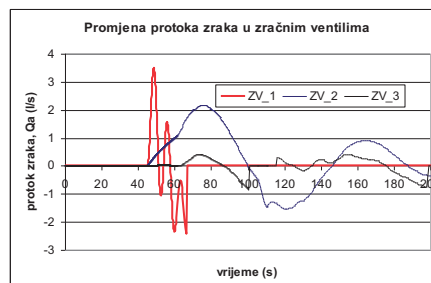
6. Protok zraka na zračnim ventilima



7. Piezometarske visine na zračnim ventilima

3.6. Zaštita tlačnog cjevovoda s tlačnim kotlom i zračnim ventilima

Zaštita sustava modelirana je s prethodno opisanim zračnim ventilima i tlačnim kotlom promjera $D_k = 1,1$ m, volumen zraka $V_o = 1$ m³, volumen vode $V_v = 1$ m³ i referentne razine vode $Z_{st} = 97,8$ m n.m. U mreži se javlja podtlak $P_{min} = -0,30$ m v.s. Minimalni tlak u kotlu je 4 m v.s., a minimalna razina vode u kotlu je 97,2 m n.m. Prvi zračni ventil se otvara tek u 42. sekundi nakon ispada crpki. U odnosu na zaštitu samo sa zračnim ventilima ovdje dolazi do produženja toka vode na hidrantima. Rezultati proračuna prikazani su za tlačni kotao i zračne ventile. Oscilacije razine vode i tlaka u tlačnom kotlu prikazane su na slici 8, a na slici 9 je protok zraka na zračnim ventilima.

8. Oscilacije u kotlu ($V_o = 1$ m³)

9. Otvaranje zračnih ventila

ZAKLJUČAK

Provođenjem recenzije u fazi izrade detaljne projektne i natječajne dokumentacije i troškovnika postiže se poboljšanje i optimalizacija tehničkog rješenja prije početka građenja, izbjegavaju nepotrebni troškovi u fazi građenja i otklanjanju nedostaci i poteškoće koje bi se inače kasno uočile i pojavile tek u fazi korištenja sustava. Posebno je značajno izvršiti dosljednu proračunsku i tehničku analizu specifičnih problema (u našem slučaju analiza nestacionarnih pojava) koje se ponekad rješavanju pojednostavljenim pristupom, a što može dovesti do grešaka u projektu.

U prikazanom proračunu distribucijska mreža uspješno se štiti od nepovoljnih tlakova sa zračnim ventilima (klasični ozračno-dozračni tip) koji se postavljaju neposredno na tlačnom kraju crpki i duž trase. Minimalno potreban broj zračnih ventila i njihov položaj na trasi cjevovoda određen je iz uvjeta minimalno dozvoljenog podtlaka za projektirani materijal cijevi. Modelirana su tri ventila i s istima je postignuta zadovoljavajuća razina zaštite. U izvedbi će biti ugrađeno ukupno 11 zračnih ventila u točkama maksimuma trase što dodatno povećava stupanj zaštite.

Glavna uloga tlačnog kotla je zaštita crpki od učestalog uključivanja kod minimalne potrošnje ili curenja vode, dok je njegova uloga zaštite od tlačnih prekoračenja ovdje opisane natapne mreže neznatna. Ipak kotao je zadržan kao dio rješenja zbog optimalnog rada crpnog postrojenja.

LITERATURA

- [1] Jović, V., (2013.): "Analysis and modeling of non-steady flow in pipe and channel networks", ISBN 978-1-118-53214-0, Wiley Ltd., United Kingdom,
- [2] Glavaš, B. i dr. (2016.): Projekti navodnjavanja na slivovima južnog Jadrana, Okrugli stol, Hidrotehničke melioracije u Hrvatskoj – stanje i izazov, HDON, Višnjica kod Slatine
- [3] Regulacije d.o.o – Split (2015.): Glavni projekt, „Navodnjavanje Lišanskog polja, I-faza - područje Žažvić“ (T.D. 01-6/13-1, prosinac 2015. g.).
- [4] VRO, OOUR „Projekt“ – Split (1988.): Idejno rješenje, Melioracijsko uređenje dijela krških polja na području Zadarske regije (T.D. 44/88.).
- [5] Agronomski fakultet, Sveučilišta u zagrebu i Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu (2006.): Plan navodnjavanja za područje Zadarske županije, Zagreb i Split
- [6] „Hidraulički proračuni i modeliranje CS Akumulacija za potrebe navodnjavanja poljoprivrednih površina Lišanskog polja – područje Žažvić“ (Infraprojekt d.o.o. Split, veljača 2018.).

AUTORI

Berislav Glavaš, dipl. ing. kult. tehn. ^a

Zoran Jakelić, dipl. ing. građ. ^a,

Ivna Sinovčić Jović, dipl. ing. građ. ^b

^a Hrvatske vode, Vukovarska 35, Split, 21000, Hrvatska, berislav.glavas@voda.hr,
zoran.jakelic@voda.hr

^b Infracor d.o.o, Vukovarska 148, Split, 21000, Hrvatska,
isinovicjovic@infracor-st.hr



R 2.36.

NAVODNJAVANJE SINJSKOG POLJA - KAKO POSTIĆI ODRŽIVOST?

Toni Carević

SAŽETAK: Izgradnjom planirane reverzibilne hidroelektrane Blaca otvaraju se mogućnosti za unaprjeđenje postojećeg sustava navodnjavanja Sinjskog polja. Međutim, kako postojeće, tako i buduće stanje navodnjavanja povezano je sa znatnim ograničenjima koja mogu ugroziti održivost sustava navodnjavanja. Stoga je cilj ovoga rada, na primjeru (studiji slučaja - case study) planiranog unaprjeđenja navodnjavanja Sinjskog polja, ukazati na nužne pristupe koji bi osigurali predmetnu održivost i priuštivost.

KLJUČNE RIJEČI: navodnjavanje, Sinjsko polje, održivost, priuštivost, dionici

IRRIGATION OF SINJSKO POLJE - HOW TO ACHIEVE SUSTAINABILITY?

ABSTRACT: The construction of the planned reversible hydroelectric power plant Blaca opens up possibilities for improving the existing irrigation system of Sinjsko polje. However, both the existing and future state of irrigation are associated with significant limitations that could endanger the sustainability of the irrigation system. The aim of this paper is, therefore, to point to necessary approaches that would ensure sustainability and affordability on the case study of the planned improvement of irrigation in Sinjsko polje.

KEYWORDS: irrigation, Sinjsko polje, sustainability, affordability, stakeholders

1. UVOD

Postojeće i buduće hidroenergetsko korištenje voda na području sliva Cetine, otvara mogućnosti i za druge vidove korištenja voda. Jedno od njih je i korištenje voda za potrebe navodnjavanja Sinjskog polja. Postojeći melioracijski sustav u Sinjskom polju se sastoji od dvije osnovne cjeline - lijevog i desnog zaobalja. Za potrebe navodnjavanja desnog zaobalja predviđeno je uzimanje do 2 m³/s, a za potrebe lijevog do 1 m³/s. Sustav navodnjavanja se bazira na održavanju razine vode u kanalskoj mreži iz koje se voda zahvaća mehaničkim putem ili se manipulacijom razine vode u kanalima voda podzemno dovodi direktno do korijenskog sustava biljke. Navedeni način korištenja vode za navodnjavanje je danas generalno neprihvatljiv, zbog niza razloga te se već duže vrijeme razmišlja o unaprjeđenju postojećeg sustava.

Međutim, svako novo rješenje sustava navodnjavanja povezano je sa znatnim ograničenjima, odnosno možebitnim ugrozama održivosti, o kojima će više riječi biti u nastavku teksta. Temeljna svrha ovoga članka nije revidirati postojeća rješenja sustava navodnjavanja, nego na primjeru ovoga slučaja („*case study*“) „uputiti“ kreatore ovoga i sličnih sustava na što sveobuhvatnije sagledavanje ponuđenih rješenja/varijanti ne zanemarujući održivost i priuštivost. Naime, sustav koji si korisnici ne mogu priuštiti, bolje je ne realizirati, jer on postaje teret.

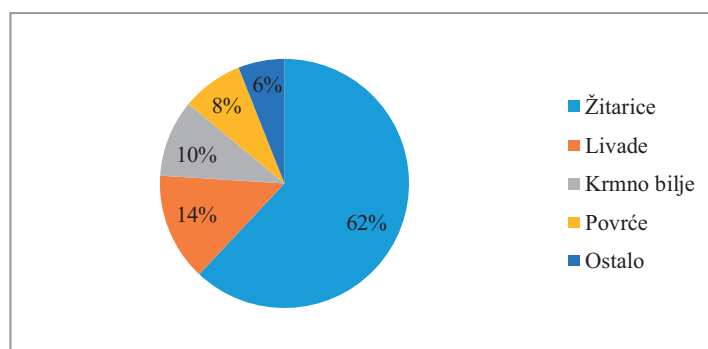
2. OPIS POSTOJEĆEG STANJA I PLANIRANIH IZMJENA

Sinjsko polje predstavlja jedno od najvećih krških polja na ovim prostorima. Dužine je oko 12 km, a širine 5 - 6 km i površine je oko 6.190 ha. Međutim, površina melioriranih područja je oko 4.103 ha, od čega je na desnom zaobalju 2.811 ha, a na lijevom 1.292. Najveći dio polja se nalazi između kota 294 i 300 m.n.m.

Od svojevrsnih „ograničenja“ izdvajaju se oborine uglavnom koncentrirane u razdoblju jesen - zima i redovito javljanje mrazeva u razdoblju prosinac - ožujak, a manjak oborina i visoke temperature u razdoblju lipanj - kolovoz (sezona navodnjavanja).

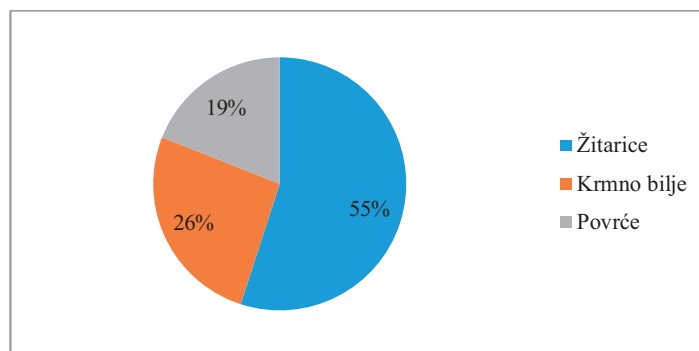
Što se same pogodnosti tla za navodnjavanje tiče, najveći dio površina Sinjskog polja, prema studiji izvodljivosti (Projektni tim, 2018) otpada na ograničeno pogodna tla za navodnjavanje (P3), dok manji dio otpada na umjereno pogodna/ograničeno pogodna (P2/P3) zemljišta za navodnjavanje. To znači da se navodnjavaju tla koja ne predstavljaju vrh po podobnosti za navodnjavanje. Naime, ako se tlu koje je podesno za navodnjavanje dopreme dostatne količine vode za navodnjavanje, onda je evidentno da se na tim tlima postiže veći efekt navodnjavanja, odnosno na ovim se postiže manji efekt i to je sasvim sigurno jedan ograničavajući faktor.

Prethodna ograničenja su utjecala i na odabir kultura koje se sade. Tako prema studiji izvodljivosti (Projektni tim, 2018) postojeća (i buduća) struktura sjetve je orijentirana uglavnom na ratarsko - krmno - povrćarske kulture, s tim da je na 3.736 ha proizvodne površine u sklopu postojećeg sustava navodnjavanja trenutno 62 % obradivih površina zasađeno žitaricama, 10 % krmnim biljem i 8 % povrćem (slika 1).



Slika 1. Postojeća struktura sjetve u Sinjskom polju

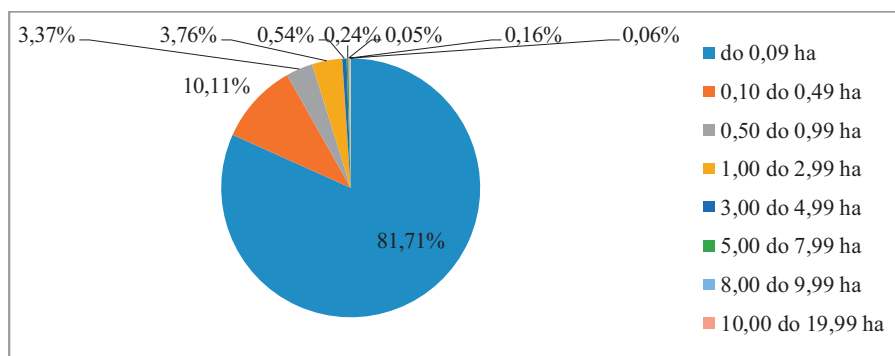
U budućnosti se ne očekuje drastičnija promjena strukture sjetve, tako da se planira oko 55 % površina pod žitaricama, 26 % pod krmnim biljem i 19 % pod povrćem (slika 2). Iz navedene dvije slike, proizlazi jedno vrlo bitno ograničenje, kako za sadašnje, tako i za planirano stanje.



Slika 2. Planirana struktura sjetve u Sinjskom polju

Evidentno je da i u budućnosti najveći dio površina otpada na nisko dohodovne žitarice, a najmanji dio na (relativno) visoko dohodovno povrće. Navedeno je iznimno bitno sagledati za naredna ekonomska vrednovanja zahvata, gdje će se trošak navodnjavanja morati izraziti u odnosu na ostvareni dodatni dohodak uslijed navodnjavanja, pa će se iz navedenoga slikovito vidjeti koliko vode (kn) smijemo potrošiti na pojedinu kulturu, a da bi ostvarili neku dobit uslijed navodnjavanja, jer u protivnom, navodnjavanje, odnosno sustav navodnjavanja nema smisla. Kao potvrdu prethodnih navoda, možemo citirati iz studije (Projektni tim, 2018): “*S obzirom na isplativost, valja imati na umu da na natanje najbolje reaguju povrtna kultura i cvijeće, slijede travne vrste i leguminoze, naročito lucerka, nasadi voća i vinove loze, a na začelju su naše tradicionalno vodeće ratarske kulture kukuruz i pšenica.*”. Navedeno znači, da se od nisko dohodovnih kultura ne može očekivati znatnije povećanje prinosa u smislu kn/ha.

Postojeća struktura vlasništva, odnosno veličina pojedinih parcela u Sinjskome polju je vrlo veliki ograničavajući čimbenik za održivu poljoprivrednu proizvodnju. Prema podacima popisa stanovništva (Popis stanovništva, kućanstava i stanova, 2011), postojeća struktura skupina kućanstava prema korištenom poljoprivrednom zemljištu ukupno za područje gradova Sinja i Trilja i Općine Otok, prikazana je na slici 3. Nažalost, ne raspolaže se statističkim podacima isključivo za područje Sinjskog polja, premda su i ovi zajednički podaci (grad Sinj, grad Trilj i općina Otok) poprilično reprezentativni za ono što se želi naglasiti.



Slika 3. Skupine kućanstava prema korištenom poljoprivrednom zemljištu zajedno za Grad Sinj, Grad Trilj i Općinu Otok

Evidentno je da su najzastupljenija kućanstva (preko 80 %) s površinom parcele do 0,09 ha, što ukazuje na iznimno bitno ograničenje, a to je usitnjenost posjeda. Naime, nije problem samo kako postići ekonomski održivu poljoprivrednu proizvodnju na maloj površini, problem je i kako u postojećem stanju organizirati navodnjavanje, odnosno osigurati optimalni vodni režim u kanalima za navodnjavanje ili sustavu pod tlakom, ukoliko svaki vlasnik sadi kulture neovisno o drugima. To dovodi do niza dodatnih problema (tlakovi, zaštita bilja i slično), a jedan od njih je identifikacija dionika (stakeholdera) (Carević, T. i drugi, 2007).

Nažalost, iz raspoložive dokumentacije studije (Projektini tim, 2018) nije vidljivo da su dosadašnja projektna rješenja navodnjavanja percipirala identifikaciju dionika sukladno temeljnim principima procesa otvorenog planiranja (Carević, T. i drugi, 2007) (OPP - Open Planning Process). Bez identifikacije, a zatim nezaobilaznog uključivanja dionika u OPP, jednostavno je nemoguće očekivati uspjeh projekta. Naime, nezaobilaznu ulogu pri kreiranju sustava navodnjavanja trebaju imati poljoprivredni proizvođači na području Sinjskog polja, koji predstavljaju krajnje korisnike toga sustava. Njihovom identifikacijom i uključivanjem u proces artikuliraju se njihovi interesi i dobivaju povratne informacije u smislu njihove načelne zainteresiranosti za projekt, strukture planirane proizvodnje, strukture veličine poljoprivrednog zemljišta u uzorku zainteresiranih za navodnjavanje te naposljetku njihove spremnosti za sudjelovanje u korištenju vode i plaćanju pripadnih troškova (koji se načelno moraju kvantificirati prije ili u sklopu uključivanja dionika). Obzirom da nema informacija da je tako postupljeno, izostanak identifikacije dionika se uzima kao veliki propust koji itekako može ugroziti održivost projekta.

2.1. Moguća rješenja sustava navodnjavanja

Na samom početku je potrebno naglasiti da je u desnom zaobalju izdvojen i već konceptski riješen sustav navodnjavanja Trnovača, bruto površine 522 ha, koji neće biti predmetom razmatranja ovoga članka. Međutim, iskustva i pokazatelji s podsustava Trnovača se itekako mogu i trebaju komparirati s identičnim pokazateljima ostatka sustava, tim više ukoliko se pri realizaciji istih nije koristilo identičnim metodologijama i alatima.

„Benefit“ realizacije višenamjenskog projekta reverzibilne hidroelektrane (RHE) Blaca s

aspekta navodnjavanja se očituje prvenstveno u izgradnji donjeg bazena (volumena oko 5 milijuna m³) koji bi se koristio i za potrebe navodnjavanja. Obzirom da se u postojećem stanju zahvaćanje vode za navodnjavanje vrši direktno iz korita Cetine, postavlja se pitanje: „U čemu je onda prednost zahvaćanja vode iz bazena?“. Prednost je u činjenici da će se voda, uslijed zadržavanja u donjem bazenu, zagrijati na znatno veću temperaturu od one koju ima u Cetini. Iako za vrijeme ljeta na području Sinjskog polja vladaju visoke temperature, temperatura Cetine je relativno niska uslijed ispuštanja iz donjih slojeva akumulacije Peruča i nije preporučljiva za direktno korištenje. Naime „temperaturni šok“ biljke nastupa ukoliko je razlika temperature vode i zraka (tla) veća od 10° C. Također je bitno napomenuti da izgradnja donjeg bazena ne utječe u negativnom smislu na sustav odvodnje Sinjskog polja, dapače, budući sustav RHE Blaca će prihvaćati, odnosno reducirati dio velikih voda Cetine.

Uklapanje izgradnje RHE Blaca u postojeće (konceptijsko) rješenje navodnjavanja Sinjskog polja koje predviđa razvod vode cijevnom mrežom pod tlakom je razmotreno kroz četiri varijante i nema negativnog utjecaja na realizaciju podsustava Trnovača.

Varijanta B1 se odnosi na izmjenu lokacije zahvata vode koji bi za podsustav Otok u lijevom zaobalju, bio iz budućeg donjeg bazena. Tehnička rješenja preostalih pet podsustava se ne mijenjaju.

Varijanta B2 predviđa da se oba podsustava lijevog zaobalja (Otok i Vedrine) opskrbljuju putem jedne crpne stanice sa zahvatom vode iz donjeg bazena.

Varijanta B3 se odnosi na jedinstven sustav navodnjavanja za cijelo Sinjsko polje, izuzev prethodno spomenutog područja Trnovača. Zahvat vode je iz donjeg bazena, putem jedinstvene crpne stanice. Ovdje je bitno napomenuti da je izdvojeni podsustav Trnovača, zamišljen također kao tlačni sustav, ali sa zahvatom vode iz kanala, odnosno iz korita Cetine.

I na kraju varijanta B4 ipak ostavlja mogućnost inkorporiranja podsustava Trnovača u jedinstveni (tlačni) sustav navodnjavanja sa zahvatom iz donjeg bazena putem jedinstvene crpne stanice. Podsustav Trnovača ne koristi niti jedan od navedenih benefita, pa je izrađivač studije (Projektni tim, 2018) ispravno postupio, kada je suprotno zahtjevima iz projektnog zadatka ipak ostavio mogućnost jedinstvenog rješenja.

Ilustracije radi, troškovi varijante B3 (Sinjsko polje bez Trnovače) su procijenjeni na 116.056.174 kn, a na paritetu 2.147 ha koji bi se navodnjavali, što daje pokazatelj inicijalne investicije od 36.878 kn/ha.

Varijanta B4 (kompletno Sinjsko polje, uključivo podsustav Trnovača) ima troškove od 131.297.966 kn na paritetu 3.623 ha), što daje pokazatelj od 36.240 kn/ha. Navedena dva pokazatelja se naizgled ne razlikuju bitno, međutim, investicija bez objedinjenog rješenja (B3) je po hektaru skuplja čak 17 %. Tolika razlika na inicijalnoj investiciji, odnosno u startu iste nije zanemariva, što ukazuje na još jedna parametar o kome kreatori sustava moraju voditi računa.

2.2. Očekivane koristi/benefiti od navodnjavanja

Što se samih koristi/benefita od sustava navodnjavanja tiče, generalno se može reći da isti nastaju iz povećane proizvodnje, odnosno od povećanja specifičnog prinosa. Prema studiji izvodljivosti redukcija prinosa pojedinih kultura bez navodnjavanja može biti kod

uzgoja na laganom tlu u prosječno vlažnoj godini između 27 % i 37,5 %, a u sušnoj godini između 48 % i 61 %. U slučaju Sinjskog polja očekivana razlika godišnjih prihoda SA i BEZ navodnjavanja iznosi 16.688 kn/ha, što na paritetu 3.147 ha predstavlja 52.517.000 kn godišnje, međutim ne navodi se na paritetu kojih uzgajanih kultura. Stoga na ove brojke treba iskazati sumnju. Kao što je već spomenuto, u Sinjskom polju su najzastupljenije ratarske kulture, odnosno žitarice, tako da je trenutno 62 % površina pod žitaricama, a u budućnosti se očekuje 55 % površina pod žitaricama. Uzmimo sada najzastupljeniju žitaricu - kukuruz. Prema podacima Državnog zavoda za statistiku prosječni prinos kukuruza je u 2018. godini bio oko 8,1 t/ha. Otkupna cijena kukuruza je iznosila oko 0,8 kn/kg. Znači, kompletan prihod po hektaru kukuruza je oko 6.500 kn. Dalje, kukuruz, kao i ostale žitarice ne reagiraju velikim povećanjem prinosa na navodnjavanje, znači povećanje prinosa kod navodnjavanja kukuruza možemo procijeniti na nekih 25 %, što u naravi predstavlja nekih 2 t/ha, vrijednosti oko 1.600 kn, a u kalkulaciju se ulazi s razlikom prihoda od 16.688 kn/ha, što je dvostruko više od ukupnog prihoda po hektaru kukuruza uz navodnjavanje (8.100 kn/ha). Slijedom navedenoga, nejasno je s kojim kulturama, prinosima i vrijednostima se ušlo u proračun, obzirom da se sa spomenutih 16.688 kn povećanih prihoda množi (svih) 3.147 ha zemljišta, a napominjemo da su najprihodovnije kulture, najmanje zastupljene u Sinjskom polju? Slijedom navedenoga, dolazi se do prve konkretne brojke koja ozbiljno ugrožava održivost i priuštvost navodnjavanja u Sinjskom polju te stoga treba proći detaljne provjere, obzirom da kod primjera kukuruza (a radi se o najzastupljenijoj kulturi) te brojke nisu niti isti red veličina. Da su, kojim slučajem u ovaj proces pravodobno involvirani potrebni dionici (krajnji korisnici), sasvim je sigurno da bi oni itekako „filtrirali“ navedene podatke o povećanju prinosa te bi se zasigurno „baratalo“ s pouzdanijim podacima, odnosno vrlo bitnom „input-u“ za izračun održivosti i priuštvosti.

2.3. Očekivani troškovi sustava za navodnjavanje

Brojke iz prethodnog poglavlja ne predstavljaju ekstra dobit, već povećanje prihoda, a dobit, kako je poznato, predstavlja razliku između prihoda i troškova. Sustavom navodnjavanja nesumnjivo se povećavaju prihodi, ali i troškovi. Troškovi sustava navodnjavanja se mogu iskazati prvenstveno kroz troškove električne energije, radne snage, održavanja i amortizacije. Procjena studije (Projektni tim, 2018) je da će sustav navodnjavanja zahtijevati 78 stalnih radnih mjesta i 629 sezonaca na paritetu 3 mjeseca godišnje, a što svedeno na godišnju razinu predstavlja oko 235 zaposlenih na paritetu cijele godine. Godišnji troškovi bruto plaća zaposlenih na navodnjavanju se stoga (zajedno s pripadnom režijom) procjenjuju na oko 31 milijun kuna. Navedeni radnici se odnose samo na sustav navodnjavanja, ne na obradu tla i slično, što se ipak čini pretjeranim, obzirom da je primjenom modernije opreme, proces navodnjavanja moguće znatno automatizirati i samim time znatno smanjiti troškove radne snage. Osim toga, centralizirana tehnička rješenja poput jedinstvene crpne stanice za čitav sustav definitivno idu u prilog daljnjem smanjenju broja radnika. Ovdje je bitno napomenuti, da se za razliku od procjene prihoda, kod troškovne strane ne govori o „redu veličina“ točnosti procjene, već o korekcijama reda veličine 10 - 20 %.

Procjena specifičnog energetskeg troška prema studiji izvodljivosti (Projektni tim, 2018)

iznosi 0,36 kn/m³, što daje energetske trošak od 3,96 milijuna kuna godišnje.

Godišnji troškovi održavanja sustava se predviđaju u iznosu od oko 1 % od ukupne investicije u sustav navodnjavanja, odnosno u godišnjem iznosu od 1,16 milijuna kuna. Međutim, teorija, a i praksa ekonomije poznaje još jedan trošak koji se vrlo često izostavi, posebice kada se radi o sredstvima s većim učešćem darovnice, a to je amortizacija. Amortizacija predstavlja temeljni uvjet održivosti investicije i to bez obzira da li su inicijalna sredstva „poklonjena“ (darovnica) ili ne. U svakom slučaju, temeljni uvjet je da se nakon razdoblja životnog vijeka investicije u amortizacijskom fondu osiguraju sredstva za nove zgrade, crpke, trafostanice, cjevovode i slično. Bez toga investicija nije održiva, jer „jede samu sebe“, odnosno na kraju životnog ciklusa investicije, ne bi postojala sredstva za novi ciklus, a to je definitivno primjer neodrživosti. Slijedom navedenog, na paritetu životnog vijeka od 35 godina, godišnja amortizacijska stopa iznosi 2,86 %, odnosno 3,3 milijuna kuna godišnje.

Korisnici vode za navodnjavanje su dužni plaćati naknadu za korištenje voda koja iznosi 0,8 kn/m³. Trenutačno je na snazi tzv. „korekcijski koeficijent“ koji iznosi 0,1, tako da je trenutačni iznos naknade na ime korištenja voda 0,08 kn/m³. Na paritetu 11 milijuna m³ godišnje dolazi se do iznosa od 880.000 kn, međutim, ako se korekcijski koeficijent ukine, taj iznos „skače“ na 8,8 milijuna kn i postaje pojedinačno najveći trošak nakon radne snage. Iz navedenog se vidi od kolikog je značaja da država dugoročno definira politiku naknada, jer je očito da ista može direktno utjecati na održivost i prihvatljivost samog projekta. Nažalost, koliko je poznato, korekcijski koeficijent je na snazi „do daljnijega“, a što predstavlja vrlo opasnu formulaciju za predmetni proces. Za sustave ovakve veličine, država jednostavno mora dati dugoročnije garancije po pitanju politike naknada. Na poslijetku, imamo još jedan pokazatelj koji ne predstavlja (direktan) trošak navodnjavanja, ali je interesantan s aspekta vrednovanja SA i BEZ investicije. Naime, na paritetu očekivane količine od 11 milijuna m³ vode koja će se godišnje koristiti za navodnjavanje Sinjskog polja te na deklariranoj cijeni od 40 eur/MWh električne energije s kojom se iskazivala korist od novoprodukcije energije u RHE Blaca (Projektirani tim, 2018), „energetska“ vrijednost vode koja se koristi za navodnjavanje je 0,6645 kWh/m³ (na paritetu proizvodnje u HE Đale i HE Prančevići), što nam daje godišnju količinu od 7.309,5 MWh, vrijednost kojih se procjenjuje na 292.000 eura, odnosno na oko 2,1 milijuna kuna. Naime, tolika je „šteta“ zbog umanjene proizvodnje na HE Đale i HE Zakućac, uslijed korištenja vode za navodnjavanje na horizontu Sinjskog polja, tako da i to treba na odgovarajući način vrednovati kao tzv. „oportunitetni trošak“.

2.4. Orijentacijski pokazatelji održivosti i prihvatljivosti

Kao što je prethodno spomenuto, prema studiji izvodljivosti (Projektirani tim, 2018) se koristi od sustava navodnjavanja procjenjuju na 52.517.000 kuna godišnje, odnosno na 16.688 kn/ha. U poglavlju 2.2 je elaborirano zašto predmetnu brojku treba uzeti s vrlo velikom rezervom, odnosno dovodimo u pitanje red veličina predmetne koristi. Obzirom da ta korist/benefit predstavlja glavni input u izračun održivosti, trebala bi proći temeljitu provjeru, referirajući se na činjenice koje su navedene u primjeru izračuna.

Što se troškovne strane tiče, ista iznosi oko 40,3 milijuna kuna, što znači da su prihodi oko 30 % veći od troškova. Međutim, ne dovodeći u pitanje prihodovnu stranu, o čemu je

više riječi bilo ranije, promjenom, odnosno ukidanjem korekcijskog koeficijenta vezano za naknadu za korištenje voda troškovi „skaču“ na 48,22 milijuna kuna, čime prihod postaje tek za oko 8,9 % veći od troškova, što dovodi u zonu preciznosti procjena (< 10 %). Navedeno znači da se jednostranim potezom države (ukidanjem privremenog korekcijskog koeficijenta) vrlo vjerojatno ugrožava održivost sustava navodnjavanja, pa je ovo dobar argument da se od države traži dugoročnije definiranje politike naknada za navodnjavanje.

Napominje se da kod prethodne kalkulacije uopće nije vođeno računa o najvjerojatnijoj „gruboj grešci“ kod definiranja koristi od navodnjavanja, jer tu nismo u sferi 10 - 20 %, već je tu upitan čak i red veličine, a što je detaljno obrazloženo ranije.

Također, projekt je propustio predstaviti trenutnu politiku cijena i razinu naknada koje plaćaju (slični) korisnici, kao i analizirati doseg i implikacije povećanja/uvođenja tarife ili promjena u sustavu cijena nakon implementacije projekta, uzevši u obzir razmatranja pravičnosti povezana s relativnim prosperitetom dotične države članice ili regije (European Commission, 2014).

Koncept priuštivosti prema vodiču (European Commission, 2014) odnosi se na sposobnost određenih potrošačkih grupa na plaćanje minimalne razine određene usluge. U literaturi su prepoznati različiti pristupi mjerenju priuštivosti, međutim, najuobičajeniji način je izračun tzv. „omjera priuštivosti“, kao grubog omjera između izdataka dane usluge i ukupnog dohotka kućanstva (načelno). Slijedom navedenoga, priuštivost cijene vode za navodnjavanje bi se mogla (konkretnije) definirati kao veličina razlike između povećanih prihoda (poljoprivrednog kućanstva) uzrokovanih povećanim prinosima uslijed navodnjavanja i bruto troškova tog istog navodnjavanja. Što je ta razlika veća, navodnjavanje je lakše priuštiti, međutim, ako je ta razlika mala, navodnjavanje je teže priuštiti. Ovdje ne treba smetnuti s uma strukturu veličine parcela (slika 3) iz koje je vidljivo da su najzastupljenija domaćinstva sa najmanjom veličinom posjeda. Navedeno znači da oni ne ostvaruju direktni novčani priliv uslijed povećanih prinosa, a što će se odraziti na priuštivost. Iz prethodno navedenoga je evidentno da je razlika između povećanih prihoda i troškova navodnjavanja poprilično mala (ukoliko uopće postoji), tako da je zaključak o priuštivosti navodnjavanja na ovom sustavu relativno lako izvući.

ZAKLJUČAK

Planirani hidroenergetski zahvati u slivu Cetine otvaraju mogućnosti i za unaprjeđenje postojećeg sustava navodnjavanja u Sinjskom polju. Međutim, osnovni problem kako za postojeći tako i za planirani sustav navodnjavanja u Sinjskom polju su ozbiljna ograničenja o kojima se nije dovoljno vodilo računa, a koja mogu itekako utjecati na održivost i priuštivost planiranog sustava navodnjavanja. Pri tome se ne mogu zanemariti sljedeće činjenice:

Poljoprivredna proizvodnja je ograničena samo na topli dio godine, koji karakteriziraju vrlo visoke temperature i manjak oborina,

Najveći dio površina čine ograničeno pogodna tla za navodnjavanje (P3), dok manji dio otpada na umjereno pogodna/ograničeno pogodna P2/P3 zemljišta za navodnjavanje,

Postojeća struktura sjetve je izrazito nepovoljna (62 % čine nisko dohodovne žitarice koje relativno loše reagiraju na navodnjavanje, a samo 8 % visoko dohodovno povrće),

U budućnosti se ne očekuje drastičnija izmjena strukture sjetve (55 % žitarica, 19 % povrće),

Veliki broj relativno sitnih parcela onemogućava provođenje jedinstvene politike, Struktura veličine posjeda je iznimno nepovoljna i onemogućuje svaku organiziraniju i sustavniju proizvodnju te se ne nudi rješenje okrupnjavanja,

Kod postojećeg sustava nema kontrole nad zahvaćanjem voda od strane poljoprivrednika, što znači da je prisutno uvjerenje da se voda ne treba plaćati, a to znači da će svako uvođenje reda naići na znatne otpore upravo onih zbog kojih se i planira novi sustav navodnjavanja,

Nije provedena identifikacija dionika i isti nisu involvirani u proces (razvoj projekta), što je iznimno velika opasnost za održivost istoga,

Voda koja se koristi za navodnjavanje, ima alternativu u energetsom korištenju, znači ne „otječe samo u more“, već ima ekvivalent u KWh,

Procjena ekstra prihoda od navodnjavanja od 16.688 kn/ha, odnosno 52.517.000 kn godišnje je upitna, jer nije vođeno računa o postojećoj i budućoj strukturi sjetve gdje su dominantne nisko prihodovne kulture koje ne reagiraju znatnijim povećanjem prinosa na navodnjavanje,

Troškovi navodnjavanja moraju obuhvatiti amortizaciju, a što je nezaobilazan uvjet za održivost sustava. Ako se tome doda (možebitno) ukidanje korekcijskog koeficijenta i revalorizacija na ime neproizvedene električne energije, troškovi se poprilično približavaju čak i pretjerano procijenjenim prihodima od 52,517 milijuna kuna (bez njihove redukcije, koja će najvjerojatnije biti neizbježna i poprilična).

Slijedom svega prethodno navedenoga, evidentno je da na temelju postojećih spoznaja nema jasnih pokazatelja koji bi jamčili održivost postojećeg (konceptijskog) rješenja navodnjavanja Sinjskog polja. U tom smislu se nikako ne preporuča pristupanje daljnjim koracima razrade studijske i projektne dokumentacije navodnjavanja, već naprotiv „korak unatrag“. Navedeno znači objektivna revizija svih inputa i ponovni izračun održivosti i priuštivosti, jer investicija koja se „mjeri“ stotinama milijuna kuna to jednostavno i zahtjeva. Pri tome izvor sredstava nema nikakve veze s traženom održivosti, jer činjenica da nam je netko „poklonio“ sredstva ne znači da se s njima možemo neodgovorno ponašati i napraviti neodrživ sustav.

LITERATURA

- [1] Projektni tim, (2018): *Održivo korištenje vodnih resursa sliva rijeke Cetine u svrhu poboljšanja zaštite od poplava i navodnjavanja u Sinjskom polju te dodatne proizvodnje električne energije u slivu rijeke Cetine, Knjiga 6 - Sustav odvodnje i navodnjavanja Sinjskog polja, Knjiga 9 - Studija izvodljivosti*, Projektni biro Split d.o.o. i Elektroprojekt d.d., Split.
- [2] Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011.
- [3] (https://www.dzs.hr/hrv/censuses/census2011/results/htm/h02_01_21/h02_01_21_zup17_3891.html).

-
- [4] Carević, T., Jukić, D., Švonja, M., (2007): *Proces otvorenog planiranja kao dio integralnog pristupa gospodarenju vodnim resursima*, 4. hrvatska konferencija o vodama, Opatija, 863-868.
- [5] European Commission (2014): *Vodič kroz analizu troškova i koristi investicijskih projekata*.

AUTOR

mr. sc. Toni Carević, dipl. ing. građ. ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Hrvatska,
tcarevic@voda.hr



R 2.37.

SUSTAV ZA ZASNJEŽENJE STAZA ZA SKIJAŠKO TRČANJE JAVOROVA KOSA

Marko Stepić, Elvis Žic

SAŽETAK: U radu je opisan zahvat idejnog rješenja potencijalnog sustava za zasnježenje staza za skijaško trčanje „Javorova kosa“ na području općine Ravna Gora temeljene na rekonstrukciji i revitalizaciji postojeće akumulacije. Postojeća staza prolazi uz samu navedenu akumulaciju. Zahvat idejnog rješenja nove akumulacije nalazi se na jugozapadnoj strani vrha Javorova kosa i uklapa se u cjelinu skijaških staza. Za potrebe izrade idejnog rješenja potencijalnog sustava za zasnježenje staza za skijaško trčanje Javorova kosa utvrđena je geološka građa i geotehničke značajke šireg područja te hidrološke i klimatske značajke. Za potrebe snježenja skijaške staze definirano je slivno područje na temelju kojeg je proračunata količina oborinske vode koja gravitacijski dolazi u postojeću akumulaciju. U svrhu projektiranja izvršeno je terensko snimanje zatečenog stanja predmetnog područja. Nakon obrade podataka dobivene su potrebne podloge na osnovu kojih je izvršeno dimenzioniranje nekoliko mogućih varijanti buduće akumulacije za prikupljanje oborinske vode za potrebe snježenja staze. Temeljem definirane prostorne volumetrije oborinske vode u akumulaciji i mogućih razina vode u njoj proveden je hidraulički proračun cijevnog sustava pod tlakom s uključenim potrebnim crpkama za dotok vode prema snježnim topovima.

KLJUČNE RIJEČI: sustav za zasnježenje, skijaško trčanje, Javorova kosa, oborinska voda, akumulacija, cjevovod, crpna stanica

SNOWMAKING SYSTEM FOR CROSS-COUNTRY SKIING JAVOROVA KOSA

ABSTRACT: The paper presents the conceptual solution for a sledding system for the Javorova kosa cross-country skiing trail in the municipality of Ravna Gora. It is based on the reconstruction and revitalization of the existing reservoir, whereby the existing track passes by the reservoir itself. The new reservoir proposed in the conceptual solution is located on the south-western side of the Javorova kosa peak and fits into the entire ski slope. In order to develop the conceptual solution for the potential sledding system, the geological composition and geotechnical features of the greater area were established as well as its hydrological and climatic features. The catchment area for the ski trail sledding system was determined, based on which the quantity of rainwater that arrives gravitation-

ally into the existing accumulation was calculated. A field survey of the existing terrain in the subject area was also performed. Following data processing, the necessary baseline materials were obtained for dimensioning several possible variants of the future reservoir for collecting rainwater required for the sledding system. Based on the defined spatial and volumetric rainwater in the reservoir and potential water levels in it, a hydraulic calculation of the pressure pipe system was carried out, including necessary pumps to supply water to the snow cannons.

KEYWORDS: sledding system, cross-country skiing, Javorova kosa, rainwater, reservoir, pipeline, pumping station

1. UVOD

Na području općine Ravna Gora podno Javorove kose, u neposrednoj blizini servisne ceste za održavanje autoceste A6 Rijeka – Zagreb nalazi se postojeća akumulacija za sakupljanje površinske vode slivnog područja Javorova kosa. Postojeća staza za skijaško trčanje prolazi uz samu navedenu akumulaciju. Površina postojeće staze je 74.700 m² s visinskom razlikom od 37,0 m (Slika 1.). Staza je djelomično zatravljena i pretežno obrasla visokim raslinjem. Idejnim projektom obuhvaćene su površine postojeće staze i postojeće servisne ceste te prirodnog jarka.



Slika 1. Lokacija postojeće staze i potencijalnih akumulacija za skijaško trčanje (Stepić, 2018)

Zahvat idejnog rješenja budućih akumulacija nalazi se na jugozapadnoj strani vrha Javorova kosa. Svojom položajem i orijentacijom osigurana je kvalitetna snježna površina prirodnog snijega i dobri uvjeti za zasnježivanje kao i uređenje snježne podloge strojevima za tabanje snijega. Na slici 1. je plavom bojom označena staza za skijaško

trčanje dužine 3,3 km, dok je crvenom bojom označeno područje obuhvata u odnosu na stazu za skijaško trčanje. Idejnim projektom, rekonstrukcijom postojeće akumulacije i sustava za zasnježivanje definiran je zahvat u prostoru k.o. Ravna Gora s ukupnom površinom planiranog zahvata od cca 80.000 m².

2. HIDROGEOLOŠKE I KLIMATSKE ZNAČAJKE PODRUČJA

Naslage sedimentnog tipa na području općine Ravna Gora prema geološkoj starosti pripadaju Permu, Trijasu, epohi donje i srednje Jure (Lijas i Doger) i Kvartaru (URL1). U graduiranim sekvencama, izmjenjuju se konglomerati, pješčenjaci različite granulacije zrna te siliti i šejlovi. Na širem području Ravne Gore javlja se veći broj izvora i površinskih vodotoka. Izvori se nalaze u klastičnim paleozojskim i trijaskim naslagama, a to su stijene slabe propusnosti zbog čega je mogućnost akumuliranja podzemne vode mala, što rezultira pojavom velikog broja izvora manjih izdašnosti (URL1; Stepčić, 2018). U sušnom dijelu godine većina izvora nema vode ili postoji samo vlaženje. Glavni izvori koji se nalaze na području Javorove Kose su Josipovac (kaptiran za vodovod 1907. godine, kapaciteta 0,5 - 1 l/s) te izvor/kaptaža Frankopan (izgrađena 1907. godine, kapaciteta oko 1,3 l/s) koja skuplja vode sustavom drenaža (URL1). Površinska hidrografska mreža dobro je razvijena samo na krajnjem sjevernom dijelu područja Općine Ravna Gora gdje dominira nepropusna i slabije propusna geološka podloga. Svi vodotoci su bujičnog karaktera s izraženom prvenstveno erozijom korita i često duboko usječenim koritom (Milovanović i drugi, 2003). Vodna erozije jače je izražena u sjevernom dijelu područja sa slabije propusnom i erodibilnom geološkom podlogom i tlom (URL1). Na području Stare Sušice prolazi razvodnica koja dijeli lokalne slivove izvora rijeke Dobre i izvora Ravne Gore. Razvodnica ima generalni smjer SZ – JI, a ide preko Velikog Laza, Javorove Kose, Uglješa i dalje na JI. U hidrogeološkom pogledu razlikuju se dvije jedinice sa specifičnim obilježjima i s potpuno različitim uvjetima formiranja površinskih i podzemnih voda. Paleozojske i trijasko klastične naslage predstavljaju slabo propusnu do nepropusnu sredinu (URL1). Drugu hidrogeološku jedinicu čine karbonatne stijene. Sjeverno od Ravne Gore to su pretežno dolomiti gornjotrijaske starosti, a južno od Ravne Gore karbonatni teren izgrađuju vapnenci i vapnenci u izmjeni s dolomitima lijaske starosti. To su dobro propusne naslage koje se odlikuju tipičnim krškim obilježjima s brojnim vrtačama, jamama i ponorima. Na terenu izgrađenom od tih naslaga nema stalnih tokova, jer se sve vode gube u podzemlju (URL1; Stepčić, 2018).

Prema osnovnim klimatskim obilježjima područje općine Ravna Gora pripada snježno šumskoj klimi (borealnoj) s temperaturama najhladnijeg mjeseca ispod -20 °C, a najtoplijeg iznad 10 °C. Srednja temperatura najtoplijeg mjeseca je ispod 22 °C, ali barem 4 mjeseca u godini ima temperaturu veću od 10 °C (URL3). Oborine su prilično jednoliko raspodijeljene tijekom godine, sa značajnim maksimumom u jesen (mjesec studeni). Apsolutni maksimum na području Ravne Gore zabilježen je 28.7.1983. i iznosio je 33,0 °C, dok je apsolutni minimum bio -33,4 °C izmjeren 28.1.1958. godine. Na temelju temperaturnih podataka s meteorološke postaje Ravna Gora (793 m n.m.) godišnja srednja temperatura zraka iznosi između 5 i 7 °C (URL3).

Ravna Gora ima dinamički tip godišnjeg hoda naoblake, gdje pojačanu zimsku naoblaku prati povećanje oborina. Najoblačniji su mjeseci studeni, prosinac i siječanj, a najvrednije je u srpnju i kolovozu. Oborina ovisi o ciklonama koje ovuda prolaze nejednakim

intenzitetom i u različita godišnja doba tako da prosječne količine oborina mogu znatno varirati i po mjesecima i po godinama. Na temelju meteoroloških mjerenja (od 1961.-2017.) na području Ravne Gore zabilježena je maksimalna godišnja količina oborina od 3163,7 mm (2014.), dok je minimalna godišnja količina oborina za 1983. godinu iznosila 1385,6 mm (URL3; Stepić, 2018). Srednja godišnja količina oborine na području skijaške staze Javorova kosa kreće se između 1750 i 2500 mm (URL3). Općinom Ravna Gora prolazi granica između kontinentalnog i maritimnog oborinskog režima, na kojoj je izjednačena količina oborina u hladnijoj i toplijoj polovici godine.

Podaci o snježnim prilikama se razlikuju u ovisnosti o lokalitetu i mikroklimatskim prilikama. Za Ravnu Goru datumi prvog i posljednjeg padanja snijega su od 30.10. do 02.05. Stvarni prvi dani s padanjem snijega zabilježeni su između 17.09. (1977.) i 05.12. (1963.), a posljednji između 27.03. (1983.) i 29.05. (1978.), pa pojave snijega nema samo u tri ljetna mjeseca (URL3). Broj dana sa snježnim pokrivačem $\leq 1,0$ cm u granicama je od 55 dana (1975.) i 155 dana (1962.), a u prosjeku iznosi 109 dana. Stvarni datumi prvih dana sa snježnim pokrivačem $\leq 1,0$ cm zabilježeni su između 18.09. (1977.) i 06.12. (1963.), a posljednji između 25.03. (1961.) i 20.05. (1969.). Dnevne maksimalne visine snijega zabilježene su u granicama od 5 do 155 cm.

Područje Ravne Gore ima visoku relativnu vlagu zraka s godišnjim prosjekom srednje relativne vlage zraka od 82 %. Najveći utjecaj od vjetrova imaju bura i jugo, dok su smjerovi iz kojeg najčešće pušu vjetrovi istok (24,8 %) i zapad (12,1 %). Po broju dana s jakim i manje olujnim vjetrovima ističu se zimski mjeseci. Na promatranom području dominantni su SZ vjetrovi jačine od 0,3 – 5,4 m/s (URL3). Magla se na području Ravne Gore zadržava najviše u zimskim mjesecima, ali je ima u svim godišnjim dobima. Srednji broj dana s maglom iznosi 79,5 (URL1).

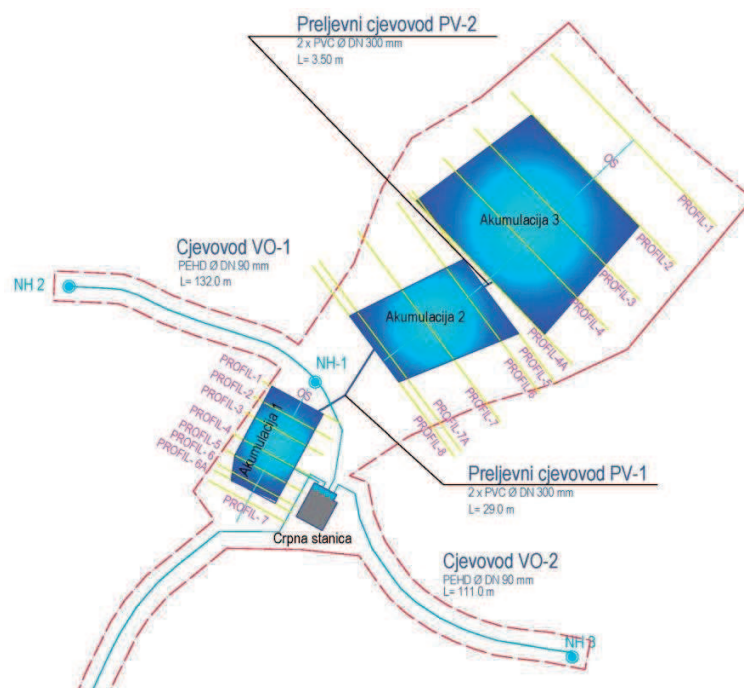
3. IDEJNI PROJEKT

Predmet ovog idejnog projekta je izgradnja sustava za zasnježenje skijaških staza "Javorova kosa" za skijaško trčanje koji je podijeljen na tri cjeline: Akumulacija 1 – revitalizacija postojeće akumulacije i sustav za zasnježenje te izgradnja Akumulacije 2 i Akumulacije 3 (Slika 2.). Proračun i određivanje sliva provedeno je na temelju Racionalne metode (Stepić, 2018). Površina sliva je određena sa 191.412 m², dok dužina vodotoka iznosi 547,75 m. Minimalna i maksimalna visina sliva iznose 815, odnosno 865 m n.m. Srednji koeficijent otjecanja na slivu za povratni period (PP) od 50 godina iznosi 0,51, za PP od 20 godina iznosi 0,47, dok za PP od 2 godine srednji koeficijent otjecanja iznosi 0,38. Brzina otjecanja za 50-godišnji PP iznosi $v_{50}=1,91$ m/s, za 20-godišnji PP $v_{20}=2,39$ m/s, dok je za 2-godišnji PP $v_2=1,06$ m/s. Visina oborine za 50-godišnji povratni period iznosi $H_{50}=42,14$ mm, za 20-godišnji PP $H_{20}=31,26$ mm te za 2-godišnji PP $H_2=23,36$ mm. Maksimalni protok na zadanom profilu za PP od 50 godina iznosi $Q_{m50}=14,35$ m³/s, za 20 godina $Q_{m20}=12,27$ m³/s, odnosno za PP od 2 godine $Q_{m2}=3,29$ m³/s.

3.1. Akumulacija 1 – postojeće stanje, rekonstrukcija i revitalizacija

Akumulacija 1 se nalazi podno brda Javorova kosa, neposredno uz autocestu A6 Rijeka-Zagreb (Slika 1.). Za realizaciju projekta potrebno je rekonstruirati i revitalizirati postojeću akumulaciju koja je sagrađena prema projektnoj dokumentaciji iz 2003. godine. Postojeća

akumulacija je zarasla vegetacijom te se na priljevu sakuplja i taloži šljunak uslijed velikih oborina. Akumulacija je od same izgradnje do danas slabo održavana te su na njoj vidljiva mjestimična oštećenja i podlokavanje na mjestu brane. Prema sadašnjem stanju i izmjerenoj dubini vode uslijed nataloženog materijala sadašnja Akumulacija 1 sadrži upola manje vode u odnosu na projektnu dokumentaciju iz 2003. godine (Stepić, 2018). Stoga je na postojećoj akumulaciji nužno potrebno izvršiti rekonstrukciju i revitalizaciju u svrhu zadovoljavanja i upotrebe iste u sustavu zasnježenja. Prema izračunu i izrađenoj projektnoj dokumentaciji, Akumulacija 1 osigurava otprilike 2.286 m³ vode što ne zadovoljava potrebe sustava za zasnježenje kao samostalne cjeline. Izgradnjom još dvije akumulacije osigurala bi se potrebna količina vode. Punjenje Akumulacije 1 predviđeno je prikupljanjem palih oborina na površinu slivnog područja te površinskim dotjecanjem iz potoka. Dovod vode u Akumulaciju 1 predviđeno je putem gravitacijskih preljevniha cjevovoda iz gornjih Akumulacija 2 i 3. Kota gornje vode u Akumulaciji 1 iznosi 818,85 m n.m., dok je dno akumulacije na koti 812,85 m n.m. Površina vodnog lica na koti gornje vode akumulacije iznosi 657 m². Po obodu akumulacije predviđa se, u cijeloj dužini od oko 80 m, zaštitni usjek retencije na koti 819,25 m n.m. koji će se izvesti od kamenog nabačaja u betonu. Maksimalna visina usjeka akumulacije iznosi 3,0 m.



Slika 2. Dispozicija postojeće akumulacije i novoprojektiranih akumulacija (Stepić, 2018)

Na dnu akumulacije izvela bi se zahvatna rešetka kojom bi se crpila voda iz akumulacije. Unutar usisne rešetke postavila bi se usisna košara na kojoj se nalazi plovak kako bi u svakom trenutku bio potopljen obzirom da uslijed pumpanja vode u crpnu stanicu razina

vodostaja u akumulaciji opada. Usisna košara je izdignuta od dna retencije (za 0,5 m) kako bi se smanjio unos sitnih koloidnih čestica iz taloga uslijed prepumpavanja vode. Na dnu akumulacije je potrebno ugraditi cijevi za upuhivanje zraka kako bi se spriječilo smrzavanje vode na mjestu usisne košare. Na razini kote gornje vode predviđena je izvedba preljevnog objekta za usmjeravanje preljevnih voda prema postojećem odvodnom kanalu. Zbog sigurnosnih razloga predviđeno je ograđivanje akumulacije ogradom visine minimalno 1,2 m na nožici krune akumulacije. U svrhu mjerenja razine vode unutar akumulacije predviđena je vodokazna letva.

3.2. Akumulacija 2 – nova varijanta

Akumulacija 1 nema potrebnu količinu oborinske vode kojom bi opskrbila cjevovode potrebnom količinom vode te je stoga potrebno izvesti još dvije dodatne akumulacije. Na temelju izračuna Akumulacija 2 dodatno osigurava otprilike 9.197 m³ vode (Stepić, 2018). Navedena količina vode u akumulaciji ne zadovoljava potrebe sustava za zasnježenje kao samostalna cjelina, već je potrebno sabirnim cjevovodom dopunjavati Akumulaciju 1 iz koje će se crpiti voda do crpne stanice. Dovod vode u Akumulaciju 2 iz Akumulacije 3 predviđeno je putem gravitacijskih preljevnih cjevovoda. Izgradnja Akumulacije 2 nalazi se u prirodnoj depresiji. Kota gornje vode joj iznosi 820,93 m n.m., dok je dno akumulacije na koti 814,96 m n.m. Površina vodnog lica na koti gornje vode iznosi 1.236,20 m². Po obodu akumulacije predviđa se, u cijeloj dužini od oko 85 m, zaštitni usjek retencije na koti 821,33 m n.m. koji će se izvesti od kamenog nabačaja u betonu. Maksimalna visina usjeka akumulacije iznosi 7,65 m.

3.3. Akumulacija 3 – nova varijanta

Akumulacija 3 je najveća akumulacija s oborinskom vodom i samostalno čini sustav svojim kapacitetom akumulirane vode. Prema hidrološkom proračunu Akumulacija 3 osigurava otprilike 32.053 m³ vode. Navedena količina vode zadovoljava potrebe sustava za zasnježenje kao samostalna cjelina. Punjenje Akumulacije 3 vrši se prikupljanjem palih oborina na površinu slivnog područja i površinskog dotjecanja iz obližnjih potoka. Iz Akumulacije 3 je predviđeno punjenje Akumulacije 1 i 2 putem gravitacijskih preljevnih cjevovoda.

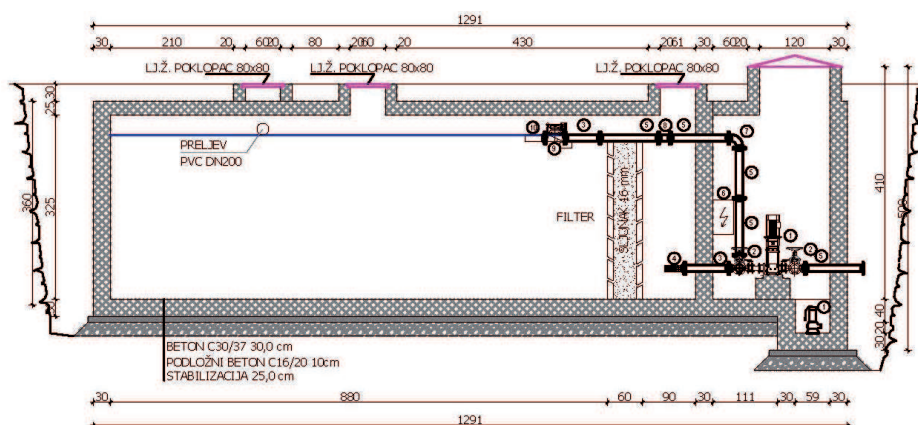
Izgradnja Akumulacije 3 nalazi se u prirodnoj depresiji. Kota gornje vode u Akumulaciji 3 nalazi se na 826,07 m n.m., dok je dno akumulacije na koti 814,33 m n.m. Površina vodnog lica na koti gornje vode akumulacije iznosi 2.782,39 m². Po obodu akumulacije planira se izgradnja, u cijeloj dužini od oko 160 m, zaštitni usjek retencije na koti 826,47 m n.m. koji će se izvesti od kamenog nabačaja u betonu. Maksimalna visina usjeka akumulacije iznosi 11,74 m.

Sa svih površina na kojima je predviđen zahvat skida se kompletan vegetacijski pokrov (šuma, šiblje), kompletno se vade svi panjevi te se skida površinski sloj humusa u debljini od 20 cm. Na bočne stranice akumulacije se umjesto skinutog sloja humusa i korijenja postavlja 20 cm zbijenog pijeska. Po površini zbijenog sloja pijeska postavlja se geotekstil od polimernog materijala. Na položeni geotekstil za potpunu vodonepropusnost akumulacije postavlja se EPDM geomembrana. Ugrađuje se kao zaštitni sloj dna i pokosa akumulacije na koju se ručno postavlja kamen u betonu kako se ne bi membrana oštetila.

Na razini kote gornje vode predviđena je izvedba preljevnog objekta za usmjeravanje preljevnih voda prema postojećem stanju koja se odvodi kanalom. Zbog sigurnosnih razloga predviđeno je ograđivanje akumulacije ogradom visine minimalno 1,2 m na nožici krune akumulacije. Unutar akumulacije postavlja se vodokazna letva.

3.4. Osnovni elementi sustava za snježenje

Cjevovod za zasnježenje spaja se na planirani cjevovod koji kreće iz crpne stanice i račva se u tri cjevovoda (Slika 2.). Sustav cjevovoda za zasnježenje omogućuje transport vode iz pumpne stanice do pozicija hidranata (Slika 3.). Preljevni cjevovod PV-1 i PV-2 služi za prikupljanje akumulirane vode iz Akumulacije 2 i 3 kada se javi manjak vode prilikom crpljenja iz Akumulacije 1. Na ulasku u prelevne cijevi nalazi se otvor dimenzija 50x50 cm na koji se postavlja gruba rešetka od okruglih čeličnih profila 8/5 mm za sprečavanje granja i većih krupnijih komada. Cjevovodi moraju biti izvedeni od potpuno vodonepropusnih materijala, odgovarajuće nosivosti za opterećenja koja se polažu iznad samih cijevi (Stepić, 2018). Na konveksnim dijelovima mreže sustava za zasnježenje predviđena je upotreba automatskih odzračno-dozračnih ventila na cjevovodu putem kojeg će se ispuštati ili upuštati zrak u cjevovod prilikom punjenja ili pražnjenja cjevovoda. Automatski odzračno-dozračni ventili za riječnu vodu NO50 PN63 montiraju se na lomu usponskog tlačnog cjevovoda svake crpke, dok se O-DV ventil NO100 PN16 montira na lomu cjevovoda u najvišoj točki nivelete istog. Ventil je u kompaktnoj izvedbi s jednom komorom, direktno upravljani protočnim medijem. Na cjevovodu za zasnježenje predviđeni su hidranti na koje se priključuju (pomoću visokotlačnih vatrogasnih crijeva) topovi za zasnježenje. Lokacije postavljanja hidranata određene su nakon utvrđivanja i uzimajući u obzir novoprojektirane staze za skijaško trčanje. Predviđeni su gotovi montažni nadzemni hidranti.



Slika 3. Pumpna stanica za potrebe sustava snježenja

1 – crpke CRIE 15-2 – 3.0 kW, 2 – zasun, 3 – spojni komad s prirubnicom FFG komad 800 mm, 4 – usisna košara, 5 – spojni komad s prirubnicom FFG komad 1000 mm, 6 – upravljački ormar, 7 – Q-komad, 8 – spojni komad s prirubnicom FFG komad 200 mm, 9 – regulator razine s plovkom, 10 – prelevna cijev

Prilikom dimenzioniranja crpke potrebno je voditi računa da količina potrebna za jedan top iznosi 270 l/min. (odnosno za tri topa količina vode iznosi 800 l/min.), potrebno trajanje zasnježivanja iznosi 5 sati/dan ($800 \text{ l/min.} \cdot 60 \text{ min.} = 4800 \text{ l/h}$; $4800 \text{ l/h} \cdot 5 \text{ sati} = 24000 \text{ l/h} = 240 \text{ m}^3/\text{h}$). Za to su potrebna tri snježna topa s kapacitetom od 240000 l/h, za što treba osigurati pumpe dovoljne snage koje će crpiti 240 m³/h vode. Za odabir pumpne stanice korišten je program za proračun i dimenzioniranje GRUNDFOS (URL2). Odabrana je vertikalna višestupanjska centrifugalna crpka tipa CRIE 15-2 A-CA-I-E-HQQE. Projektirana crpna stanica se nalazi u neposrednoj blizini Akumulacije 1. Izgradnja pumpne stanice predviđena je na ograđenom dijelu parcele dimenzija 20 x 17 m, odnosno približno 340 m². Kompleks pumpne stanice sastoji se od dva zasebna objekta od kojih je jedan vezan za pumpnu stanicu sa svom pripadajućom strojarском i elektro opremom, dok se drugi objekt sastoji od podzemnih bazena vode (Slika 3.). Vanjske dimenzije objekta pumpne stanice iznose 10,0 x 12,9 m. Unutar objekta od armirano-betonskih elemenata izvode se postolja za smještaj crpnih agregata i potporni stupići za podupiranje cjevovoda (Stepić, 2018).

U svrhu rashlađivanja vode na temperaturu predviđenu karakteristikama topova za zasnježenje predviđena je izgradnja bazena tople vode, postavljanje 4 komada rashladnih tornjeva i izgradnja bazena hladne vode. Unutar bazena vode na dnu je predviđena ugradnja betona i okna filtera izrađenog od armiranog betona kao košara sa perforiranim rupama. Unutar filtera ugrađuje se šljunak granulacije 16 mm za potrebe filtriranja vode. Za cirkulaciju vode u akumulaciji i spriječavanje smrzavanja vode predviđa se unutar akumulacije ugradnja perforirane PE cijevi normiranog promjera DN 50 mm i tlaka od PN 10 bara. Tlačenjem zraka pomoću kompresora u cjevovod pospješuje se cirkulacija vode u akumulaciji i to na način da se toplija voda s dna podiže prema površini, a hladnija voda s površine tone na dno gdje je zahvat vode za zasnježenje. Kompresor za ventilaciju akumulacije je smješten u prostoru pumpaneone.

ZAKLJUČAK

Predmet ovog rada bila je izrada projektne dokumentacije za sustav zasnježenja skijaških staza na području Ravne Gore temeljena na revitalizaciji postojeće akumulacije i izrade dvije nove akumulacije ukupnog zadovoljavajućeg kapaciteta od 43.535 m³ vode. Za realizaciju rada bilo je potrebno izvršiti geodetsko snimanje područja na kojem je postojeća akumulacija kako bi se dobile potrebne informacije o količini vode kojom ona raspolaže te da li zadovoljava potrebe sustava. Iz hidrološkog proračuna je zaključeno da postojeća akumulacije ne zadovoljava potrebe sustava, obzirom da su za sustav potrebna tri snježna topa za što treba osigurati pumpnu stanicu dovoljne snage koja će crpiti 240 m³/h vode. Iz crpne stanice pumpama će se voda putem cjevovoda dopreмати do pozicija hidranata od kojih će se vatrogasnim crijevima dopreмати voda do topova. Zbog konfiguracije terena i potoka koji puni postojeću akumulaciju te velikog slivnog područja moguća je izrada dodatnih akumulacija kojima bi se osigurala potrebna količina vode za potrebe sustava za zasnježenje skijaške staze. Ovom količinom vode bila bi osigurana izrada umjetnog snijega pomoću snježnih topova u idealnim uvjetima 21 dan po 5 sati rada. Za realizaciju promatranog projekta napravljen je i detaljan troškovnik svi potrebni radova iz kojeg proizlazi da za realizaciju sustava za zasnježenje skijaških staza za skijaško trčanje treba osigurati 12.941.150,00 kn (Stepić, 2018). Kako bi se u potpunosti finalizirao ovaj rad

potrebno je još odraditi statičke proračune brane, uređenje i otkup zemljišta na kojem se nalazi sustav, dogovor s Hrvatskim vodama koji su nadležni za postojeću akumulaciju, suglasnost Općine Ravna Gora, realizirati prenamjenu prostornog plana te ishoditi svu preostalu projektnu dokumentaciju.

LITERATURA

- [1] Milovanović, Ž., Skender, D., Sokol, M., Blašković, Lj., Santin, G., Holjević, D., Plišić, I., (2003), *Glavni projekt održavanja Bujica „Javorova kosa“ zaključni objekt, lijeva pritoka ispod škole*, Hrvatske vode, VGO Rijeka, Rijeka
- [2] Stepić, M., (2018): *Sustav za zasneženje staza za skijaško trčanje Javorova kosa*, Diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 123. str.
- [3] URL1: *Prostorni plan uređenja općine Ravna Gora*, <http://www.ravnagora.hr/Repository/Dokumenti/Prostorni%20plan%20uredjenja%20Opcine%20Ravna%20Gora%20-%20elaborat.pdf> (05.06.2018.)
- [4] URL2: *Grundfos, program za dimezioniranje pumpi*, <https://hr.grundfos.com/intelligent-pump-solutions-in-commercial-buildings/data-light-bim-assets.html> (07.06.2018.)
- [5] URL3: *Klimatski atlas Hrvatske, 1961.-1990., 1981.-2000.*, Državni hidrometeorološki zavod Zagreb, glavna urednica Ksenija Zaninović, Zagreb, 2008, http://klima.hr/razno/publikacije/klimatski_atlas_hrvatske.pdf (07.06.2018.)

AUTORI

Marko Stepić, struč.spec.ing.aedif. ^a

doc.dr.sc. Elvis Žic, dipl.ing.građ. ^b

^a U.O.I.G. Vidmar d.o.o., I. G. Kovačića 174, Ravna Gora, 51314, Hrvatska, marko@uoig-vidmar.hr

^b Građevinski fakultet Rijeka, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, elvis.zic@uniri.hr



FUNKCIONALNOST RIBLJIH STAZA

Dušan Jelić, Eva Ocvirk, Gordon Gilja, Antonija Cikojević

SAŽETAK: Mnoge vrste riba i beskralježnjaka koji nastanjuju vodotoke migriraju unutar vodotoka u određenim fazama svog životnog ciklusa. S druge strane, već stotinama godina ljudi u vodotocima grade pregrade i ostale zahvate kojima zadovoljavaju svoje potrebe u odnosu na vodu, a koje rastu s industrijalizacijom i porastom broja stanovnika. Zajedno s ostalim čimbenicima kao što je onečišćenje voda to dovodi do smanjenja veličine populacije nekih vrsta, ponekad i do razine izumiranja.

Spomenute prepreke mogu postati prolazne za vodene organizme izgradnjom bioloških staza koje se uobičajeno u inženjerskoj praksi nazivaju riblje staze. Biološka staza jest prolaz za uzvodnu i nizvodnu migraciju biološkog materijala (vodene faune) čime se održava trofička, populacijska i genetička povezanost gornjih i donjih dijelova toka te na taj način u određenoj mjeri umanjuje negativne ekološke utjecaje i omogućava suživot čovjeka i prirode u skladu s potrebama gospodarskog razvoja. Fokus većine prijašnjih istraživanja usmjeren je na termin riblje staze, pa ga i mi ovdje koristimo, ali ga smatramo dijelom općenitijeg naziva biološke staze.

Kod planiranja i projektiranja ribljih staza potrebno je slijediti osnovne smjernice kojima se određuju osnovni tehnički parametri kao što su položaj riblje staze u odnosu na pregradu i hidraulički uvjeti u stazi. No da bi izvedena riblja staza zadovoljila svoju funkcionalnost moraju ju „prepoznati“ i vodni organizmi stoga je izuzetno važno praćenje funkcionalnosti izvedenih ribljih staza. U ovom radu dane su osnovne smjernice za provođenje monitoringa na ribljim stazama. S obzirom da vodne pregrade otežavaju uzdužnu migraciju riba vodotokom, potrebno je provoditi praćenje stanja (monitoring) ihtiofaune predmetnog područja prije i poslije zahvata. Monitoring je nužan kako bi se procijenila učinkovitost ribljih staza i po potrebi se prilagodila njihova izvedba, kako bi se skupili tehnički i biološki podaci za dizajniranje budućih ribljih staza te kako bi se kvantificirale populacije migratornih vrsta riba i prikupile se informacije o njihovim migracijama. Generalno sustav praćenja možemo podijeliti na opći monitoring populacije riba na promatranjoj lokaciji, monitoring pratećih konstrukcija i specifični monitoring učinkovitosti same riblje staze.

Cilj monitoringa riblje staze je eksplicitno pokazati da ribe mogu naći ulaz u riblju stazu i uspješno je savladati, odnosno da je osigurana uzdužna povezivost populacija (jedinki) i genetičkog materijala. Monitoringom ostalih elemenata sustava potrebno je pokazati da ne dolazi do ozljeđivanja ili usmrćivanja ciljnih vrsta riba.

KLJUČNE RIJEČI: riblje staze, funkcionalnost, monitoring

FUNCTIONALITY OF FISH PASSES

ABSTRACT: Many fish and invertebrate species inhabiting watercourses migrate within these watercourses at certain stages of their life cycle. However, for hundreds of years humans have been building barriers and other structures in watercourses to satisfy their water-related needs that have increased due to industrialization and population growth. In addition to other factors, such as water pollution, this leads to a reduction in the population size of some species, sometimes even to their extinction.

These barriers, however, can become transitory for aquatic organisms through the construction of biological passes commonly referred to as “fish passes” in the engineering practice. A biological pass is a passage that facilitates upstream and downstream migration of the biological material (aquatic fauna), thus maintaining a trophic, population and genetic connection between the upper and lower sections of a watercourse. In this manner, negative environmental impacts are, to a certain extent, reduced and a coexistence of humans and nature in the context of economic development enabled. The majority of past studies have used the term “fish pass”, therefore we use it here as well, although we consider it a part of a more general term “biological pass”.

When planning and designing fish passes, it is necessary to follow the basic guidelines for determining the main technical parameters, such as the position of a fish pass in relation to the barrier and the hydraulic conditions in the pass. However, in order to make an built fish pass functional, its functionality must be “recognized” by aquatic organisms, and therefore it is extremely important to monitor the functionality of built fish passes. This paper gives the basic guidelines for implementing fish pass monitoring. Since water barriers hinder longitudinal migration of the fish through a watercourse, it is necessary to monitor the ichthyofauna in a given area before and after the intervention. Monitoring is required for assessing the performance of fish passes and for adapting their performance, if necessary. This enables us to gather technical and biological data for designing future fish passes, for quantifying the populations of migratory fish species and for collecting information on their migrations. In general, the monitoring system can be divided into general monitoring of the fish population at the observed location, monitoring of the accompanying structures and specific monitoring of fish pass efficiency.

The purpose of fish pass monitoring is to explicitly prove that fish can find the entrance to a fish pass and successfully swim through it, i.e. that the longitudinal connectivity of the populations (specimens) and the genetic material has been achieved. The monitoring of other elements of the system needs to prove that injuries or deaths of the target fish species do not occur.

KEYWORDS: fish passes, functionality, monitoring

1. UVOD

Mnoge vrste riba i beskralježnjaka koji nastanjuju vodotoke migriraju unutar vodotoka u određenim fazama svog životnog ciklusa. S druge strane, već stotinama godina ljudi u vodotocima grade pregrade i ostale zahvate kojima zadovoljavaju svoje potrebe u odnosu na vodu, a koje rastu s industrijalizacijom i porastom broja stanovnika te mogu prekidati uzdužnu povezanost vodotoka i na taj način onemogućiti migraciju vodenim organizmima

(Freyhof i drugi, 2015). Uzdužna povezanost vodotoka ključna je s ekološkog stajališta za zadovoljenje migracijskih potreba vodnih organizama te je zato nužan uvjet za sve vodotoke (Weiss i drugi, 2018). Hidrotehničke građevine koje predstavljaju prepreku uzdužnoj povezanosti su pragovi, stepenice, preljevi, ustave, ali i propusti i razni oblici kanaliziranja vodotoka umjetnim elementima (Carvajal-Quintero i drugi, 2017). Zajedno s ostalim čimbenicima kao što je onečišćenje voda to dovodi do smanjenja veličine populacija nekih vrsta, ponekad i do razine izumiranja (Larinić, 2000), (Cooper i drugi, 2016), (Freyhof i drugi, 2015), (Weiss i drugi, 2018), (Piria i drugi, 2019).

Spomenute prepreke mogu postati prolazne za vodene organizme izgradnjom bioloških staza (Nicola i drugi, 1996) koje se uobičajeno u inženjerskoj praksi nazivaju riblje staze. Biološka staza jest prolaz za uzvodnu i nizvodnu migraciju biološkog materijala (vodene faune) čime se održava trofička, populacijska i genetička povezanost gornjih i donjih dijelova toka. Naravno, izgradnja ribljih staza ne uklanja osnovnu ekološku štetu uzrokovanu izgradnjom pregrada (Rytwinski i drugi, 2017), kao što je gubitak riječnog staništa ili gubitak uzdužne povezanosti, ali u određenoj mjeri umanjuje negativne ekološke utjecaje i omogućava suživot čovjeka i prirode u skladu s potrebama gospodarskog razvoja (Nicola i drugi, 1996). Prije planiranja ribljih staza na postojećim građevinama, odnosno u slučaju obnavljanja uzdužne povezanosti nužno se prvo zapitati da li je postojeća prepreka zaista neophodna i služi li još uvijek svojoj primarnoj svrsi. Naime uklanjanje prepreka trebalo bi imati prednost pred izgradnjom ribljih staza. Stoga je u postupku projektiranja ribljih staza potreban interdisciplinarni pristup koji će uvažiti i tehničke i ekološke potrebe u cilju postizanja najpovoljnijeg rješenja.

1.1. Pregled stanja područja

Opći kriteriji koje riblje staze moraju zadovoljiti uključuju biološke zahtjeve i ponašanje migratornih vodnih organizama te tako predstavljaju važne aspekte u postupku planiranja ribljih staza. Potrebno je napomenuti da se biološki mehanizmi koji potiču ili utječu na migracije vodnih organizama još uvijek izučavaju (Oliveira i drugi, 2018).

Riblja staza je obično kanal opremljen elementima koji omogućuju postizanje željenih hidrauličkih karakteristika potrebnih da bi ribe mogle plivati stazom. Elementi su preljevi, pregrade, otvori, kameni blokovi itd. Osnovna podjela je na prirodni i tehnički tip riblje staze. Svaki tip u nastavku spomenutih staza ima domenu unutar koje je pogodan za korištenje. Specijalni tipovi ili su namijenjeni pojedinim vrstama riba ili se primjenjuju u uvjetima kada nema mogućnosti izbora jednostavnijeg rješenja.

Ribljom stazom prirodnog tipa nastoji se oponašati prirodno korito rijeke. Specifičnost ovog tipa je prisutnost kamenog supstrata na dnu kojim se povećava hrapavost korita. Kako kameni supstrat najčešće nije dovoljan da omogući povoljne hidrauličke uvjete na kraćim dionicama, dodatno prigušenje toka na prirodnoj stazi može se izvesti postavljanjem većih kamenih blokova. Time se ujedno stvaraju i mjesta pogodna za odmor riba.

Tehničke staze su: staze s bazenima (staze s otvorima, s otvorima i preljevima), staze s vertikalnim prorezima, Denilove staze te kanali s umjetno povećanom hrapavošću te specijalni tipovi – dizalice, riblje prevodnice, rampe za jegulje, cijevi za jegulje, staze za paklare, staze s čekinjama.

Kod planiranja i projektiranja ribljih staza polazišna točka trebala bi biti ideja što manjeg utjecaja na populaciju riba i drugih organizama stoga se preporuča uvijek kao prvo

rješenje razmotriti izgradnju ribljih staza prirodnog tipa, a tek ukoliko to nije moguće (iz opravdanih tehničkih razloga) pristupiti projektiranju ribljih staza tehničkog tipa. I konačno u ekstremnim situacijama, kada niti izvedba tehničkih ribljih staza nije moguća, izgradnjom specijalnih ribljih staza osigurati barem dobru odnosno cjelovitu genetičku povezanost populacije (Slika1). Kod iznimno kompleksnih i velikih sustava kod kojih nije moguće tehnički riješiti čak niti postavljanje lifta ili prevodnice, posljednja opcija za održavanje genetičke povezanosti jest aktivni transport ribe (specijaliziranim vozilima) i puštanje iznad zahvata (ustave i akumulacije).



Slika 1. Preporučeni slijed odabira tipa riblje staze. Tipovi monitoringa opisani su u poglavlju 3.2.

Tip staze	Riblja rampa	Obilazni kanal	Staza s bazenima	Staza sa vertikalnim otvorima	Denilova staza	Riblji lift	Riblja prevodnica	Transport ribe uzvodno
Tip monitoringa	1), 2), 5)	1), 2), 3), 5)	1), 2), 3), 4), 5)	1), 2), 3), 4), 5)	1), 2), 3), 4), 5)	1), 3), 4), 5), 6)	1), 3), 4), 5), 6)	5), 6), genetička istraživanja,

2. PROJEKTIRANJE RIBLJE STAZE SA STAJALIŠTA FUNKCIONALNOSTI

2.1 Optimalna pozicija riblje staze

U prirodnim vodotocima, bez prepreka, vodenim organizmima za migraciju je prirodno raspoloživa cijela širina vodotoka. Riblje staze ograničavaju migraciju na mali dio poprečnog presjeka vodotoka. U pravilu dimenzije riblje staze u odnosu na širinu vodotoka su relativno male, ograničene inženjerskim, hidrauličkim i ekonomskim uvjetima, a što posebno dolazi do izražaja na većim rijekama. Stoga je položaj riblje staze uz prepreku izuzetno značajan. Ribe i ostali vodni organizmi u pravilu migriraju uzvodno uzduž glavne struje. Da bi ulaz u riblju stazu bio prepoznat od strane vodnih organizama treba ga pozicionirati na stranu pregrade na koju dolazi glavna struja. Nadalje

riblja staza, odnosno ulaz u riblju stazu, ne bi trebao biti smješten „daleko“ u donjoj vodi u odnosu na pregradu jer to otežava ribama mogućnost pronalaska. U praksi se pokazalo da je to jedna od najčešćih projektantskih pogrešaka a najčešće je posljedica želje za postizanjem određenih hidrauličkih uvjeta u ribljoj stazi te raznih prostornih ograničenja. Kod dijagonalno postavljenih pragova, preko kojih se po cijeloj dužini preljeva voda, migratorne vrste obično se koncentriraju u šiljatom kutu između pregrade i obale te je to očigledna pozicija za smještaj riblje staze.

Kod izvedbe ribljih staza uz pribranske hidroelektrane najbolja pozicija za riblju stazu obično je na istoj strani vodotoka na kojoj se nalazi i sama strojarnica. Izlaz iz riblje staze (tj. ulaz riba) preporuča se smjestiti što bliže izlazu iz turbinskog trakta. Kod derivacijskih hidroelektrana dvije su mogućnosti za pozicioniranje ribljih staza u cilju osiguranja uzvodne migracije. Prvo uz samu hidroelektranu kako bi se osigurala povezanost donje i gornje vode u kanalu, a druga uz ustavu/prag na ulazu u prirodno korito kako bi se osigurala povezanost gornje vode i donje vode prirodnog vodotoka. Uobičajeno riblja staza gradi se samo na jednoj od spomenutih pozicija. Budući da ribe općenito prate najjaču struju pretpostavlja se da ulaze u umjetni kanal privučene izlazom iz turbine, a znatno rjeđe koriste prirodno korito u kojem je obično protok znatno manji. No kod pojave protoka većih od instaliranog protoka hidroelektrane može doći do znatnog povećanja protoka u prirodnom koritu te je s ekološkog stajališta preporučljivo izvesti dvije riblje staze.

Također u praksi se primjenjuju različite metode navođenja riba u riblje staze od kojih su neke navedene u nastavku (Tablica 1).

Tablica 1. Neke od metoda navođenja riba u riblje staze

Fizičke pregrade	– dolaze u različitim oblicima, uključujući perforirane ploče, metalne šipke, plastične ili metalne mreže, itd.
Električne barijere	– koriste električni stimulans za promjenu ponašanja riba. Obično se te barijere prostiru po cijeloj širini vodotoka sa serijom elektroda.
Svjetlosni sustavi	– blještava svjetla proizvode bljeskove svjetla u mjerama koje se mogu prilagoditi veličini vodotoka. U pravilu koriste ksenonske plinske cijevi, koje emitiraju širok spektar bijele svjetlosti. Ovisno o vrsti, ribe različito reagiraju na svjetlosne podražaje. Neke vrste bježe od svjetla, a neke svjetlo privlači i plivaju prema njemu.
Podvodni zvuk	– za utjecaj na ribe koristi se podvodni zvuk kako bi kreirali odbijajuće zvučno polje, sastavljeno od bliskog i dalekog polja zvuka. Ovisno o tipu zvučnog sistema, frekvencije se kreću od 20 do 500 Hz. Akustične pregrade su posebno interesantne kod hidroelektrana jer zauzimaju minimalan prostor i problemi začepjenja su minimalni.
Zavjese od zračnih mjehurića	– mjehurićaste zavjese su „zidovi“ mjehurića koji se uzdižu s dna vodotoka iz postavljene perforirane cijevi opskrbljene komprimiranim zrakom
Feromoni	– ispuštanje ove supstance uzrokuje reakciju straha kod riba, što rezultira pojačanim plivanjem ili bijegom iz nekog područja.

Izlaz riba u gornju vodu, odnosno ulaz vode u riblju stazu kod hidroelektrana mora biti smješten dovoljno daleko od preljeva odnosno ulaza u turbine kako ribe na izlazu ne bi bile strujom povučene ili nazad preko preljeva ili u turbinski trakt. Općenito, kada je visina gornje vode konstantna, projektiranje ulaza vode u riblju stazu ne predstavlja značajniji problem. Međutim u slučaju kada postoje oscilacije gornje vode potrebno je posvetiti posebnu pažnju projektiranju ovog elementa riblje staze. U pravilu kod oscilacija većih od 1 m preporuča se izvedba većeg broja izlaza kako bi riblja staza ostala funkcionalna u svim uvjetima. Isto tako kod određenih tipova ribljih staza može se javiti potreba za mehaničkom regulacijom protoka na mjestu izlaza iz riblje staze.

3. MONITORING

Monitoring je nužan kako bi se procijenila učinkovitost ribljih staza i po potrebi se prilagodila njihova izvedba, kako bi se skupili tehnički i biološki podaci za dizajniranje budućih ribljih staza te kako bi se kvantificirale populacije migratornih vrsta riba i prikupile se informacije o njihovim migracijama. Generalno sustav praćenja možemo podijeliti na opći monitoring populacije riba na zadanoj lokaciji, monitoring pratećih struktura (pr. turbine) i specifični monitoring učinkovitosti same riblje staze.

Također, za svaku biološku stazu kako bi se osigurala njena funkcionalnost, kao i za većinu hidrotehničkih građevina, potrebno je izraditi Plan rada i održavanja biološke staze.

Važno je da se za svaki zahvat razvije barem načelni Program za praćenje prolaznosti riba kroz instalirani sustav (zahvat). Taj Program potrebno je provoditi u najmanje 2 navrata, odnosno približno svakih 6 mjeseci, tijekom prvih 3 - 5 godina rada (ovisno o mišljenju eksperta ihtiologa s obzirom na prisutne ciljne vrste). Programi praćenja za vrlo važne i dugoživuće ciljne vrste riba (pr. glavatica, jesetre itd.) mogu se provoditi i trajno ukoliko se radi o lokacijama važnim za opstanak ovih vrsta.

Cilj monitoringa riblje staze je eksplicitno pokazati da ribe mogu naći ulaz u riblju stazu i uspješno je savladati, odnosno da je osigurana uzdužna povezivost populacija (jedinki) i genetičkog materijala. Monitoringom ostalih struktura potrebno je pokazati da ne dolazi do ozljeđivanja ili usmrćivanja ciljnih vrsta riba. Vrijeme i trajanje uzorkovanja/monitoringa je od velike važnosti za pouzdanost podataka o funkcionalnosti riblje staze. Monitoring bi se trebao obavljati tijekom glavne sezone migracija a ovisi i o vremenskim uvjetima te je najbolje da se razdoblje definira za specifičnu lokaciju u dogovoru sa ekspertom ihtiologom.

3.1 Opći monitoring sastava zajednice riba

Nakon izgradnje riblje staze potrebno je obaviti praćenje općeg stanja populacije ribe na širem predmetnom području i usporediti ga sa podacima prikupljenima prije izvođenja zahvata (nulto stanje) te literaturom. Za lokacije praćenja potrebno je uzeti lokacije na kojima je vršeno terensko istraživanje za izradu nultog stanja ihtiofaune. Preporuča se kao referentne točke uzimati po jednu lokaciju 100 m – 200 m uzvodno i nizvodno od zahvata (ukoliko je primjenjivo; npr. ako je iznad zahvata formirana akumulacija, referentnu točku potrebno je pomaknuti uzvodno do lokacije gdje je stanje neizmjenjeno). Usporedbom lokacije nizvodno i uzvodno moći će se pratiti funkcionalnost novonastale riblje staze, ali

i detektirati funkcionalne promjene u sastavu zajednice (Oliveira i drugi, 2018). Važno je pratiti da se uspoređuju isti tipovi staništa (usporedbom limnofilnih staništa u akumulaciji iznad ustave i reofilnih staništa nizvodno od ustave, očekivano je da dobijemo različit sastav vrsta te takve usporedbe treba izbjeći dobrim planiranjem praćenja). Cilj ovog općeg praćenja stanja populacije riba jest da se ustvrdi da li je došlo do promjene u strukturi zajednice riba tijekom radova ili nakon puštanja u pogon.

3.2 Monitoring funkcionalnosti riblje staze

Preporučeni sastavni dijelovi monitoringa su:

- 1) Vizualni pregled rada i funkcionalnosti riblje staze te kontrola da li ista radi sukladno Planu rada i održavanja biološke staze.

Vizualnim pregledom ekspert utvrđuje da li riblja staza funkcionira u širem tehničkom smislu (prisustvo vode, kontinuiranost toka, ne postojanje nepremostivih unutarnjih barijera itd.). Vizualnim pregledom ustanovljava se i potencijalno agregiranje riba (na ulazu, u stazi ili na izlazu);

- 2) Uzorkovanje riba elektroribolovom unutar riblje staze.

Metoda uzorkovanja sastoji se od elektroribolova u ribljoj stazi, sa obale, na transektu duljine 10 - 30 metara (barem $\frac{1}{4}$ duljine riblje staze) oko ulaza i izlaza. Sva ulovljena riba se determinira i izmjeri na licu mjesta te se čim prije vraća u vodotok;

- 3) Pregled Dnevnika o količini stradale ribe.

Zaposlenici HE trebali bi voditi Dnevnik o primijećenim količinama stradale ribe u postrojenju ili ispod njega. Ova mjera se često propisuje kao obaveza tijekom provedbe procijene prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu. Ukoliko do stradavanja dolazi a ista nisu zabilježena u Dnevniku, potrebno je obavijestiti nadležne institucije (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Ministarstvo poljoprivrede);

- 4) Praćenje efikasnosti riblje staze IC (infra-crvenom) video i sonarskom tehnologijom.

Efikasnost ribljih staza može se pratiti ugradnjom trajnih ili privremenih sustava za tehničko-vizualno praćenje prolaznosti. Moguća je upotreba sonarskih sustava za precizan nadzor prolaza krupnijih primjeraka riba kroz riblju stazu. Sonar se koristi u kombinaciji sa IC (infra-crvenom) kamerom visoke razlučivosti te se zajedno postavljaju na ulaz i/ili izlaz riblje staze, uz kontinuirano snimanje od 24 sata. Iz snimki se prikupljaju podatci o efikasnosti staze jer se na njima jasno vidi broj jedinki koje mogu proći stazu u određenom vremenskom intervalu. IC kamera može poslužiti samo za snimanje u uvjetima bolje vidljivosti, no kada je voda zamućena (zbog prisutnosti čestica mulja) tada je monitoring moguće provesti jedino upotrebom sonara. Standardne korištene frekvencije sonara su 200/455/800/1200 kHz. Kombinacija obje metode je ipak najbolja opcija. Na tržištu su dostupni gotovi proizvodi ili je moguće zatražiti izradu personaliziranog rješenja uz savjetovanje eksperta ihtiologa. Postoji mogućnost instaliranja trajnog sustava sonara i IC videonadzora funkcionalnosti riblje staze sa direktnim prikazom u pogonu HE, što je pogodno za brzu reakciju tijekom problematičnih situacija, trajni monitoring prolaznosti (podatci se mogu ustupiti u slučaju preispitivanja prolaznosti) te mogu poslužiti u edukativne svrhe. U slučaju ugradnje trajnog sustava, potrebno je već u idejnom rješenju zahvata predvidjeti poziciju za instalaciju sustava za praćenje (instalacije, zaklon itd.);

- 5) Praćenje efikasnosti prolaznosti migratornih vrsta riba kroz kroz riblju stazu uzvodno i nizvodno korištenjem Capture/Mark/Recapture (C/M/R) metode i mikročipiranjem. Ova metodologija pogodna je za veće sustave gdje je praćenje migracija pomoću vizualnih metoda (IC kamere i sonar) onemogućen snažnim strujanjem vode, veličinom otvora itd. Ove metode se također koristi kada je o posebno važnim ciljnim vrstama potrebno prikupiti dodatne kvantitativne podatke (pr. glavatica, jesetre, plotica, jegulja itd.).

Sve ulovljene odrasle jedinke migratorne ciljne vrste ulovljene na bilo kojoj lokaciji uzorkovanja (uzvodno ili nizvodno), trebaju biti mikročipirane pasivnim čipom (PIT) prikladne veličine (12 x 3, 10 x 3, 9 x 2 ili 8 x 1,8 mm), koji ribi ne stvara nikakve probleme a omogućava jedinstvenu identifikaciju pri slijedećem ulovu. Svaki mikročip je jedinstveno kodiran sa kodom od 16 brojeva i slova koji se može očitati ručnim ili stacionarnim čitačem (čak i sa mobilnim uređajem). Sitnije jedinke čipiraju se na način da se u trbušnu šupljinu stavlja čip pomoću igle, dok se većim jedinkama čipovi ugrađuju u bazu dorzalne peraje (bolja detekcija). Izlov se vrši samo ispod ili ispod i iznad riblje staze. Potrebno je pokušati izloviti i obilježiti između 5 – 15 % populacije. Prilikom svakog izlova bilježi se broj jedinki koje su novoulovljene (i treba ih označiti) i onih koje su već označene ranijim izlovima i potrebno ih je odmah pustiti. Pošto mikročipovi omogućavaju doživotnu identifikaciju, moguće je i višegodišnje istraživanje. Na izlazu iz riblje staze postavlja se trajni PIT čitač i antena, koji automatski detektira kada neka od označenih riba prođe kroz riblju stazu. Čitač je trajno postavljen na ribljoj stazi i kroz cijelu godinu bilježi migracije riba. Kod duljih ribljih staza postavljaju se dvije antene, po jedna na svaku stranu (ulaz i izlaz) kako bi se moglo mjeriti i brzinu prolaza. Potreban je angažman eksperta ihtiologa da se nove jedinke označavaju svake godine i za analizu podataka;

- 6) Telemetrija pomoću radio, mikrovalnih ili ultrazvučnih odašiljača.

Ova nova tehnologija omogućuje direktno praćenje kretanja riba pomoću aktivnih odašiljača koji u 3D prostoru prikazuju poziciju označene jedinke. Ova metoda se koristi na način da se nekoliko kapitalnih primjeraka ciljnih vrsta označi telemetrijskim odašiljačima, koji u zadanom intervalu (5 sekundi do 15 min) aktivno odašilju njezinu poziciju. Signal primaju 4 senzora (sa GPS signalom) koji se postavljaju u pravokutnu formaciju 100 m x 100 m i na temelju triangulacije definiraju točnu poziciju i dubinu označene ribe. Na taj način se u realnom vremenu može pratiti da li se riba kreće prema ulazu u riblju stazu ili na koji način se kreće kroz nju. Također je moguće pratiti da li riba reagira na umjetno postavljene zvučne, zračne ili električne barijere (Tablica 1).

ZAKLJUČAK

Ovim kratkim radom, autori žele pokrenuti međusektorsku suradnju u rješavanju problema s kojima se susreće struka prilikom planiranja ribljih (bioloških) staza i kasnijeg praćenja njihove funkcionalnosti. Kroz ovaj tekst pokušali smo olakšati investitorima, ovlaštenicima za provedbu Studija utjecaja na okoliš i nedležnim tijelima međusobno razumijevanje kada se govori o odnosu pojedinih tipova ribljih staza, promjenama u ihtiofauni koje se mogu očekivati za svaki od njih te prijedlozima tipova praćenja stanja ihtiofaune koje je

potrebno provesti (Slika 1). Na ovaj način investitoru se može lakše predstaviti kakvu proceduru može očekivati s obzirom na odabrani tip zahvata, a sa ovlaštenicima za izradu SUO može raspravljati o očekivanom negativnom utjecaju s obzirom na pojavnost ciljnih vrsta organizama na planiranoj lokaciji. Nadležnim institucijama olakšana je procedura odlučivanja da li su za određeni tip zahvata propisane adekvatne mjere praćenja ili je potrebno propisati dodatne.

* Istraživanje prikazano u ovom radu je provedeno u sklopu projekta „Planiranje i projektiranje ribljih staza“ financiranog od Hrvatskih voda.

LITERATURA

- [1] Carvajal-Quintero, J.D., Januchowski-Hartley, S.R., Maldonado-Ocampo, J.A., Jézéquel, C., Delgado, J. & Tedesco, P.A., (2017): *Damming Fragments Species' Ranges and Heightens Extinction Risk*, 10 (6), 708-716
- [2] Cooper, A.R., Infante, D.M., Wehrly, K.E., Wang, L. & Brenden, T.O., (2016): *Identifying indicators and quantifying large-scale effects of dams on fishes*, *Ecological Indicators*, 61 646-657
- [3] Freyhof, J., Weiss, S., Adrović, A., Čaleta, M., Duplić, A., Hrašovec, B., Kalamujić, B., Marčić, Z., Milošević, D. & Mrakovčić, M., (2015): *The huchen (Hucho hucho) in the Balkan region: distribution and future impacts by hydropower development*,
- [4] Kottelat, M. & Freyhof, J.r., (2007): *Handbook of European freshwater fishes*, Publications Kottelat, Cornol, Switzerland and Berlin, Germany,
- [5] Larinier, M., (2000): *Dams, ecosystem functions and environmental restoration. Environmental Issues, Dams and Fish Migration, World Commission on Dams*, pp. 1-26.
- [6] Nicola, G.G., Elvira, B. & Almodóvar, A., (1996): *Dams and fish passage facilities in the large rivers of Spain: Effects on migratory species*, *Arch. Hydrobiol.*, 113 (SUPPL. 113), 375-379
- [7] Oliveira, A.G., Baumgartner, M.T., Gomes, L.C., Dias, R.M. & Agostinho, A.A., (2018): *Long-term effects of flow regulation by dams simplify fish functional diversity*, 63 (3), 293-305
- [8] Piria, M., Simonović, P., Zanella, D., Čaleta, M., Šprem, N., Paunović, M., Tomljanović, T., Gavrilović, A., Pecina, M., Špelić, I., Matulić, D., Rezić, A., Aničić, I., Safner, R. & Treer, T., (2019): *Long-term analysis of fish assemblage structure in the middle section of the Sava River – The impact of pollution, flood protection and dam construction*, *Science of The Total Environment*, 651 143-153
- [9] Rytwinski, T., Algera, D.A., Taylor, J.J., Smokorowski, K.E., Bennett, J.R., Harrison, P.M. & Cooke, S.J., (2017): *What are the consequences of fish entrainment and impingement associated with hydroelectric dams on fish productivity? A systematic review protocol*, *Environmental Evidence*, 6 (1), 8
- [10] Schwarz, U., (2016): *Sava White Book*, Radolfzell/Wien: EuroNatur/Riverwatch,
- [11] Van Cappellen, P. & Maavara, T., (2016): *Rivers in the Anthropocene: Global scale*

modifications of riverine nutrient fluxes by damming, *Ecohydrology & Hydrobiology*, 16 (2), 106-111

- [12] Weiss, S., Apostolou, A., Đug, S., Marčić, Z., Mušović, A., Oikonomou, A., Shumka, S., Simonović, P., Vesnić, A. & Zabrc, D., (2018): *Endangered Fish Species in Balkan Rivers: their distributions and threats from hydropower development*

AUTORI

dr. sc. Dušan Jelić, prof. biol. ^a

izv. prof. dr. sc. Eva Ocvirk, dipl. ing. građ., dipl. ing. mat. ^b

doc. dr. sc. Gordon Gilja, dipl. ing. građ. ^b

Antonija Cikojević, mag. ing. aedif. ^b

^a Hrvatski institut za biološku raznolikost, Maksimirska cesta 129/5, Zagreb, 10000, Hrvatska, jelic.dusan@gmail.com

^b Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, ocvirk@grad.hr, ggilja@grad.hr, acikojevic@grad.hr



R 2.39.

HIDRAULIČKA ANALIZA RIBLJIH STAZA DENILOVOG TIPA

Gordon Gilja, Matea Marić, Damjan Bujak, Eva Ocvirk

SAŽETAK: U ovom radu su pomoću trodimenzionalnog hidrodinamičkog modela tečenja OpenFOAM proučavane hidrauličke karakteristike Denilove riblje staze s ciljem istraživanja mogućnosti njihove primjene na vodotocima u Hrvatskoj. Kao domena hidrodinamičkog modela definiran je segment riblje staze s 10 polja, dok su promjenjive varijable bile protok i nagib riblje staze. Provedeno je 17 numeričkih simulacija u kojim su ispitivane kombinacije različitih nagiba dna riblje staze (od 10 % do 20 %) i protoka (od 0,15 m³/s do 0,40 m³/s). Trodimenzionalnim poljem tečenja u ribljoj stazi pokazano je kako se najveće brzine javljaju pri površini, dok u pridnom sloju koji ribe koriste za prolazak u većini simulacija postoji područje malih brzina. Analizama provedenim u ovom radu potvrđeno je da se riblje staze Denilovog tipa mogu koristiti i pri manjim nagibima od uobičajenih uz zadovoljenje tražene brzine tečenja.

KLJUČNE RIJEČI: riblje staze Denilovog tipa, numerički model, OpenFOAM

ANALYSIS OF HYDRAULIC FLOW CONDITIONS IN DENIL FISH PASSES

ABSTRACT: The paper presents an analysis of hydraulic characteristics of Denil fish passes using the 3D OpenFOAM numerical model in order to assess their applicability to the watercourses in Croatia. A fish pass segment with 10 baffles was defined as a domain of the hydraulic model, with discharge and fish pass slope as variables. A total of 17 numerical simulations were performed using selected combinations of varying slope (from 10% to 20%) and discharges (from 0.15m³/s to 0.40m³/s). The results for a 3D flow velocity field in the fish pass indicate that the highest velocities occur in the surface layer and the lowest in the bottom layer, which is dominantly used by migrating fish, for the majority of simulations. The analyses performed in this research confirm that Denil fish passes can be used even with gentler slopes than the conventional ones provided that the required flow velocities are maintained.

KEYWORDS: Denil fish passes, numerical model, OpenFOAM

1. UVOD

Gradnjom pragova u vodotoku narušava se prirodna uzvodna i nizvodna migracija ribljih vrsta što posljedično dovodi do smanjenja biološke raznolikosti. U Hrvatskoj postoji velik broj pragova koje je potrebno obnoviti na način da se omoguće prirodni obrasci uzdužne povezivosti vodotoka čime se omogućava režim voda dostatan za održavanje funkcionalnosti i strukture riječnih ekosustava (Hrvatske vode, 2013). Da bi se osigurala povezanost vodenih ekosustava potrebno je na pragovima izgraditi riblje staze koje omogućuju slobodan prolazak migratornih ribljih vrsta uzvodno i nizvodno kroz, oko i preko prepreka u vodotoku (Armstrong i drugi, 2010). Osnovna podjela ribljih staza je na tehničke i prirodne. Denilove riblje staze su tehničkog tipa, a izvode se u pravokutnom kanalu relativno strmog nagiba dna u koji su smještene inklinatorne pregrade u pravilnim i kratkim razmacima. Često se koriste kod gradnje ribljih staza na postojećim branama s obzirom da su to riblje staze koje podnose najstrmije nagibe. Trenutno se najviše upotrebljava modifikacija Denilovog izvornog oblikovanja u kojoj su spojene pridnene i bočne pregrade u jednu ravnu pregradu s otvorom oblika „U” (Rajaratnam i drugi, 1983), ponajviše zbog jednostavnosti i funkcionalnosti (slika 1) (Katopodis i drugi, 2012). U pravilu pregrade se postavljaju pod kutom 45° u odnosu na dno kanala (FAO, 2002).



Slika 1. Prag na vodotoku (lijevo) i Denilova riblja staza (desno); prilagođeno prema (Armstrong i drugi, 2010)

Prilikom projektiranja ribljih staza potrebno je definirati protok, brzinu i dubinu toka te povoljan smještaj ulaza i izlaza. Brzina toka jedan je od najbitnijih parametara jer mora biti dovoljno velika da na ulazu/izlazu u riblju stazu privuče ribe, ali istovremeno dovoljno mala tako da i najslabiji organizmi mogu plivanjem svladati tok vode. Maksimalna brzina toka ne smije biti premašena kako ne bi došlo do iscrpljivanja i ozljeda riba prilikom prolaska, a što se najčešće regulira dozvoljenim nagibom. Upravo nagib predstavlja jednu od glavnih prednosti Denilovih ribljih staza jer oblik pregrada omogućuje veliku disipaciju energije, stvaranje uspora u području između pregrada te propuštanje protoka koji privlači ribe i olakšava usmjeravanje riba u riblju stazu.

Prema dostupnim istraživanjima primjetno je da preporučeni nagibi dna Denilove riblje

staze znatno variraju. Jedno od prvih istraživanja na 15 fizičkih modela sugerira korištenje nagiba ne većeg od 25 % i visinsku razliku do 2 m bez odmarajućeg bazena (McLeod i drugi, 1942). Larinier za sve dotad isprobane modele Denilovih ribljih staza preporuča uzimanje najmanjih mogućih dimenzija pregrada koje su u hidrauličkom radnom rasponu te daje preporuku za korištenje nagiba od 12 % do 20 % (Larinier, 2002). Mallen-Cooper i Stuart 2007. g. istražuju način poboljšanja Denilovih ribljih staza za prolazak malih i velikih riba na modelu u stvarnom mjerilu, smještenom na brani (Mallen-Cooper i drugi, 2007). Ispitivan je standardni nagib od 20 %, srednji od 14,3 % i rijetko korišteni 8,3 % koji je bio namijenjen manjih ribama te su dokazali da Denilove riblje staze mogu biti namijenjene i malim ribama. Sličan zaključak može se izvesti na temelju monitoringa prolaska riba kroz dvije slične Denilove riblje staze smještene na istoj lokaciji na rijeci Grand, s različitim nagibom (10 % i 20 %) (Katopodis, 1992). Pokazano je da je 82,5 % riba koje su prošle preko brane koristilo riblju stazu blažeg nagiba.

Istraživanje Lariniera i Mirallesa na modelima ribljih staza u prirodnoj veličini s promjenljivim nagibom dna do 20 % pokazalo je da se najmanje brzine javljaju pri dnu i da ribe preferiraju zonu manjih brzina (Larinier i drugi, 1981). Rajaratnam i Katopodis analiziraju profil brzine pri različitim protocima za nagibe od 10 % do 31,5 %. Uočavaju da se pri malom protoku ($< 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$) javlja područje malih brzina pri dnu staze ($< 0,3 \text{ m/s}$), koje se s povećanjem protoka (do $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) postupno smanjuje te u konačnici potpuno iščezava (Rajaratnam i drugi, 1984), što ograničava visinu izvedbe Denilovih ribljih staza. Ispitivanjima na fizičkom modelu 2000. g. Kamula i Barthel (Kamula i drugi, 2000) su zaključili da je disipacija energije najveća za vrijednost odnosa širine riblje staze i širine otvora na pregradi $B/b < 2$, što potvrđuju i drugi (Krüger, 1994; Mallen-Cooper i drugi, 2007). Kut između pregrada i dna staze α je optimalan u malom rasponu vrijednosti: za $\alpha = 40^\circ$ primijećeno je da je potreban veći protok da se postigne jednaka dubina vode u ribljoj stazi, a kod $\alpha = 50^\circ$ primijećena je ujednačenija raspodjela brzine bez izraženih sporijih slojeva (Kamula i drugi, 2000).

Pregledom stanja znanja pokazano je da Denilove riblje staze mogu biti namijenjene i malim ribama, suprotno uvriježenom mišljenju da su uvjeti u njima primjereniji velikim ribama, čemu osim blažeg nagiba doprinose i manja širina pregrada i B/b omjer te kratka duljina staze.

Uzevši u obzir da je broj ribljih staza u odnosu na broj pragova na vodotocima u Hrvatskoj zanemariv, ne zna se mnogo o učinkovitosti, prednostima i manama pojedinog tipa riblje staze u uvjetima hrvatskih vodotoka i njihovih ribljih vrsta (Ocvirk i drugi, 2018). Cilj ovog rada je detaljno istraživanje uvjeta tečenja u Denilovim ribljim stazama kako bi se pokazala mogućnost njihove primjene u Hrvatskoj, a predstavlja nadogradnju istraživanja u tijeku (Marić i drugi, 2018; Ocvirk i drugi, 2017). Za istraživanje je odabran Denilov tip riblje staze iz razloga što su one, u usporedbi s vertikalnim i bazenskim ribljim stazama, otpornije na promjene razine vode, imaju veću disipaciju energije i omogućuju veći protok. Kako je brzina najvažniji parametar pri projektiranju ribljih staza, cilj istraživanja je za određenu geometriju prikazati raspodjelu brzina u njoj te na više različitih modela pokazati koji je nagib i protok Denilove riblje staze pogodniji za postizanje traženih hidrauličkih uvjeta.

2. METODOLOGIJA

U ovom radu su pomoću trodimenzionalnog hidrodinamičkog modela tečenja OpenFOAM proučavane hidrauličke karakteristike Denilove riblje staze s ciljem istraživanja mogućnosti njihove primjene za raspon nagiba i protoka. Kao domena hidrodinamičkog modela definiran je segment riblje staze s 10 polja na kojem je ispitivano polje tečenja. Donja voda i ulaz u riblju stazu su fiksirani na konstantnoj koti, dok su promjenjive varijable bile protok i nagib riblje staze. Provedeno je 17 numeričkih simulacija u kojem su ispitivane kombinacije pet različitih nagiba dna kanala (od 10 % do 20 %) i raspon protoka (od 0,15 m³/s do 0,40 m³/s) u skladu s pregledom stanja znanja (Katopodis, 1992; Larinier i drugi, 1981; Larinier, 2002), navedene u tablici 1. Geometrija modela je odabrana na temelju analize stanja područja, te je usvojena širina staze $B = 0,8$ m, širina pregrade $b = 0,44$ m, udaljenost pregrada $a = 0,53$ m te visina $h^* = 0,66$ m. Duljina modela je odabrana 6 m iz razloga što bi za veće duljine od te bilo potrebno napraviti i odmarajući bazen, omjer $B/b < 2$, te nagib pregrada $\alpha = 45^\circ$ (FAO, 2002; Kamula i drugi, 2000; Krüger, 1994; Mallen-Cooper i drugi, 2007).

Kako je brzina najvažniji parametar pri projektiranju ribljih staza, cilj istraživanja je za određenu geometriju prikazati raspodjelu brzina u njoj te prema uvjetu maksimalne brzine na više različitih modela pokazati koji je nagib i protok Denilove riblje staze pogodniji za postizanje traženih hidrauličkih uvjeta. Brzina naleta je ona brzina koju riba može podnijeti samo do 20 s i zatim joj je potrebno dugo vrijeme oporavka, a iznosi otprilike 10 do 20 duljina tijela u sekundi. Budući da Denilovu riblju stazu riba treba prijeći u jednom naletu, dobiva se prosječna brzina naleta od 2 m/s. Ta brzina uzimat će se kao ograničavajuća vrijednost i maksimalna brzina koju riba prosječne duljine može održavati, u skladu s *Priručnikom za inventarizaciju i praćenje stanja slatkovodnih riba* (Duplić, 2008), gdje se navodi zonacija rijeka pri čemu svaka od karakterističnih riba u navedenim zonama (pastrva, ljipljen, deverika) može naletom svladati brzinu od 2 m/s.

Cilj numeričkog proračuna je dobiti raspodjelu brzine kao ograničavajućeg parametra po ribljoj stazi za različite kombinacije nagiba dna i protoka te ocijeniti rezultirajuće hidrauličke uvjete u stazi. Za svaki od nagiba napravljeno je više varijanti proračuna s različitim protokom (tablica 1). Odabrana nomenklatura varijanti koje će se spominjati u daljnjem tekstu je „nagib-protok“. Kako bi se rezultati modela različitih protoka i nagiba mogli uspoređivati odabrana je konstantna razina donje vode $DV = 0,65$ m uz variranje protoka kroz riblju stazu.

Tablica 1. Program numeričkih simulacija

nagib I [%]	protok Q [m ³ /s]	GV [m]	Δh [m]	naziv varijante
10	0,20	0,67	0,57	10-0,20
10	0,22	0,71	0,66	10-0,22
10	0,31	0,85	0,80	10-0,31
10	0,36	0,91	0,86	10-0,36
10	0,40	0,96	0,91	10-0,40
12,5	0,20	0,65	0,74	12,5-0,20
12,5	0,25	0,78	0,87	12,5-0,25
12,5	0,30	0,80	0,90	12,5-0,30
15	0,20	0,60	0,85	15-0,20
15	0,24	0,67	0,91	15-0,24
15	0,28	0,72	0,97	15-0,28
15	0,40	0,84	1,24	15-0,40
17,5	0,17	0,55	0,93	17,5-0,17
17,5	0,20	0,60	0,98	17,5-0,20
20	0,15	0,52	1,05	20-0,15
20	0,17	0,56	1,09	20-0,17
20	0,22	0,63	1,16	20-0,22

2.1. Pokusi na numeričkom modelu

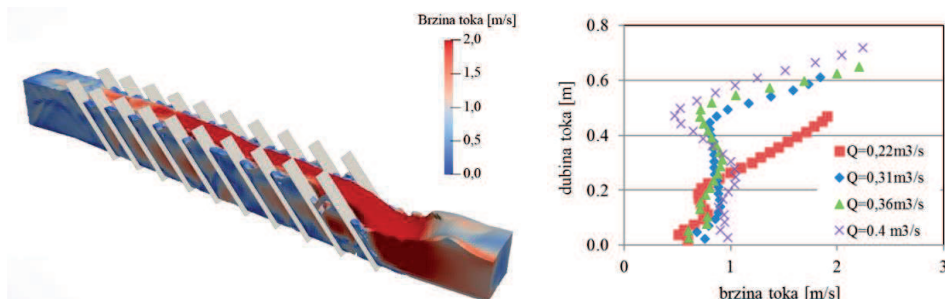
Razvojem numeričkih modela oni su postali pouzdana alternativna mjerenjima u prirodi i/ili na fizičkim modelima u laboratorijima. Numerički modeli imaju mogućnost promatranja i simulacije velikog broja ulaznih parametara što im daje veliku prednost u uvjetima ograničenog vremena i sredstava za izradu fizičkih modela. Za ovo istraživanje napravljeni su 3D modeli na kojima se u okviru OpenFOAM programa simuliralo tečenje. Neke već provedene analize osjetljivosti modela u svrhu proračuna ribljih staza su pokazala zadovoljavajuću točnost modela (Fuentes-Pérez i drugi, 2018). Dvofazni VOF (*engl.* Volume Of Fluid) interFoam model se oslanja na definiciju indikatorske funkcije. Indikator ukazuje na udio volumena vode unutar pojedine ćelije diskretizirane mreže unutar koje se vrši proračun (označena s α). Primjena indikatora temelji se na Eulerovom opisu svake tekućine (vode, zraka ili dr.) na nepokretnoj mreži i opisu vodnog lica između dvije tekućine pomoću jednadžbe transporta indikatorske funkciju. U svrhu implicitnog rješavanje vladajućih jednadžbi se koristi PIMPLE algoritam. Model interFoam se sastoji od jednadžbe kontinuiteta jednadžbe, nestacionarne Navier-Stokes jednadžbe i jednadžbe za pronos indikator funkcije. Diskretizirana mreža je uspostavljena pomoću open source alata blockMesh (formira osnovnu mrežu preko cijele domene) i snappyHexMesh (iterativno usitnjuje diskretizirane mreže na potrebnim mjestima i prilagođava oblik mreže s obzirom na veličinu otvora pregrada). S obzirom na dostupne računalne resurse i analize osjetljivosti, odlučilo se nadalje koristiti diskretiziranu mrežu s ćelijom veličine $\Delta x = 2$ cm, te u blizini pregrada ona se smanjuje na $\Delta x = 1$ cm. Na uzvodnom rubnom uvjetu se održavao fiksni protok, a na nizvodnom konstantna razina vodnog lica. Tek nakon

dostizanja stacionarnog stanja je otpočelo bilježenje vektora brzine unutar numeričkog modela na pozicijama interesa.

3. REZULTATI I RASPRAVA

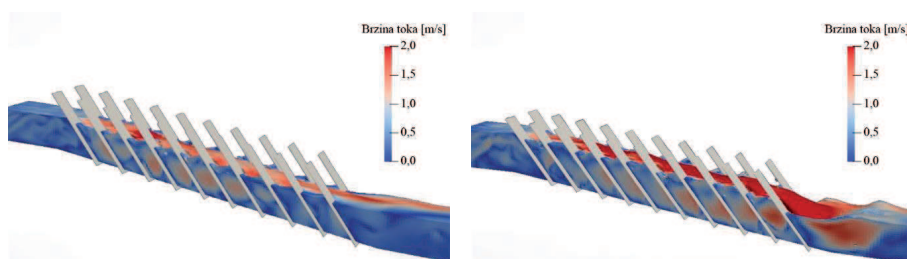
Za svaki su model rezultati dobiveni na isti način i shodno tome biti će prikazani na isti način, kao 3D polje brzine i vertikalni profil brzine u smjeru okomitom na dno riblje staze i u centru uzdužne simetrije. Odabrano je da se mjerna linija postavlja na pregradu na koju najmanje utječu uvjeti ulaza i izlaza riblje staze (Katopodis i drugi, 2012). Na nekim je varijantama modela protok bio prevelik za odabranu razinu donje vode zbog čega se javljaju prevelike brzine na ulazu u uzvodnom smjeru. Pri takvim uvjetima malih dubina i velikih brzina povoljni su uvjeti za stvaranje hidrauličkog skoka te istovremeno nepovoljni za migraciju riba, a uočeni su za varijante 10-0,36; 10-0,4; 125-0,3; 15-0,28; 175-0,17; 175-0,2; 20-0,15; 20-0,17 i 20-0,22. Sve takve varijante modela su ocijenjene neuspješnim jer su takvi hidraulički uvjeti na ulazu za ribe nepovoljni i ribe ih ne mogu svladati. Premda su ispitivani nagibi Denilovih ribljih staza u rasponu od 10 % do 20%, u rezultatima je naglasak stavljen na rezultate modela nagiba manjih od 15 % zbog njihove neizučivosti i moguće primjene u Hrvatskoj. Iz tog razloga ispitivalo se više varijanti za modele manjih nagiba.

Svaka od analiziranih varijanti nagiba 10 % zadovoljava uvjet minimalne dubine $h^* > 0,35$ m koja je potrebna ribama da mogu neometano plivati kroz stazu. U varijanti 10-0,22 postoje brzine veće od dopuštene (2 m/s), ali su one lokalizirane u površinskom sloju gdje se odvija najveći dio disipacije energije. Srednja brzina na pregradi je manja od 2 m/s što ovu varijantu Denilove riblje staze čini povoljnom, iako je najmanje dubine. Povećanjem protoka uz zadržavanje nagiba (varijanta 10-0,31) zadržavanju se slični uvjeti u pogledu raspodjele brzina manjih od 2 m/s, ali zbog povećanja dubine za 20 cm srednja brzina na pregradi je manja. Veća dubina ribama daje više prostora što im svakako olakšava prolazak i ovu varijantu čini povoljnijom s tog aspekta. Ukoliko se protok dodatno poveća, na 0,36 m³/s, uočava se da su uvjeti brzina na pregradi zadovoljavajući, no zbog velike razlike potencijala na ulazu u riblju stazu dolazi do prekoračenja dozvoljene brzine (slika 2). Na tom području brzine su veće od 2 m/s i dolazi do turbulencija što je svakako nepovoljno za ribe i želi se izbjeći. Iz navedenog razloga do istih nepovoljnih pojava i još većih brzina dolazi i kod varijante 10-0,40 s većim protokom te ona nije detaljnije analizirana. Na slici 2 (desno) može se vidjeti grafički prikaz vertikalne raspodjele brzina svih 25 točaka mjerne linije za sve protoke ispitane za nagib 10 %. Raspodjela odgovara prethodno opisanim karakterističnim raspodjelama brzina i može se potvrditi pojava najveće brzine na površini, da je područje brzina < 2 m/s veliko, a područje brzine < 1 m/s obuhvaća pridneni sloj čak 30 cm debljine. Budući da su uvjeti brzina u samoj stazi povoljni za sve ispitane protoke, prilikom praktične upotrebe ovog nagiba moguće je korištenje raspona protoka do 0,31 m³/s uz pažljiv odabir odgovarajuće razine donje vode kako ne bi dolazilo do velikih brzina na ulazu.



Slika 2. 3D polje brzine za 10-0,36 (lijevo) i vertikalni profil brzine (desno)

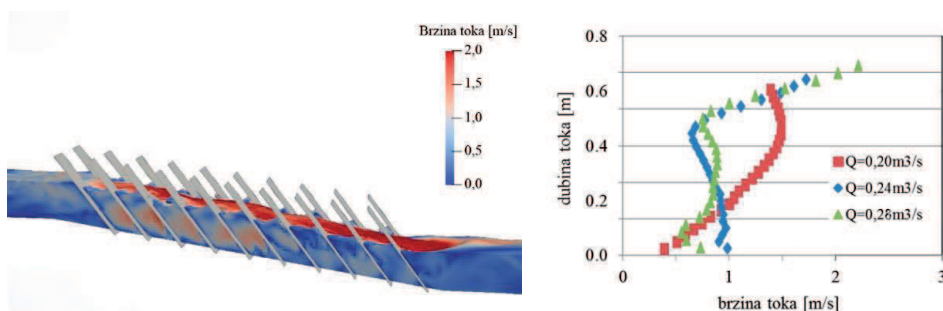
Za nagib od 12,5 % ispitani su protoci 0,20, 0,25 i 0,30 m³/s pri čemu je primjetan značajan porast brzine s protokom: gotovo 50 % koliko je i povećanje protoka. Sve varijante zadovoljavaju po kriteriju dozvoljene brzine i dubine unutar same staze, dok se na njenom ulazu za varijante 12,5-0,30 i 12,5-0,40 javljaju brzine veće od dopuštenih (slika 3). Pretpostavljena donja voda je preniska za protok veći od 0,3 m³/s, što je evidentirano izmjerenim $h^* = 0,25$ m na ulazu. Dubina manja od potrebnih 0,35 m može predstavljati problem pojedinim ribama da uđu u stazu zbog čega se ove varijante ne smatraju uspješnom. Navedeni rezultati ukazuju na potrebu analiziranja i manjeg protoka za ovakvu konfiguraciju uz povećanje razine donje vode, što predstavlja potencijalnu temu za istraživanje. Varijanta 12,5-0,20 zbog iste dubine donje i gornje vode ima najmanje brzine i najujednačeniji tok u stazi na njenom ulazu i izlazu (slika 3 lijevo), a najveće brzine se pojavljuju u površinskom sloju kao i pri nagibu 10 %.



Slika 3. 3D polje brzine za 12,5-0,20 (lijevo), 12,5-0,30 (desno)

Sve tri varijante protoka na stazi s nagibom od 15 % zadovoljavaju uvjete brzinom i dubinom u stazi, od kojih varijanta s najvećim protokom 15-0,28 ne zadovoljava kriterij brzine na ulazu. Za nagibe strmije od 15 % (17,5 % i 20 %) je uočeno je da dubina vode h^* poprima granične vrijednosti od 0,35 m. Kada se eliminira površinski sloj s najvećom brzinom dubina sloja s brzinom manjim od 2 m/s postaje manjom od 0,35 m što ne zadovoljava uvjete za uspješan prolazak riba. Za velike nagibe poput 20 % potreban je puno veći protok kako bi dubina u stazi bila veća i viša razina donje vode kako ne bi dolazilo do burnog tečenja i hidrauličkog skoka nizvodno. Karakterističan oblik vertikalnog profila brzina na pregradi uvelike ovisi o dubini toka. Iz vertikalnog

profila brzine (slika 4 desno) je vidljivo da on pri većim protocima ne prati logaritamski profil već dolazi do naglog ubrzanja u površinskom sloju. Zona površinskog sloja na ovaj način postaje neupotrebljiva za migraciju te ovaj tip riblje staze postaje nepovoljan pri relativno malom odstupanju od projektnog protoka, što ograničava njegovu primjenu.



Slika 4. 3D polje brzine za 15-0,24 (lijevo) i vertikalni profil brzine (desno)

Ovim istraživanjem se nastojao obuhvatiti raspon protoka i padova u skladu literaturom kako bi rezultati bili usporedivi te je fokus postavljen na manjim padovima prikladnim za vodotoke s malim i kratkim pragovima. Trodimenzionalnim poljem tečenja u ribljem stazi pokazano je kako se najveća brzina javlja u površinskom sloju za sve varijante, dok u pridnenom sloju koji ribe koriste za prolazak u većini simulacija postoji područje malih brzina. Iz rezultata je izdvojen karakteristični profil brzine po dubini na mjestu pregrade u ribljem stazi gdje se javljaju najveće brzine te su oni uspoređeni za svaku varijantu za koju je provedena numerička simulacija. Debljina pridnenog sloja s manjim brzinama ovisi o ukupnoj dubini vode u ribljem stazi uvjetovanoj protokom, nagibom dna i lokalnim gubitcima. Karakteristične brzine i pripadne dubine toka mogu se koristiti kao smjernice pri primjeni pojedine varijante na pragovima u sklopu revitalizacije hrvatskih vodotoka.

ZAKLJUČAK

Denilove riblje staze mogu svladati najveće nagibe dna kanala među tehničkim vrstama ribljih staza, kao i propustiti usporedivo najveći protok. Međutim, analizama provedenim u ovom radu pokazano je da se Denilove riblje staze mogu koristiti i pri manjim nagibima pri čemu zadržavaju funkcionalnost te primjenu za manje ribe i ribe slabih plivačkih sposobnosti. Neke od ispitanih varijanti geometrije i rubnih uvjeta su zadovoljile kriterije brzine i dubine na pregradi, pri čemu se istovremeno dubina i/ili brzina na ulazu u riblju stazu pokazala ograničavajućom. Iz navedenog razloga potrebno je prilikom projektiranja ovakvih hidrotehničkih građevina koristiti trodimenzionalne numeričke modele u svrhu ostvarivanja funkcionalnosti riblje staze pri oscilaciji vodnog režima te optimizacije geometrije predloženog rješenja.

ZAHVALA

Autori žele zahvaliti Hrvatskim vodama za financijsku potporu istraživanju prikazanom u ovom radu kroz projekt „Planiranje i projektiranje ribljih staza“.

LITERATURA

- [1] Armstrong, G.S., Aprahamian, M.W., Fewings, G.A., Gough, P.J., Reader, N.A. & Varallo, P.V., (2010): *Environment Agency Fish Pass Manual: Guidance Notes On The Legislation, Selection and Approval Of Fish Passes In England And Wales*, Almondsbury, Bristol, United Kingdom
- [2] Duplić, A., (2008): *Slatkovodne ribe - Priručnik za inventarizaciju i praćenje stanja*, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, Hrvatska
- [3] FAO, (2002): *Fish passes – Design, dimensions and monitoring*, Rome, Italy
- [4] Fuentes-Pérez, J.F., Silva, A.T., Tuhtan, J.A., García-Vega, A., Carbonell-Baeza, R., Musall, M. & Kruusmaa, M., (2018): *3D modelling of non-uniform and turbulent flow in vertical slot fishways*, *Environmental Modelling & Software*, Environmental Modelling and Software, 99 156-169
- [5] Hrvatske vode, (2013): *Vodič za izradu Planova revitalizacije vodotoka u Hrvatskoj*, Zagreb, Croatia
- [6] Kamula, R. & Barthel, J., (2000): *Effects of modifications on the hydraulics of Denil fishways*, *Boreal environment research*, 5 67-79
- [7] Katopodis, C., (1992): *Introduction to fishway design*, Winnipeg, Manitoba, Canada
- [8] Katopodis, C. & Williams, J.G., (2012): *The development of fish passage research in a historical context*, *Ecological Engineering*, 48 8-18
- [9] Krüger, F., (1994): *Denil-Fischpässe*, *Wasserwirtschaft/Wassertechnik*, 3 24-32
- [10] Larinier, M. & Miralles, A., (1981): *The hydraulic characteristics of baffle-equipped fishways* Canada Institute for Scientific and Technical Information National Research Council Ottawa, Ontario, Canada K1A 0S2, Castanet Tolosan CE-DEX, France
- [11] Larinier, M., (2002): *Baffle fishways*, 83-101
- [12] Mallen-Cooper, M. & Stuart, I.G., (2007): *Optimising Denil fishways for passage of small and large fishes*, *Fisheries Management and Ecology*, 14 61-71
- [13] Marić, M., Ocvirk, E., Gilja, G. & Bujak, D., (2018): *Analysis of hydraulic flow conditions in Denil fish passes*, 10th Eastern European Young Water Professionals Conference - New Technologies in Water Sector (M. Feierabend, O. Novytska, D. Vouk & M. Šabić), University of Zagreb, 75-76
- [14] McLeod, A.M. & Nemenyi, P., (1942): *An Investigation of Fishways*, Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa, USA
- [15] Ocvirk, E., Gilja, G. & Bujak, D., (2017): *Pool fishway hydraulic analysis*, 15th International Symposium Water Management and Hydraulics Engineering (D. Bekić, D. Carević & D. Vouk), Faculty of Civil Engineering Zagreb, Croatia, University of Zagreb, 184-192
- [16] Ocvirk, E. & Gilja, G., (2018): *Planiranje i projektiranje ribljih staza*, Građevinski fakultet Zagreb, Zagreb, Croatia

- [17] Rajaratnam, N. & Katapodis, C., (1983): *A Review and Laboratory Study of the Hydraulics of Denil Fishways*, Canada Department of Fisheries and Oceans Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences,
- [18] Rajaratnam, N. & Katopodis, C., (1984): *Hydraulics of Denil Fishways*, 110 (9), 1219-1233

AUTORI

doc. dr. sc. Gordon Gilja, dipl. ing. građ. ^a

Matea Marić, mag. ing. aedif. ^b

Damjan Bujak, mag. ing. aedif. ^c

izv. prof. dr. sc. Eva Ocvirk, dipl. ing. građ., dipl. ing. mat. ^d

^a Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, ggilja@grad.hr

^b Hidroplan d.o.o., Horvaćanska 17a, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, maric.matea195@gmail.com

^c Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, dbujak@grad.hr

^d Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, ocvirk@grad.hr



R 2.40.

PRIMJENA BIM PRISTUPA KOD UPRAVLJANJA MOSTOVIMA NA RIJEKAMA

Tin Kulić, Damir Bekić, Hrvoje Šolman, Nikola Meheš

SAŽETAK: Jedan od važnijih aspekata BIM pristupa je prikupljanje i oblikovanje informacija o izgrađenom okolišu (eng. *built environment*) kroz sve faze građevinskog projekta, sa naglaskom na fazu gospodarenja građevinskim objektima. BIM pristup je primjenjiv na različitim poljima inženjerstva te u svim fazama projekta, od planiranja i gradnje do upravljanja i održavanja objekata. Unutar BRIDGE SMS, Marie Curie FP7 projekta, primijenjen je BIM pristup i parametarsko modeliranje posredstvom vizualnog programiranja za učinkovitije upravljanje i održavanje niza mostova na prometnoj mreži. Jedan od glavnih rezultata BRIDGE SMS projekta je inovativni sustav za učinkovito gospodarenje mostovima, a obuhvaća preglede i monitoring mostova te sustav za rano uzbunjivanje od poplave i sustav za potporu pri odlučivanju kod upravljanja mostovima. U radu se prikazuje primjena vizualnog programiranja kod definiranja BIM modela konstrukcije mosta i riječnog korita oko mosta u slučaju niza različitih mostova na prometnoj mreži. Vizualnim programiranjem se u vrlo kratkom periodu definiraju BIM model konstrukcije mosta i BIM model riječnog korita temeljem sirovih podataka o geometriji i materijalima konstrukcije i riječnog korita kao i iz podataka s pregleda mosta. Parametarskim modeliranjem automatizirano je i dobivanje poprečnih i uzdužnih presjeka mosta i okolnog riječnog korita. Korištenjem ARCHIBUS platforme omogućen je, uz grafički prikaz konstrukcije mosta, prikaz informacija o komponentama mosta te okolnom riječnom koritu (materijal, uzdužni pad na lokaciji mosta, itd.), a sve unutar jednog korisničkog prozora. Pristup BIM modelu kroz web korisničko sučelje predstavlja jedinstven alat koji stoji na raspolaganju inženjerima i upraviteljima mostova. Ovaj alat, uz realističan prikaz mosta i korita, na jednostavan način daje uvid u informacije vezane uz geometriju, materijale i preglede mosta te praćenje promjene stanja konstrukcije i riječnog korita oko mosta kao i praćenje predloženih radova održavanja.

KLJUČNE RIJEČI: BIM model, vizualno programiranje, upravljanje mostovima, erozija oko mostova

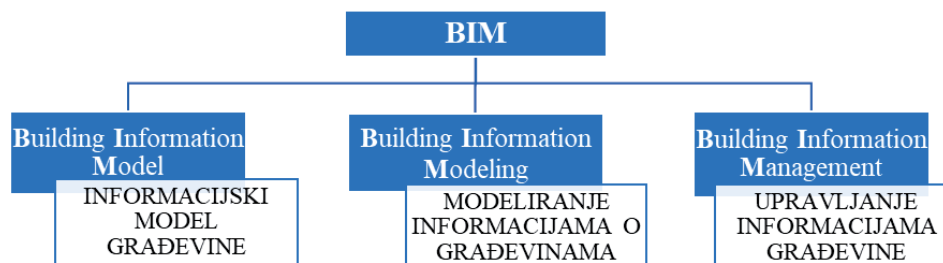
APPLICATION OF THE BIM APPROACH IN THE MANAGEMENT OF RIVER BRIDGES

ABSTRACT: One of the main aspects of the BIM approach is built environment data collection and processing through all project phases, with a focus on the management phase. The BIM approach is applicable in various engineering areas and in all project phases, from planning and upbuilding to management and maintenance of a facility. As part of the BRIDGE SMS, the Marie Curie FP7 project, the BIM approach and parameterized modelling by applying visual programming tools have been implemented for a more effective management and maintenance of a series of bridges on the traffic network. One of the main results of the BRIDGE SMS project is an innovative system for efficient bridge management that includes bridge inspections and monitoring as well as the early flood warning system and decision support system for bridge management. This paper presents the application of visual programming in generating the BIM model of the bridge structure and riverbed for different types of bridges on the traffic network. Visual programming enables generating the BIM model of the bridge structure and the BIM model of the riverbed in a very short-term period. Inputs for the process of visual programming are raw data gathered from information about geometry, materials and inspections of bridge structure and riverbed. Furthermore, parameterised modelling applied through visual programming enables automatic generation of cross and longitudinal bridge and riverbed sections. All information about bridge inspections, geometry, materials and BIM models are assembled on the ARCHIBUS web-based platform. This platform allows its users to view and manipulate all necessary information in a single user interface. The access to BIM model through the web-based user interface is a rather unique tool available to engineers and bridge asset managers. Besides realistic bridge and riverbed representation, this tool provides an easy overview of information about geometry, materials and inspections of bridges and riverbeds as well as tracking of changes in the status of the bridge structure and riverbed, including the monitoring of proposed maintenance works.

KEYWORDS: BIM model, visual programming, bridge management, bridge scour

1. UVOD

BIM pristup jedna je od aktualnijih tema u građevinarstvu kako na svjetskoj razini tako i u Hrvatskoj. Iako je BIM pristup najzastupljeniji u građevinarstvu, proširuje se i na ostala područja inženjerstva (Mancini i dr., 2017). Temeljna svrha primjene BIM-a jest obuhvaćanje svih faza projekta, od planiranja i izrade projektne dokumentacije, preko izvedbe do održavanja i upravljanja objektima. BIM pristup također omogućava povezivanje različitih inženjerskih struka uključenih u projekt: građevinarstvo, arhitektura, elektrotehnika, strojarstvo, itd. Konačni cilj primjene BIM pristupa je izrada kvalitetnijeg projekta kroz praćenje cjelokupnog životnog ciklusa razvoja građevine uz povezivanje različitih inženjerskih struka. Sama kratica BIM ima više značenja što je prikazano grafički (Slika 1).



Slika 1. Značenja pojma BIM (Jurčević i dr., 2017)

Proces razvoja BIM-a može se opisati s četiri razvojne razine (Jurčević i dr., 2017.) i to BIM razvojne razine 0, 1, 2 i 3. BIM razvojna razina 0 podrazumijeva izradu projektne dokumentacije u 2D obliku pri čemu se komunikacija među suradnicima na projektu ostvaruje pismeno ili elektroničkim putem. Nadalje, razina 1 predstavlja kombinaciju 3D modela za koncepciju rada i 2D za izradu projektne dokumentacije, a komunikacija među suradnicima ostvaruje se elektroničkim putem. U sklopu BIM razine 2 provodi se BIM suradnja pri čemu suradnici na projektu koriste vlastite modele, a međusobno komuniciraju preko zajedničkog formata datoteke. Ovaj format treba biti takav da ga svaki pojedini suradnik može koristiti te kombinirati sa svojim modelom, a neki od češćih su IFC (eng. *Industry Foundation Class*) ili COBie (eng. *Construction Operations Building Information Exchange*) formati. Posljednja jest BIM razvojna razina 3 u kojoj bi se suradnja svih struka na projektu ostvarila kroz pristup i uređivanje zajedničkog modela na centralnom repozitoriju.

Ako promotrimo globalnu rasprostranjenost BIM-a, valja spomenuti nekoliko primjera koje navodi Lorek (2018.). Tako se za Ujedinjeno Kraljevstvo smatra da će u narednih nekoliko godina postati vodećom zemljom po pitanju implementacije BIM pristupa u Europi. Zakonska regulativa UK-a nalaže primjenu BIM razvojne razine 2 u svim projektima koji prolaze središnju javnu nabavu. Nadalje, primjer UK-a slijede i države poput Francuske, Njemačke te skandinavskih zemalja. U slučajevima ovih zemalja BIM je djelomice uvršten u zakonske okvire, a većinom je naglasak na izradi određenih uputa za primjenu te promoviranje primjene BIM-a u projektiranju.

Na prostoru Republike Hrvatske i susjednih zemalja, BIM najčešću primjenu također pronalazi na području zgradarstva. Što se polja hidrotehnike tiče, BIM pristup primijenjen je u projektiranju hidroelektrana (Orel i Dragović, 2016.), vodosprema (Vukušić, 2018.), sustava hidro-instalacija (Kundija, 2018.), itd.

U radu se prikazuje primjena BIM-a u sustavu upravljanja i održavanja mostovima koji je razvijen unutar BRIDGE SMS, Marie Curie FP7 projekta¹. Jedan od glavnih rezultata BRIDGE SMS projekta je inovativni sustav za učinkovito gospodarenje mostovima, a obuhvaća preglede i monitoring mostova te sustave za rano uzbunjivanje od poplave i za potporu pri odlučivanju kod upravljanja mostovima. BIM model mosta i BIM model riječnog korita generiraju se na temelju informacija o geometriji, materijalima pojedinih komponenti te informacija s pregleda mosta i riječnog korita. BIM model mosta izrađen je

¹ BRIDGE SMS projekt link: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/192577/factsheet/en> (pristupljeno: 11.3.2019.)

za određene klase mostova pri čemu se misli na klasifikaciju s obzirom na vrstu rasponske konstrukcije mosta. Ovisno o klasi mosta, mijenjaju se komponente mosta, tj. dijelovi koji čine samu konstrukciju. Važno je napomenuti da BIM model mosta, prezentiran u radu, ne čine sve komponente gornjeg i donjeg ustroja mosta, stoga se može reći da je ovaj model shematski. Naime, uslijed nedostatka informacija potrebnih za modeliranje, modelom nisu prikazane komponente kao što su ležajevi, prijelazne naprave, sustav za odvodnju te ostale instalacije na mostu. Komponente gornjeg ustroja, koje ovaj model obuhvaća, su rasponska konstrukcija, kolnička konstrukcija, pješačke staze, te parapeti. Što se donjeg ustroja tiče, prikazuju se stupovi, upornjaci te krila upornjaka. Detaljniji prikaz komponenti uključenih u prikaz pojedine klase mostova dat će se u poglavlju 2 Metodologija, a u narednoj su tablici navedene klase s pripadajućim podklasama mostova za koje je omogućeno generiranje 3D shematskog modela.

Tablica 1. Klase i podklase mostova

Klasa mosta	Podklasa
Propust (eng. <i>Culvert</i>)	Cijevni s 1 ili više cijevi (eng. <i>Pipe culvert</i>)
	Pločasti s 1 ili više otvora (eng. <i>Box culvert</i>)
Lučni (eng. <i>Arch</i>)	Kameni (eng. <i>Masonry arch</i>)
Gredni (eng. <i>Beam</i>)	Masivni pločasti (eng. <i>Slab</i>)
	Gredni sustav s 1 ili više greda, puni poprečni presjek (eng. <i>Slab/girder 1 or more girders</i>)
	Gredni sustav s 1 ili više greda, sandučasti poprečni presjek (eng. <i>Box beam 1 or more beams</i>)
	Spregnuta rasponska konstrukcija (eng. <i>Slab, integrated rolled beam girders</i>)

BIM model riječnog korita obuhvaća prikaz batimetrije oko konstrukcije mosta. Veličina mreže, odnosno broj točaka mreže batimetrije ovisi o duljini pojedinog otvora mosta te širini rijeke. Osim toga, svaka točka mreže ima odgovarajuću oznaku s obzirom na svoju lokaciju. Detaljniji opis BIM modela riječnog korita dat će se u poglavlju 2 Metodologija. Pomoću inženjerskih alata, koji služe kao podrška pri izradi BIM modela (Autodesk Revit, Dynamo, ARCHIBUS), izrađeni su 3D shematski prikazi određenih klasa mosta i riječnog korita kojima su pridružene informacije o pojedinoj komponenti modela.

2. METODOLOGIJA

Za potrebe izrade shematskog 3D modela mosta i riječnog korita korišteni su sljedeći alati:

- ARCHIBUS – alat koji koristi najnovija dostignuća u značajkama i funkcionalnostima kako bi pojednostavio rad, bez dodavanja tehničke složenosti, automatiziranjem toka informacija od faza projektiranja i izgradnje građevina do potpunog upravljanja životnim ciklusom imovine (Šolman i dr., 2018.),
- Autodesk Revit 2017 (dalje u tekstu: Revit) – Autodesk-ov BIM softver koji omogućava multidisciplinarni pristup pri projektiranju pri čemu sadrži elemente vezane za projektiranje objekata raznih tehničkih struka (građevinarstvo, arhitektura, strojarstvo,

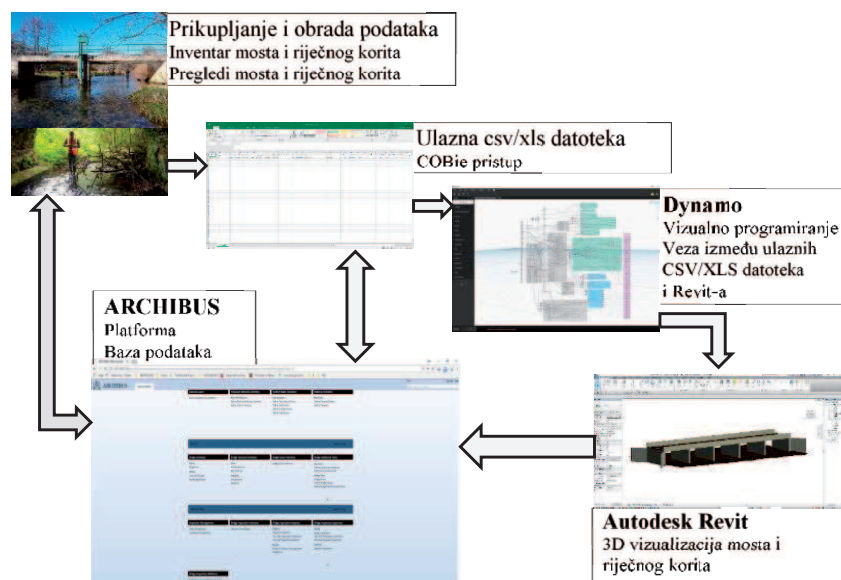
elektrotehnika, itd.),

- Dynamo 1.3.2 – softver otvorenog koda za vizualno programiranje koji je, u ovom slučaju, korišten za povezivanje ulaznih datoteka u csv ili xls formatu s Revit-om,
- Microsoft Excel – dio programskog paketa Microsoft Office koji se koristi za tablično računanje i obradu podataka.

Proces generiranja BIM modela mosta i korita može se opisati kroz sljedeća 4 koraka:

1. Generiranje ulazne csv/xls datoteke s podacima o geometriji i materijalima komponenti mostu i korita te podacima iz pregleda mosta i riječnog korita,
1. Vizualno programiranje u Dynamo-u
 - a. Uvoz ulazne csv/xls datoteke i obrada podataka koje datoteka sadrži;
 - b. Izrada geometrije mosta s pridruživanjem materijala pojedinoj komponenti mosta – definiranje BIM modela mosta;
 - c. Izrada batimetrije riječnog korita oko mosta – definiranje BIM modela korita;
 - d. Definiranje poprečnih i uzdužnih presjeka modela mosta i korita;
 - e. Izvoz modela u Revit,
3. Pregled 3D shematskog modela mosta i korita u Revit-u te uvid u poprečne i uzdužne presjeke,
4. Povezivanje Revit-a s ARCHIBUS web-platfomom te izvoz modela na platformu. Na platformi će se omogućiti funkcionalnost da se, klikom na pojedinu komponentu modela, dobiju informacije o geometriji, materijalima, ocjeni stanja te radovima održavanja i rekonstrukcije promatrane komponente.

Prethodno opisani proces dobivanja BIM modela mosta i korita, od pregleda do prikaza i manipuliranja na web-platfomi, dan je grafički u nastavku (Slika 2).



Slika 2. Proces izrade modela mosta i riječnog korita i komunikacija s ARCHIBUS web-platfomom





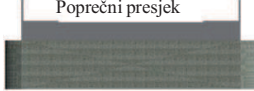


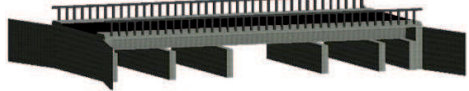
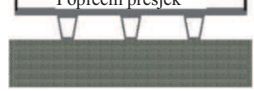


2.1 BIM model mosta

Kako je u uvodnom poglavlju navedeno, BIM model mosta dat će se za određene klase i podklase mostova (Tablica 1), a dobiven je na temelju podataka o geometriji, materijalima te ocjeni stanja komponenti mosta. Srž procesa izrade modela mosta upravo je vizualno programiranje u Dynamo-u, a komponente mosta koje su uključene u prikaz pojedine podklase modela mosta su:

- Gornji ustroj – rasponska konstrukcija (gredni sustav, ploča, kružni svod), kolnička konstrukcija, pješačke staze, parapeti;
- Donji ustroj – upornjaci, krila upornjaka, stupovi.

U nastavku će se za prethodno spomenute klase i podklase mostova prikazati odgovarajući 3D shematski modeli (Tablica 2).

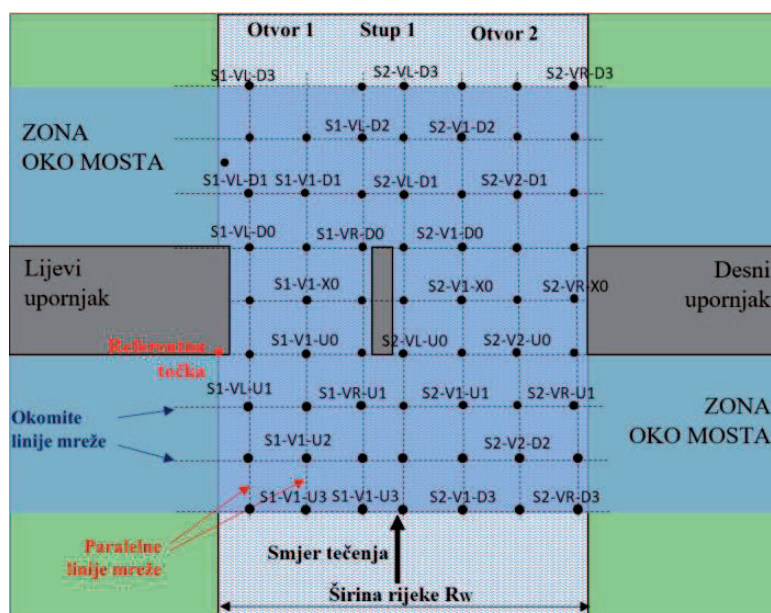
Tablica 2. Shematski modeli za klase i podklase mostova (Revit)

Klasa – podklasa	3D shematski model (Revit)	
Propust – cijevni s 1 ili više otvora		
Propust – pločasti s 1 ili više otvora		
Lučni – kameni		
Gredni – masivni pločasti		 Poprečni presjek
Gredni – gredni sustav s 1 ili više greda, puni poprečni presjek		 Poprečni presjek
Gredni – gredni sustav s 1 ili više greda, sandučasti poprečni presjek		 Poprečni presjek
Gredni – spregnuta rasponska konstrukcija		 Poprečni presjek

Model generiran u Revit-u dalje je povezan s ARCHIBUS platformom. U proceduri povezivanja mapiraju se komponente mosta sa elementima iz baze podataka. Nakon izvršene procedure generiraju se datoteke koje je moguće prikazati te imati interakciju s njima preko ARCHIBUS platforme u web pretraživačima.

2.2 BIM model riječnog korita

Prilikom pregleda mosta i korita potrebno je snimiti batimetriju korita prema predefiniranoj mreži točaka na kojima je potrebno uzeti visinsku kotu. Ovaj se dio pregleda riječnog korita odrađuje kada to uvjeti tečenja na promatranom vodotokom dopuštaju (nizak vodostaj i male brzine tečenja). Broj linija mreže, gledano u smjeru okomitom na smjer tečenja, mijenja se ovisno o širini rijeke dok broj linija paralelan sa smjerom tečenja ovisi o širini pojedinog otvora mosta. Točke mreže dobivene su na sjecištima okomitih i paralelnih linija mreže, a svaka pojedina točka ima svoju oznaku ovisno o njezinoj poziciji na mreži. U nastavku će se dati primjer jedne takve mreže za most s dva otvora pri čemu je prvi otvor veći od drugog pa, sukladno tome, ima i veći broj paralelnih linija (Slika 3).



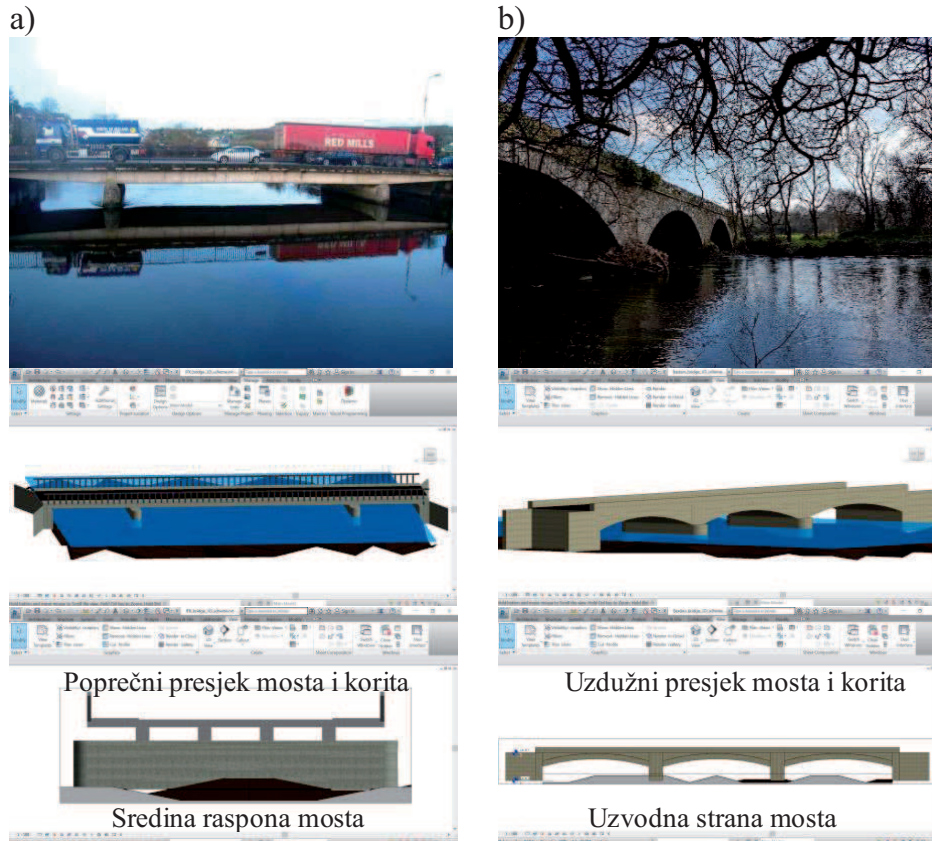
Slika 3. Prikaz mreže točaka za definiranje batimetrije korita na lokaciji mosta

Na temelju prethodno prikazane mreže, generira se BIM model riječnog korita. Također je potrebno spomenuti da postupak vizualnog programiranja u Dynamo-u predstavlja ključnu kariku u procesu generiranja modela.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Ulazni podaci potrebni za izradu modela korišteni su iz podataka o 10 mostova na području slivova rijeka Bandon i Ilen (županija Cork, Irska). U nastavku će se na dva primjera prikazati usporedba shematskog 3D modela mosta i riječnog korita sa stvarnim izgledom konstrukcije i korita. Prvi se primjer odnosi na cestovni most preko rijeke Ilen s tri otvora čiju rasponsku konstrukciju čini gredni sustav s više greda punog poprečnog presjeka (Slika 4a). Drugi primjer jest Baxter's most preko rijeke Bandon. U ovom se

slučaju radi o cestovnom kamenom lučnom mostu s tri otvora (Slika 4b). Primjeri su dani u nastavku.



Slika 4. a) JFK most preko rijeke Ilen, b) Baxter's most preko rijeke Bandon

Kao što se na modelima ovih dvaju mostova vidi (Slika 4), postoje određeni nedostaci što se tiče detaljnosti modela mosta i korita. Ipak, naglasak u ovom radu jest na shematskom prikazu pri čemu je fokus na prikazu oblika i materijala lako uočljivih komponenata gornjeg (kolnička konstrukcija, pješačke staze, parapet) i donjeg ustroja (upornjaci, krila upornjaka, stupovi). Što se pak riječnog korita tiče, dana je batimetrija po uzoru na prethodno prikazanu mrežu (Slika 3) te je otprilike prikazana srednja razina vode na lokaciji mosta. Kako bi primjena BIM-a bila sveobuhvatna, generirani će se mostovi prikazati i na web-platформи na kojoj je moguće dobiti uvid u informacije o pojedinoj komponenti mosta i korita.

Što se daljnjeg razvoja ovog alata tiče, cilj je uspostaviti potpunu automatizaciju procesa (Slika 2) unutar ARCHIBUS web-platforme. Dakle, cilj jest automatizirati proces od uvoza i obrade ulazne datoteke sa sirovim podacima o mostu i koritu preko generiranja 3D shematskog modela do prikaza i manipuliranja modelom i informacijama na web-

platformi. U konačnici, ovo će značiti da će biti omogućeno manipuliranje 3D shematskim modelom mosta i riječnog korita dobivenog na temelju sirovih podataka o geometriji, materijalu i ocjeni stanja pojedinih komponenata mosta i korita.

ZAKLJUČAK

Ovim radom su, dakle, obuhvaćena sva tri značenja BIM pristupa (Slika 1) pri čemu je BIM pristup primijenjen u fazi upravljanja i održavanja mostovima. Predstavljeni alat bio bi od koristi institucijama i pravnim tijelima nadležnim za upravljanje infrastrukturnim objektima. Na jednom bi se mjestu dobio sveobuhvatan uvid u stanje mosta i korita, od realističnog prikaza do informacija o aktivnostima koje je potrebno poduzeti s aproksimacijom troškova koje te aktivnosti povlače. Osim informacija o konstrukciji mosta, jedna od značajnijih koristi ovog alata upravo je praćenje stanja erozije u vremenu na lokaciji mosta. Ovo je upravo omogućeno prikazom poprečnih i uzdužnih presjeka mosta i korita gdje će se moći vidjeti dolazi li do degradacije ili pak do zasipavanja korita. Na temelju ovih informacija dobit će se uvid u kritične točke na kojima bi moglo doći do narušavanja stabilnosti korita što dalje može utjecati i na stabilnost same konstrukcije mosta.

U ovom je radu prikazan samo jedan od niza primjera BIM pristupa čime je pokazano kakve se sve mogućnosti nude te kolika je širina primjene BIM-a u projektima tehničke struke. Također, može se uzeti i primjer riječnih nasipa gdje bi od izuzetne koristi bilo primijeniti BIM na projektiranje, ali i na sustav upravljanja i održavanja nasipa. Upravo BIM pristup podrazumijeva praćenje projekta kroz njegov čitav životni ciklus. Ovaj rad, kao i navedeni primjeri, mogu poslužiti kao motivacija za daljnju primjenu BIM pristupa i na područje hidrotehnike.

LITERATURA

- [1] Jurčević, M., Pavlović, M., Šolman, H. (2017.): *Opće smjernice za BIM pristup u graditeljstvu*, Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Zagreb
- [2] Kundija, D. (2018.): *BIM u projektiranju vodovoda i odvodnje*, BIM Hrvatska (<https://bim-hrvatska.hr/bim-u-projektiranju-vodovoda-i-odvodnje/>, pristupljeno: 11.3.2019.)
- [3] Lorek, S. (2018.): *Global BIM Standards: Is Your Country Next?*, Constructible (<https://constructible.trimble.com/construction-industry/global-bim-standards-is-your-country-next>, pristupljeno: 8.3.2019.)
- [4] Mancini, M, Wang, X, Skitmore, M, Issa, R. (2017.): *Editorial for IJPM special issue on advances in building information modeling (BIM) for construction projects*, International Journal of Project Management, 35/4, str. 656-657 (<https://eprints.qut.edu.au/115633/>, pristupljeno: 8.3.2019.)
- [5] Orel, B., Dragović, P. (2016.): *Uporaba BIM orodij pri projektiranju HE Brežice*, 16. POSVETOVANJE SLOCOLD, HE Brežice in drugi aktualni projekti v zvezi s pregradami, str. 37-43, SLOCOLD – Slovenski nacionalni komite za velike pregrade, Ljubljana

- [6] Šolman, H., Meheš, N., Jeleković, S., McKeogh, E., Bekić, D., Pakrashi, V., Kerin, I., Cahill, P., Michalis, P., Kulić, T. (2018.): *D4.2. BRIDGE SMS Knowledge Database*, Intelligent Bridge Assessment Maintenance and Management System (BRIDGE SMS), Cork
- [7] Vukušić, N. (2018.): *Studija slučaja – BIM projekt manje vodospreme*, BIM Hrvatska (<https://bim-hrvatska.hr/studija-slucaja-bim-projekt-manje-vodospreme/>, pristupljeno: 11.3.2019.)

AUTORI

Tin Kulić, mag.ing.aedif. ^a

doc.dr.sc. Damir Bekić, dipl.ing.građ. ^a

Hrvoje Šolman, dipl.ing.građ. ^a

Nikola Meheš, bacc.ing.comp. ^a

^a Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, tkulic@grad.hr, damir.bekic@grad.hr

^b Arctis d.o.o., Pavlinovićeve 6, Zagreb, Hrvatska, hrvoje.solman@arctis.hr, nikola.mehes@arctis.hr



R 2.41.

DJELOVANJE PLIMNIH OSCILACIJA NA CIRKULACIJU KROZ PROPUSTE

Damjan Bujak, Dalibor Carević, Goran Lončar

SAŽETAK: Održavanjem odgovarajuće izmjene morske vode između zaštićenog akvatorija i okolnih priobalnih voda ili redukcijom očekivanih izvora onečišćenja, nepovoljne posljedice na kakvoću vode unutar akvatorija mogu se izbjeći. Unutar područja malih plimnih amplituda je uobičajeno koristiti propuste (cijevne ili pravokutne otvore u tijelu lukobrana) kako bi se izmjena morske vode pospješila. Terenskim mjerenjima u ACI marini Opatija pokazalo se kako su plimne oscilacije amplitude 0,3 – 0,4 m i dalje dominantni dugoročni generator cirkulacije morske vode kroz propuste ugrađene u lukobran. Numeričkim modeliranjem se pokazalo kako je moguće povećati sveukupnu protočnost grupe propusta u odnosu na niz međusobno odvojenih propusta. Slijeganje sekcije propusta može značajno reducirati protočnost propusta, naročito u slučaju potpuno uronjenog propusta u iznosu od 31 % naspram propusta u hidraulički besprijekornom stanju.

KLJUČNE RIJEČI: priobalne vode, terenska mjerenja, numeričko modeliranje, izmjena mora, lukobran

IMPACT OF TIDAL OSCILLATIONS ON THE CIRCULATION THROUGH FLUSHING CULVERTS

ABSTRACT: By maintaining adequate seawater exchange between a semi-enclosed basin and the surrounding coastal waters or by reducing the extent of expected sources of pollution, adverse effects on water quality in the underwater environment can be avoided. Within areas where tidal amplitudes are low, it is common to use flushing culverts (circular or rectangular openings embedded in the breakwater body) to improve seawater renewal. Field measurements in the ACI Marina Opatija showed that tidal oscillations of 0.3 - 0.4 m amplitude are still the dominant long-term seawater circulation generator through flushing culverts embedded in the breakwater. Numerical modelling has shown that it is possible to increase the overall flow rate of a culvert group as opposed to a series of mutually separate culverts. The settlement of a culvert section can significantly reduce flow capacity, particularly in case of completely submerged culverts, even by 31 % compared to the flow rate in a hydraulically faultless culvert.

KEYWORDS: coastal waters, field measurements, numerical modelling, water renewal, breakwater

1. UVOD

Poluzatvoreni akvatoriji u blizini naseljenih područja duž obale su pod visokim antropogenim utjecajem, zbog čega je kakvoća vode u degradirana (Di Franco i drugi, 2011). Narušena kakvoća mora može rezultirati smanjenom koncentracijom kisika i reprodukcijom algi na morskoj površini, što može ugroziti ekosustav. Degradacija kakvoće mora unutar poluzatvorenih akvatorija moguće je izbjeći održavanjem zadovoljavajuće izmjene vode ili umanjnjem učinka izvora onečišćenja (Schwartz i Imberger, 1988). Izmjenu vode unutar poluzatvorenih akvatorija ostvaruju prirodni utjecaji poput plimnih oscilacija, vjetar, valovi, morske struje, slatkovodni izvori i dr. Shvaćanje mehanizama izmjene vode omogućuje efikasno uklanjanje nepoželjne supstance iz poluzatvorenog akvatorija (Fischer i drugi, 1979).

Prethodna istraživanja prikazuju mnoge teorijske i empirijske obrasce za izračun sposobnosti izmjene vode, bazirane na hidrodinamičkim ili morfološkim značajkama pojedinog poluzatvorenog akvatorija. Glavnina obrazaca za određivanje izmjene vode pretpostavlja da su plimne oscilacije dominantni generator izmjene vode (Nece i Asce, 1984; Sanford i drugi, 1992). Forma luke, širina ulaza, dubina mora, nagib morskog dna su dobro istraženi faktori koji utječu na efikasnost izmjene vode (Nece i Asce, 1984).

Unutar područja poput Sredozemnog more, oscilacije plime i oseke su bitno manje što rezultira smanjenom izmjenom vode. Unutar područja manje očekivane izmjene vode, uobičajeno je ugraditi propuste unutar lukobrana (cijevne ili pravokutne otvore u tijelu lukobrana promjera/dimenzija $D \sim 1$ m). Mnoga istraživanja propusta ugrađenog u tijelo lukobrana se odnose na njegovu sposobnost transmisije valne energije, uglavnom provedena u laboratorijskim uvjetima (Carević i drugi, 2018; Tsoukala i Moutzouris, 2009). Utjecaj vjetra na izmjenu vode kroz propuste se promatra kroz terenska mjerenja, gdje se definirala linearna veza između isporučene energije vjetra i volumena vode koji protječe kroz propust tijekom vjetrovne situacije te je uočen najveći doprinos vjetra koji nailazi iz smjera paralelnom poveznici propust-ulaz (Bujak i drugi, 2018). Rezultati terenskih mjerenja protoka kroz propust su također pokazali veći protok kroz propust uslijed plimnih oscilacija kada je razina mora ispod gornjeg ruba propusta nego kada je iznad gornjeg ruba propusta (Bujak i drugi, 2018).

Svrha propusta je omogućiti izmjenu vanjske morske vode i morske vode koja se nalazi u zaštićenoj pomorskoj zoni. Propust je ekonomski prihvatljiva metoda poboljšanja izmjene vode u lučicama koja se koristi u pomorskom inženjerstvu.

U ovom radu istražuje se djelovanje plimnih oscilacija na protok kroz propuste unutar tijela lukobrana kroz analitičke obrasce, numeričke modele i mjerenja na terenu. Predstaviti će se hidraulička učinkovitost propusta putem morskih mijena u raznim režimima rada te dati usporedba između idealnog novoizgrađenog propusta i postojećih propusta.

2. METODOLOGIJA

2.1. Terenska mjerenja

ACI marina Opatija ima grupu od 8 paralelnih ugrađenih cijevnih propusta promjera od 1 m, smještenih u lukobranu. Svi propusti su smješteni na jednakoj visini, a vrh propusta pozicioniran je na srednjoj razini mora. Sami propusti su ugrađeni na suprotnoj strani marine s obzirom na ulaz u marinu. Akvatorij se proteže oko 350 m duž obale i 150 m

okomito na obalu (površine oko 40.000 m²), a prosječna dubina u akvatoriju iznosi 5 m. Marina je povezana s Jadranskim more s jednim ulazom širokim 30 m te s već navedenom grupom od 8 cijevnih propusta. Amplituda plimnih oscilacija je 0,3 - 0,4 metra tijekom mjernog perioda, ovisno o izmjeni živih i mrtvih mijena.

U sklopu terenskih opažanja je postavljeno pet strujomjera (ADCP), jedan prijenosni sustav za mjerenje protoka (PCM4), jedan anemometar, jedna CTD sonda i kamera. Mjerilo se tijekom zimskog i ljetnog razdoblja (15.2.2017. - 31.3.2017. i 4.7.2017 - 31.8.2017.). Dva od pet strujomjera postavljena su na obje strane cijevnih propusta (ADCP1 i ADCP2). ADCP-ovi su mjerili valne parametre (visina vala, valni period i smjer) i morske struje, a korištenjem senzora tlaka će se odrediti prosječni nagib vodnog lica između njih. PCM senzor je smješten unutar jednog od osam cijevnih propusta u marini te je bilježio brzine, protoke i razine unutar propusta. PCM će omogućiti uvid u vrijedne podatke o brzini protoka koji se kasnije mogu povezati s učincima različitih prirodnih generatora protoka (npr. vjetra, valova i plimnih oscilacija).

Sirovi podaci svih instrumenata najprije su podvrgnuti satnom osrednjavanju. Ova se pretpostavka smatra razumnom jer je promatrano djelovanje plimnih oscilacija na cirkulaciju proces poludnevnih odnosno dnevnih perioda. Detaljnije podatke o provedbi terenskih mjerenja i prikazima je moguće pronaći u prethodno publiciranim radovima (Bartolić i drugi, 2018; Bujak i drugi, 2018).

2.2. Numerički model

Trodimenzionalni numerički model strujanja vode kroz propust je uspostavljen na osnovu Navier-Stokesovih jednadžbi samo za vodenu fazu, što je razumna aproksimacija u slučajevima gdje se količina gibanja faze manje gustoće (npr. zrak) može zanemariti i kada neće doći do loma valova. Stoga se diskretizacijska mreža izrađuje samo za fazu gdje očekujemo prolaz vode. S obzirom da numerički model ne prati granicu između dviju faza koristeći funkciju pronosa indikator varijable α (engl. *interface-capturing*), potrebni su bitno manji računalni resursi. Vladajuće Navier-Stokesove jednadžbe se mogu ispisati u sljedećem vektorskom obliku (Versteeg i Malalasekera, 2007):

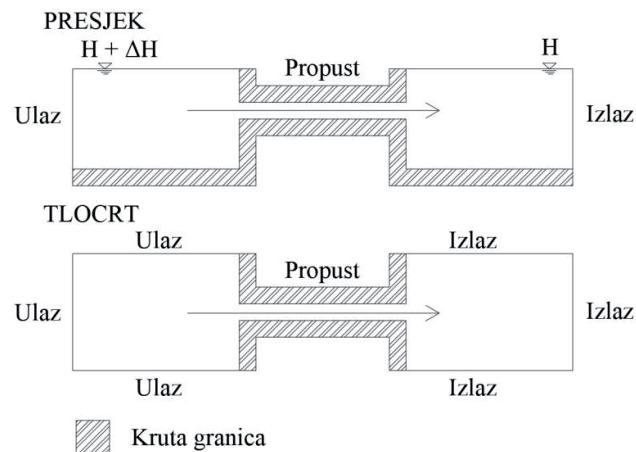
$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta \vec{v} + \vec{g} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (2)$$

gdje je \vec{v} vektor brzine, ρ skalar gustoće tekućine, p skalar tlaka i \vec{g} vektor gravitacijskog ubrzanja. Jednadžba prikazuje jednadžbu količine gibanja za proizvoljni element konačnog volumena, a jednadžba prikazuje očuvanje mase za nestišljivu tekućinu.

Računalni kod numeričkog modela je uspostavljen unutar OpenFOAM okruženja (The OpenFOAM Foundation, 2018). OpenFOAM sadrži otvoreni kod pisan u jeziku C++ za niz numeričkih modela, od kojih su mnogi uspješno verificirani i primijenjeni (Chauchat i drugi, 2017; Jacobsen i drugi, 2018). Navier-Stokes jednadžbe na kojima je vršeno Reynoldsovo osrednjavanje je potrebno odrediti model turbulencije kako bi se

sustav jednadžbi zatvorio. Za modeliranje turbulencije koristi se $k-\omega$ SST model, koji se sastoji od dvije jednadžbe za pronos turbulentne kinetičke energije k i brzina disipacije turbulencije ω . Sam $k-\omega$ SST model je mješavina $k-\omega$ modela turbulencije u blizini zida, a $k-\epsilon$ model u toku tekućine koji nije pod utjecajem zidova (Menter, 1994). Osnovna diskretizacijska mreža sastoji se od ćelija veličine brida u iznosu 0,1 m pomoću alata blockMesh, a potom oblikovana u svoj konačni oblik pomoću alata snappyHexMesh.



Slika 1. Shematski prikaz numeričkog modela

Broj ćelija varira ovisno o razini vode koja se modelira između 500.000 - 700.000 ćelija. Veličina ćelija na zidovima osigurava zadovoljavajuću vrijednost normalizirane udaljenosti y^+ između 30 i 300. Vremenski koraci se drže na dovoljno maloj vrijednosti kako bi se osigurao Courantov broj ispod vrijednosti 0,4.

Načelno model se sastoji od dva rezervoara koji su spojeni propustom kružnog poprečnog presjeka (slika 1). Rubni uvjeti se zadaju u obliku nepromjenjive vrijednosti razine vode dok kroz otvorene granice nisu ograničene količine protoka kako bi se rubni uvjeti zadovoljio te se u presjeku propusta promatraju ostvarene vrijednosti protoka.

2.3. Analitički model

U svrhu analitičkog proračuna protoka kroz cijevi, koristit će se obrasci za hidrauličko oblikovanje cijevnih propusta koji se često daju u sljedećoj formulaciji (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration, 2012):

$$\Delta H = \left(k_{izlaz} + k_{ulaz} + \frac{19.63 \cdot n^2 \cdot L}{R^{1.33}} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

gdje je ΔH ukupni gubitak energije, k_{izlaz} koeficijent lokalnog gubitka na izlazu, k_{ulaz} koeficijent lokalnog gubitka na ulazu, n Manningov koeficijent hrapavosti materijala od čega je izrađen propust, L duljina propusta, R hidraulički radijus propusta, V brzina unutar propusta, g gravitacijska konstanta (jednaka 9,81 m/s²).

Kako se unutar numeričkog modela pripisuju vrijednosti apsolutne hrapavosti zidova, u svrhu usporedbe s analitičkim modelom prezentira se funkcija pretvorbe između apsolutne hrapavost u Manningov koeficijent hrapavosti (Weber, 1971):

$$n = k^{1/6} / 26 \quad (4)$$

gdje je n Manningov koeficijent hrapavosti, a k apsolutna hrapavost izražena u milimetrima. Odnos vrijedi u slučajevima kada je iznos apsolutne hrapavost unutar raspona 0,0001 – 0,01 m.

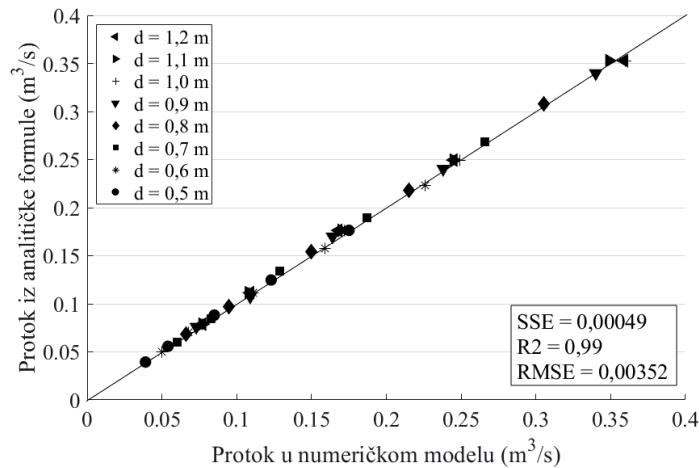
3. REZULTATI I RASPRAVA

Analizom mjerenih vrijednosti protoka provedenih u ACI marini Ičići tijekom zime i ljeta pomoću PCM uređaja, mogu se ugrubo definirati udjeli prirodnih generatora vjetra, valova i plimnih oscilacija. Protok se smatrao da je prouzročen valovima ukoliko je u datom trenutku značajna valna visina ispred propusta iznosila 0,3 m, prouzročena vjetrom ukoliko je brzina vjetra iznad 4 m/s, a u svim ostalim situacijama se smatralo da je prouzročena plimnim oscilacijama. Udjeli pojedinog generatora cirkulacije iznose 7 % uzrokovane vjetrom, 11 % uzrokovane valovima i 82 % uzrokovane plimnim oscilacijama od sveukupnog volumena protekle morske vode kroz propust u vremenu u kojem je provedeno mjerenje.

Uz moguća mala odstupanja radi grube metode definiranja udjela pojedinih prirodnih generatora, jasan je veliki doprinos plimnih oscilacija u iznosu od 82 % u odnosu na sveukupni volumen morske vode koji je cirkulirao kroz propust tijekom 103 dana mjerenja. Može se zaključiti da su dugoročno plimne oscilacije dominantni mehanizam cirkulacije morske vode kroz propust na navedenoj lokaciji, iako na razini jednog dana vjetar i valovi zasigurno uzrokuju veći protok. Vrijednost udjela protoka kroz propust uzrokovano valovima približna je vrijednosti iz detaljnijih studija na istoj lokaciji za procjenu utjecaja vala tijekom zime (15 %) i ljeta (4 %) (Bartolić i drugi, 2018).

3.1. Validacija numeričkog modela prema analitičkom modelu

Nadalje će se usporediti vrijednosti protoka unutar propusta za stacionarno stanje između numeričkog modela i analitičkog modela (Slika 2). Usporedio se niz slučajeva s dubinom variranom od 0,5 m do 1,2 m po 0,1 m (mjereno od dna propusta promjera 1 m) te u kombinaciji sa 5 različitim ΔH koji iznose 0,001 m, 0,002 m, 0,005 m, 0,01 m, 0,02 m (sveukupno 40 testova). Testovi su se provodili za propust duljine 10 m. Unutar numeričkog modela zadala se apsolutna hrapavost jednaka za sve testove u iznosu 0,005 m što odgovara grubom betonu, a pomoću jednadžbe se može odrediti ekvivalent u obliku Manningovog koeficijenta hrapavosti koji se koristi unutar analitičkog modela u iznosu od 0,016 s/m^{1/3}.



Slika 2. Usporedba protoka određenog pomoću numeričkog modela opisanog u poglavlju 2.2. i analitičke formule (3); dubina d je mjerena od dna cijevi promjera 1 m

Ako se brzine morskih struja u okolini propusta smatraju zanemarivima u usporedbi s brzinama unutar propusta, uobičajeno je dodijeliti vrijednost 1 koeficijentu lokalnog gubitka na izlazu, a za koeficijent lokalnog gubitka energije na ulazu je razumno definirani vrijednost 0,6 (Tullis & Robinson, 2008). Hidraulički radijus i površina protjecajnog poprečnog presjeka korištenog unutar analitičkog modela je usklađena s razinom vode koja se modelira unutar numeričkog modela. Dinamička viskoznost tekućine unutar numeričkog modela odgovara slatkoj vodi pri 20 °C.

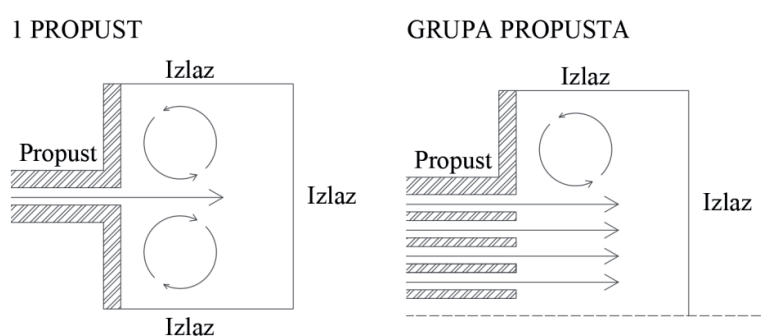
Uzimajući u obzir minimalnu grešku između analitičkog modela i numeričkog modela, može se zaključiti iz provedenih testova da numerički model točno simulira tok tekućine kroz propust, u okvirima uvjeta za koje se smatra da je i analitički model iskazan jednadžbom točan.

3.2. Grupa propusta

Izlaskom vode iz propusta formiraju se vrtlozi s obje strane izlazećeg mlaza koji umiruju brzinu izlaznog toka (Slika 3). Zbog specifične strujne slike na izlazu iz grupe propusta, mlazovi vode rubnih cijevnih propusta su sporiji nego mlazovi omeđeni drugim mlazovima. Veća brzina mlazova koji su omeđeni vodom jednake brzine u konačnici daje ukupan protok kroz sve propuste veći nego umnožak broja propusta u grupi i protoka jednog samostalnog propusta. Ukoliko se ukupni protok grupe propusta normalizira s protokom 1 propusta jednakih karakteristika, može se uočiti uvećanje protoka u iznosu od 5 % za niz od 8 propusta u slučaju razine mora koja iznosi 1,1 m iznad donjeg ruba propusta i uvećanje od 3 % ukoliko je razina mora 0,8 m iznad donjeg ruba propusta. Polaganjem grupe propusta moguće je ostvariti uvećanje efikasnosti u odnosu na niz pojedinačnih propusta.

Tablica 1. Normalizirani ukupni protoci koji se ostvaraju kroz 1 propust ili grupu

Dubina (m)	0,8		1,1	
ΔH (m)	0,005	0,01	0,005	0,01
1	1,00	1,00	1,00	1,00
4	4,07	4,09	4,15	4,17
8	8,23	8,22	8,37	8,39



Slika 3. Shematski prikaz strujne slike na izlazu iz 1 propusta i grupe propusta

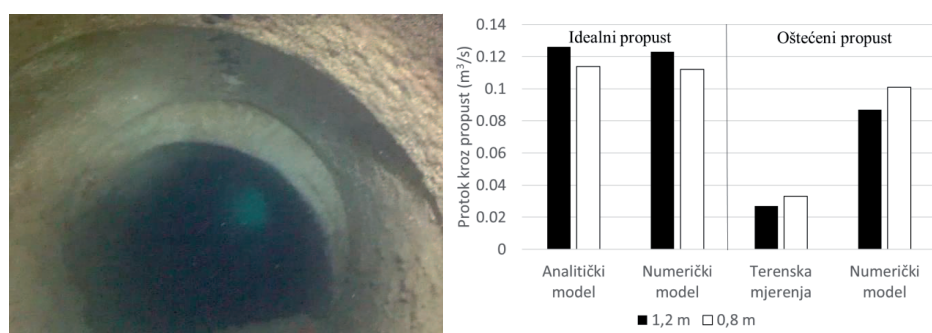
3.3. Usporedba numeričkog modela i terenskih mjerenja

Ronilačkim pregledom propusta u ACI marini Opatija, uočena su brojna slijeganja cijevnih sekcija propusta unutar lukobrana često do 0,2 m (Slika 4). Numeričkim modeliranjem propusta cijevnog profila promjera 1 m i dužine 18 m (dimenzije koje odgovaraju propustu u ACI marini Opatija), u kojem su 4 sekcije propusta izmaknute za 0,2 m, pokušat će se odrediti utjecaj oštećenja na protočnost propusta. Konačno će se modelirane vrijednosti protoka usporediti s izmjerenim vrijednostima protoka koje su ostvarene kroz propust na terenu.

Visinska razlika između vodnih lica s dviju različitih strana propusta ΔH je određena oduzimanjem mjerenih dubina na ADCP 1 i 2 uređajima te potom filtriranjem signala pomoću Butterworth IRR filtera kako bi se odstranile komponente u signalu perioda većeg od 48 sati, odnosno komponente koje nisu dio plimnog signala. Zatim su za ΔH u rasponu od $0,04 \text{ m} \pm 0,005 \text{ m}$ izračunate srednje vrijednosti protoka, pri čemu nisu uzete u analizu vrijednosti protoka u vrijeme kojih je izmjerena brzina vjetra bila veća od 1 m/s i značajna valna visina iznad 0,1 m. Viskoznost tekućine unutar numeričkog modela će se uzeti u vrijednosti koja odgovara morskoj vodi slanosti 35 PSU i temperaturi od 10 °C, a apsolutna hrapavost će se uzeti u vrijednosti od 2 cm koja odgovara stvarnom stanju propusta.

Usporedbom vrijednosti može se uočiti jednak trend gdje oštećenje na ispunjeni propust uzrokuje veće smanjenje protoka nego na djelomično ispunjeni propust (Slika 4). Navedeno rezultira većim protokom u djelomično uronjenom stanju nego u potpunosti uronjenom

stanju u iznosu od 15 % za testirani slučaj. Navedena oštećenja umanjuju protok unutar propusta u uronjenom stanju u iznosu od 31 %, a u djelomično uronjenom stanju u iznosu od 12 %. Razlika između numeričkog modela i terenskih mjerenja govori kako postoje utjecaji koji ovim numeričkim modelom nisu uzeti u obzir. Navedena opažanja su u skladu s prethodnim istraživanjima gdje je uočena veća protočnost djelomično uronjenog propusta nego potpuno uronjenog propusta pod utjecajem plimnih oscilacija (Bujak i drugi, 2018).



Slika 4. Fotografija slijevanja cijevnih sekcija propusta u ACI marini Opatija; usporedba hidraulički idealnog i oštećenog propusta

ZAKLJUČAK

Numerički model za protjecanje morske vode kroz propust pod utjecajem plimnih oscilacija je uspoređen i uspješno validiran prema analitičkom modelu i terenskim mjerenjima. Terenska mjerenja su pokazala kako su plimne oscilacije dominantni dugoročni generator cirkulacije kroz propust kod amplituda 0,3 - 0,4 m. Numeričkim modelom se pokazalo da se pažljivim polaganjem propusta može ostvariti uz jednaki broj propusta (do 5 % za slučaj 8 paralelno položenih propusta). Stoga valja budućim istraživanjima ispitati mogućnosti različitih kompozicija grupe propusta u svrhu optimizacije protočnosti (polaganje propusta u dva reda, pravokutnog oblika propusta i dr.). Slijevanjem dijelova propusta ostvaruje se značajna redukcija protoka unutar propusta, naročito u stanju kada je propust u potpunosti uronjen u iznosu od 31 % u odnosu na idealnu stanje propusta.

LITERATURA

- [1] Bartolić, I., Lončar, G., Bujak, D., & Carević, D. (2018): The Flow Generator Relations for Water Renewal through the Flushing Culverts in Marinas. *Water*, 10(7), 936.
- [2] Bujak, D., Carević, D., & Gilja, G. (2018): The influence of the natural generators on discharge through the flushing culverts. In I. J. Losada & J. L. Lara (Eds.), *Proceedings of the 7th International Conference on the Application of Physical Modelling in Coastal and Port Engineering and Science (Coastlab18)* (pp. 1–10). Santander, Spain.
- [3] Bujak, D., Carević, D., Ramušćak, R., Kulić, T., & Bartolić, I. (2018): Analiza izm-

- jene vode kroz cijevne propuste u marini Opatija. *Gradevinar*, 70(4), 353–360.
- [4] Carević, D., Mostečak, H., Bujak, D., & Lončar, G. (2018): Influence of water-level variations on wave transmission through flushing culverts positioned in a breakwater body. *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering-Asce*, 144(5).
- [5] Chauchat, J., Cheng, Z., Nagel, T., Bonamy, C., & Hsu, T.-J. (2017): SedFoam-2.0: A 3-D two-phase flow numerical model for sediment transport. *Geoscientific Model Development*, 10(12), 4367–4392.
- [6] Di Franco, A., Graziano, M., Franzitta, G., Felling, S., Chemello, R., & Milazzo, M. (2011): Do small marinas drive habitat specific impacts? A case study from Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 62(5), 926–933.
- [7] Fischer, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J., & Brooks, N. H. (1979): Mixing in inland and coastal waters. *Journal of Fluid Mechanics*, 114, 315–316.
- [8] Jacobsen, N. G., van Gent, M. R. A., Capel, A., & Borsboom, M. (2018): Numerical prediction of integrated wave loads on crest walls on top of rubble mound structures. *Coastal Engineering*, 142, 110–124.
- [9] Menter, F. R. (1994): Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*, 32(8), 1598–1605.
- [10] Nece, B. R. E., & Asce, F. (1984): Planform effects on tidal flushing of marinas. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 110(2), 251–269.
- [11] Sanford, L. P., Boicourt, W. C., & Rives, S. R. (1992): Model For Estimating Tidal Flushing of Small Embayments. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 118, 635–654.
- [12] Schwartz, R. A., & Imberger, J. (1988): Flushing Behaviour of a Coastal Marina. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(21), 2626–2640.
- [13] The OpenFOAM Foundation. (2018): *OpenFOAM v6 User Guide*.
- [14] Tsoukala, V. K., & Moutzouris, C. I. (2009): Wave transmission in harbors through flushing culverts. *Ocean Engineering*, 36(6–7), 434–445.
- [15] Tullis, B. P., & Robinson, S. C. (2008): Quantifying culvert exit loss. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2008\)134:2\(263\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:2(263))
- [16] U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration. (2012): *Hydraulic design of highway culverts* (Third Edit).
- [17] Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007): *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. Pearson Education Limited.
- [18] Weber, N. B. (1971): *Fluid Mechanics for Civil Engineers*.

AUTORI

Damjan Bujak, mag. ing. aedif. ^a

izv. prof. dr. sc. Dalibor Carević, dipl. ing. građ. ^a

prof. dr. sc. Goran Lončar, dipl. ing. građ. ^a

^a Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, dbujak@grad.hr, car@grad.hr, gloncar@grad.hr



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

TEMA 3.

**SUSTAVI JAVNE VODOOPSKRBE,
ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA
OTPADNIH VODA -
STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI**

Recenzenti:

**Danko Biondić, Zlatko Blažević, Barbara Karleuša, Željko Linšak, Jure Margeta,
Mara Pavelić, Siniša Širac, Lidija Tadić, Ranko Žugaj**



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

R 3.01.

PRIPREMA I ODOBRENJE VODNO-KOMUNALNOG PROJEKTA ZA EU SUFINANCIRANJE

Goran Milaković, Olivera Šegedin

SAŽETAK: U svrhu ispunjenja zahtjeva proizašlih iz pravne stečevine Europske unije u području zaštite okoliša Republika Hrvatska provodi kohezijsku politiku čiji je jedan od ciljeva zaštita vodnih resursa kroz unaprjeđenje vodnogospodarske infrastrukture i povezanih usluga ulaganjima u izgradnju i/ili rekonstrukciju uređaja i vodnih građevina te kroz pripremu projekata. U radu se daje presjek aktivnosti u fazi pripreme vodno-komunalnog projekta, međusobna ovisnost aktivnosti te ispunjenje potrebnih koraka za apliciranje projekta za odobrenje sufinanciranja iz europskih fondova.

KLJUČNE RIJEČI: Europski fondovi, kohezijska politika, upravljanje projektom, priprema projekta, studijska dokumentacija, projektna dokumentacija, odobravanje projekta

PREPARATION AND APPROVAL OF A WATER-UTILITY PROJECT FOR EU CO-FINANCING

ABSTRACT: In order to meet the requirements of the *acquis* in the field of environmental protection, the Republic of Croatia implements the cohesion policy whose goal is to protect water resources by improving water management infrastructure and related services through investments into the construction and/or reconstruction of plants and water facilities, and through project preparation. The paper presents an overview of activities in the preparation phase of a water - utility project, the interdependence of activities and implementation of the steps necessary for project application and approval for co-financing from European funds.

KEYWORDS: European funds, cohesion policy, project management, project preparation, study documentation, design documentation, project approval

1. UVOD

Republika Hrvatska je punopravna članica Europske unije od 1. srpnja 2013. godine. U postupku pristupanja Europskoj uniji, država je usvojila pravne standarde Europske unije. Između ostalog, provedeno je usklađivanje Zakona o vodama (Narodne novine, br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14 i 46/18) i Zakona o financiranju vodnoga gospodarstva (Narodne novine, br. 153/09, 90/11, 56/13, 120/16 i 127/17) i podzakonskih propisa

kojima se detaljnije uređuje vodno gospodarstvo u Republici Hrvatskoj.

U segmentu vodnog gospodarstva krovni dokument je Zakon o vodama, kojim se između ostalog uređuje pravni status voda, vodnoga dobra i vodnih građevina, upravljanje kvalitetom i količinom voda.

Planski dokumenti, bitni za izvršitelja, kojima se provode odredbe Zakona o vodama su:

- Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. (Narodne novine, broj 66/16),
- Plan provedbe (revidirani) vodno-komunalnih direktiva i
- Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina (Narodne novine, broj 117/15).

Plan upravljanja vodnim područjima uključuje sažetak značajnijih opterećenja (pritisaka) i utjecaja ljudske aktivnosti na stanje površinskih voda, uključivo i priobalnih voda te podzemnih voda, a osobito ocjenu onečišćenja iz točkastih izvora, ocjenu onečišćenja iz raspršenih izvora uključivo i pregled značajnijih utjecaja na vodni okoliš, ocjenu količinskog stanja korištenja voda i analizu drugih utjecaja ljudske aktivnosti na stanje voda.

Plan provedbe vodno-komunalnih direktiva sadrži dogovorene aktivnosti i rokove vezane uz provedbu vodno-komunalnih direktiva i predstavlja temelj za pojašnjenje zahtjeva za prijelaznim razdobljima te postizanja zahtjeva za sukladnosti s EU Direktivom o vodi za piće (98/83/EEC), odnosno na području odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda sa zahtjevima Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEC) i Direktive o vodi za kupanje (2006/7/EC).

Višegodišnjim programom gradnje komunalnih vodnih građevina utvrđuju se pojedinačni projekti, način i razdoblje provedbe, sudionici u provedbi, iznosi ulaganja i izvori sredstava za njih te red prvenstva u provedbi, gdje je primjenjivo.

Kroz navedene dokumente definiran je okvir za djelovanje u vodnom gospodarstvu koji uključuje potrebne mjere za kontinuirano osiguranje dostatnih količina vode za ljudsku potrošnju i zaštitu voda od onečišćenja. Svrha koji se želi postići je smanjenje pritiska onečišćenja na vodna tijela na području pružanja vodnih usluga u nadležnosti naručitelja:

- Osiguranje sanitarno i kemijski ispravne vode za piće i potrošnju općenito,
- Očuvanje (kvantitativno i kvalitativno) vodnih resursa podzemnih voda i okoliša,
- Unapređenje načina prikupljanja i odvodnje otpadnih voda,
- Pročišćavanje otpadnih voda prema propisanim graničnim vrijednostima emisija u okoliš,
- Poboljšanje uvjeta života i razvoj gospodarstva.

2. BITNI ELEMENTI PRIPREME - STUDIJSKA DOKUMENTACIJA

2.1. Studija izvodljivosti i Analiza troškova i koristi

Višegodišnjim programom gradnje vodnih građevina definirani su rokovi usklađenja preliminarnih aglomeracija s Direktivom o vodi za piće (98/83/EEC), Direktivom o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEC) i Direktivom o vodi za kupanje (2006/7/EC). Uz to, definiran je broj uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) unutar aglomeracije (polazište za pregovore bio je pristup jedna aglomeracija - jedan UPOV), stupanj pročišćavanja i recipijent pročišćenih otpadnih voda. Naknadno su usvojena dva nacionalna dokumenta:

- Metodologija kombiniranog pristupa kojom se određuje količina ispuštene pročišćene otpadne vode (respektirajući parametre bioloških nutrijenata u odnosu na protok i vremensku raspodjelu protoka) koje može apsorbirati recipijent a da se postigne minimalno dobro stanje voda, odnosno recipijent zadovoljava odgovarajuće ciljeve kvalitete voda i
- Uputa kada Hrvatske vode potvrđuju predloženu razinu pročišćavanja kao odgovarajuće pročišćavanje.

Mulj s UPOV-a je potrebno zbrinuti na odgovarajući i zakonom reguliran način, pri čemu najveći problem predstavlja pronalaženje odgovarajuće lokacije za zbrinjavanje mulja, bilo zbog veličine prostora, bilo zbog prostorno-planskih ili zakonskih ograničenja.

Kroz OPKK 2014. - 2020. potrebno je postići usklađenje s prethodno pobrojanim Direktivama, pa se većina projekata pripremanih za sufinanciranje iz EU fondova bavila sustavima za prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda, uz poboljšanja na postojećim sustavima vodoopskrbe unutar koridora zahvata ili izgradnjom ili rekonstrukcijom ključnih objekata kojima se osigurava kvaliteta i opskrbljenost pitkom vodom značajnom broju potrošača unutar aglomeracije.

Uobičajeni indikatori uspješnosti projekta su mjerljivo poboljšana kvaliteta opskrbe vodom, broj novih stanovnika priključenih na sustav vodoopskrbe, broj novih stanovnika priključenih na sustav odvodnje otpadnih voda, broj izgrađenih UPOV-a.

Analizom preliminarne aglomeracije sagledano je postojeće stanje sustava vodoopskrbe i odvodnje i definirana područja koja imaju:

- imaju izgrađene sustave vodoopskrbe i/ili prikupljanja otpadnih voda zadovoljavajućih kapaciteta i karakteristika,
- imaju djelomično izgrađene sustave vodoopskrbe i/ili prikupljanja otpadnih voda zadovoljavajućih kapaciteta i karakteristika,
- imaju djelomično izgrađene sustave vodoopskrbe i/ili prikupljanja otpadnih voda nezadovoljavajućih kapaciteta i karakteristika,
- nemaju izgrađene sustave vodoopskrbe i/ili prikupljanja otpadnih voda zadovoljavajućih kapaciteta i karakteristika,

pri čemu pod sustavima vodoopskrbe podrazumijevamo sve objekte potrebne za zahvat, transport, akumuliranje i distribuciju pitke vode od izvorišta do potrošača, a pod sustavima odvodnje sve objekte za prikupljanje, transport, pročišćavanje i ispuštanje pročišćenih otpadnih voda u odgovarajući recipijent.

Analizom broja stanovnika na razmatanom području prema posljednjim popisima stanovništva (1991. - 2001. - 2011.) te statističkim obradama podataka, definirani su trendovi kretanja broja stanovnika na razmatranom području kako bi se dobile količine voda koje treba dovesti i/ili odvesti u/sa područja u obuhvatu.

Kako bi se, u tehničkom smislu, sagledala cjelovita rješenja za optimalne sustave vodoopskrbe i odvodnje, trebalo je izraditi dinamičke 48-satne modele vodoopskrbnih sustava i sustava odvodnje otpadnih voda. Rješenja su rađena u više mogućih varijanti, respektirajući postojeće stanje, količine voda, koridore ostalih infrastrukturnih zahvata, postojeću plansku i prostorno-plansku dokumentaciju, važeću nacionalnu i EU regulativu. Pri određivanju optimalne tehničke varijante i konačnog obuhvata aglomeracije, izrađivači studijske dokumentacije suočeni su vrlo često s pritiscima predstavnika jedi-

nica lokalne samouprave koji žele da se što veći broj naselja nađe ne samo u konačnom obuhvatu aglomeracije, nego izravno spojen na sustav, ne razumijevajući kakve posljedice može imati neracionalan pristup definiranju obuhvata, u smislu troškova izgradnje, troškova pogona i održavanja i dokazivanja indikatora projekta.

Polazno stajalište "jedna aglomeracija - jedan UPOV" često doživi transformaciju racionalizacijom rješenja na način da se otpadne vode iz dvije ili više aglomeracija dovode na pročišćavanje na jedan UPOV koji se može graditi u fazama, prema dinamičkom planu provedbe pojedinačnih projekata.

Treba napomenuti kako se smatra racionalnim rješenjem ako trošak investicije u izgradnju jednog kolektora ne prelazi 20.000 kuna po stanovniku koji će biti priključen na sustav te ako kriterij koncentracije stanovništva (priključenost) ne prelazi 30 m.

Nakon što je usvojena optimalna tehnička varijanta budućeg sustava vodoopskrbe i/ili odvodnje otpadnih voda, procijenjeni su troškovi izgradnje sustava i raspodijeljeni na broj stanovnika na predmetnom području. U velikom broju slučajeva, u perifernim dijelovima aglomeracija, smanjen je broj korisnika koji će izravno biti spojeni na sustav odvodnje otpadnih voda, jer je izgradnja tog sustava za mali broj priključenih korisnika preskupa. Rješenje za njih je izgradnja vodonepropusnih sabirnih jama koje će se redovito prazniti komunalnim vozilima koja Korisnik projekta (javni isporučitelj vodne usluge - JIVU) već ima ili će ih nabaviti u okviru projekta. Rješenje za zbrinjavanje mulja s UPOV-a može biti kratkoročno i dugoročno, ali mulj je potrebno zbrinuti na odgovarajući i zakonom reguliran način. Mulj je produkt procesa pročišćavanja otpadnih voda i može se zbrinjavati unutar parcele UPOV-a, a kad iziđe izvan parcele UPOV-a postaje otpad, no ne opasan otpad pa se može sušiti, kompostirati, ozemljavati, odlagati ili zbrinjavati na za to prostornim planom predviđenim lokacijama, uz prostore predviđene za selektiranje i zbrinjavanje otpada. Ovako redefiniranim sustavima i troškovima izgradnje pribrojeni su troškovi pogona i održavanja kroz razdoblje od 30 godina te tako definirani ulazni parametri za analizu troškova i koristi (CBA).

Analiza troškova i koristi za projekte ima dvostruku svrhu. Kao prvo, mora se pokazati da je projekt poželjan s ekonomskog gledišta i da pridonosi ciljevima regionalne politike EU-a. Kao drugo, treba dokazati da je potreban doprinos iz Fondova kako bi projekt bio financijski održiv. Na temelju navedenog treba odrediti odgovarajuću razinu pomoći. Analiza troškova i koristi je neophodan alat za ocjenu ekonomskih koristi projekata. U pravilu treba ocijeniti sve učinke: financijske, ekonomske, socijalne, ekološke itd. Cilj analize troškova i koristi je identificirati sve moguće učinke i dodijeliti im određenu novčanu vrijednost kako bi se odredili troškovi i koristi projekta. Potom se rezultati objedinjuju (neto koristi) i donose se zaključci o tome je li projekt poželjan i vrijedi li ga provesti. Troškove i koristi treba ocjenjivati na inkrementalnoj osnovi, razmatrajući razliku između scenarija s projektom i alternativnog scenarija bez projekta.

Financijska analiza određenog projekta mora sustavno obuhvatiti sljedeće stavke:

- Ocjena trenutne financijske situacije;
- Analiza potražnje;
- Inkrementalni kapitalni i redoviti (operativni) troškovi povezani s projektom;
- Načela određivanja cijena;
- Buduća financijska održivost i priuštivost usluga;
- Izračun financijske pomoći EU-a (stopa financijskog manjka).

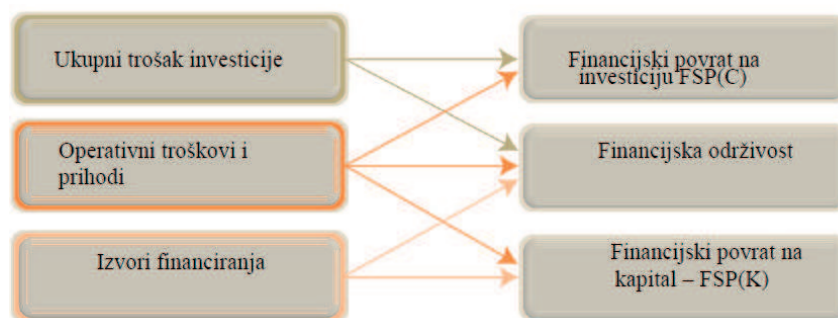
Glavni aspekti koje treba razmotriti pri pripremi projekta u sklopu ove analize su:

- Osiguranje financijske održivosti s naglaskom na razvoju odgovarajuće politike određivanja cijena koja odražava potrebe za održivošću, ali unutar granica prihvatljivosti;
- Metoda izračuna stope financijskog manjka za financijsku pomoć EU-a.

Temelj za ocjenu je prepušten državi članici, ali korištena metoda mora osigurati da se za svaki projekt u svakom pojedinom sektoru koriste iste temeljne pretpostavke. Premda su pretpostavke za ocjenu u nadležnosti države članice, opći okvir daju Vodiči EU-a i direktive EU-a koje pružaju prateća načela. Predloženi temeljni okvir za provedbu financijske analize trebao bi izgledati na sljedeći način:

Tablica 1. Temeljni okvir za primjenu financijske analize

Pretpostavka	Zahtjev
Referentno razdoblje	30 godina uključujući razdoblje građenja, pri čemu je početna godina godina prijave projekta
Diskontna stopa	4 % (realna)
Temelj	Za pitanja financijske održivosti: Sve operacije u tekućim cijenama; Za potrebe financiranja (stopa financijskog manjka): Usporedba na inkrementalnoj osnovi scenarija s projektom sa scenarijem bez projekta (trenutno stanje operacije) u stalnim cijenama.



Slika 1. Struktura financijske analize

(Izvor: Vodič kroz analizu troškova i koristi investicijskih projekata)

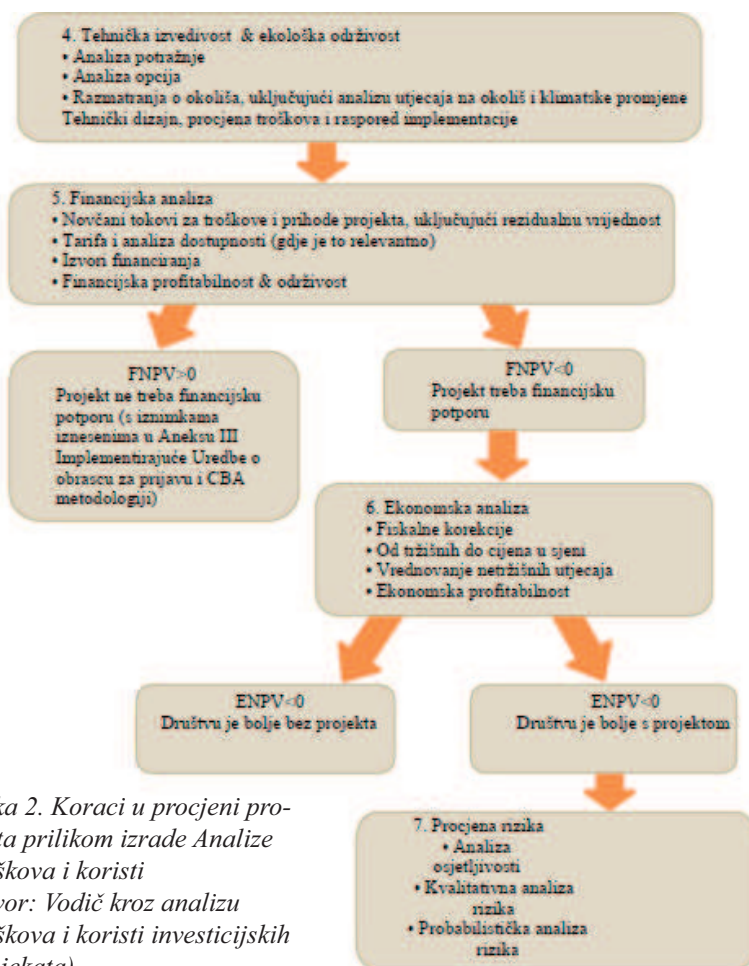
Ekonomskom ocjenom projekta potrebno je obuhvatiti sljedeće:

- Pretvaranje financijskih cijena u ekonomske cijene;
- Izračun ekonomskih troškova projekta;
- Procjena i ocjena ekonomskih koristi.

Svrha ekonomske ocjene je odrediti održivost projekta u pogledu njegove vrijednosti za društvo, a ne s financijskog gledišta. Kao i kod financijske analize, temelj ekonomske ocjene je prepušten državi članici, pri čemu je jedini zahtjev da se iste temeljne pretpostavke koriste za svaki projekt u svakom pojedinom sektoru. Predloženi osnovni okvir za provođenje ekonomske ocjene trebao bi biti sljedeći:

Tablica 2. Temeljni okvir za provođenje ekonomske ocjene

Pretpostavka	Zahtjev
Referentno razdoblje	30 godina uključujući razdoblje građenja, pri čemu je početna godina godina prijave projekta
Diskontna stopa	5 % (realna)
Cijene	Stalne cijene, s uputom da obuhvaćaju realno povećanje stavaka kao što su plaće i električna energija, kako bi se osigurao visok stupanj dosljednosti
Primjena cijena u sjeni	Izbacivanje PDV-a i ostalih transfernih plaćanja; Pretpostavka da su financijski i ekonomski troškovi isti (otvorena konkurentna tržišta) uz primjenu konverzijskog faktora 1

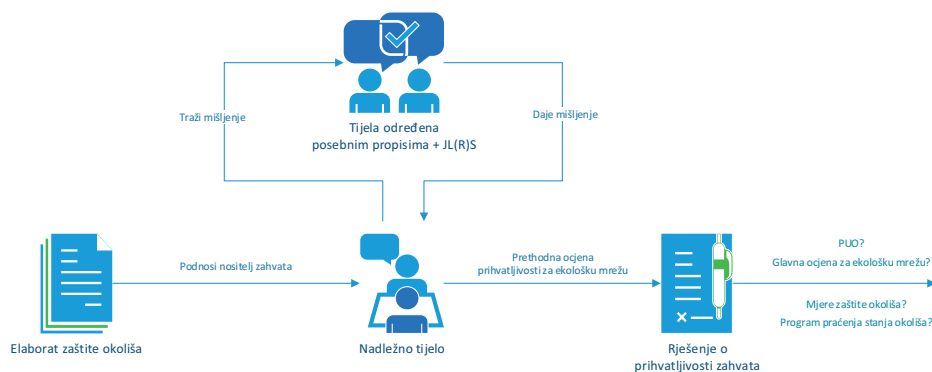


Slika 2. Koraci u procjeni projekta prilikom izrade Analize troškova i koristi
(Izvor: Vodič kroz analizu troškova i koristi investicijskih projekata)

2.2. Postupak ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš (OPUO)

Ocjena o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš (screening) je postupak tijekom kojega nadležno tijelo (Ministarstvo ili upravno tijelo u županiji odnosno u Gradu Zagrebu), na temelju pojedinačnih ispitivanja sukladno utvrđenim mjerilima (Popis zahvata iz Priloga II. i III.) i/ili kriterijima određenim u Prilogu V. Uredbe o procjeni utjecaja zahvata na okoliš (Narodne novine, br. 61/14 i 3/17), utvrđuje može li planirani zahvat imati značajne utjecaje na okoliš i odlučuje o potrebi procjene. Zakonom o zaštiti okoliša (Narodne novine, br. 80/13, 153/13 i 78/15) i Uredbom o procjeni utjecaja zahvata na okoliš (Narodne novine, br. 61/14 i 3/17, u daljnjem tekstu: Uredba) propisano je da nositelj zahvata, kada utvrdi da se njegov zahvat nalazi na popisu zahvata iz Priloga II. ili Priloga III. Uredbe, može zatražiti od nadležnog tijela provedbu postupka ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš ili može odmah pristupiti izradi studije.

Kada nadležno tijelo zaprimi zahtjev za ocjenu o potrebi procjene, ono pribavlja mišljenja od drugih tijela i/ili osoba određenih posebnim propisima, jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave te informira javnost o zahtjevu. Ocjena o potrebi procjene provodi se na temelju pojedinačnih ispitivanja sukladno kriterijima određenim u Prilogu V. Uredbe i uzimajući u obzir zaprimljena mišljenja. Nakon provedenog postupka izdaje se rješenje i o istom informira javnost.



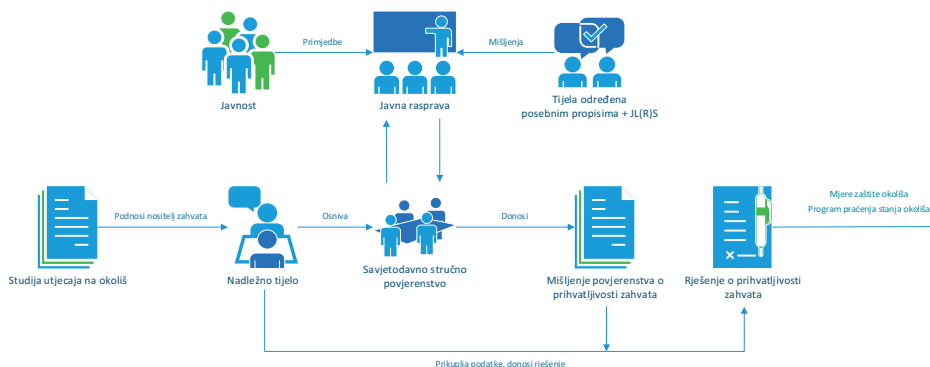
Slika 3. Shematski prikaz postupka ocjene o potrebi procjene utjecaja na okoliš (OPUO)

2.3. Postupak procjene utjecaja zahvata na okoliš (PUO)

Procjena utjecaja na okoliš je postupak ocjenjivanja prihvatljivosti namjeravanog zahvata s obzirom na okoliš i određivanje potrebnih mjera zaštite okoliša, kako bi se utjecaji sveli na najmanju moguću mjeru i postigla najveća moguća očuvanost kakvoće okoliša. Postupak procjene provodi se već u ranoj fazi planiranja zahvata i to prije izdavanja lokacijske dozvole ili drugog odobrenja za zahvat za koji izdavanje lokacijske dozvole nije obvezno. Zakonom o zaštiti okoliša (Narodne novine, br. 80/13, 153/13 - Zakon o gradnji, 78/15, 12/18 i 118/18) i Uredbom o procjeni utjecaja zahvata na okoliš (Narodne novine, broj 61/14 i 3/17), u daljnjem tekstu: Uredba) propisana je provedba postupka procjene utjecaja zahvata na okoliš. Donošenjem tih propisa postupak je sustavno uređen i usklađen s odgovarajućim direktivama EU: Direktivom Vijeća 85/337/EEZ od 27. lipnja

1985. o procjeni učinaka određenih javnih i privatnih projekata na okoliš, izmijenjenom Direktivom Vijeća 97/11/EZ od 3. ožujka 1997., i Direktivom 2003/35/EZ Europskog Parlamenta i Vijeća od 26. svibnja 2003. Pored toga usvojeni propisi temelje se i na odredbama međunarodnog ugovora, kojeg je Republika Hrvatska potvrdila donošenjem Zakona o potvrđivanju Konvencije o procjeni utjecaja na okoliš preko državnih granica (Narodne novine - Međunarodni ugovori, broj 6/96).

U Popisu zahvata u Prilogu I. koji je sastavni dio Uredbe navedeni su zahvati za koje se obvezno provodi postupak procjene utjecaja zahvata na okoliš. U Popisu zahvata u Prilogu II. koji je sastavni dio Uredbe navedeni su zahvati za koje se provodi ocjena o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš i za koje je nadležno Ministarstvo, a u Popisu zahvata u Prilogu III. koji je također sastavni dio Uredbe navedeni su zahvati za koje se provodi ocjena o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš i za koje je nadležno upravno tijelo u županiji odnosno u Gradu Zagrebu. Kriteriji na temelju kojih se odlučuje o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš navedeni su u Prilogu V. koji je sastavni dio Uredbe. Postupak procjene pokreće se na pisani zahtjev nositelja zahvata, a sadržaj tog zahtjeva propisan je u članku 80. Zakona o zaštiti okoliša. Obvezni sadržaj Studije o utjecaju na okoliš, koja je sastavni dio zahtjeva, detaljnije je propisan u Prilogu IV. Uredbe. Studijom se mora procijeniti utjecaj planiranog zahvata na okoliš na temelju čimbenika koji, ovisno o zahvatu i obilježjima okoliša, uvjetuju rasprostiranje, jačinu i trajanje utjecaja. Studija mora sadržavati sve potrebne podatke, dokumentaciju, obrazloženja i opise u tekstualnom i grafičkom obliku, prijedlog ocjene prihvatljivosti zahvata i mjere zaštite okoliša u odnosu na zahvat te po potrebi, program praćenja stanja okoliša. Studija mora biti izrađena na temelju najnovijih, vjerodostojnih i dostupnih podataka, izrađuje ju ovlaštenik - pravna osoba koja ima ovlaštenje za obavljanje tih poslova, a troškove izrade studije podmiruje nositelj zahvata. Utjecaj zahvata na okoliš, njegovo vrednovanje i prihvatljivost ocjenjuje povjerenstvo na temelju studije. Povjerenstvo imenuje Ministarstvo za zahvate koji su određeni u Popisima zahvata iz Priloga I. i Priloga II. Uredbe, a upravno tijelo u županiji, odnosno u Gradu Zagrebu za zahvate iz Priloga III. Uredbe o procjeni utjecaja zahvata na okoliš. Članovi povjerenstva imenuju se iz redova znanstvenih i stručnih djelatnika, predstavnika tijela i/ili osoba određenih posebnim propisom, predstavnika jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave te predstavnika Ministarstva. Povjerenstvo radi na sjednicama i nakon što utvrdi da je studija cjelovita i stručno utemeljena, predlaže nadležnom tijelu upućivanje studije na javnu raspravu. Nakon provedene javne rasprave, povjerenstvo donosi mišljenje o prihvatljivosti zahvata i upućuje ga nadležnom tijelu radi donošenja rješenja koje je obvezni sadržaj budućih dozvola za provedbu zahvata. Procjena utjecaja na okoliš obvezno se provodi za zahvate navedene u popisu zahvata iz Priloga I. Uredbe te za zahvate za koje je ta obveza određena u postupku ocjene o potrebi procjene. Kada nadležno tijelo zaprimi zahtjev za procjenu utjecaja zahvata na okoliš, o istome informira javnost. Informacija sadrži osnovne podatke o zahvatu, lokaciji, nositelju zahvata, nadležnom tijelu, ostalim sudionicima u postupku, načinu provedbe postupka procjene, načinu sudjelovanja javnosti i zainteresirane javnosti te o načinu obavješćivanja o ishodu postupka.



Slika 4. Shematski prikaz postupka procjene utjecaja na okoliš (PUO)

3. BITNI ELEMENTI PRIPREME - PROJEKTNJA DOKUMENTACIJA I DOKUMENTACIJA O NABAVI

U postupku pripreme projekta, ugovorena je izrada studijske i okolišne dokumentacije, analize troškova i koristi, projektne dokumentacije, aplikacijskog paketa i dokumentacije o nabavi za sve vrste nabava koje se pokazuju potrebnim. Ugovori se, kroz transparentan postupak javne nabave, sklapaju sa konzorcijima renomiranih konzultantskih i projektantskih tvrtki koje već imaju respektabilne reference za izvršenje ugovora.

Za odabranu optimalnu tehničku varijantu sustava vodoopskrbe i/ili odvodnje, a koja se pokazala opravdanom i priuštivom kroz analizu troškova i koristi, potrebno je izraditi projektnu dokumentaciju prema odredbama Zakona o prostornom uređenju (Narodne novine, br. 153/13, 65/17, 114/18 i 39/19) i Zakona o gradnji (Narodne novine, br. 153/13, 20/17 i 39/19).

Izrada projektne dokumentacije odvija se u fazama:

Faza 1: izrada idejnih projekata za ishođenje lokacijskih dozvola

- geodetski radovi (geodetske snimke terena, prikupljanje podloga iz DGU, podaci iz digitalnog katastra, parcelacijski elaborati, elaborati nepotpunog izvlaštenja, geodetski projekti);
- geotehnički istražni radovi (geotehničke prospekcije terena, istražni raskopi, istražne bušotine dubine 12 - 15 m, geotehnički elaborati sa prijedlogom temeljenja);
- sažetak idejnog projekta za ishođenje uvjeta javno - pravnih tijela;
- idejni projekti kojima su objedinjeni svi uvjeti javno - pravnih tijela;
- identifikacija svih vlasnika zemljišta na trasama linijskih objekata i čestica na kojima će biti locirani točkasti objekti te ishođenje njihovih suglasnosti za zahvat u prostoru.
- Ishođenje jedne ili više lokacijskih dozvola.

Faza 2: izrada glavnih projekata za ishođenje građevinskih dozvola

- Izrada elaborata kao podloga za izradu glavnih projekata;
- Izrada glavnih projekata po svim strukama;
- Revizija glavnih projekata za sve bitne zahtjeve za građevine;

- Stručna recenzija glavnih projekata;
- Ishođenje potvrda svih javno - pravnih tijela;
- Rješavanje imovinsko - pravnih odnosa za sve objekte sustava;
- Ishođenje građevinskih dozvola.

Faza 3: izrada troškovnika temeljem glavnih projekata

- Izrada kompletnih troškovnika radova po svim strukturama (sa dokaznicama mjera);
- Analiza jediničnih cijena temeljem ispitivanja tržišta;
- Projektantska procjena investicije.

Kako priprema studijske i projektne dokumentacije sama po sebi traje razmjerno dugo te treba biti gotova prije dovršenja svih elemenata aplikacijskog paketa, a odobrenje projekta na nacionalnoj i EU razini, sa dopunama i korekcijama dokumentacije, prosječno traje 6 mjeseci, često se dogodi da lokacijske ili građevinske dozvole za dijelove projektiranih građevina sustava isteknu pa je nužno njihovo produženje.

U skladu sa planom nabave iz Studije izvodljivosti potrebno je izraditi setove dokumentacija o nabavi za:

- Nabavu usluga upravljanja projektom,
- Nabavu usluga promidžbe i vidljivosti,
- Nabavu usluga stručnog nadzora,
- Nabavu usluga uspostave GIS sustava ili detektiranja problema u postojećem sustavu vodoopskrbe,
- Nabavu izvođenja radova na izgradnji sustava vodoopskrbe i/ili odvodnje,
- Nabavu usluga projektiranja, izvođenja radova na izgradnji uređaja za pročišćavanje otpadnih voda te puštanja u probni rad,
- Nabavu usluga projektiranja i izvođenja radova na izgradnji uređaja za kondicioniranje pitkih voda,
- Nabavu komunalne opreme (specijalizirana vozila).

4. PRIJAVA I ODOBRENJE PROJEKTA

U trenutku spremnosti studijske i projektne dokumentacije te dokumentacije za nadmetanje, nadležna Posrednička tijela (PT1 - Ministarstvo zaštite okoliša i energetike; PT2 - Hrvatske vode) pozivaju Krajnjeg Korisnika na dostavu aplikacijskog paketa dokumentata koji sadrži sljedeće:

- Prijavni obrazac - Opis projekta za odobravanje izravne dodjele,
- Prijavni obrazac - Prilog II. Provedbene uredbe Komisije (EU) 2015/207 od 20. siječnja 2015.) uključujući:
 - Dodatak 1. Izjava tijela nadleznog za praćenje područja NATURA 2000,
 - Dodatak 2. Izjava nadleznog tijela odgovornog za gospodarenje vodama,
 - Dodatak 3. Tablica koja se odnosi na uskladenost aglomeracija na koje se primjenjuje obrazac zahtjeva s direktivom o gospodarenju komunalnim otpadnim vodama,

- Dodatak 4. Studija izvodljivosti i analiza troškova i koristi (u skladu s odjeljcima D i E),
- Dodatak 5. - Karta na kojoj su utvrđeni područje projekta i georeferencirani podaci (u skladu s odjeljkom B.3.1.),
- Dodatak 6. - dokumentacija koja se zahtijeva u poglavlju F.3.3. Aplikacijskog Obrasca,
- preslike relevantnih odluka, dozvola i drugih dokumenata,
- Obrazac za opis spremnosti projekta - dostavljamo u prilogu,
- Obrazac izjave prijavitelja/partnera o istinitosti podataka, izbjegavanju dvostrukog financiranja i ispunjavanju preduvjeta za sudjelovanje u postupku dodjele,
- Izjava korisnika kojom se korisnik obvezuje da radovi neće započeti prije izdavanja građevinske dozvole koja se na njih odnosi - dostavljamo u prilogu.

Sukladno delegiranim funkcijama u postupku odobrenja projekta za sufinanciranje iz EU fondova sudjeluju Hrvatske vode u ulozi Posredničkog tijela razine 2 koje odrađuju provjeru prihvatljivosti projekta i projektnih aktivnosti te provjeru prihvatljivosti izdataka te Ministarstvo zaštite okoliša i energetike u ulozi Posredničkog tijela razine 1 koje ocjenjuje kvalitetu projektnog prijedloga.

Hrvatske vode u ulozi Posredničkog tijela razine 2 prilikom provjere prihvatljivosti projekta i aktivnosti te provjere prihvatljivosti izdataka (na temelju Uputa za prijavitelje, Pravilnika o prihvatljivosti izdataka te dosadašnjoj praksi) provjeravaju, između ostalog:

- administrativne dodatke:
 - Izrađenost okolišnih dokumenata/ishođenost okolišnih rješenja,
 - Ishođenost akata za građenje,
 - Riješenost imovinsko - pravnih odnosa,
- analizirane opcije:
 - Analiza aglomeracije/naselja,
 - Analiza UPOV-a (broj UPOV-a, lokacija UPOV-a, tehnologija UPOV-a),
 - Analiza zbrinjavanja mulja,
 - Analiza sposobnosti Krajnjeg Korisnika za provedbu projekta,
- financijsko - ekonomske postavke:
 - Postavke analize sukladno važećem Vodiču i utvrđenoj praksi,
 - Ocjena financijske situacije Korisnika u zadnje 3 godine,
 - Sposobnost osiguranja lokalnog financiranja,
 - Priuštivost projekta,
 - Procjena rizika projekta.
- komponente projekta i investicijski plana:
 - Implementacijski plan projekta,
 - Plan financiranja projekta,
 - Jedinične cijene sustava,
 - Vrijednost pojedinog elementa investicije,
 - Trošak investicije po stanovniku,

- Specifične investicijske troškove sustava odvodnje i/ili vodoopskrbe,
- Specifične pogonske troškove sustava,
- Specifične investicijske troškove UPOV-a i/ili UPPV-a,
- ciljeve projekta:
 - Usklađenost s relevantnim direktivama,
 - Priključenost stanovništva na sustav odvodnje (doprinos projekta),
 - Poboljšanje usluge vodoopskrbe (doprinos projekta).

Na temelju pozitivnih ocjena gore navedenih nadležnih tijela, Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova EU odobrava Poziv na dodjelu bespovratnih sredstava za projekt nakon čega se donosi odluka o financiranju koja je temelj za sklapanje ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava.

Sukladno dosadašnjem iskustvu odobrenje projekta na nacionalnoj razini, s dopunama i korekcijama dokumentacije, prosječno traje 6 mjeseci (od dostave inicijalnog projektnog prijedloga do potpisa ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava), dok u slučaju „velikih projekata“ (Ukupni prihvatljivi troškovi nakon uzimanja u obzir zahtjeve iz članka 61 regulative (EU No 1303/2013) prelaze 50 milijuna eura) odobrenje prosječno traje 9 mjeseci.

5. ULOGA HRVATSKIH VODA

Osim što imaju ulogu Posredničkog tijela razine 2 te su samim time akreditirane za, između ostalog, odobravanje projekata, Hrvatske vode pružaju stručnu pomoć Korisnicima projekta - JIVU u pripremi i prijavi projekata, prvenstveno kroz projektne timove i povjerenstva za provođenje postupaka javne nabave.

Uloga Hrvatskih voda je isključivo savjetodavna u smislu prenošenja iskustava s ranijih projekata, tumačenja zakonske regulative, komunikacije s javno - pravnim tijelima radi ubrzanja procedura ishoda potrebnih dokumenata ili provođenja stručnih recenzija izrađenih dokumenata.

Kroz postupak javne nabave Korisnik projekta - JIVU angažira konzultante koji će izraditi svu potrebnu studijsku i projektnu dokumentaciju, aplikacijski paket i dokumentaciju o nabavi. Ishođenje akata za gradnju, prijava projekta i provođenje postupaka javne nabave za obavljanje svih vrsta usluga, radova i nabava robe predviđenih planom nabave iz studijske dokumentacije je isključiva odgovornost Korisnika projekta - JIVU.

ZAKLJUČAK

Priprema projekta je možda najvažnije razdoblje u životu projekta. Sve faze projekta treba osmisliti i provesti tako da se dođe do odobrenja projekta s maksimalnim udjelom EU sufinanciranja. Pri tome treba detaljno sagledati sve tehničke detalje projekta i sve financijske detalje projekta, jer projekt mora zadovoljavati tehničke, ekološke i financijske zahtjeve prema EU pravilima, i naravno prema nacionalnoj regulativi i propisanim procedurama. Po odobrenju projekta treba isto tako pažljivo pripremiti i provesti postupke javne nabave, jer dijelovi dokumentacije o nabavi postaju dijelovi ugovora o radovima i sve što je u njima izostavljeno ili nedorečeno isplivat će na površinu tijekom provedbe projekta. U tom slučaju se pojavljuju sporovi između naručitelja i izvođača radova koji,

vrlo često, imaju za posljedicu proces arbitraže i isplatu financijskih potraživanja koja mijenjaju omjere financiranja projekta iz EU sredstava i nacionalne komponente, naravno na štetu nacionalnog udjela.

LITERATURA

- [1] Vlada Republike Hrvatske, (2010): *Plan provedbe (revidirani) vodno komunalnih direktiva*.
- [2] Vlada Republike Hrvatske, (2015): *Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina*.
- [3] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Hrvatske vode, (2018): *Upute za prijavitelje*, <https://www.voda.hr/hr/eu/dokumenti> (datum preuzimanja: 9. svibnja 2019.).
- [4] European Commission, (2014): *Guide to Cost Benefit Analysis of investment projects; Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014. - 2020.*, https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/guides/2014/guide-to-cost-benefit-analysis-of-investment-projects-for-cohesion-policy-2014-2020 (datum preuzimanja: 9. svibnja 2019.).
- [5] Ministarstvo poljoprivrede, Hrvatske vode, (2012): *Vodič za pripremu analize troškova i koristi vodno komunalnih projekata u Republici Hrvatskoj*.
- [6] Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova Europske Unije, (2018): *Pravilnik o prihvatljivosti izdataka*, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_12_115_2282.html (datum preuzimanja: 9. svibnja 2019.).
- [7] *Zakon o zaštiti okoliša*, <https://www.zakon.hr/z/194/Zakon-o-za%C5%A1titi-okoli%C5%A1a> (datum preuzimanja: 9. svibnja 2019.).
- [8] *Uredba o procjeni utjecaja zahvata na okoliš*, <http://www.propisi.hr/print.php?id=8161> (datum preuzimanja: 9. svibnja 2019.).
- [9] *Mrežna stranica Ministarstva zaštite okoliša i energetike*, (2019): <https://mzoe.gov.hr/puo-spuo-4012/4012> (datum preuzimanja: 9. svibnja 2019.).

AUTORI

Goran Milaković, mag. ing. aedif. ^a

Olivera Šegedin, dipl. ing. građ. ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10 000, Hrvatska, goran.milakovic@voda.hr, olivera.segedin@voda.hr



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

R 3.02.

IZAZOVI U PROVEDBI EU PROJEKATA

Berislav Marojević, Ivana Bašić, Petar Peroš

SAŽETAK: Projekti sufinancirani sredstvima EU u sferi izgradnje vodno-komunalne infrastrukture provode se usporenom dinamikom u odnosu na planirano. Postoji više razloga za ovakvu situaciju. Prije svega, do bitnog usporavanja dolazi u fazi provođenja postupaka javne nabave. Nekvalitetno izrađene Dokumentacije o nabavi, kao i ostali prateći dokumenti, poremećeno tržište, nepostojanje stalne prakse u postupanju pojedinih dionika u procesu, objektivan strah Korisnika od financijskih korekcija na dodijeljena sredstva, osnovni su izazovi u ovoj fazi provođenja projekata. Čak i nakon uspješnog završetka postupka javne nabave vrlo često dolazi do problema tijekom izvršenja ugovora. Zbog stanja na tržištu tj. visoke cijene rada i nedostatka adekvatne radne snage, izvođači teško osiguravaju izvođenje radova planiranom dinamikom što često dovodi do probijanja inicijalno postavljenih rokova. Zbog opsežnosti Dokumentacije o nabavi često dolazi i do neusklađenosti unutar različitih dijelova iste što može rezultirati i visokim nepredviđenim troškovima. Obzirom na osjetljivost tržišta u građevinskom sektoru sve češće dolazi do raskidanja postojećih ugovora uslijed pokretanja stečajnih postupaka nad pojedinim izvođačima radova što također doprinosi slabijoj apsorpciji EU sredstava.

KLJUČNE RIJEČI: javna nabava, poremećeno tržište, financijske korekcije, visoka cijena rada, nedostatak radne snage

CHALLENGES IN THE IMPLEMENTATION OF EU CO-FINANCED PROJECTS

ABSTRACT: Water utility construction projects co-financed by the EU funds are progressing at a slower pace than planned. There are several reasons for this situation. Primarily, a significant deceleration occurs in the public procurement phase. Inadequately prepared tender dossiers and supporting documents, a market disturbance, a lack of standard practice in the proceedings of individual stakeholders in the process and a justified fear of financial irregularities are the main challenges in this phase of the project cycle. Even after a successful tendering phase, problems often occur during contract implementation. Due to the current situation on the market, i.e. high labour cost and a lack of adequate labour force, contractors have difficulties in achieving the planned works dynamics, with a consequential failure to meet the deadlines. Because of the massive tender documents, discrepancies may occur between different parts of the tender, potentially resulting in sig-

nificant unforeseen expenditures. Owing to a delicate state of the civil engineering sector, contracts are terminated with increasing frequency due to a bankruptcy of individual contractors, which also contributes to a poor absorption of EU funds.

KEYWORDS: public procurement, market disturbance, financial corrections, high labour costs, lack of labour force

1. REPUBLIKA HRVATSKA I EUROPSKI STRUKTURNI I INVESTICIJSKI FONDOVI

Republika Hrvatska iz Europskih strukturnih i investicijskih (ESI) fondova u periodu 2014. - 2020. na raspolaganju ima preko 10,6 milijardi eura. Navedena sredstva dostupna su kroz pet europskih fondova: Europski fond za regionalni razvoj, Kohezijski fond, Europski socijalni fond, Europski poljoprivredni fond za ruralni razvoj i Europski fond za pomorstvo i ribarstvo. Temelj za korištenje sredstava iz ESI fondova je Sporazum o partnerstvu između Republike Hrvatske i Europske komisije za korištenje EU strukturnih i investicijskih fondova za rast i radna mjesta u razdoblju 2014. - 2020., koji je usklađen s ciljevima Strategije Europa 2020. U svrhu usmjerenog korištenja dostupnih EU sredstava u skladu s nacionalnim razvojnim potrebama i sa zajedničkim europskim strategijama i politikama razvoja, u Republici Hrvatskoj izrađeni su programski dokumenti koji predstavljaju okvir za korištenje EU sredstava, a to su Operativni program Konkurentnost i kohezija, Operativni program Učinkoviti ljudski potencijali, Program ruralnog razvoja Republike Hrvatske i Operativni program za pomorstvo i ribarstvo Republike Hrvatske. Operativni program Konkurentnost i kohezija 2014. - 2020. programski je dokument koji utvrđuje područja ulaganja iz Europskog fonda za regionalni razvoj i Kohezijskog fonda. U dokumentu su navedena prioriteta područja ulaganja na koja se planiraju utrošiti sredstva iz navedena dva fonda, a za cijeli Operativni program namijenjeno je 6,8 milijardi eura. Dostupna alokacija planira se utrošiti na provedbu projekata pod deset prioriteta područja ulaganja:

1. Jačanje gospodarstva primjenom istraživanja i inovacija,
2. Korištenje informacijske i komunikacijske tehnologije,
3. Poslovna konkurentnost,
4. Promicanje energetske učinkovitosti i obnovljivih izvora energije,
5. Klimatske promjene i upravljanje rizicima,
6. Zaštita okoliša i održivost resursa,
7. Povezanost i mobilnost,
8. Socijalno uključivanje i zdravlje,
9. Obrazovanje, vještine i cjeloživotno učenje,
10. Tehnička pomoć.

Institucionalni okvir za upravljanje Operativnim programom Konkurentnost i kohezija sastoji se od Upravljačkog tijela, Posredničkih tijela razine 1 i 2, Tijela za ovjeravanje i Tijela za reviziju. Funkcije Upravljačkog tijela obavlja Ministarstvo regionalnoga razvoja i fondova EU, funkcije Tijela za ovjeravanje vrši Ministarstvo financija, a Tijela za reviziju Agencija za reviziju sustava provedbe programa Europske unije (ARPA). Posrednička tijela razine 1 i 2 određena su na razini specifičnih ciljeva te obavljaju funkcije koje im je

delegiralo Upravljačko tijelo.

Hrvatskim vodama je u okviru Operativnog programa Konkurentnost i kohezija dodijeljena uloga Posredničkog tijela razine 2 (u daljem tekstu HVPT2) za specifični cilj 5b1 u sklopu Investicijskog prioriteta 5: Klimatske promjene i upravljanje rizicima te za specifične ciljeve 6iil i 6ii2 u sklopu Investicijskog prioriteta 6: Zaštita okoliša i održivost resursa.

Za navedene specifične ciljeve inicijalno je alocirano 1.264.340.216,00 eura.

2. SPECIFIČNI PROBLEMI POJEDINIH ŽIVOTNIH FAZA INFRASTRUKTURNOG PROJEKTA

Tokom životnog ciklusa jednog infrastrukturnog EU projekta moguće je definirati sljedeće faze:

1. Definiranje preliminarne aglomeracije (Referentni dokument: Revidirani plan provedbe vodno - komunalnih Direktiva);
2. Izrada Studije izvodljivosti;
3. Izrada projektne dokumentacije;
4. Izrada okolišnih dokumenata;
5. Odobravanje projekta i potpis Ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava;
6. Provođenje postupaka javne nabave po elementima projekta;
 - 6.1 Dostava projektnog plana nabave u HVPT2 i njegovo odobrenje što uključuje analizu rizika i odabir postupaka nabave koji je potrebno dostaviti u HVPT2 na ex ante i/ili ex post kontrolu;
 - 6.2 Naručitelj (Korisnik) provodi prethodno savjetovanje sa zainteresiranim gospodarskim subjektima;
 - 6.3. Ex ante kontrola postupka nabave;
 - 6.4. Postupak javne nabave (Od objave do potpisa Ugovora);
 - 6.5. Ex post kontrola postupka nabave;
7. Provedba projekta/ugovora;
8. Zakonski jamčevni rok.

Iako su izazovi u provedbi EU projekata prisutni kroz cijeli životni ciklus pojedinog Projekta, fokus ovdje je stavljen na fazu provođenja postupaka javne nabave te na fazu samog provođenja projekta/ugovora u kojima su izazovi najveći.

2.1. Prethodno savjetovanje sa zainteresiranim gospodarskim subjektima

U fazi provođenja postupaka javne nabave prvi problemi dolaze u fazi prethodnog savjetovanja. Naime, često puta Naručitelji ne razumiju samu svrhu prethodnog savjetovanja sa zainteresiranim gospodarskim subjektima. Stoga je istu važno pojasniti.

Prilikom prethodnog savjetovanja Naručitelj svoju Dokumentaciju o nabavi po prvi puta stavlja pred (gospodarski) zainteresiranu stručnu javnost i ovo je prvi indikator o razini kvalitete same Dokumentacije o nabavi. Puno komentara i prijedloga zainteresiranih gospodarskih subjekata uglavnom znači da na Dokumentaciji o nabavi treba dodatno raditi. Budući da se Dokumentacija o nabavi najčešće izrađuje paralelno sa ostalom dokumentacijom potrebnom za apliciranje projekta na EU sufinanciranja, to znači da postoji

značajan vremenski odmak od trenutka njene izrade, do trenutka javne objave. Prilikom izrade Studije izvodljivosti prikupljaju se informacije o predmetu nabave, gospodarskim subjektima koji sudjeluju na tržištu te drugim okolnostima koje utječu na uvjete nabave odnosno provodi se svojevrsna analiza tržišta. Ali do trenutka objave nabave prikupljene informacije su često „zastarjele“ te ne odražavaju trenutno stanje na tržištu, kao niti praksu ostalih tijela u sustavu javne nabave. Stoga je prethodno savjetovanje sa zainteresiranim gospodarskim subjektima vrlo bitno i daje naručitelju da pomno prouči sve opaske koje su zainteresirani gospodarski subjekti dali na Dokumentaciju o nabavi, a kako bi je čim više približilo realnoj situaciji u kojoj se javna nabava pokreće.

Najveća poteškoća leži u činjenici da Naručitelji ponekad olako prelaze preko komentara zainteresiranih gospodarskih subjekata, što za posljedicu ima kasnije žalbe u postupku javne nabave, točnije žalbe na Dokumentaciju o nabavi. Nadalje, zbog općeg usporavanja cjelokupnog procesa koji je u ovoj fazi već bitno vremenski opterećen (akumulirano kašnjenje kroz prijašnje faze projekta), Korisnik je u poziciji da žurno mora krenuti u fazu objave javnog nadmetanja, pa i u tome leži dodatni razlog zbog kojega pojedini Korisnici svjesno prelaze preko komentara zainteresiranih gospodarskih subjekata.

Također potrebno je istaknuti da postoje i situacije sa vidnom zlorabe prethodnog savjetovanja. Gospodarski subjekti ne koriste mogućnost upita i otklanjanja eventualnih nejasnoća u Dokumentaciji o nabavi u periodu u kojem je ona stavljena na prethodno savjetovanje već koriste to dodatno vrijeme za pripremu žalbe na Dokumentaciju o nabavi.

2.2. Ex-ante kontrola Dokumentacije o nabavi

Sukladno važećoj proceduri koja je propisana Zajedničkim nacionalnim pravilima, HVPT2 provodi analizu rizika, sukladno kojoj se vrši odabir postupaka nabava koji će proći ex ante kontrolu i ex post kontrolu.

Analiza rizika je bodovanje pojedinog postupka nabave po definiranim parametrima. Ukoliko je određenom postupku nabave dodijeljen broj bodova koji ga stavlja u kategoriju visokog rizika, taj postupak je dužni proći ex ante kontrolu odnosno naručitelj (Korisnik) je dužan dostaviti Dokumentaciju o nabavi prije objave postupka na pregled. Parametri za analizu rizika su, između ostalih:

- Vrijednost nabave (vrijednost iznad ili ispod EU pragova za nabavu);
- Prethodno iskustvo Korisnika u korištenju EU fondova;
- Eventualne prijašnje financijske korekcije izrečene Korisniku.

Također, bitno je napomenuti da HVPT2 zadržava diskrecijsko pravo da i određene postupke nabave koji nisu prešli bodovni prag proširi uzorak i podvrgne ex ante kontroli. Sam postupak ex ante kontrole traje 15 radnih dana. Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova Europske unije (MRRFEU) kao Upravljačko tijelo delegiralo je ex ante kontrolu na način da su dužnosti podijeljene između dvije Institucije: SAFU i Hrvatske vode. Konkretna raspodjela dužnosti pregleda ide kako slijedi:

- SAFU kontrolira: Upute Ponuditeljima i Prijedlog Ugovora,
- HVPT2 kontrolira: Usklađenost sa Ugovorom o dodjeli bespovratnih sredstava, Projektni zadatak/Tehničke specifikacije/Zahtjeve Naručitelja, Troškovnik, Nacrte.

Kontrola se sastoji od izrade neobvezujućih preporuka Naručitelju kako unaprijediti Dokumentaciju o nabavi. Jedan od osnovnih zahtjeva u ex ante kontroli je uputiti Naručitelja

kako izbjeći financijske korekcije vezane uz samu Dokumentaciju o nabavi. Najčešće se izdaju preporuke vezano uz Kriterije za kvalitativni odabir gospodarskog subjekta i Kriterij za odabir. Naručitelji uobičajaju usvojiti preporuke, ali ponekad, usprkos strahu od potencijalnih korekcija određene preporuke ne usvajaju budući da isti odstupaju od standardiziranih Dokumentacija o nabavi koje Naručitelj samostalno izrađuje i po njima provodi postupke javne nabave koji nisu sufinancirani sredstvima EU.

Također, Naručitelju se daju i savjetodavne napomene vezane uz sam postupak pregleda i ocjene ponuda.

U ovoj fazi pojavljuje se problem koji se očituje u činjenici da se pristupi Tijela iz Institucionalnog okvir za upravljanje Operativnim programom Konkurentnost i kohezija, kao i tijela u nacionalnom sustavu javne nabave, prema određenoj tematici često mijenja. Stoga je vrlo teško na razini sustava uspostaviti dobru praksu i sukladno tome izraditi određene obrasce postupanja u izradi Dokumentaciji o nabave. Iako je jasno da svaka Dokumentacija o nabavi nužno mora biti prilagođena potrebama Naručitelja u odnosu na specifičnosti predmeta nabave, ipak bi uz usuglašavanje dobre prakse na razini cijelog sustava korištenja EU fondova bilo moguće izraditi tipizirane Predloške Dokumentacije o nabavi za svaki element projekta (primjerice Usluge upravljanja projektom, Usluge nadzora nad izgradnjom, Projektiranje i izgradnja UPOV-a, Izgradnja sustava odvodnje i vodoopskrbe te nabava Opreme).

Zbog učestale izmjene informacija međusobno između Naručitelja, a koji su zbog identične sfere svoga poslovanja (Javni Isporučitelji Vodnih Usluga) vrlo dobro povezani, dolazi do zagušenja komunikacijskih kanala, pa i pogrešnih interpretacija određenih komentara.

Kao najrecentniji primjer (u trenutku pisanja ovoga Rada), ističe se problematika korištenja Operativnih troškova kao jednog od kriterija ekonomski- najpovoljnije ponude. Naime, kao jedan od kriterija za odabir ponude u pristupu najboljeg omjera cijene i kvalitete predloženi su operativni troškovi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) sukladno dokumentu *Javna nabava - smjernice za praktičare o izbjegavanju najčešćih pogrešaka u postupcima javne nabave u okviru projekata financiranih iz europskih strukturnih i investicijskih fondova iz veljače 2018* te vezanim dokumentima SIGMA - Brief 8 - Public Procurement - Setting the Award Criteria iz rujna 2016. i SIGMA - Brief 34 - Public Procurement - Life-cycle Costing iz rujna 2016. Samom Direktivom 2014/24/EU o javnoj nabavi iz 2014. godine stavljen je naglasak na odabir ekonomski najpovoljnijih ponuda koristeći cijenu i kvalitetu, uključujući i troškove tijekom životnog vijeka ("life - cycle cost") gdje je to primjenjivo. Obzirom na odabir FIDIC žute knjige (Projektiranje i Gradnja) kao modela ugovora između Korisnika i Izvršitelja te otvorenost za različite tehnologije propisane u većini Studija izvodivosti, operativni troškovi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda su vrlo značajan kriterij za odabir ponude jer svojim iznosom mogu značajno opteretiti poslovanje JIVU. Ipak, određena Tijela iz Institucionalnog okvir su tumačenja da su operativni troškovi kao takvi neprihvatljivi i potencijalno opasni kao kriterij za odabir ekonomski najpovoljnije ponude. Kao razlog za ovakav stav, ističe se eventualna mogućnost da odabrani Ponuditelj (Izvođač) ne postigne jamčene operativne troškove iz svoje ponude, na temelju kojih je dobio Ugovor te da bi stvarni operativni troškovi predstavljali bitnu izmjenju ugovora ukoliko se ustvrdi da ponuda Izvršitelj ne bi bila ocijenjena kao ekonomski najpovoljnija ponuda da su se inicijalno bodovali

stvarni operativni troškovi. Utvrđivanje bitne izmjene ugovora neminovno zahtjeva propisivanje financijske korekcije. Međutim, druga Tijela su stava da ukoliko Ugovor ima odredbe o naplati penala za neizvršavanje ugovornih obaveza te ukoliko se isti primjenjuju, da je riječ o izvršenju ugovora sukaldno ugovornim uvjetima i isto se ne može smatrati bitnom izmjenom ugovora.

Primjera u razilaženju stavova ima više, i mnogi se mogu pripisati razlikama u poznavanju same materije ugovaranja velikih infrastrukturnih projekata, koji su sami po sebi iznimno zahtjevni, kako sa financijske, tako i sa tehničke strane.

Ključan pomak i brži prolazak kroz ovu fazu može se očekivati tek uspostavom dobre prakse, usklađivanjem stavova Tijela te sve dok Naručitelji posljedično ne steknu veću razinu pravne sigurnosti i povjerenja u sam institucionalni okvir.

2.3. Objava postupka javne nabave

Nakon zaprimanja preporuka i eventualne izmjene Dokumentacije o nabavi, Naručitelj ponavljaju postupak prethodnog savjetovanja sa zainteresiranim gospodarskim subjektima ukoliko su promjene značajne ili pokreće postupak javne nabave.

Postoji praksa kod određenog broja Naručitelja da povrhom ex ante kontrole mijenjaju Dokumentaciju o nabavi, pa HVPT2 ne može adekvatno reagirati. Preciznije, na ex ante kontrolu dostavlja se jedna verzija Dokumentacije o nabavi, a objavljuje se značajno drugačija Dokumentacije o nabavi, čije značajne izmjene nisu nastale iz preporuka niti su prošle kontrolu. U ovakvim slučajevima postoji opasnost da je propušteno pregledati i reagirati na neke odredbe koja potencijalno predstavljaju temelj za financijske korekcije. U ovoj fazi, vrlo su česte žalbe na Dokumentaciju o nabavi, koje mogu biti opravdane ali i često neutemeljene, izjavljene izvan roka, odbijene te svejedno maliciozno ponovno izjavljivane neograničen broj puta. Upravo takve žalbe predstavljaju jedan od ključnih problema vezanih uz javnu nabavu danas. Naime, u praksi, određeni gospodarski subjekti, a od kojih mnogi nisu niti registrirani za obavljanje djelatnosti sukladne predmetima nabave, izjavljuju žalbe i po nekoliko puta. Te su žalbe uglavnom nepravodobne te za svoju svrhu nemaju potencijalni ispravak Dokumentacije o nabavi, već im je svrha isključivo zaustaviti postupak nabave. Sukladno važećem Zakonu o javnoj nabavi (Narodne novine, broj 120/16), moguće je izraziti žalbu na Dokumentaciju o nabavi uz naknadu od svega 5.000,00 kuna, bez obzira na procijenjenu vrijednost javne nabave, a o svakoj žalbi odlučuje Državna komisija za kontrolu postupaka javne nabave (DKOM), čak i kada je ona neuredna i/ili nepravodobna. Ovdje je važno istaknuti da su sukladno starom Zakonu o javnoj nabavi (Narodne novine, broj 90/11, 83/13, 143/13, 13/14) Naručitelji mogli samostalno postupati po žalbama u određenim situacijama, primjerice žalbama izjavljenim izvan roka. Čak i uz brzo odlučivanje DKOM-a o odbacivanju ovakvih žalbi, rokovi za dostavu ponuda opetovano se produljuju, budući da Naručitelj iznova zaprima dodatne upite gospodarskih subjekata i sukcesivno izmjenjuje Dokumentaciju o nabavi, posljedično produljujući rok za dostavu ponuda. U konačnici usporava se planirana dinamika ugovora odnosno projekta.

Nastavno na izmjene Dokumentacije o nabavi, potrebno je osigurati adekvatnu razinu transparentnosti objavljivanja tih izmjena, posebno kad je riječ o postupcima velike vrijednosti koji se automatizmom objavljuju i u Službenom listu Europske unije (SLEU). Sve izmjene koje se odnose na informacije koje su izričito napisane u inicijal-

noj Obavijesti o nadmetanju (Elektroničko oglasnik javne nabave - EOJN: Standardni obrazac 2: Obavijest o nadmetanju ili Standardni obrazac 5: Obavijest o nadmetanju - sektorska nabava) potrebno je objaviti kroz Standardni obrazac 14: Obavijest o izmjenama ili dodatnim informacijama, kako bi se posljedično ti dodatni podaci objavili i u SLEU. Na temelju prethodnih iskustava s revizorima europske komisije, poznato je da ukoliko jednaka razina objave na EOJN i SLEU izostane, revizori isto tumače kao kršenje načela transparentnosti i zabrane diskriminacije, obzirom da smatraju kako ponuditelji koji nabavu prate putem SLEU ne raspolazu punim informacijama o razini izmjena u Dokumentaciji o nabavi.

2.4. Pregled i ocjena ponuda

Nakon otvaranja dostavljenih ponuda slijedi pregled i ocjena ponuda. Dinamika ove faze ugovaranja ponajprije ovisi o prethodnom iskustvu Naručitelja i njegovih ovlaštenih predstavnika. U nedostatku iskustva Naručitelji često angažiraju i imenuju vanjsko osoblje, što pravnike što tehničke stručnjake koji su pogotovo neophodni kod ugovaranja nabava koje uključuju projektiranje i gradnju, poput uređaja za pročišćavanje otpadne vode ili uređaja za preradu pitke vode. Usprkos velikom broju ovlaštenih predstavnika naručitelja, pogreške tijekom pregleda su česte su pogreške, a najčešće je riječ o nejednakom postupanju.

Veliki problem u današnje vrijeme je poremećeno stanje na tržištu gdje visoke cijene rada i nedostatak adekvatne radne snage dovode do smanjenja broj gospodarskih subjekata koji su sposobni izvršiti ugovor odnosno do smanjenja razine tržišnog natjecanja što rezultira cijenama ponuda koje višestruko premašuju procijenjene vrijednosti. Prvenstveno se ova situacija događa u slučaju nabave radova. Na natječajima iz vodno - komunalnog sektora čija je procijenjena vrijednost iznad 100.000.000,00 kn provedenim u 2018. i 2019. godini, Naručitelji su zaprimili prosječno 2,7 ponuda po natječaju čiji je iznos bio mahom iznad procijenjene vrijednosti. Za usporedbu se može uzeti da je na natječajima provedenim u 2015. i 2016. broj ponuda bio između 6 i 8 te da nije bilo znatnih odstupanja u iznosu ponuda u odnosu na procijenjenu vrijednost nabave.

Nakon izvršenog pregleda i ocjene ponuda, Naručitelj donosi pripadajuću Odluku o odabiru. U značajnom broju postupaka, Ponuditelji koji nisu odabrani koriste svoje zakonsko pravo i izjavljuju Žalbe DKOM-u na Odluke o odabiru. Posljedično, a što je najprije slučaj kod nabava radova koje uključuju projektiranje i izgradnju, slijedi višemjesečni period tokom kojeg DKOM donosi svoja rješenja. Nakon donošenja rješenja DKOM-a, uglavnom slijede dodatne Žalbe, što dodatno vremenski opterećuje taj ugovor, a time i druge vezane ugovore unutar samog projekta. Naime neke aktivnosti projekta međuovisno su ovisne o drugima, npr. Ugovor o uslugama upravljanja projektom i Ugovor o uslugama stručnog nadzora ovisni su o dinamici Ugovora o radovima. Posljedično ukoliko ne dolazi do pravovremenog ugovaranja Ugovora o radovima, konzumacija ostalih već ugovorenih ugovora kasni i javljaju se pitanja potraživanja dodatnih sredstava zbog značajne izmjene inicijalnih rokova i angažiranosti stručnog osoblja. Ili se događa obrnuta situacija, da Naručitelji namjerno ne objavljuju nabave za druge povezane ugovore ili odgađaju donošenje Odluke o odabiru, jer su svjesni dugoročnosti i svih poteškoća ugovaranja Ugovora o radovima.

Nakon protoka roka mirovanja pristupa se potpisu Ugovora. Iako sam potpis Ugovora ne

predstavlja i kraj postupka javne nabave, ukoliko je Dokumentacijom o nabavi propisana obavezna dostava Jamstva za uredno ispunjenja ugovora u određenom roku. Pogotovo u slučaju ugovora o radovima, riječ je o značajnim financijskom iznosima, što mnogi odabrani Ponuditelji nisu u stanju pravovremeno pribaviti. U slučaju da Naručitelji prihvate Jamstvo dostavljeno sa zakašnjenjem, i ne tretiraju odabranog Ponuditelja kao da je odustao od svoje ponude i ne pristupe ponovnom rangiranju, izlažu se riziku od potencijalnih financijskih korekcija, iako u tom trenutku nema plaćanja prema Izvođaču te nema stvarnih aktivnosti na gradilištima. Stopa korekcije ovisi o broju dana zakašnjenja što je propisano Pravilima o financijskim korekcijama koja su sastavni dio Zajedničkih nacionalnih pravila.

2.5. Ex-post kontrola postupka javne nabave

Prije isplate financijskih sredstava Korisniku po određenom Ugovoru o nabavi u okviru odobrenog projekta za koji je potpisan Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava, potrebno je izvršiti ex post kontrolu samog postupka.

Kontrolu vrši HVPT2 na temelju cjelokupne dostavljene dokumentacije koja uključuje sve što je mjerodavno za određeni postupak počevši od usklađenosti predmeta nabave sa Studijom izvodljivosti koja je temelj Ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava pa do Imenovanja ovlaštenih predstavnika naručitelja, Izjava o sukobu interesa, Izvještaja o provedenom prethodnom savjetovanju sa zainteresiranim gospodarskim subjektima, Dokumentacije o nabavi i izmjene iste, objavljenih Standardnih obrazaca, kako na EOJN tako i u SLEU, svu komunikaciju Naručitelja i potencijalnih Ponuditeljima, Zapisnik o otvaranju, Zapisnik o pregledu i ocjeni ponuda, pojašnjenje ponuda, ažurirane podatke, Odluku o odabiru, Žalbe, Rješenje na žalbe, Ponudbena jamstva, Ugovor, jamstva za uredno ispunjenje ugovora.

Kontrola se vrši popunjavanjem unaprijed definirane kontrolne liste koja je preuzeta iz Zajedničkih nacionalnih pravila (2014. - 2020.) te uzimajući u obzir Pravila o financijskim korekcijama koja su također sastavni dio zajedničkih nacionalnih pravila, a i sastavni prilog samog Ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava.

Ukoliko HVPT2 utvrde postojanje nepravilnosti u određenom postupku nabave, propisuje se adekvatna stopa financijske korekcije za taj ugovor te se umanjuje iznos dodijeljenih bespovratnih sredstava. Stope su također propisane Pravilima o financijskim korekcijama, ali sukladno pojedinim okolnostima svakog pojedinačnog postupka koje se mogu smatrati olakotnim, moguće je smanjenje maksimalne stupe korekcije za određene tipove nepravilnosti. Ukoliko Korisnik ima Prigovor na Odluku o nepravilnosti utvrđenu od strane HVPT2 isti upućuje MRRFE kao Upravljačkom tijelu.

Posebno je važno napomenuti kako moguća kontrola pojedinog ugovora i njegovih izdataka ne završava sa HVPT2. Druga Tijela unutar Institucionalnog okvira poput Upravljačkog tijela i ARPA-e uzrokuju sklopljene ugovore te ih podvrgavaju vlastitoj kontroli koja podrazumijeva ponovni sveobuhvatni pregled provedenog postupka nabave. Nakon nacionalnog pregleda, revizori Europske komisije također revidiraju određeni uzorka ugovora i postupanje nacionalnih Tijela. Iz svega navedenog, utvrđivanje nepravilnosti koja podrazumijeva propisivanje financijske korekcije moguće je čak do 5 godina nakon završnog plaćanja na projektu ili 5 godina od zatvaranja operativnog programa (primjenjuje se dulji rok).

Mimo redovne kontrole Tijela u Sustavu i Europske komisije, ugovori o nabavi mogu biti predmet istrage Državnog odvjetništva Republike Hrvatske (DORH) ili Europskog ureda za borbu protiv prijevара (OLAF). U slučaju da nadležno sudsko ili upravno tijelo utvrdi prijevaru, financijska korekcija iznosi 100 %.

2.6. Provedba ugovora/projekta

Provedba EU projekata konkretno u vodno-komunalnom sektoru podrazumijeva izvršenje ugovora, čiji opseg, financijska vrijednost i administrativna kompleksnost predstavljaju izazov za Korisnike EU sredstava (Javni Isporučitelji Vodnih Usluga), obzirom da se većina njih u dosadašnjim investicijskim ciklusima nije susretala sa investicijom takvih karakteristika.

Provedba ugovora, kao sljedeći korak u projektnom ciklusu, osim seta vlastitih specifičnih problema povlači sa sobom probleme nastale u fazi javne nabave. Naime u slučaju izrečenih korekcija na provođenje postupaka javne nabave Korisnici/Naručitelji se susreću sa velikim problemom u osiguranju toka novca koje zahtijevaju ugovori o radovima, koji predstavljaju najveći dio investicije. Ovaj problem postaje dodatno izražen u onim slučajevima kada se korekcija ne propisuje odmah nakon provođenja postupka javne nabave, već se propisuje tijekom provedbe ugovora o radovima koji je u podmaklom stupnju gotovosti tj. nakon dodatnih kontrola Tijela institucionalnog okvira, revizora Europske komisije ili istražitelja OLAF-a. Takvi slučajevi iziskuju od Korisnika da mora brzo osigurati značajna financijska sredstva, najčešće putem kredita.

Značajni problemi u provedbi ugovora o radovima temeljem FIDIC crvene knjige (*Uvjeti Ugovora o građenju za građevinske i inženjerske radove po projektima Naručitelja*) nastupaju i u slučajevima kada tehničke specifikacije propisane Dokumentacije za nadmetanje nisu usklađene sa glavnim projektima tj. kada se prilikom unifikacije skupa glavnih projekata ne provede kvalitetno usklađenje troškovnika iz istih. Osim navedenog kao problem se treba istaknuti i nepostojanje kvalitetnog katastra instalacija što rezultira izdavanjem posebnih uvjeta od nadležnih tijela sukladno kojima se ne mogu izvoditi radovi na terenu. Predmetne ugovore temeljem FIDIC crvene knjige najčešće karakterizira spora mobilizacija Izvođača, kašnjenje sa izradom izvedbenih projekata te izvođenje radova sa premalim brojem radnika i radnih ekipa zbog čega radovi najčešće ne završavaju u inicijalno planiranim rokovima.

Ugovori o radovima koji se provode temeljem FIDIC Žute knjige (*Uvjeti Ugovora za postrojenje i projektiranje i građenje za elektrotehničke i strojarske građevinske i inženjerske radove po projektima Izvođača*) uključuju: projektiranje (idejni projekt, glavni projekt, izvedbeni projekt, projekt izvedenog stanja), dobivanje odobrenja i dozvola (uvjeti i suglasnosti javnopravnih i drugih tijela, lokacijska dozvola, građevinska dozvola), izgradnje postrojenja, uključivo dobava i ugradnja opreme, puštanja postrojenja u pogon, obuke osoblja Naručitelja, dokazivanja traženih parametara u pokusnom radu i tijekom testova po dovršetku, uključivo provedbe tehničkog pregleda. Već u fazi projektiranja te ishoda građevinske dozvole ili eventualno izmjene lokacijske dozvole dolazi do kašnjenja, u odnosu na među rokove predviđene ugovorom. Pošto ugovorima nisu predviđene ugovorne kazne za kašnjenje u pojedinim fazama ugovora često se dogodi da se na projektiranje potroši dobar dio vremena predviđenog za izgradnju postrojenja.

U konkretnim primjerima provedbe vodno-komunalnih EU sufinanciranih projekata, do

sada je u čak 4 navrata došlo do pokretanja predstečaja ili likvidacije nad nositeljem zajednice ponuditelja što je dovelo do dodanih kašnjenja u provedbi tih projekata. Navedeno je u tri slučaja rezultirao sa raskidima postojećih ugovora dok je u jednom slučaju provedbu ugovora nastavio solidarni konzorcijski partner.

Iskustveno se pokazalo da dio Korisnika/Naručitelja (Javni Isporučitelji Vodnih Usluga) prekasno uključuje osoblje koje će upravljati postrojenjima u provedbu Ugovora. Npr. osoblje koje će upravljati uređajem za pročišćavanje otpadnih voda nominirano je i educirano tek u završnoj fazi Pokusnog rada, kojim inače upravlja Izvođač. Puno efikasnije za kasnije upravljanje postrojenjima bilo bi da osoblje koje će upravljati istima bude uključeno u provedbu ugovora od samog početka tako da se upozna sa svim tehničkim specifičnostima istih te da sudjeluje tijekom cijelog perioda Pokusnog rada i upozna se sa karakteristikama i ciklusima influenta.

Kada je riječ o Ugovorima o uslugama stručnog nadzora, dio ugovora ima odredbu o plaćanju usluge nadzora sukladno postotku realizacije Ugovora o radovima, što se često pokazalo problematičnim. Naime, mnogi Ugovori o nadzoru su izvršavani od strane pod-izvršitelja, obično malih poduzetnika u formi manjih ureda ovlaštenih inženjera. U slučaju da ne postoji mogućnost dobivanja ugovornog predujma, a Izvođač ima slabiju realizaciju na početku svog Ugovora, dolazi ozbiljnih financijskih problema i nelikvidnosti upravo ovih pod-izvršitelja.

ZAKLJUČAK

Sprječavanje, ali i utvrđivanje nepravilnosti i prijevara unutar ESI fondova, predstavlja suštinu posla svih Tijela unutar institucionalni okvir za upravljanje Operativnim programom Konkurentnost i kohezija. Nepravilnosti utvrđene na razini pojedinog ugovora u sklopu EU sufinanciranog projekta mogu dovesti do uskrate sredstava propisivanjem financijske korekcija. Obzirom da snošenje financijskog tereta za uskraćena sredstva u cijelosti pada na Korisnika, evidentno je da financijske korekcije mogu dovesti do obustave cijelog projekta, što bi se negativno odrazilo na cijeli sustav povlačenja EU sredstava. Infrastrukturni projekti posebno su ranjivi zbog svoje kompleksnosti i posljedično velike investicijske vrijednosti. Ovisno o vrijednosti ugovora i visini financijske korekcije mogu bitno ugroziti samu financijsku egzistenciju Korisnika.

Kako bi se ova situacija izbjegla, tj. kako bi se rizik za njeno pojavljivanje sveo na prihvatljivi minimum, potrebna je prije svega konstantna edukacija svih dionika u procesu. Također je potrebno da svi dionici u procesu kontinuirano komuniciraju, razmjenjuju svoja znanja i iskustva o problematici. Broj slučajeva utvrđenih nepravilnosti i dalje je visok te je neophodno nastaviti s naporima kako bi se stupa utvrđenih nepravilnosti u budućim ugovorima svela na minimum.

LITERATURA

- [1] Zajednička nacionalna pravila, Verzija 5.0, 10. travnja 2019.
- [2] Javna nabava - smjernice za praktičare o izbjegavanju najčešćih pogrešaka u postupcima javne nabave u okviru projekata financiranih iz europskih strukturnih i investicijskih fondova, veljača 2018.

AUTORI

Berislav Marojević, dipl. oec. ^a

Ivana Bašić, dipl. ing. građ. ^b,

Petar Peroš, dipl. ing. građ. ^c

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb, Hrvatska,
bmarojevic@voda.hr, ibasic@voda.hr, pperos@voda.hr



R 3.03.

ANALIZA ULOGE I ODGOVORNOSTI VODITELJA PROJEKATA SUFINANCIRANIH SREDSTVIMA EUROPSKE UNIJE

Mariela Sjekavica Klepo, Robert Kartelo

SAŽETAK: Obveza uspostave organizacijske strukture potrebne za uspješno upravljanje projektima te imenovanja voditelja projekata, uključivo definiranje njegove uloge, zadataka i odgovornosti sukladno relevantnoj europskoj i nacionalnoj legislativi, aktualni su izazovi na projektima u Hrvatskoj. Dani izazovi imaju i dodatne, karakteristično sektorske elemente u kontekstu uspješnosti provedbe projekata koji su sufinancirani sredstvima Europske unije, a za koje su Hrvatske vode odgovorne u svojstvu Posredničkog tijela razine 2. Cilj ovog rada je pregledno prikazati i analizirati postojeću situaciju te formirati preporuke za unaprjeđenje upravljanja ovim projektima s naglaskom na ulogama i zadacima voditelja projekta. U svrhu ostvarenja predmetnog cilja napravljen je presjek relevantne literature na području, opisan značaj i način formiranja tima za upravljanje projektima te uloge i odgovornosti voditelja projekta. Potom je izvršena kvantitativna i kvalitativna analiza usluga koje se ugovaraju u kontekstu upravljanja EU projektima vodne infrastrukture. Kvantitativna analiza podrazumijeva analizu financijskih sredstava predviđenih za uslugu upravljanja projektima. Kvalitativna analiza podrazumijeva analizu: odgovornosti i tip Jedinica za provedbu projekata, vrste troškova koji se potražuju u sklopu projektnog elementa upravljanja projektima, veličinu projektnog tima te sveobuhvatnu analizu uloge i dodijeljenih odgovornosti voditelja projekta. Analizirani podaci su stavljeni u literaturni kontekst, sukladno čemu su definirane preporuke i smjernice za daljnji razvoj upravljanja projektima i buduća istraživanja.

KLJUČNE RIJEČI: EU projekti, Jedinica za provedbu projekata, PM² metodologija, projektni tim, Posredničko tijelo 2, upravljanje projektima, voditelj projekta

ANALYSIS OF THE ROLE AND RESPONSIBILITIES OF A PROJECT MANAGER OF EU CO-FINANCED PROJECTS

ABSTRACT: The obligation to establish the organizational structure needed for successful project management and appointing a project manager, including the definition of his roles, tasks and responsibilities in accordance with the relevant European and national legislation are the present challenges for projects in Croatia. These challenges also have additional, characteristically sectoral elements in the context of a successful implemen-

tation of projects that are co-financed with European Union funds, for which Hrvatske vode, as an Intermediate Body Level 2, is responsible. The paper aims to present an overview and analysis of the current situation and to offer recommendations for improving the management of these projects, with an emphasis on the roles and tasks of a project manager. To this end, the paper provides a review of the relevant literature in the field and a description of the significance and manner of establishing a project team, including the roles and responsibilities of a project manager. This is followed by a quantitative and qualitative analysis of the services that are contracted in the context of project management of EU co-financed water infrastructure projects. The quantitative analysis pertains to an analysis of the financial funds planned for the service of project management. The qualitative analysis addresses the responsibilities and types of Project Implementation Units, the types of costs claimed within the project element "Project management", the size of a project team and an overall analysis of the roles and assigned responsibilities of a project manager. The analysed data is then put into the context of the relevant literature, based on which the recommendations and guidelines for further development of project management and future research are defined.

KEYWORDS: EU projects, Project Implementation Unit, PM² methodology, project team, Intermediate Body Level 2, project management, project manager

1. UVOD

Voditelj projekta je osoba na čelu tima odgovornog za uspjeh projekta (Radujković, 2000). Brojna su istraživanja pokazala pozitivnu vezu između kompetentnog upravljanja projektima i uspješnih projektnih ishoda (Feger i Thomas, 2012; Mir i Pinnington, 2014; Serrador i Turner, 2014), što je osobito bitna premisa u djelatnostima koje su tradicionalno projektno orijentirane, kao što je to građevinarstvo.

Isto je prepoznato u kontekstu domaćeg zakonodavstva u trenutku predzadnje izmjene Zakona o poslovima i djelatnostima prostornog uređenja i gradnje (NN 78/15), kojom voditelj projekta poprima zakonodavno prepoznatu (i u određenim slučajevima, obaveznu) ulogu na projektima gradnje i prostornog uređenja. Zakon je pri tome definirao minimalne zahtjeve koje voditelj projekta treba ispuniti te slučajeve u kojima je investitor dužan imenovati istog. Zakonom o poslovima i djelatnostima prostornog uređenja i gradnje (NN 118/18) koji stupa na snagu 1. siječnja 2019., ove se odredbe detaljiziraju i podrobnije razrađuju. Sukladno njima, investitor koji je obveznik javne nabave je obvezan imenovati voditelja projekta u slučaju ulaganja sredstava u: gradnju infrastrukturnih i drugih građevina, osim cesta, ukupne investicijske vrijednosti veće od 10 milijuna kuna (bez PDV-a); gradnju cesta ukupne investicijske vrijednosti veće od 50 milijuna kuna (bez PDV-a); gradnju zgrada javne namjene ukupne investicijske vrijednosti veće od 35 milijuna kuna (bez PDV-a); istodobnu gradnju više zgrada koje su djelomično ili potpuno namijenjene stanovanju, grade se na području istog grada ili općine i imaju ukupno više od 100 stanova. Voditelj projekta pri tom mora imati minimalno osam godina radnog iskustva na odgovarajućim poslovima, s obrazovanjem iz znanstvenog područja tehničkih znanosti te imati potrebna znanja iz područja upravljanja projektima (međunarodno priznata ovjeru sposobnosti iz područja upravljanja projektom ili odgovarajuće obrazovanje definirano Zakonom).

S druge strane, regulativa Europske unije je već godinama jasna u nužnosti osiguranja sustavnog, organiziranog i kompetentnog upravljanja projektom, od intervencijske logike definirane kroz Project Cycle Management, Direktivu EU 1303/2013, Vodiča za izradu studija izvodljivosti, financijski regulatorni okvir i strategije za oformljivanje Jedinica za provedbu projekata (Kartelo et al., 2017). Poruka o važnosti i nužnosti upravljanja projektima dana je i kroz Metodologiju za upravljanje projektom Europske komisije – PM² (2016).

Potonja je analizirana u kontekstu načina definiranja uloga i odgovornosti voditelja projekta, čime je izgrađen teorijski okvir za analizu koja je predmet ovog rada, a tiče se upravljanja projektima za koje su Hrvatske vode zadužene u svojstvu Posredničkog tijela 2. Rezultati predmetne analize su stavljeni u kontekst spoznaja iz teorijskog okvira, na temelju čega su definirane odgovarajuće preporuke i smjernice za buduće upravljanje projektima. Rezultati ove analize su namijenjeni prvenstveno postojećim i potencijalnim korisnicima bespovratnih sredstava, stručnjacima koji rade u Sustavu upravljanja i kontrole ESI fondova, potencijalnim ponuditeljima usluge upravljanja projektom na tržištu te široj zainteresiranoj javnosti.

2. VODITELJ PROJEKTA I PROJEKTNI TIM

Uloge i odgovornosti voditelja projekta čest su izvor nerazumijevanja u praksi, sa financijskog i kvalitativnog aspekta, kao što su pokazali rezultati ugovaranja usluge upravljanja projektima u Republici Hrvatskoj (Kartelo i Sjekavica, 2018). Zakonodavni okvir je osigurao regulatornu obvezu imenovanja i minimalne kriterije sposobnosti voditelja projekata javnih investicija u Hrvatskoj, međutim, izostalo je razumijevanje srži onoga što bi voditelj projekta trebao raditi, koje su mu odgovornosti, zašto su bitne i kakva je njegova dodana vrijednost na projektima.

Voditelj projekta je, vremenski gledano, razmjerno nova obvezna uloga na javnim građevinskim projektima u Hrvatskoj. Profesija voditelja projekta dolazi iz inozemne prakse i tržišne ekonomije orijentirane na pretežito poslovanje projektima u kojima su voditelji projekta (engl. *project managers*) ključni rukovodioci operativnog poslovanja (Radujković, 2000). Zbog pokrivanja i objedinjavanja niza funkcija kojima se drugi sudionici u gradnji ne bave na eksplicitan način, a porastom vrijednosti, složenosti i trajanja projekata, razvoj profesije upravljanja projektom je postala neminovna nužnost. Voditelj projekta je osoba odgovorna za uspješno upravljanje projektom, čime utječe na doprinos vjerojatnosti uspješnih projektnih ishoda. Svi drugi sudionici u građevinskom projektu su posvećeni isključivo pojedinoj fazi projektnog ciklusa (koncipiranje, planiranje, izvođenje, uporaba i održavanje), dok je voditelj projekta onaj koji bi projekt trebao voditi od početka do kraja, imajući na umu projektne inpute i vodeći se uspješnom isporukom kao imperativnom svog djelovanja i odlučivanja. Drugim riječima, voditelj projekta je stručna „produžena ruka“ investitora u ostvarenju projektnih ciljeva (ostvarenja projektne isporuke na vrijeme, unutar budžeta, u punom opsegu, s traženom razinom kvalitete, uz zadovoljstvo krajnjih korisnika te pružanje socijalne, ekonomske ili ekološke vrijednosti zajednici, itd.). Svi drugi sudionici se skrbe samo o određenom segmentu projektne isporuke (npr. studiji izvodljivosti, projektnoj dokumentaciji, riješeno imovinsko-pravnim odnosima, izdanim dozvolama, izrađenoj projektnoj aplikaciji, izgrađenom objektu, održavanju), ali ne i o ostvarenju ciljeva cjelokupnog projektnog pothvata.

Voditelj projekta sudjeluje u svim fazama projekta. Za koje je sve radne zadatke odgovoran u tijeku projekta, na vrlo je slikovit način definirano PM² metodologijom (2016). U stupcima 1. i 2. u Tablici 1 dan je pregled uloga za koje je voditelj projekta samostalno odgovoran, a u kojima sudjeluje kao podrška drugim sudionicima, u odnosu na pojedine faze životnog ciklusa projekta sukladno PM² metodologiji (2016).

Tablica 1. Odgovornosti voditelja projekta

ID	Odgovornosti voditelja projekta (PM ² , 2016)	Aktivnost postoji	Broj projekata
Iniciranje			
IN.1	Razvoj projektne tabele, uz podršku poslovnog menadžera		
Planiranje			
P.1	Organiziranje početnog (<i>kick-off</i>) sastanka		
P.2	Priprema Knjige projekta		
P.3	Priprema matrice interesnih sudionika na projektu		
P.4	Priprema plana nabave		
P.5	Koordiniranje svih aktivnosti uključenih u razvoj radnog plana projekta (WBS-a, procjene troškova, vremensko planiranje projektnih aktivnosti)	✓	8
P.6	Priprema plana prihvaćanja isporuka, uz moguću podršku osiguravatelja kvalitete na projektu, ureda za upravljanje projektima i drugih projektnih interesnih sudionika		
P.7	Priprema plana tranzicije projektnih isporuka u redovito poslovanje		
P.8	Podrška poslovnom menadžmentu u pripremi plana poslovne implementacije. Ažuriranje radnog plana projekta kako bi se uključile sve aktivnosti poslovne implementacije koje padaju unutar odgovornosti projekta		
Izvođenje			
I.1	Organizacija izvršnog <i>kick-off</i> sastanka		
I.2	Koordinacija svim projektnim aktivnostima	✓	8
I.3	Izvršenje svih aktivnosti osiguranja kvalitete	✓	8
I.4	Projektno izvještavanje (osim izvještaja vanjske revizije)	✓	12
I.5	Osiguranje svih potrebnih informacija projektom timu kako bi izvršili svoje zadatke	✓	18
Praćenje i kontrola			
PK.1	Praćenje svih projektnih aktivnosti	✓	13

PK.2	Praćenje i kontrola vremenskog plana	✓	16
PK.3	Praćenje i kontrola proračuna	✓	22
PK.4	Upravljanje projektnim interesnim dionicima	✓	27
PK.5	Upravljanje procesom projektnih zahtjeva		
PK.6	Praćenje i kontrola projektnih promjena	✓	11
PK.7	Praćenje i kontrola rizika		
PK.8	Praćenje problema i odlučivanje o načinu upravljanja njima	✓	11
PK.9	Osiguranje da su sve kontrole projektne kvalitete izvršene kako je i planirano		
PK.10	Upravljanje prihvaćanjem isporuka		
PK.11	Praćenje i kontrola tranzicije projektnih isporuka u redovno poslovanje		
PK.12	Podrška poslovnom menadžmentu u upravljanju aktivnostima poslovne implementacije. Ažuriranje radnog plana projekta s promjenama/ ažuriranjem i napredovanjem aktivnosti poslovne implementacije.		
PK.13	Upravljanje dobavljačima	✓	13
Zatvaranje			
Z.1	Organiziranje završnog projektnog sastanka		
Z.2	Organiziranje naučenih lekcija i preporuka nakon projekta		
Z.3	Izrada završnog projektnog izvješća		
Z.4	Poduzimanje svih završnih aktivnosti i osiguravanje otpuštanja projektnih resursa	✓	6

Tokom upravljanja projektom, voditelj projekta raspolaže resursima projektnog tima, koji mu pomaže u izvršavanju njegovih zadaća na pravodoban, kvalitetan i kompetentan način. Upravljanje projektom je složen posao, iziskuje različita znanja i sposobnosti, i kao takav je vremenski i konceptualno neodrživ ukoliko je u domeni samo jedne osobe. Stoga u različitim aspektima svog operativnog rada, voditelj projekta ima na raspolaganju resurse projektnog tima. Projektni tim se sastoji od stručnjaka različitog profila, a sukladno Tokmanovom modelu, prolazi tri osnovne faze prije nego što počne efektivno djelovati: formiranje, konflikti te normiranje (tzv. *Form-Strom-Norm-Perform* model) (White, 2005). Prilikom formiranja definira se sastav, naziv, ciljevi, trajanje tima te njegov rukovoditelj. Pripadnici tima potom kreću tražiti svoj identitet unutar tima, što ih dovodi u fazu konflikata. Nakon uspostave jasnih normi ponašanja, tim nadilazi svoje razlike i počinje djelovati efektivno i sinergijski. Ponašanje ljudi u timu uvjetovano je različitim emocionalnim, psihološkim, intelektualnim, iskustvenim i projektno ograničavajućim faktorima, ali i ulogom koju imaju u projektu.

Nastavno na rečeno, iznimno je korisno proučiti koje odgovornosti imaju voditelji projekata, kako izgledaju projektni timovi te koje uloge imaju u upravljanju projektom.

3. REZULTATI ANALIZE USLUGE UPRAVLJANJA PROJEKTIMA

U svrhu ostvarenja istraživačkih ciljeva ovog rada, izvršena je kvantitativna i kvalitativna analiza projekata. Projekti koji su analizirani u uzorku kumulativno zadovoljavaju sljedeće uvjete: a) podupiru specifični cilj 5b1, 6ii1 ili 6ii2; b) imaju komponentu / projektni element upravljanja projektom kao prihvatljivu aktivnost; c) odobreni su za financiranje, tj. za njih je donesena Odluka o financiranju. Na taj je način odabrano ukupno 33 projekta.

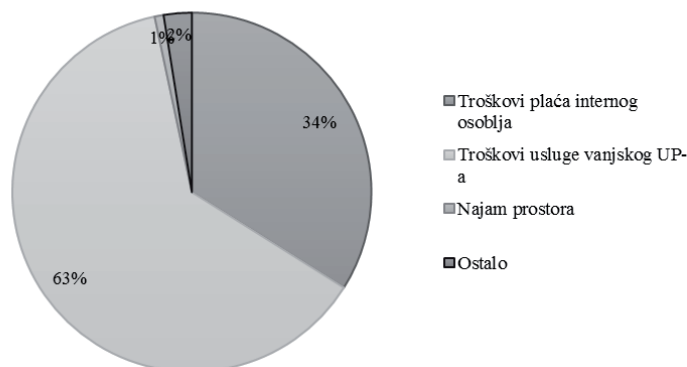
Kvantitativno su projekti analizirani u sljedećim aspektima: apsolutna i relativna vrijednost upravljanja projektima (pri čemu je relativna izražena kao postotak u odnosu na ukupnu vrijednost investicije); planirano trajanje upravljanja projektom u odnosu na planirano trajanje cijelog projekta; troškovi internog i eksternog upravljanja projektom te ostali troškovi upravljanja.

Kvalitativno su analizirani sljedeći aspekti: vrsta pružanja usluge upravljanja projektom (putem vanjskih stručnjaka, od strane unutrašnjih stručnjaka ili kombinacija ove dvije mogućnosti); aktivnosti upravljanja projektom koje su definirane kroz studiju izvodljivosti; odgovornosti Jedinica za provedbu projekta (u nastavku - JPP); broj definiranih voditelja projekta na projektu; vrsta voditelja projekta u smislu pripadanja organizaciji (vanjski ili unutrašnji); postotak rada voditelja projekta na projektu; odgovornosti voditelja projekta.

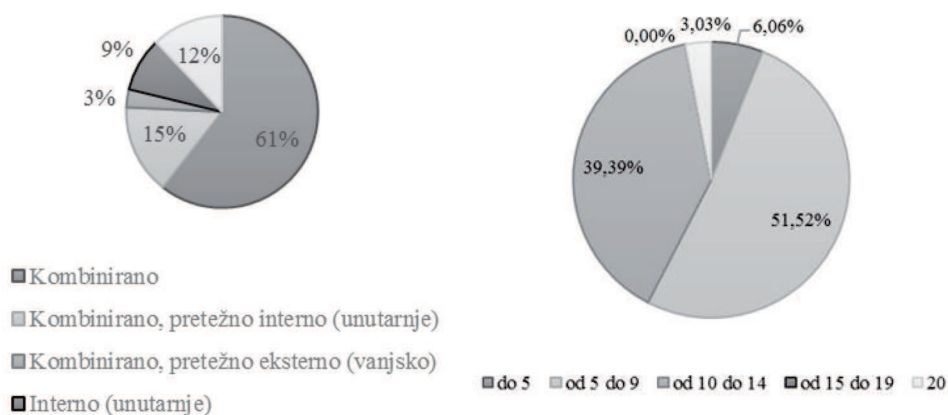
Rezultati analize su prikazani u Tablici 2 te na Slikama 1-4. Podaci u Tablici 2 preuzeti su iz Prijavnih obrazaca (A dio), a podaci sa Slika 1-4 iz studija izvodljivosti, odnosno odobrenih aplikacijskih paketa.

Tablica 2. Općeniti podaci o projektima i upravljanju projektima (vrijednost, trajanje)

	Ukupna vrijednost	Min	Max	Prosječna vrijednost
Vrijednost projekta (kn)	12.311.440.524,93	14.506.976,36	2.201.954.328,00	373.073.955,30
Trajanje provedbe projekta (mjeseci)	n/p	16	74	39,91
Trajanje UP-a (mjeseci)	n/p	16	66	36,84
Ukupna vrijednost UP-a	227.634.463,14	660.000,00	40.812.433,20	6.898.014,03
Interni trošak UP-a	70.566.392,21	226.455,52	9.649.304,50	2.822.655,69
Eksterni trošak UP-a	143.548.388,58	197.643,60	31.163.128,70	5.521.091,87
Ostali troškovi UP-a	1.089.237,60	156.657,60	775.500,00	363.079,20
Vrijednost UP-a/ vrijednost projekta (%)	n/p	0,89	11,40	2,19



Slika 1. Udio vrsta troškova u ukupnoj vrijednosti usluge upravljanja projektom



Slika 2. Vrste modela upravljanja projektom

Slika 3. Broj stručnjaka u projektним timovima

4. DISKUSIJA

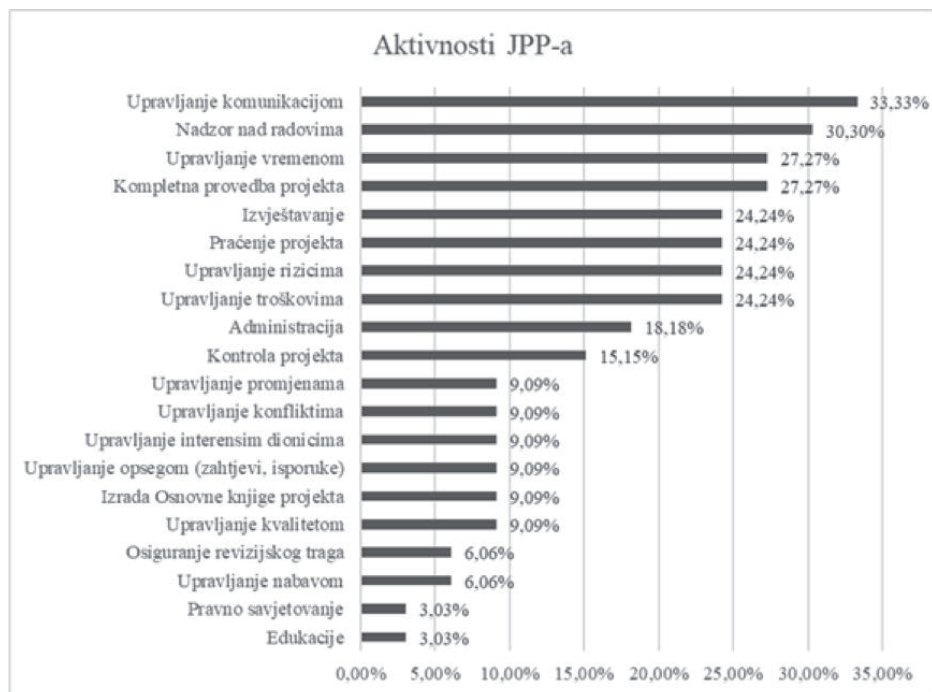
Izvršena je analiza 33 projekta, koji predstavljaju vremensko i novčano složene projekte, čime u prilog govori činjenica da je prosječna vrijednost projekta 373 milijuna kuna, a ukupna vrijednost portfelja čak 12,3 milijarde kuna, s prosječnim planiranim trajanjem provedbe od 3,3 godine. Pri tome u većini slučajeva aktivnosti upravljanja projektom započinju 3 mjeseca kasnije u odnosu na početak implementacije projekta. Valja naglasiti važnost početka upravljanja, odnosno uključivanje voditelja projekta i projektneog tima u postupak planiranja projekta, odnosno i prije početka provedbe projekta, što trenutno nije bio slučaj.

Razmatramo li predviđene troškove upravljanja projektom, oni u prosjeku iznose 2,19 % ukupne vrijednosti investicije. Ovaj podatak je u skladu s aktualnim stanjem na tržištu, prema kojem su sredstva planirana za upravljanje projektom bliža nižoj granici razumnih iznosa prema podacima koji su bili aktualni prije više od 25 godina u građevinskoj

praksi u SAD-u i Kanadi (Kartelo i Sjekavica, 2018). Kao moguće troškove upravljanja projektima, korisnici su definirali: troškove internog modela; troškove eksternog modela; troškove najma prostora; ostale troškove (pravno zastupanje, putni troškovi, edukacije, seminari, konferencije, informatička oprema i sustavi, namještaj i potrošni uredski materijal). Naime, korisnici na temelju izrađene analize organizacijskih kapaciteta mogu odabrati odgovarajući model upravljanja projektima, odnosno hoće li se projektom upravljati iz interne JPP (sastavljena od zaposlenika korisnika), eksterne JPP (sastavljena od vanjskih eksperata odabranih temeljem postupka javne nabave) ili kombinacije ta dva modela. Pri tome, model može biti čisti kombinirani, kombinirani – pretežno interni (angažiraju se vanjski stručnjaci samo u slučaju neke buduće specifične potrebe, npr. radi dobivanja pravnog ili tehničkog savjeta), kombinirani – pretežno eksterni (korisnik daje 1-2 zaposlenika, najčešće internog administratora u tim). Analiza je pokazala da je najčešći model upravljanja projektom upravo čisti kombinirani, sa zastupljenošću od 61 % u uzorku. Za potpuno eksterno upravljanje se odlučuje tek 12 % korisnika, a potpuno interno 9 %. Procjena organizacijskih kapaciteta bi svakako trebala biti postupak u većoj mjeri formaliziran nego sad, čime bi se osigurala odgovarajuća razina kompetentnosti u pružanju usluge upravljanja projektom, bilo da je pružena od strane internih djelatnika ili vanjskog pružatelja usluge.

U prosjeku, broj stručnjaka u timu jest između 5 i 9 (51 % projekata), a slijede ih timovi s 10 do 14 članova (40 % projekata). Jedan projekt ima 20 članova projektnog tima, a dva projekta imaju manje od 5 stručnjaka. Broj članova u projektom timu ovisi o organizacijskoj kulturi, opsegu i složenosti projekta, načinu rada (jesu li članovi tima vremenski angažirani u potpunost ili djelomično). Veliki timovi obuhvaćaju širok spektar ljudi različitih specijalizacija, čime se mogu pokriti različita pitanja na projektima. S druge strane, teško je postići efektivnost rada, unutarnju koheziju i kolaboraciju između članova velikih timova. Opće preporuke pri određivanju veličine tima daju smjernice u odnosu na očekivanu razinu vremenske suradnje među članovima i očekivanu razinu zajedničkog rada na istim aktivnostima. Za prosječnu razinu vremenske i tehničke suradnje pri izvršenju projektnih aktivnosti, preporučeni broj članova tima iznosi od 3 do 7 članova ili 5 do 10 članova (Plowman, 2019). Skoro polovica analiziranih projektnih timova imaju više od 9 članova, sukladno čemu se može pretpostaviti postojanje problema u komunikaciji i koordinaciji onih za koje je potrebno da koordiniraju rad svih drugih projektnih sudionika. Međutim, potrebno je izvršiti dodatnu analizu uloga, odgovornosti i vremena angažmana članova na analiziranim projektima, kako bi se u većoj mjeri mogle definirati preporuke za formiranje projektnih timova.

24 projekta (73 % projekata) imaju definirane odgovornosti projektnog tima, odnosno JPP-ova. 27 % projekata, odnosno skoro svaki treći projekt uopće nema informacije oko odgovornosti projektnog tima te je vrlo teško korelirati planirane iznose predviđene za upravljanje projektima s njihovim zadacima i obvezama.



Slika 4. Odgovornosti Jedinica za provedbu projekata

Kod projekata koji imaju definirane aktivnosti projektnog tima (Slika 4) najčešće spominjane su upravljanje komunikacijom (koordinacija trećih strana, osiguranje neometane komunikacije naručitelja i ostalih projektnih dionika) te vršenje nadzora nad radovima (bez definiranja razlika u odgovornostima nadzornog inženjera i voditelja projekta). S druge strane, upravljanje kvalitetom ili nabavom (što je jedna od obaveza korisnika sukladno Ugovorima o dodjeli bespovratnih sredstava) je vrlo slabo spominjana aktivnost projektnog tima. Također, iako se ovdje spominju aktivnosti izrade Osnovne knjige o projektu i upravljanje rizicima, iste aktivnosti nisu dodijeljene i voditelju projekta, kao što je pokazala analiza u nastavku.

U pogledu analize uloga i odgovornosti voditelja projekta, valja naglasiti kako je ova uloga drugačije nazvana kroz analizirane studije izvodljivosti (voditelj projekta, voditelj projekta – inženjer, glavni stručnjak, voditelj realizacije projekta, voditelj JPP, voditelj tima, koordinator, stručnjak za projektni menadžment, voditelj projekta gradnje) – međutim iz opisa odgovornosti je razvidno da se radi o voditelju projekta. 52 % voditelja projekata je eksterno, a 48 % interno. 70 % projekata ima jednog voditelja projekta, 27 % dva, a jedan projekt ima čak 3 stručnjaka za vođenje projekta – na 33 projekata je predviđen angažman čak 44 voditelja. Za njih 40 dana je procjena angažmana na projektu – koja u prosjeku iznosi 57 %. 7 voditelja projekata imaju predviđen radni angažman od 40 % i manje, 9 njih 50 %, 4 od 60 do 80 %, a 11 voditelja ima predviđen 100 % vremenski angažman na projektu. Vrlo je nejasna razlika u odgovornostima voditelja projekata kada ih je dvoje i više na projektu. S druge strane, zakonodavni i praktični okvir je jasan – voditelj projekta

je samo jedan, glavni i odgovoran za uspješno upravljanje projektom. On može imati jednog ili više pomoćnika, međutim nužno je da glavnu odgovornost snosi jedna osoba. Ako je odgovornost kumulativna, najčešće se praktično svede na to da nije ničija. Percepcija važnosti odgovornosti voditelja projekata vidljiva je i iz njihova predviđena vremenska angažmana na projektu.

Nastavno na prethodnu analizu, dodatno su analizirane odgovornosti i aktivnosti voditelja projekata u odnosu na jednu od priznatih metodologija upravljanja projektima, u ovom slučaju PM², a kako bi se sagledalo u kojoj se je mjeri vodilo računa o metodološkom pristupu prilikom definiranja uloga i zadataka, odnosno u kojoj mjeri je razvijen stupanj razumijevanja temeljnih teoretskih postavki upravljanja projektima.

Za 26 voditelja projekata definirane su odgovornosti i aktivnosti. Aktivnosti su potom grupirane u istovjetne kategorije, s obrazloženjima što pojedina kategorija predstavlja u kontekstu načina definiranja aktivnosti voditelja projekata u studijama (Tablica 3). Stupci 1. i 2. u Tablici 1 prikazuju odgovornosti voditelja projekta sukladno PM² metodologiji, dok su u stupcima 3. i 4. naznačene one aktivnosti koje su definirane kroz studije te broj projekata na kojima su zastupljene.

Tablica 3. Aktivnosti voditelja projekata definirane u studijama izvodljivosti

Aktivnosti voditelja projekata u pojedinim fazama	Broj projekata
Planiranje	
Planiranje ili podrška naručitelju u planiranju (izrada master vremenskog plana projekta, mrežni plan, gantogram, struktura rada, analiza ponudbenih planova i usuglašavanje planova izvođača sa master planom projekta radi usvajanja ugovornog plana)	8
Izvođenje	
Uspostava, organizacija, praćenje rada i vođenje tima (JPP)	18
Priprema izvještaja o projektu	12
Komunikacija i koordinacija projektnih sudionika	14
Prisustvovanje sastancima	14
Vođenje i ovjeravanje Dnevnika Projekta: zapisnici sa sastanaka i koordinacija, praćenje aktivnosti na gradilištima, redovita fotodokumentacija stanja radova, evidencija zahtjeva od strane FIDIC inženjera i/ili predstavnika Izvođača	12
Koordinacija projektnih aktivnosti	7
Praćenje i kontrola	
Upravljanje vremenom (kontrola provedbe i dinamike izvršenja zadataka, kontinuirano praćenje izvršenja ugovornih obveza radi osiguranja rokova Projekta)	20

Upravljanje troškovima (kontrola troškova, ovjera plaćanja nakon FIDIC inženjer odobrenja), optimizacija utroška sredstava, potvrda faktura podizvođača, pregled i potvrda mjesečnih situacija izvođača gradnje i nadzora, financijsko praćenje, izrada i verifikacija plana troškova u vremenu prema ugovornom planu)	22
Upravljanje i administriranje sekundarnih ugovora	13
Pomaganje naručitelju kod odlučivanja (kod zahtjeva za dodatna plaćanja i produljenje roka dovršetka ugovora) i drugih otvorenih problema	11
Kontrola kvalitete isporuka, pregled i potvrda kvalitete ugrađenih materijala i opreme	7
Upravljanje sadržajem	1
Vođenje podatka o količinama izvedenih građevinskih radova	5
Pregled i potvrda izvješća izvođača gradnje i nadzora o tijeku radova	1
Bivanje na lokacijama radova, redovito obilaženje gradilišta	7
Zatvaranje	
Podrška naručitelju u zatvaranju projekta	7

Iz Tablice 1 je moguće uočiti da je na 33 projekata u uzorku od ukupno 31 aktivnosti po PM² metodologiji, pokriveno samo njih 13, a svega 4 aktivnosti su prisutne na više od 50 % projekata iz analiziranog uzorka. Među aktivnostima koje uopće nisu pokriveno analiziranim opisima aktivnosti voditelja projekata su priprema Knjige projekta, priprema plana nabave, praćenje i kontrola rizika i organiziranje naučenih lekcija i preporuka nakon projekta. Ovo upućuje na odsustvo razumijevanja temeljnih značajki voditelja projekta kao osobe koja organizira znanje o cjelokupnom projektu, odsustvo analize i procjena radi učenja na iskustvu ili vršenje ijedne aktivnosti upravljanja projektnim rizicima, što je svakako zabrinjavajući trend. Čak ni temeljne aktivnosti sukladno Ugovoru o dodjeli bespovratnih sredstava, kao što je izrada projektnog plana nabave nisu pokriveno postojećim opisima poslova voditelja projekta. One temeljne aktivnosti koje i jesu definirane se javljaju u jako malom broju slučajeva – koordinacija projektnih aktivnosti, osiguranje kvalitete, izvještavanje. S druge strane, upravljanje interesnih dionika je među najčešće definiranim odgovornostima, međutim ostaje nejasan izvor strategije upravljanja, obzirom da se analizom interesnih dionika na projektima ne bavi ni jedan voditelj projekata.

S druge strane, Tablica 3 ukazuje na nesistematičan i kaotičan pristup definiranju projektnih aktivnosti. Iste najčešće predstavljaju ili generalizirane opise ili pretjerano detaljizirane aktivnosti. Vidljiv je naglasak na temeljnim „građevinskim“ aspektima upravljanja, kao što su upravljanje vremenom i troškovima, pri čemu ostaje nejasna granica između odgovornosti voditelja projekta i nadzornog inženjera. Iz samog opisa aktivnosti je vidljivo razumijevanje uloge voditelja projekta kao „kontrolora kontrole“. Osvrnemo li se na koordinaciju, tek za 7 projekata je ista spomenuta. S druge strane, duplo više projekata „prisustvovanje sastancima“ vidi kao bitnu aktivnost vođenja.

Na temelju svih izvršenih analiza moguće je zaključiti kako se uloga voditelja projekta

i pridruženih odgovornosti nejasno shvaća i percipira, što od strane naručitelja, a onda posljedično i potencijalnih ponuditelja. Odgovornosti voditelja projekta, odgovornosti JPP, odabir odgovarajućeg modela upravljanja, planirana sredstva za upravljanje projektom, broj članova projektnih timova te vremenski angažman na projektima, i dalje su elementi ove važne djelatnosti koji se najčešće definiraju provizorno, bez slijeđenja jasne i prepoznate metodologije. Iz svega rečenog je moguće zaključiti kako usprkos zakonodavnim promjenama i certifikaciji na području upravljanja projektima, postoji nerazumijevanje istog - naručitelji u dovoljnoj mjeri i dalje ne razumiju ulogu voditelja projekta i projektnog tima. Stoga ne začuđuje poremećaj u cijenama usluge upravljanja projektom na tržištu (Kartelo i Sjekavica, 2018). Sveobuhvatna edukacija na ovom području je apsolutni imperativ u daljnjem razvoju profesije, kako prilikom pisanja tender dokumentacije i formiranja zahtjeva naručitelja, tako i prilikom nuđenja kvalitetne usluge od strane potencijalnih ponuditelja.

ZAKLJUČAK

U radu se prikazuju rezultati analize uloga i odgovornosti voditelja projekata na projektima sufinanciranim sredstvima Europske unije, u kojima su Hrvatske vode Posredničko tijelo razine 2. Izvršena analiza je pokazala nepostojanje razumijevanja uloge i odgovornosti voditelja projekta, kao ni sistematičnog načina definiranja projektnih elemenata upravljanja projektom te je sustavna edukacija na ovom području nužnost i preduvjet budućeg razvoja. Buduća analiza treba uključiti i analizu uloga i odgovornosti članova projektnih timova te definiranje koraka ka uspostavi sustavnog upravljanja projektima u sektoru.

LITERATURA

- [1] Europska komisija (2016): *PM² Project Management Methodology Guide*, European Commission, Brussels, 137.
- [2] Feger, A.L.R., Thomas, G.A. (2012): *A framework for exploring the relationship between project manager leadership style and project success*, The International Journal of Management, Vol. 1, No. 1, pp. 1-19.
- [3] Kartelo, R., Sjekavica, M., Radujković, M. (2017): *Project Implementation Units of EU co-financed Water Projects*, Proceedings of 13th International Conference on Organization, Technology and Management in Construction (Urednici - Cerić, A., Huemann, M., Radujković, M., Vukomanović, M., Završki, I.), Hrvatska udruga za organizaciju građenja, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, pp. 2-20.
- [4] Kartelo, R., Sjekavica, M. (2018): *Analysis of Project Management Public Procurement and Contracting in Croatia*, Proceedings of 4th SENET Regional Conference on Project Management in Central, South-East Europe (in print).
- [5] Mir, F.A., Pinnington, A.H. (2014): *Exploring the Value of Project Management: Linking Project Management Performance and Project Success*, International Journal of Project Management, Vol. 32, No. 2, pp. 202-217.

- [6] Plowman, N. (2019): *How to Identify the Ideal Size for a Project Management Team*, <http://brightubpm.com> (preuzeto: ožujak 2019).
- [7] Radujković, M. (2000): *Voditelj projekta*, Građevinar, Vol. 52, No .3, pp. 143-151.
- [8] Serrador, P., Turner, J.R. (2015): *The relationship between project success and project efficiency*, Project Management Journal, Vol. 46, No. 1, pp. 30-39.
- [9] White, T. (2005): *Make it Happen – A Practical Handbook for Project Leaders, Project Managers and Facilitators to Build, Facilitate and Repair High Performance Teams*, Golfside Publications, Ontario, 71.
- [10] Zakon o poslovima i djelatnostima prostornog uređenja i gradnje (NN 78/15, NN 118/18).

AUTORI

dr. sc. Mariela Sjekavica Klepo, mag. ing. aedif. ^a

Robert Kartelo, dipl. ing. građ. ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, mariela.sjekavica@voda.hr, rkartelo@gmail.com



R 3.04.

PRIMJENA THP PROCESA NA UPOV-IMA – PRIMJER NA UPOV-U RIJEKA

Dražen Vouk, Luka Konosić, Ivona Petković

SAŽETAK: THP proces predstavlja oblik prethodne ili naknadne obrade mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV), u kombinaciji s anaerobnom digestijom te se može uspješno integrirati na novo projektiranim i postojećim (već izgrađenim) UPOV-ima. Primjenom THP procesa postiže se smanjenje ukupnih količina mulja, povećanje stupnja energetske iskoristivosti mulja (povećanje proizvodnje bioplina) i dobivanja mulja povoljnijih karakteristika za njegovo daljnje zbrinjavanje (obradu i konačno odlaganje, odnosno materijalnu i energetske oporabu). Dosadašnja svjetska praksa, kao i rezultati pojedinih tehno-ekonomskih analiza koje su provedene u Hrvatskoj, ukazuju na isplativost primjene THP procesa na UPOV-ima većeg kapaciteta (većim od 150.000 ES), kako na novim koji se trebaju graditi, tako i na postojećim koji su već u pogonu u obliku njihove nadogradnje.

Proces THP-a se na UPOV-ima može primijeniti na dva osnovna načina - prvi je ispred anaerobnih digestora (prednost na novo projektiranim UPOV-ima i kod postojećih UPOV-a na kojima se planira povećanje kapaciteta linije mulja), a drugi je nakon anaerobnih digestora (prednost kod postojećih UPOV-a kod kojih se ne planira povećanje kapaciteta linije mulja). Ovaj rad daje kratak opis metodologije i rezultata primjene THP procesa na postojećim i novim UPOV-ima. Kroz analizu troškova i koristi, izvedivost THP procesa je detaljnije analizirana na UPOV Rijeka i to u oba slučaja, bilo za njegovu izgradnju na novom UPOV-u Rijeka ili kao dodatnu nadogradnju jednom kada se UPOV Rijeka pusti u pogon. Provedene analize ukazuju na ekonomsku isplativost uvođenja THP procesa, uz sagledavanje ključnih faktora poput troška uvođenja procesa (izgradnja te pogon i održavanje), energetske iskoristivosti i konačnog zbrinjavanja mulja.

KLJUČNE RIJEČI: otpadna voda, pročišćavanje, mulj, THP, UPOV, Rijeka

IMPLEMENTATION OF THE THP PROCESS IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS – WWTP RIJEKA

ABSTRACT: The THP process is a type of pre-treatment or post-treatment of sludge from wastewater treatment plants (WWTPs) that can be successfully integrated in new or existing WWTPs, in combination with anaerobic digestion. The implementation of the THP process achieves a reduction in the total sludge quantities, an increase in the level of

sludge use for power generation (increased biogas production) and obtaining sludge with more favourable characteristics for its further disposal (treatment and final disposal i.e. its use as a material and for energy purposes). The global practice to date and the results of some economic analyses conducted in Croatia indicate the viability of the implementation of the THP process in WWTPs with larger capacities (higher than 150,000 PE), both the new ones that will be built and the existing ones that are already in operation as an upgrade.

The THP process can be implemented in WWTPs in two basic manners. The first manner is its implementation before anaerobic digesters (advantageous both for new WWTPs and existing WWTPs planning an increase in sludge line capacity) while the second manner is its implementation after anaerobic digesters (advantageous for existing WWTPs planning no increase in sludge line capacity). The paper presents a brief description of the methodology and results of the THP process implementation in the existing and new WWTPs. By means of a cost-benefit analysis, the feasibility of the THP process is analysed in more detail on the example of the WWTP Rijeka for both cases – its implementation in the new WWTP Rijeka or as an additional upgrade once the WWTP Rijeka becomes operational. Conducted analyses indicate economic viability of introducing the THP process, in addition to considerations of key factors, such as the costs of the process introduction (construction, operation and maintenance), energy efficiency and final sludge disposal.

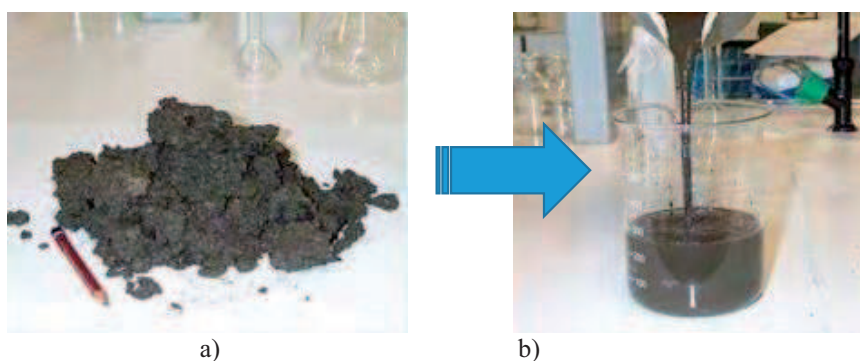
KEYWORDS: wastewater, treatment, sludge, THP, WWTP, Rijeka

1. UVOD

Količina mulja koja nastaje kao neizbježan produkt na UPOV-ima konstantno se povećava na svjetskoj i nacionalnoj razini. Zbrinjavanje mulja na ekološki prihvatljiv način te u skladu s kriterijima zakonske regulative, zahtijeva prethodnu obradu mulja na UPOV-u. Primjenom odgovarajuće tehnologije obrade, ostvaruje se veliki broj mogućih kombinacija zbrinjavanja mulja. Jedan od brojnih rješenja obrade je postupak termalne hidrolize (eng. Thermal Hydrolysis Process - THP), čija je prva instalacija postrojenja u punom mjerilu izvedena u Hamar-u (Norveška) 1996. godine (Panter and Kleiven, 2005).

THP je dvostupanjski postupak u kojem se mulj prvo zagrijava (150 - 165 °C) pod visokim tlakom (6-7 bara) iza čega slijedi brza dekompresija. Ovim kombiniranim postupkom mulj postaje sterilan i više biorazgradiv. To znači da će se u postupku anaerobne digestije (koji slijedi nakon THP-a) ukloniti veći dio organske tvari i postići veći energetska učinak kroz povećanu proizvodnju bioplina. Pritom se ostvaruju i značajne uštede u volumenu digestora, obzirom da u digestore nakon THP-a ulazi mulj s 2-3 puta većom koncentracijom mulja (8-12 %ST), a vrijeme zadržavanja mulja u digestorima je oko 15 dana, u odnosu na konvencionalne digestore (bez THP-a). S porastom koncentracije mulja u digestorima raste i koncentracija amonijaka koja djeluje inhibirajuće na bakterije koje se u digestorima razvijaju kod konvencionalne linije mulja (bez THP-a). Međutim, kod anaerobne digestije kojoj prethodi THP proces, razvijaju se druge vrste bakterija na koje povećane koncentracije amonijaka ne djeluju inhibirajuće (*Methanoculleus bourgensis*, *Methanospirillum hungatei*) (Westerholm, 2012; Wett et al., 2014). Kroz sterilizaciju (zagrijavanje na visokim temperaturama u THP-u) uništavaju se patogeni mikroorganizmi te se dobiva mulj visoke mikrobiološke kakvoće, pogodan za korištenje, npr. odlaganje

na poljoprivredne i nepoljoprivredne površine i dr. (Barber, 2009). Dodatno se THP procesom poboljšavaju reološka svojstva mulja (slika 1), što sve skupa rezultira potrebom za znatno manjim volumenom digestora ili mogućnošću povećanja opterećenja ukoliko bi UPOV postao regionalni centar za obradu mulja. THP proces obrade mulja pozitivno djeluje i na učinkovitost dehidracije mulja, tako da se nakon postupka dehidracije postiže minimalni udio suhe tvari u iznosu 30-32 %ST, a kod primjene THP nakon anaerobnih digestora nakon postupka dehidracije postiže se minimalni udio suhe tvari u iznosu 40 %ST (Barber, 2010).



Slika 1. Izgled mulja: a) prije THP procesa, b) nakon THP procesa (Goss, 2015)

Prednosti THP procesa se na temelju dosadašnjih iskustava u radu na brojnim UPOV-ima diljem svijeta izražavaju u sljedećem (Barber, 2012):

- smanjenje proizvodnje mulja (suhe tvari u mulju) na kraju obrade za 20-30 %,
- smanjenje količine mokrog mulja za 40-50 % (u ukupnoj težini),
- povećanje proizvodnje bioplina i energije za 20-50 %,
- sterilizacija mulja (dobivanje mulja bez patogenih mikroorganizama),
- dobivanje mulja sa smanjenim intenzitetom neugodnih mirisa.

Rezultati provedenih analiza, motivirali su dionike da veći broj UPOV-a grade ili nadograđuju s THP procesom. Neki među brojnim UPOV-ima u svijetu koji su do danas primijenili THP proces istaknuti su u tablici 1.

Prednosti primjene THP procesa dolaze do izražaja na UPOV-ima većeg kapaciteta (veći od 150.000ES). Tako na primjer, UPOV-i u Hrvatskoj koji mogu biti interesantni za primjenu THP procesu su Zagreb, Split, Rijeka i Osijek, osobito u slučaju da preuzmu ulogu regionalnih centara za obradu i zbrinjavanje mulja. Značajno je napomenuti da primjena THP procesa nije ograničena činjenicom je li UPOV već izgrađen ili nije, odnosno THP proces se može primijeniti i na već izgrađenim UPOV-ima. Prema tome, THP proces se na liniji mulja može primijeniti na dva načina:

- na glavnoj liniji ispred anaerobne digestije (prednost kod novo projektiranih uređaja ili postojećih uređaja kojima se želi povećati kapacitet linije obrade mulja),
- naknadno na liniji mulja iza anaerobne digestije, s povratnim tokom izdvojenog centrata (u postupku naknadne dehidracije) zagrijanog na višoj temperaturi (prednost

kod postojećih uređaja, u sklopu njihove nadogradnje i unaprjeđenja linije obrade mulja).

Tablica 1. Lokacija UPOV-a s uvedenim THP procesom

Lokacija	Kapacitet [tST/d]	Lokacija	Kapacitet [tST/d]
Washington, SAD	445	Edinburgh, UK	120
Peking - Gaoantin, Kina	445	Tilburg, Nizozemska	110
Peking - Gaobedian, Kina	390	Vilnius, Litva	100
Manchester, UK	365	Bruxelles-Sjever, Belgija	100
Peking - Huaifang, Kina	340	Aberdeen, UK	80
Dublin, Irska	245	Athens, Grčka	80
Newcastle, UK	170	Oslo, Norveška	42
London - Riverside, UK	170	Ljubljana, Slovenija	40
Tees Valley, UK	155	Ginestous, Francuska	35
London – Crossness, UK	130	Monza, Italija	28
Cardiff, UK	130	Lillehammer, Norveška	27
Santiago, Čile	125	Billund, Danska	15

U ovom radu je prikazana mogućnost i opravdanost uvođenja THP procesa obrade mulja ispred anaerobnih digestora na UPOV-ima. Uz opis samog THP procesa, u radu je objašnjena metodologija uvođenja THP procesa na UPOV-ima. Naknadno je na konkretnom primjeru UPOV-a Rijeka provedena tehnička i ekonomska analiza uvođenja THP procesa na liniji obrade mulja.

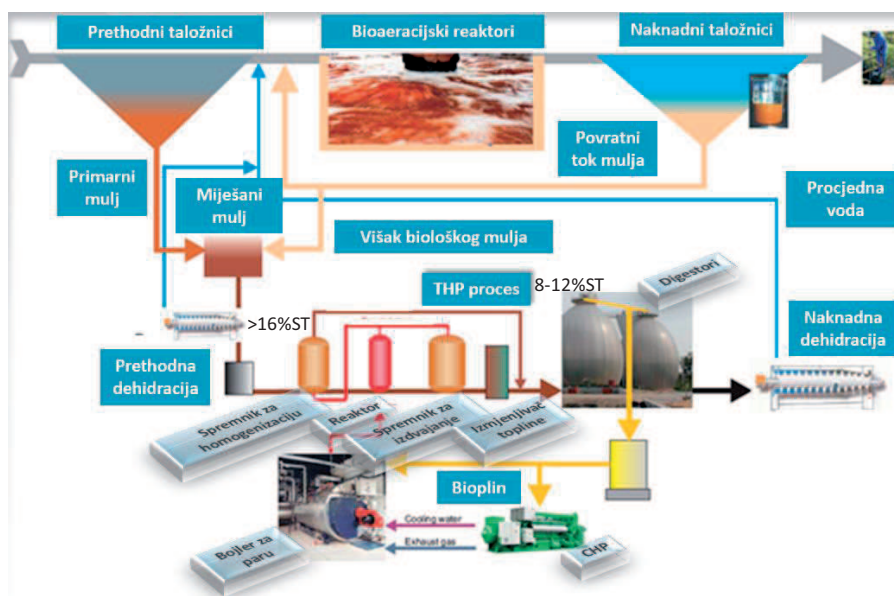
Autori ovog rada ne favoriziraju primjenu THP procesa na UPOV-ima, već isključivo kroz ovaj rad ističu mogućnosti primjene THP procesa kao jedne od faza nadogradnje linije obrade mulja na novoizgrađenim UPOV-ima većeg kapaciteta.

2. METODOLOGIJA

2.1. Opis THP procesa

Osnovni cilj uvođenja THP procesa je smanjenje ukupnih količina mulja, povećanje stupnja energetskeg iskorištavanja mulja i dobivanje mulja povoljnijih karakteristika za njegovo daljnje zbrinjavanje (obradu i konačno odlaganje, odnosno korištenje).

Na slici 2 je prikazana tehnološka shema predložene nadogradnje linije obrade mulja na novoizgrađenim UPOV-ima s THP procesom.



Slika 2. Tehnološka shema linije vode i linije mulja s THP procesom
(<https://stanceglobal.com/stanceenviro/cambi-thermal-hydrolysis-3/12>)

Anaerobna digestija uz prethodnu primjenu THP-a podnosi “nerazvodnjeni” mulj s povećanom koncentracijom suhe tvari u iznosi 8-12 %ST za razliku od konvencionalne linije obrade mulja (bez THP-a) kod koje su relevantne koncentracije mulja koji ulazi u anaerobne digestore unutar raspona 4-6 %ST.

U proces ulazi mulj koji je prethodno dehidriran na oko 16-18 %ST. Prva faza je homogenizacija mulja uz dodatak pare. Mulj se u spremniku za homogenizaciju predzagrijava i pretvara u kašu. Zatim se transportira u reaktor za termalnu hidrolizu, koji radi diskontinuirano (šaržno). U reaktoru za hidrolizu prethodno zgnusnuti mulj se dozira, zagrijava direktnim injektiranjem pare na 150-165 °C i tlači s 5-6 bara. U tim uvjetima organska tvar hidrolizom prelazi u otopljene, lako razgradive spojeve. Nakon zadržavanja mulja u reaktoru, u vremenu 30-40 minuta, tlak se naglo smanjuje te se uz pomoć pare mulj tlači u spremnik za izdvajanje. Nagli pad tlaka izaziva „plinsku eksploziju“ koja dezintegrira stanice i vlakna u mulju. Para koja se generira u trenutku plinske eksplozije, recirkulira se u spremnik za homogenizaciju za predgrijavanje mulja, smanjujući tako potrebu za dodatnom parom.

Mulj koji izlazi iz THP procesa je sterilna tekućina (slika 1), znatno poboljšanih karakteristika za naknadnu anaerobnu digestiju i naknadnu dehidraciju mulja. Iako je rad THP reaktora šaržni, cijeli proces se odvija kontinuirano zbog egalizacijskog djelovanja spremnika za homogenizaciju i spremnika za izdvajanje.

Nakon THP-a, mulj se hladi na izmjenjivačima topline i dodatno se razrjeđuje prije ulaska u anaerobnu digestiju do koncentracije od 8-12 % (najčešće 10-12 %ST). Ograničavajući parametar je koncentracija amonijaka očekivana u procesu digestije. Kao što je u uvodnom dijelu rada istaknuto, uz prisustvo određenih vrsta bakterija, koje se

razvijaju u postupku anaerobne digestije, amonijak u koncentracijama do 3000 mg/l ne djeluje inhibirajuće. Pri THP procesu drastično se mijenjaju reološke karakteristike mulja (Whitlock et al., 2009). Mogućnost opterećenja anaerobnih digestora sa većim koncentracijama mulja (2-3 puta) uz smanjenje vremena zadržavanja mulja u digestorima, omogućuje značajno smanjenje volumena digestora (i do 65 % manji volumen u odnosu na konvencionalno rješenje bez THP-a), čime se postiže značajno smanjenje investicijskih troškova. THP proces razara staničnu strukturu mulja te mulj u naknadnom procesu anaerobne digestije postaje više razgradiv, što rezultira povećanom proizvodnjom bioplina i smanjenjem ukupne mase suhe tvari, odnosno smanjenjem ukupne količine mulja (Guireff et al., 2011). Dodatna prednost je da stabilizirani mulj ima bolja svojstva dehidracije pri čemu se postižu veći postotni udjeli suhe tvari u mulju (30-32 %ST), u odnosu na konvencionalna rješenja (22-28 %ST). U odnosu na smanjene količine stabiliziranog i dehidriranog mulja, može se računati s nižim troškovima njegove daljnje obrade (sušenje i dr.) i konačnog zbrinjavanja.

Dehidrirani mulj je kod THP procesa higijenziran (bez patogenih mikroorganizama) te se može učinkovitije i na povoljniji način zbrinjavati (Higgins et al., 2011).

Tablica 2. Usporedba tehnoloških parametara za liniju obrade mulja uz primjenu THP procesa i kod konvencionalne linije obrade mulja

Parametar	THP proces		Konvencionalno	
pH	7,4	8,4	6,5	7,6
VFA (mg/l)	2000	6000	200	500
VFA / alkalitet		0,3		0,2
Amonijak (mg/l)		3000		800
Koncentracija mulja u anaerobne digestore (%ST)	8	12	4	6
Temperatura u digestorima (°C)	36	42	32	38

2.2. Uvođenje THP procesa na planirane UPOV-e – Primjer UPOV-a Rijeka

Uvođenje THP procesa na planirani UPOV Rijeka razmatrano je na način da se THP na liniji mulja ugrađuje prije anaerobnih digestora. Korišteni podaci za pomoć pri provedenim izračunima preuzeti su iz nekoliko projekata od kojih su neki i realizirani u okviru europske prakse te iz konkretnih upita prema vodećim svjetskim tvrtkama za THP proces. Nakon definiranja procesnih parametara na temelju kojih je provedeno dimenzioniranje, dana je aproksimativna procjena troškova izgradnje, pogona i održavanja istog procesa te je dana usporedba s varijantom bez primjene THP procesa.

U sklopu ovog rada nastavno je generirano nekoliko varijantnih rješenja, kao kombinacija dodatnih postupaka obrade mulja i konačnog zbrinjavanja. Cijene rada korištene u provedenim analizama su prilagođene trenutnim prilikama u RH.

Nastavno na prethodno dobivene rezultate ekonomskih analiza, provedena je i ekonomska analiza bez i sa uračunatim troškom zbrinjavanja mulja.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Primjena THP procesa na UPOV Rijeka

U radu je razmatrana implementacija THP procesa na UPOV-u Rijeka, koji je planiran s drugim stupnjem pročišćavanja, s maksimalnim kapacitetom 200.000 ES.

Primjena THP procesa na UPOV-u Rijeka razmatrana je za dva scenarija. Prvi scenarij podrazumijeva obradu cjelokupnog primarnog i biološkog mulja na THP-u te nastavno anaerobnu digestiju cjelokupnog mulja koji je prethodno izašao iz THP procesa. Drugi scenarij podrazumijeva da UPOV Rijeka preuzme ulogu regionalnog centra za obradu i zbrinjavanje mulja također uz primjenu THP-a te nastavno anaerobne digestije mulja.

Analiza usporedbe uvođenja THP-a za sve razmatrane scenarije prikazana je u tablici 3. Uz uvođenje THP-a, proizvodnja mulja smanjila bi se za oko 12 % u suhoj tvari te oko 35 % u ukupnoj težini mokrog mulja. Minimalni udio suhe tvari koji se očekuje u dehidriranom mulju iznosi 30 %ST. Dobiveni mulj ima poboljšane karakteristike: povoljnija konzistencija, bez patogenih mikroorganizama, smanjeni intenzitet neugodnih mirisa i dr. Samim time bio bi pogodniji za pojedine daljnje postupke obrade (sušenje, kompostiranje, spaljivanje i sl.) te pri odlaganju i/ili korištenju na poljoprivrednim i nepoljoprivrednim površinama.

Zbog učinkovitije razgradnje i većeg sadržaja suhe tvari, proizvodnja bioplina povećala bi se za oko 35 %, a raspoloživa energija za oko 20 %. Samim procesom smanjuje se potrošnja energije na zagrijavanje anaerobnih digestora, obzirom da u njih ulazi već zagrijan mulj, koji je potrebno dodatno i hladiti nakon THP procesa, a prije anaerobnih digestora.

Tablica 3. Usporedni prikaz tehničkih parametara bez i s primjenom THP procesa na UPOV-u Rijeka

Parametar	Jedinica	Bez THP-a	Sa THP-om (opterećenje linije mulja samo Rijeka 200.000 ES)	Sa THP-om (opterećenje linije mulja Rijeka+regija 400.000 ES)
Količina sirovog mulja	kgST/d	15.550	15.550	26.550
Vrijeme zadržavanja mulja u digestorima	d	20	15	15
Volumen digestora	m ³	5.800	2.000	3.350
VSS koji se razgradi u digestoru	kgST/d	4.830	6.051	10.000
	%	43,7	54,5	54,3
Ukupna masa dehidriranog mulja	t/godina	16.400	10.650	18.500
Proizvodnja bioplina	Nm ³ /d	4.135	5.585	9.250
Udio plina koji se šalje u kogeneraciju	MWh _e /godina	3.865	4.590	7.600

3.2. Ekonomske analize

Za prethodno razmatrana varijantna rješenja obrade te zbrinjavanja mulja s UPOV-a Rijeka, provedene su odgovarajuće ekonomske analize. Potrebno je istaknuti da je obzirom na karakter ovog rada moguća tek aproksimativna procjena troškova.

Jedinične cijene pojedinih stavki kod izgradnje pojedinih tehnoloških procesa obrade mulja, ali i načina konačnog zbrinjavanja mulja mogu značajno odstupati, čak i unutar istih lokaliteta. Realni prikaz troškova izgradnje može se dobiti tek u sklopu vrednovanja ponuda na objavljenom javnom natječaju.

Prema općim načelima procjene ukupnih troškova poslovanja, zasebno su analizirani troškovi izgradnje te troškovi pogona, održavanja, amortizacije, zbrinjavanja i dr., kroz čitavo projektno razdoblje koje je za potrebe ovog rada definirano u vremenu od 30 godina. Oba se analizirana varijantna rješenja temelje na istoj količini dehidriranog mulja koji se generira na UPOV Rijeka (s 22 %ST). Kod varijante gdje UPOV Rijeka postaje regionalni centar za obradu mulja, pretpostavljeno je da će se s ostalih UPOV-a u regiji dopremiti mulj sa 16 %ST. U konkretnom slučaju radi se o količini mokrog mulja u iznosu 16.400 t/godina (s koncentracijom 22 %ST).

U danim analizama korišteni su osnovni jedinični ekonomski parametri te su s ciljem bolje preglednosti iskazani u tablici 4.

Tablica 4. Jedinični ekonomski parametri primijenjeni u ekonomskim analizama varijantnih rješenja

Parametar	Vrijednost	Jedinica
Vrijednost eura	7,4	kn/€
Udio suhe tvari u dehidriranom mulju	22	%
Udio suhe tvari u dehidriranom mulju nakon THP procesa	30	%
Diskontna stopa	4	%
Projektno razdoblje	30	godina
Amortizacija elektrostrojarske opreme	4,5	%
Amortizacija građevinskog dijela	1,5	%
Održavanje	2,5	%
Jedinični trošak odlaganja mulja	513	kn/t
Jedinični utrošak energije na isparavanje vode u mulju	950	kWh/tH ₂ O
Jedinični utrošak plina na isparavanje vode u mulju	1118	kWh/tH ₂ O
Jedinična potrošnja električne energije	48,6	kWh/t
1Nm ³ zemnog plina	10,28	kWh
Koeficijent učinkovitosti pretvorbe plina u paru boilerom	0,85	%

Cilj analize ekonomske isplativosti je prikazati razliku u troškovima i dobiti, između pojedinih varijanti. Obje varijante analizirane su tablično. Dodatno je analizirana i varijanta kod koje UPOV Rijeka postaje regionalni centar za obradu i zbrinjavanje mulja.

Kapitalna investicija uključuje troškove, koji su razmatrani prvenstveno kao razlika u odnosu na konvencionalnu liniju obrade mulja bez THP-a: povećanje kapaciteta kogeneracije kao posljedica povećane proizvodnje bioplina; elektrostrojarska oprema vezana za THP proces; građevinski dio za THP; prethodna dehidracija mulja; naknadna dehidracija mulja; bojler; ušteda u investiciji termalnog sušenja; ušteda u volumenima digestora.

Operativni troškovi (pogon, održavanje, amortizacija) uključuju sve relevantne stavke, koje su analizirane kao puni trošak, a ne kao razlika između pojedinih scenarija): električna energija iz CHP-a; polimeri; dobit od preuzimanja mulja iz regije; trošak daljnjeg zbrinjavanja mulja; električna energija za digestore; električna energija za THP i dehidraciju mulja; električna energija za sušenje mulja; plin za sušenje mulja; pitka voda (para); bojler (kemikalije); dodatna aeracija NH₄ u bioreaktorima; održavanje; amortizacija – elektrostrojarski dio; amortizacija – građevinski dio.

U tablicama 5 i 6 dana je usporedna ekonomska analiza s uračunatim troškom zbrinjavanja mulja. Analiza operativnih troškova (tablica 5) provedena je za više različitih scenarija kojima je ispitana osjetljivosti operativnih troškova o promjenjivosti pojedinih ulaznih veličina kao što su jedinični trošak konačnog zbrinjavanja mulja (50, 60, 70 €/t) i trošak dobiti od preuzimanja mulja iz regije (25, 30 i 40 €/t).

U tablici 6 je dana usporedna ekonomska analiza s prikazom NSV. Očekivana ušteda uz primjenu THP procesa iznosi oko 2.000.000 – 2.500.000 €, izraženo kao NSV, za opterećenje muljem koji se generira isključivao na UPOV Rijeka. U slučaju da UPOV Rijeka postane regionalni centar za obradu i zbrinjavanje mulja, uštede mogu i značajnije rasti (do 6.500.000 €, izraženo kao NSV), što je prvenstveno ovisno o jediničnoj cijeni preuzimanja mulja iz regije.

Dodatno je analiziran i scenarij kod kojeg bi se u procesu termalnog sušenja mulja na UPOV Rijeka proizvodili peleti koji bi se plasirali na tržište biogoriva uz pretpostavku jedinične cijene 100 €/t.

Tablica 5. Usporedna ekonomska analiza (kapitalni i operativni troškovi) sa i bez THP procesa

	Jedinica	Bez THP-a	Sa THP-om (opterećenje linije mulja samo Rijeka 200.000 ES)	Sa THP-om (opterećenje linije mulja Rijeka+regija 400.000 ES)
KAPITALNA INVESTICIJA (CAPEX) – isključivo u odnosu na razliku u opremi				
UKUPNO CAPEX	€	760.600	769.500	3.900.000
OPERATIVNI TROŠKOVI (OPEX) – isključivo u odnosu na razliku u opremi				
UKUPNO OPEX	€/godina	640.000 ¹ 609.000 ² 580.000 ³	512.000 ¹ 485.000 ² 458.000 ³	80.500 ⁴ 331.000 ⁵ 456.000 ⁶ 34.000 ⁷ 285.000 ⁸ 410.000 ⁹ -13.000 ¹⁰ 238.000 ¹¹ 363.000 ¹²

¹ Trošak konačnog zbrinjavanja mulja iznosi 70 €/t

² Trošak konačnog zbrinjavanja mulja iznosi 60 €/t

³ Trošak konačnog zbrinjavanja mulja iznosi 50 €/t

⁴ Trošak konačnog zbrinjavanja mulja iznosi 70 €/t i dobit od preuzimanja mulja iz regije 40 €/t

⁵ Trošak konačnog zbrinjavanja mulja iznosi 70 €/t i dobit od preuzimanja mulja iz regije 30 €/t

⁶ Trošak konačnog zbrinjavanja mulja iznosi 70 €/t i dobit od preuzimanja mulja iz regije 25 €/t

⁷ Trošak konačnog zbrinjavanja mulja iznosi 60 €/t i dobit od preuzimanja mulja iz regije 40 €/t

⁸ Trošak konačnog zbrinjavanja mulja iznosi 60 €/t i dobit od preuzimanja mulja iz regije 30 €/t

⁹ Trošak konačnog zbrinjavanja mulja iznosi 60 €/t i dobit od preuzimanja mulja iz regije 25 €/t

¹⁰ Trošak konačnog zbrinjavanja mulja iznosi 50 €/t i dobit od preuzimanja mulja iz regije 40 €/t

¹¹ Trošak konačnog zbrinjavanja mulja iznosi 50 €/t i dobit od preuzimanja mulja iz regije 30 €/t

¹² Trošak konačnog zbrinjavanja mulja iznosi 50 €/t i dobit od preuzimanja mulja iz regije 25 €/t

Tablica 6. Usporedna ekonomska analiza (NSV) sa i bez THP procesa

VARIJANTE	NSV (30 godina)	Napomena
Varijanta 1 - Konvencionalan način bez THP-a (samo Rijeka: 200.000 ES)	11.823.518 €	70 €/t naknada za zbrinjavanje mulja
Varijanta 2 - THP ispred digestora (samo Rijeka: 200.000 ES)	9.634.590 €	70 €/t naknada za zbrinjavanje mulja
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	11.802.111 €	70 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 25 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	9.632.501 €	70 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 30 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	7.462.891 €	70 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 35 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	5.293.282 €	70 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 40 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 1 - Konvencionalan način bez THP-a (samo Rijeka: 200.000 ES)	11.297.114 €	60 €/t naknada za zbrinjavanje mulja
Varijanta 2 - THP ispred digestora (samo Rijeka: 200.000 ES)	9.168.799 €	60 €/t naknada za zbrinjavanje mulja
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	10.993.636 €	60 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 25 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	8.824.026 €	60 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 30 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	6.654.417 €	60 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 35 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	4.484.807 €	60 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 40 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 1 - Konvencionalan način bez THP-a (samo Rijeka: 200.000 ES)	10.770.710 €	50 €/t naknada za zbrinjavanje mulja
Varijanta 2 - THP ispred digestora (samo Rijeka: 200.000 ES)	8.703.007 €	50 €/t naknada za zbrinjavanje mulja
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	10.185.161 €	50 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 25 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	8.015.551 €	50 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 30 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	5.845.942 €	50 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 35 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	3.676.332 €	50 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 40 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 1 - Konvencionalan način bez THP-a (samo Rijeka: 200.000 ES)	2.874.645 €	-100 €/t naknada za zbrinjavanje mulja
Varijanta 2 - THP ispred digestora (samo Rijeka: 200.000 ES)	1.716.134 €	-100 €/t naknada za zbrinjavanje mulja
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	-1.941.963 €	-100 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 25 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	-4.111.573 €	-100 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 30 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	-6.281.183 €	-100 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 35 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije
Varijanta 3 - THP ispred digestora (Rijeka + uža regija: 400.000 ES)	-8.450.793 €	-100 €/t naknada za zbrinjavanje mulja i 40 €/t naknada za preuzimanje mulja iz regije

ZAKLJUČAK

Primjenom THP postupka na UPOV Rijeka, s drugim stupnjem pročišćavanja, može se očekivati postizanje poboljšanja i povećanja ekonomske učinkovitosti UPOV-a.

Uz primjenu THP procesa, na liniji obrade mulja ispred anaerobnih digestora, proizvodnja mulja smanjila bi se za oko 12 % u suhoj tvari te oko 35 % u ukupnoj težini mokrog mulja, uz mogućnost značajnijeg smanjenja volumena anaerobnih digestora (bitno u odnosu na lokaciju UPOV-a s otežanim terenskim radovima i relativno ograničenim prostorom za izgradnju UPOV-a). Također, dobiveni mulj imao bi bolje karakteristike kao što su povoljnija konzistencija, sterilan bez patogenih mikroorganizama, smanjeni intenzitet neugodnih mirisa (bitno u odnosu na lokaciju UPOV-a Rijeka u blizini centra grada) i dr. Zbog učinkovitije razgradnje organske tvari i postizanjem većeg udjela suhe tvari, povećala bi se i proizvodnja plina za oko 35 %. Nastavno, dobiveni mulj bio bi pogodniji za pojedine daljnje postupke obrade (sušenje, kompostiranje, spaljivanje i sl.) te pri korištenju na poljoprivrednim i nepoljoprivrednim površinama.

Na račun proizvodnje električne energije, evidentne su uštede kod svih varijanti. Premda je veća proizvodnja energije prisutna uz primjenu THP procesa, na povećanje NSV te varijante, utječe i veličina investicije, osobito kod varijante gdje UPOV Rijeka postaje regionalni centar za obradu i zbrinjavanje mulja.

U daljnjim istraživanjima na ovu tematiku, preporuča se analizirati energetske bilance za različite kombinacije rješenja s THP procesom i bez njega, ali uz dodatne oblike termičke obrade mulja.

LITERATURA

- [1] Barber, W.P.F. (2009): *The Impact of Advanced and Standard Digestion on Incineration of Sewage Sludge*, 14th European Biosolids and Organic Resources Conference and Exhibition.
- [2] Barber, W.P.F. (2010): *The influence on digestion and advanced digestion on the environmental impacts of incinerating sewage sludge: UK case study*, United Utilities.
- [3] Barber, W.P.F. (2012), *Thermal Hydrolysis: The Missing Ingredient for Better Biosolids*, Sludge Management.
- [4] Goss, T. (2015): *Lessons Learned from Recent Thermal Hydrolysis Plants Start up and Commissioning*, WEAT-NTS Seminar, AECOM.
- [5] Gurieff, N., Bruus, J., Hoejsgaard, S., Boyd, J., Kline, M. (2011.): *Maximizing Energy Efficiency and Biogas Production; EXELYS-Continuous Thermal Hydrolysis*, Proceedings from the 84th annual WETEC Conference.
- [6] Higgins, M., Murthy, S., Schafer, P., Cooper, A., Kasirga, E., Maschisko, J., Fountain, P., Kelleher, K. (2011): *Deating Characteristics of Cambi Thermal Hydrolysis Biosolids: Centriges vs BFPs*. Proceedings from the 84th annual WETEC Conference.
- [7] Panter, K., and Kleiven, H. (2005): *Ten years experience of full scale thermal hydrolysis projects*, 10th European Biosolids & Biowastes Conference, Wakefield, UK.

- [8] Westerholm, M. (2012): *Biogas Production through the Syntrophic Acetate-Oxidising Pathway: Characterisation and Detection of Syntrophic Acetate-Oxidising Bacteria*, Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- [9] Wett, B., Takacs, D., Bastson, D., Wilson, C., Murthy, S. (2014.): *Anaerobic model for high-solids or high temperature digestion-additional pathway of acetate oxidation*, Water Science and Technology, 69.8, doi: 10.2166/wst.2014.047.
- [10] Whitlock, D., Sandino, J., Novak, J., Johnson, B., Filmore, L., (2009): *Underlying Mechanistic Principles and Proposed Modeling Approach for Waste Activated Sludge Reduction Technologies*. Proceedings from the 23th annual WEF Residuals and Biosolids Conference.

AUTORI

doc. dr. sc. Dražen Vouk ^a

Luka Konosić ^b

Ivona Petković ^b

^a Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku, Kačićeva 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, dvouk@grad.hr

^b Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, lkonosic@student.grad.hr, ivona.petkovic@student.grad.hr



R 3.05.

RJEŠENJE ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA GRADA DUBROVNIKA

**Nataša Todorčić Rex, Ninoslav Rex, Damjan Nemec,
Danko Mihelčić, Toni Holjević**

SAŽETAK: Odabir tehničkog rješenja odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda grada Dubrovnika, predstavlja poseban izazov u procesu usklađivanja komunalne odvodnje sa postojećim EU direktivama, ali i rokovima koje je Hrvatska preuzela prilikom ulaska u Europsku uniju. U radu je prezentiran pregled provedenog procesa analize i odabira optimalnog tehničkog rješenja odvodnje i lokacije te tehnologije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Dubrovnika. Poseban osvrt dan je na rubne uvjete i karakteristike lokacije na kojoj je predviđena izgradnja uređaja. Provedena je analiza procesa odabira tehničkog rješenja uz uvjet fazne gradnje i neprekinutog rada sustava odvodnje tijekom izgradnje.

KLJUČNE RIJEČI: odvodnja i pročišćavanje, grad Dubrovnik, analiza rješenja

SOLUTION FOR WASTEWATER COLLECTION AND TREATMENT IN THE TOWN OF DUBROVNIK

ABSTRACT: Selecting a technical solution for wastewater collection and treatment in the Town of Dubrovnik presents a special challenge in the process of harmonizing urban wastewater management with the existing EU Directives and complying with the deadlines assumed by Croatia upon its accession to the European Union. The paper outlines the conducted process of analysing and selecting the optimum technical solution for wastewater collection, location and technology for the Dubrovnik wastewater treatment plant, with a special focus on the boundary conditions and characteristics of the planned location for the plant construction. An analysis of the selection process for the technical solution under conditions of phased construction and uninterrupted operation of the sewer system during the construction was performed.

KEYWORDS: collection and treatment, Town of Dubrovnik, analysis of solutions

1. UVOD

Problematika gospodarenja vodama u Hrvatskoj nužno je doživjela velike promjene, a posebno tijekom procesa pristupanja Hrvatske Europskoj uniji. Tijekom pregovora o

pristupanju jedno od najvažnijih poglavlja bilo je područje zaštite okoliša, a unutar njega gospodarenje vodama. U tom smislu jasno su definirani ciljevi i rokovi koje Hrvatska mora ispuniti prije odnosno ulaskom u članstvo Europske unije. Zbog nemogućnosti ispunjavanja ciljeva do ulaska u EU definirana su i prijelazna razdoblja u kojima će se uz potporu sredstava europskih fondova ostvariti zacrtani ciljevi. Područje Hrvatske u smislu odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda, ali i opskrbe pitkom vodom podijeljeno je na aglomeracije, unutar dva slivna područja (crnomorski i jadranski sliv). Nastavno su aglomeracije podijeljene u tri skupine (2.000-10.000 ES, 10.000-15.000 ES te više od 15.000 ES). Sukladno ovoj podjeli određeni su stupnjevi pročišćavanja voda u funkciji osjetljivosti područja ali i krajnji rokovi za implementaciju i izgradnju istih. Prijelazna razdoblja ispunjenja obveza predmetne Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda predviđaju potpuno ispunjenje obveza predviđenih Direktivom do kraja 2023. godine.

Aglomeracija Dubrovnik se nalazi u manje osjetljivom području Jadranskog mora te je za ovaj sustav potreban II. stupanj pročišćavanja otpadnih voda. S obzirom na predviđenu veličinu aglomeracije (>15.000 ES), pročišćavanje otpadnih voda treba biti riješeno do kraja 2018. godine.

2. ODVODNJA I PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA DUBROVNIKA

Početak izgradnje kanalizacije grada Dubrovnika vezan je za davno 14. stoljeće kada je izgrađena prva sustavna odvodnja otpadnih i oborinskih voda jezgre staroga grada. Generalno gledajući postojeći stari sustav jedan je od najstarijih u Europi, a prema tehničkom rješenju i izvedbi zidanih i nadsvođenih prostora svakako spada u najznačajnije spomenike kulturne baštine povijesne jezgre grada Dubrovnika. Koncipiran na glavnom kolektoru položenom Stradunom, s dva smjera otjecanja i to prema staroj gradskoj luci na istoku te lokaciji Pile (tvrđava Bokar) na zapadu. Na slici 1. prikazan je odvodni kanal iz toga doba.



Slika 1. Odvodni kanalizacijski kanala Stari grad, Držičeva poljana

Navedena kanalizacijska mreža odnosi se samo na uži dio staroga grada Dubrovnika. Intenzivna izgradnja postojeće kanalizacijske mreže grada Dubrovnika započela je početkom 70-tih godina prošloga stoljeća te je u razdoblju od 1971. – 1990. godine izgrađeno oko 60 kilometara mreže, a do današnjih dana oko 10 km. Sadašnji kanalizacijski sustav sastoji se od 75 km sanitarne kanalizacije i 15 km oborinske kanalizacije. U okviru sanitarne kanalizacije, a zbog izrazito složenog reljefa grada, izgrađeno je 12 crpnih stanica. Evidentirano je oko 7.700 priključaka, a broj ekvivalentnih stanovnika procjenjuje se u veličini od 30.000 ES. Sadašnji stupanj priključenosti procjenjuje se na 70 %, a mreža pokriva uže područje grada Dubrovnika i Mokošicu. Od korištenih cijevnih materijala prevladava azbest-cement (oko 31 km), betonski i armirano-betonski kanali (19,6 km), dok su plastični materijali (PVC i PEHD) zastupljeni na oko 8,9 km mreže.



Slika 2. Pogled na užu i širu lokaciju UPOV-a Lapad

Pročišćavanje otpadnih voda vrši se na uređaju za pročišćavanje, koji je smješten na lokaciji Lapad te se hidrotehničkim tunelom i podmorskim ispustom ispuštaju u more (slika 2.). Postojeći uređaj za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) isključivo je (nepotpunog) mehaničkog stupnja pročišćavanja, s kapacitetom od 50.000 ES, maksimalne protoke 1.300 l/sec uz prosječni dotok od 13.000 m³/dan. Uređaj je izgrađen 1985. godine te je neophodno provesti modernizaciju postojećeg postrojenja. Najveći nedostatak uređaja leži u njegovoj lokaciji, a koja se preklapa s hotelskim kapacitetima u tom području (neposredna blizina hotela Palace).

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Dubrovnik izgrađen je na predjelu Lapad. Otpadna voda dopremljena do postrojenja postojećeg uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Dubrovnik prolazi kanalom u kojem je, na početku toka, ugrađena gruba automatska rešetka, putem koje se uklanja otpad većih dimenzija. Nakon grube rešetke, voda je usmjerena u dio armiranobetonske konstrukcije u kojoj je pozicioniran tzv. „kominutor“, odnosno usitnjivač preostalog otpada u mediju. Paralelno s time postoji i mimovodni kanal, za slučajeve održavanja, odnosno intervencija u izvanrednim situacijama. Voda dalje teče kroz jedan zajednički kanal, u kojem se nalazi mjerač protoka. Nakon kanala za mjerač, voda je dopremljena u aerirani pjeskolov-mastolov. U sklopu pjeskolova-mastolova uklanja se pijesak te masti i ulja. Za potrebe aeracije postrojenje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda opremljeno je pihalima zraka, smještenima u sklopu zgrade. Odvojeni kruti otpad s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda odlaze se na deponiju „Konjsko groblje“ na Brgatu. Pročišćene otpadne vode se putem hidrotehničkog tunela ispod brda Petka (u tunelu su postavljene dvije cijevi DN 500) dovodi do podmorskog ispusta u otvoreno more, dužine 1.568 metara (tvrđi polietilen profil 800) te ispuštaju na dubinu od 100 metara.

Postojeći kanalizacijski sustav sa uređajem za pročišćavanje suočen je sa mnogim problemima, od kojih su najizraženiji sljedeći:

- nedostatna izgrađenost odnosno neadekvatna pokrivenost oborinskom odvodnjom,
- loše održavanje postojećih oborinskih kanala, uz stalno smanjenje njihove protočnosti,
- veliko opterećenje sanitarnih kanala oborinskim vodama,
- pojava poplavlivanja ulica, prometnica i podrumskih te prizemnih dijelova zgrada kod velikih oborina,
- djelomični prodori mora u postojeću kanalizacijsku mrežu,
- značajan porast dotoka na UPOV za vrijeme kišnog razdoblja.

3. TEHNIČKO RJEŠENJE

Za potrebe cjelovitog rješavanja odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda grada Dubrovnika i okolnih naselja, a s ciljem ispunjavanja uvjeta Europske okvirne direktive o vodama, odnosno preuzetih obveza iz procesa pristupanja Hrvatske Europskoj uniji, formirana je aglomeracija Dubrovnik te se pristupilo procesu iznalaženja optimalnog rješenja ovog zahtjevnog inženjerskog zadatka. U sklopu procesa izrade potrebne studijske i tehničke dokumentacije ključno mjesto zauzima pitanje odabira koncepta odvodnje otpadnih voda i smještaja te načina i lokacije njihovog pročišćavanja odnosno upuštanja u more. U sklopu Studije izvodljivosti provedena je analiza više koncepta odvodnje kao i načina pročišćavanja otpadnih voda. Posebno su respektirane moguće lokacije budućeg UPOV-a

te raspoložive slobodne prostore vezano za zahtjevnu reljefnu konfiguraciju samog grada Dubrovnika. Provedena je analiza sljedećih varijanti:

- zadržavanje postojeće koncepcije odvodnje i lokacije UPOV-a,
- modifikacija koncepta odvodnje uz novu lokaciju UPOV-a na području Mokošice,
- izmjena koncepta odvodnje na način da postoje dva UPOV-a i otpadna voda se usmjerava u dva smjera,
- odabir lokacije Komolac, preusmjeravanje otpadnih voda u tom smjeru te izgradnja konvencionalnog uređaja za pročišćavanje.

Uz navedene opcije kroz analizu tehničkog rješenja respektirana je i mogućnost proširenja područja obuhvata kroz priključenje područja Zaton-Orašac i Župe Dubrovačke sustavu odvodnje grada Dubrovnika. Rezultati rangiranja provedenih varijantnih analiza dani su u tablici 1. te je vidljivo da je kao najprihvatljivije tehničko rješenje odabrano zadržavanje postojeće koncepcije odvodnje i postojeća lokacija UPOV-a na Lapadu. Situacijski prikaz takvog koncepta odvodnje prikazan je na slici 3.

Tablica 1. Rezultati rangiranja varijantnih rješenja odvodnje

	Varijanta A	Varijanta B	Varijanta C	Varijanta D
NSV svih troškova	452.886.464	504.845.271	519.240.012	455.659.875
Rangiranje varijante	1	3	4	2



Slika 3. Situacijski prikaz usvojenog koncepta odvodnje s lokacijom UPOV-a na Lapadu

Na postojećoj lokaciji uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Lapad, predviđena je izgradnja i opremanje novih građevina u kojima će se odvijati tehnološki proces pročišćavanja otpadnih voda te izgradnja i opremanje građevina u kojima će se odvijati prateće aktivnosti značajne za tehnološki proces pročišćavanja otpadnih voda. Predviđena je izvedba novog podmorskog ispusta od lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

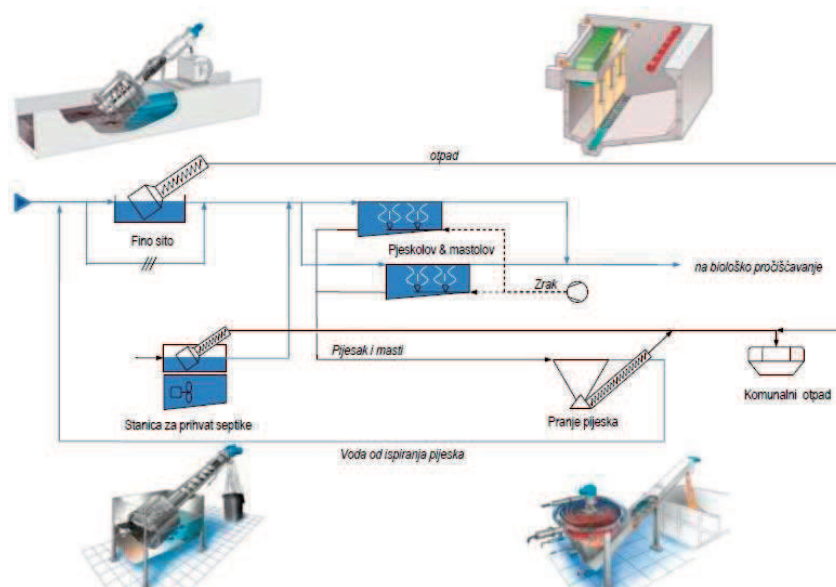
Tehnološki postupak pročišćavanja otpadnih voda podijeljen je na tri glavne tehnološke cjeline:

- 1) mehanički predtretman (fine rešetke, prihvat sadržaja septičkih jama, aerirani pjeskolov mastolov),
- 2) biološko pročišćavanje (MBR tehnologija),
- 3) obrada mulja (zgrušavanje, stabilizacija, dehidracija).

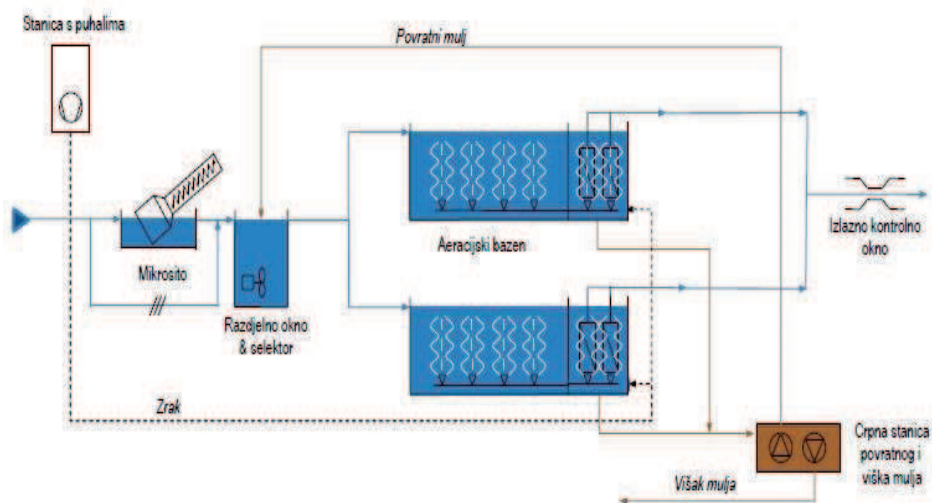
Građevine vezane uz tehnološki proces pročišćavanja otpadnih voda bit će izvedene kao podzemne armiranobetonske strukture, u sklopu ukopanih galerija na lokaciji (slika 4). Mehanički predtretman započinje u sklopu inicijalne galerije iz smjera zapada. U sklopu te galerije integriran je podzemni prostor za kanale fine rešetke, aeriranog pjeskolova – mastolova te kanale finih automatskih sita (slika 5.) Ostale građevine tehnološkog procesa pročišćavanja otpadnih voda su ukopane, podzemne armiranobetonske strukture u kojima se odvija biološko pročišćavanje prema procesu prikazanom na slici 6. Obrada mulja na lokaciji uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Lapad – Dubrovnik obuhvaća zgušnjavanje, stabilizaciju te dehidraciju. Zgušnjavanje, stabilizacija i dehidracija odvijat će se u zasebnoj prostoriji, smještenoj u kraćoj ukopanoj galeriji, u razini manipulativne površine lokacije te dijelom ispod nje (spremnik mulja).



Slika 4. 3D simulacija novog postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda



Slika 5. Shematski prikaz procesa unutar mehaničkog predtretmana



Slika 6. Shematski prikaz procesa MBR tehnologije

Doprema obrađenih otpadnih voda na lokaciju podmorskog ispusta riješena je izgradnjom nove kopnene dionice (neposredno uz postojeći hidrotehnički tunel) za koju je predložena primjena hidrauličkog bušenja. Sam podmorski ispust preliminarnim proračunima skraćen je na 835 metara, a postavlja se neposredno uz stari. Poseban uvjet ovog tehničkog rješenja je da cjelokupno staro postrojenje UPOV-a uključujući i stari podmorski ispust mora biti u funkciji tijekom cijelog procesa izgradnje novog UPOV-a ali i novog podmorskog ispusta.

ZAKLJUČAK

U sklopu analize rješenja odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda grada Dubrovnika posebni naglasak dan je na proces odabira lokacije za izgradnju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, usvojene koncepcije sustava odvodnje, uvjeta faznosti izgradnje te na kraju nužnosti funkcioniranja postojećeg sustava odvodnje i pročišćavanja tijekom razdoblja izgradnje i puštanja u pogon novog postrojenja. Zahtjevnost konfiguracije terena cijelog područja grada Dubrovnika, posebni uvjeti vezani za zaštićenu staru gradsku jezgru te specifičnosti priobalnog mora u koje se upuštaju pročišćene otpadne vode, daju dodatnu težinu procesu odabira tehničkog rješenja, ali i procesu projektiranja i izvedbe samih građevinskih objekata. Tijekom procesa inženjerske optimalizacije koncepta sustava odvodnje te odabira lokacije i tehnologije UPOV-a, proveden je zahtjevan evaluacijski postupak. Izvođenje odabranog tehničkog rješenja u skorom vremenu predstavljati će poseban inženjerski izazov.

LITERATURA

- [1] Direktiva Vijeća 2000/60/EZ kojom se uspostavlja okvir za djelovanje zajednice na području politike voda (okvirna direktiva o vodama)
- [2] Direktiva Vijeća 91/271/EEZ o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (Direktiva o komunalnim otpadnim vodama)
- [3] Dolinar D. i sur., (2015): *Studija izvodljivosti: Projekt zaštite od onečišćenja na priobalnom području-Ulaganja u obalnu ekološku infrastrukturu-Podprojekt Dubrovnik*, Hidroprojekt-ing, SIconsult, WYG International, Zagreb
- [4] Rex Todorić, N. (2018): *Idejni projekt za izdavanje lokacijske dozvole uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Lapad-Dubrovnik i podmorski ispust Dubrovnik*, Hidroprojekt-ing, Zagreb
- [5] Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina 2014.-2023
- [6] Žile, I. (2007): *Srednjovjekovna kanalizacija Grada Dubrovnika*, Starohrvatska prosvjeta III/34, str.437-449.

AUTORI

Nataša Todorić Rex, dipl. ing. građ.^a

Ninoslav Rex, dipl. ing. građ.^a

Damjan Nemeć dr. dipl. ing. kem. teh.^a

Danko Mihelčić dipl. ing. arh.^a

Toni Holjević mag. ing. aedif.^a

^a Hidroprojekt – ing, Draškovićeve 35/1, Zagreb 10000, Hrvatska, ntrex@hp-ing.hr, nrex@hp-ing.hr, damjan.nemec@hp-ing.si, damihelcic@hp-ing.hr, tholjevic@hp-ing.hr



R 3.06.

URBANI VODNI SUSTAV U FUNKCIJI ZAŠTITE OKOLIŠA

Željko Rozić

SAŽETAK: U radu se ukazuje na problem povećane potrošnje vode za gradove i povećanog onečišćenja vode iz gradova. Urbani vodni sustav ima značajan utjecaj na okoliš s kojim je izravno povezan u interakcijskoj i uzročno - posljedičnoj vezi. Generalno, u današnjim suvremenim vremenskim tokovima suočeni smo s međusobno uzrokovanom i povezanom krizom koju karakteriziraju: klimatske promjene, veliki prijelomi, rastući društveno - ekonomski metabolizam koji troši raznovrsne resurse stvarajući velike količine raznovrsnog otpada, društveno - politička povezanost, prekogranična ovisnost, brzi razvoj tehnologije i drugo. Pojavom industrijskog razdoblja, stanje u okolišu poprima neodržive značajke. Sveukupna ljudska aktivnost (industrija, graditeljstvo, promet, urbanizacija i povećanje gradova i urbane populacije, intenzivna poljoprivreda, eksploatacija rudnoga blaga i dr.) remeti prirodnu ravnotežu i uništava pojedine ekosustave, pa štete izazvane u biosferi prijete zaustavljanjem održivog razvoja. Zbog toga je nužno gradnju planirati na principima održivog građenja, težiti očuvanju ravnoteže određenih procesa ili stanja u okolišu, održavanju blagostanja koje pak ovisi o blagostanju prirodnog svijeta i odgovornoj uporabi i trošenju prirodnih resursa. Potrebni su razni oblici reorganizacije životnih uvjeta (eko sela, održivi gradovi), ponovne procjene ekonomskih sektora (permakultura, zelena gradnja, održiva poljoprivreda) ili unaprjeđenje i uporaba znanosti za nove tehnologije uz značajne beneficije u EU (zelene tehnologije, obnovljiva energija). Održivost urbanog vodnog sustava, odnosno funkcije cilja zahtijeva da razlika u količini i kakvoći između uzete vode i one vraćene u vodne resurse bude pozitivna, odnosno optimalna (manji gubici vode i bolja kakvoća). Da bi se to ostvarilo potrebno je izgraditi, održavati i kvalitetno upravljati urbanim vodnim sustavom. To podrazumijeva optimalnu - minimalnu potrošnju drugih resursa (ljudski rad, energija, kemikalije i dr.), što se pak odražava na čuvanje prirodnih resursa te veću potrošnju i iskoristivost obnovljivih izvora energije (smanjenje emisije stakleničkih plinova).

KLJUČNE RIJEČI: urbani vodni sustav, vodni resursi, urbanizacija, održivi razvoj, zaštita voda i okoliša

URBAN WATER SYSTEM IN ENVIRONMENTAL PROTECTION FUNCTION

ABSTRACT: This paper points to a problem of increased water consumption by cities and increased water pollution coming from cities. The urban water system has a significant impact on the environment with which it is directly linked through interaction and a cause-and-effect relationship. Generally, we are faced today with the interrelated and connected crisis that is characterized by climate change, a growing socio-economic metabolism that consumes a variety of resources and generates large quantities of diverse waste, socio-political connectivity, cross-border dependence, rapid development of technology, and more. With the emergence of the industrial period, the state of the environment assumed unsustainable features. The overall human activity (industry, construction, transport, urbanization and urban population growth, intensive agriculture, exploitation of mineral wealth, etc.) disturbs the natural balance and destroys individual ecosystems, so that the damage caused to the biosphere threatens to halt sustainable development. It is, therefore, necessary to plan building on the principles of sustainable construction, strive to preserve the balance of certain processes or conditions in the environment, maintain such well-being that depends on the well-being of the natural world and use and consume natural resources in a responsible manner. Various forms of restructuring of living conditions (eco-villages, sustainable cities), re-assessments of economic sectors (permaculture, green infrastructure, sustainable agriculture) or the advancement and use of science for a provision of new technologies are needed, with significant benefits in the EU (green technologies, renewable energy). The sustainability of the urban water system, i.e. target function requires that the difference in the quantity and quality between water taken and water returned to the water resources should be positive or optimal (lower water losses and better water quality). In order to achieve this, it is necessary to build, maintain and manage the urban water system in an improved manner. This implies optimal i.e. minimal consumption of other resources (human labour, energy, chemicals, etc.), which reflects on the conservation of natural resources, and higher consumption and utilization of renewable energy sources (reduction of greenhouse gas emissions).

KEYWORDS: Urban water system, water resources, urbanization, sustainable development, water and environmental protection

1. UVOD

Analiza problema zaštite voda i okoliša može početi pitanjem: kako smanjiti onečišćenje i smanjiti utjecaj raznih direktnih ili indirektnih zagađivača voda i okoliša. Na vodne resurse djeluju mnogi čimbenici, koji dolaze iz poljoprivredne i industrijske djelatnosti, iz urbanih područja, domaćinstava i turističke djelatnosti. U ovom radu najviše se opisuje problem utjecaja urbanih (gradskih) područja na stanje okoliša. U tom pravcu treba definirati stvarne potrebe količine i kakvoće vode za gradove, s jedne strane i optimalne procjene količine i kakvoće povratnih voda u vodne resurse. Ako se pri tom definiraju i svi parametri optimalnog održivog rada tog vodnog sustava u kontekstu društveno - ekonomskih odnosa (maksimalni društveno - ekonomski učinak uz minimalne troškove i minimalan utjecaj na okoliš), dobili smo funkciju cilja optimalizacije rada UVS - a.

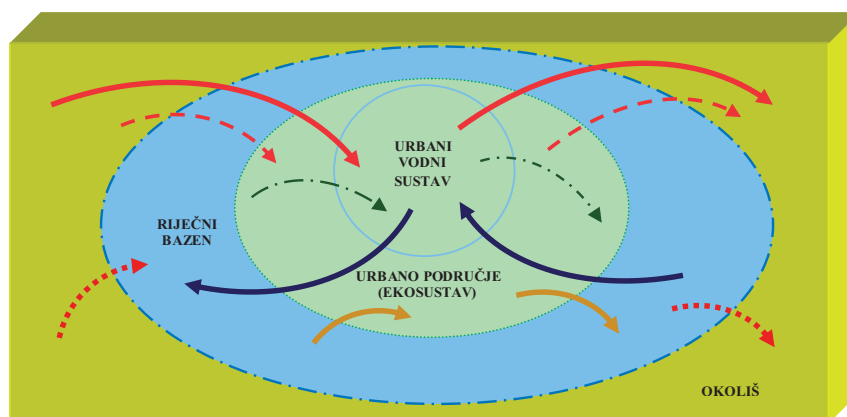
Polazište je zahvaćanje voda, korištenje voda za gradove s trendom povećanja ljudske populacije i izravnog povećanja potrošnih količina čiste vode. Kada govorimo o korištenju voda, onda se treba naglasiti problem prekomjernog iskorištavanja vodnih resursa, koji je izuzetno kompleksan ne samo s hidrološkog stajališta, nego i u pogledu socio-ekonomskih i političkih uvjeta. Rješenja moraju zadovoljiti okoliš i biti socijalno i politički izvodljiva. Cilj je i analiza uvjeta za unaprjeđivanje iskorištavanja vode, podrška održivom iskorištavanju vode i zaštita resursa. Opći je cilj svesti opterećenja okoliša ispod praga trajno podnošljivih opterećenja, čime se omogućuje održivi razvoj (Gereš,1995.). Zbog toga se preporuča da se istraživanja i prikupljanje podataka koncentriraju na poboljšanje postojećeg stanja informacija.

Urbani vodni sustav (UVS) je dio prirodnog hidrološkog ciklusa koji uključuje prirodna područja vodnih resursa i izgrađene dijelove vodnog sustava kao što su: zahvat i transport vode, čišćenje i distribucija vode, akumuliranje vode, raspodjela do svakog korisnika, a zatim prikupljanje, odvod i pročišćavanje otpadnih voda te prikupljanje, odvod i pročišćavanje oborinskih voda, kao i upravljanje i kontrola režima ciklusa kretanja i kruženja urbanih voda na području grada općenito. U kontekstu prethodnog može se definirati i UVS kao prirodni i izgrađeni vodni sustav najvećim dijelom unutar područja grada, fleksibilan i podložan promjenama od strane čovjeka i društva u cjelini u smislu prilagodbe ljudskim potrebama (Margeta, 2011).

2. INTERAKCIJSKI SUSTAVI I UTJECAJI

Urbani vodni sustav nalazi se u interakciji i međuovisnosti s drugim sustavima koji ga okružuju. Interakcija urbanog vodnog sustava može se općenito predstaviti kroz presjek tri šira sustava (slika 1.):

- sustav okoliša,
- sustav riječnog bazena,
- urbani (eko)sustav.



Slika 1. Međuovisnosti između urbanog vodnog sustava, riječnog bazena, urbanog područja i okoliša

Urbani vodni sustav može se u matematičkom smislu definirati kao presjek spomenutih skupova (sustava): sustav okoliša, riječnog bazena i urbanog područja, odnosno urbani vodni sustav je podskup ova tri skupa.

2.1. Sustav okoliša i UVS

Za svako urbano područje i riječni bazen može se općenito reći da su u izravnoj ovisnosti i međusobnom djelovanju s okolišem, odnosno sredinom koja ga okružuje u širem smislu. Okoliš je pak različit za svako urbano područje, ali svi bitni elementi koji čine karakteristiku i obilježje te sredine, moraju biti sadržani i sastavni su dio i urbanog i riječnog sustava.

Sustav okoliša je u izravnoj ovisnosti o položaju i lokaciji urbanog područja gledano s aspekta ekološkog, hidrološkog, geološkog, klimatskog, geografskog ili inog stajališta. Stoga, uzimajući u obzir sve navedene osobine i specifičnosti pojedinih područja, odnosno regija, može se napraviti podjela tih područja prema bitnim zajedničkim osobinama i karakteristikama, odnosno specifičnostima pojedinih sredina i regija, pa mogu biti: obalna, kontinentalna, planinska, nizinska i druga. U ovisnosti o okolišnim specifičnostima pojedinih regija, a uvažavajući prethodne napomene, može se doći do definiranja detaljnih međuodnosa i međuovisnosti između UVS - a i njihovog utjecaja na riječni bazen, urbani ekosustav i u konačnici na okoliš.

2.2. Sustav riječnog bazena

Riječni bazen čini logičnu prostornu hidrološku jedinicu sustava i jednu hidrološki zatvorenu cjelinu (uključujući jedino moguća propuštanja podzemne vode). Sastoji se od mreže riječnih tokova, rijeka i rječica skupa s njenom kopnenom površinom, odnosno od nekoliko manjih podbazena. Pod pojmom podbazen podrazumijeva se područje zemljišta s kojeg sve površinsko otjecanje teče kroz niz potoka, rijeka, rječica i kanala u obliku vodenog toka i gravitira, odnosno sliva se obično k jezerima ili rijekama. Urbani je bazen, uobičajeno, jedan podbazen jednog većeg riječnog bazena.

Odnose između okoliša, riječnog bazena i urbanog vodnog sustava i njihovu međuovisnost čini niz međusobnih veza koje su pak ovisne o fizičkim, političkim, geografskim, klimatskim i drugim karakteristikama same regije u kojoj se nalaze. Bitno je napomenuti da uzajamna djelovanja (interakcije) između riječnog bazena i urbanog sustava vode uključuju sve odnose vezane za fizičko korištenje vode u urbanim područjima (unutarnja i vanjska korištenja vode), kao i sve pravne i ekonomske odnose nastale korištenjem zemljišta i urbane vode u riječnim bazenima.

2.3. Urbani (eko)sustav

Za bolje i efikasnije sagledavanje koncepta i strukture jednog urbanog vodnog sustava potrebno je prije svega definirati pojam urbani ekosustav. Ekosustavi su biološki sustavi sastavljeni od živih zajednica kao što su biljke, životinje, mikroorganizmi i ljudi i pridruženog neživog elementa, odnosno okoliša. U tom kontekstu može se uzeti grad kao jedan složen i specifičan ekosustav, okarakteriziran svojim kontinuiranim tokom rasta i razvoja, odnosno stalnim dinamičkim procesima i promjenama. Dakle, unutar jednog takvog urbanog ekosustava odvija se interakcija i međusobno djelovanje pojedinih

dijelova sustava: zelenih površina, parkova i vrtova, otvorenih površina i zgrada, putova, vodenih putova i vodenih površina, ljudi, životinja i biljaka i drugih organizama. Ljudi predstavljaju dominantnu vrstu, a izgrađeni okoliš je dominantni fizički element urbanog ekosustava.

Glavna karakteristika urbanog ekosustava izražena je kroz međuovisnost i međusobno djelovanje s okružujućim okolišem u širem smislu. Sastoji se od ulaznih elemenata (ulaz), koje ulaze u sustav prirodnim putem ili se pak dovode iz daleka (primjerice prijevoz hrane, materijala i dr.) i izlaznih elemenata (izlaz), koji su proizvod sustava i mogu biti pozitivni (usluge, ekonomija, društveni i kulturni proizvodi, nove urbane sredine) i negativni (otpad, zagađenje, kriminal i dr.). Glavni dio sustava je čovjek, odnosno ljudska aktivnost koji je tvorac i graditelj sustava, ali i proizvođač otpadnih materija i svih negativnih posljedica korištenja sustava. Malo je prirodnih elemenata ili procesa na koje nije utjecala ljudska aktivnost.

3. PRIMJER OPTIMALNOG UPRAVLJANJA UVS - OM U FUNKCIJI ZAŠTITE OKOLIŠA

U nastavku prikazat će se primjer optimalnog upravljanja UVS-om u svrhu očuvanja i zaštite okoliša. Radi se o ilustrativnom primjeru prikaza gdje su odabrane samo glavne - bitne funkcije korelacije odnosa „UVS-OKOLIŠ“. Analizirani su utjecaji na vodu, zrak i tlo kao glavne sastavnice okoliša u funkciji trenutnog stanja rada UVS-a i poboljšanog - optimiziranog upravljanja radom UVS-a. Na slici 2. dani su mogući bitni parametri utjecaja koji u općem smislu definiraju odnose UVS - a i okoliša. Od tih svih parametara utjecaja uzeti su količina vode i kakvoće vode kao najznačajniji čimbenici i pokazatelji stanja i indeksa korištenja voda iz okoliša i indeks kakvoće povratnih otpadnih voda u okoliš. Od parametara koji utječu na atmosferu, uzet je primjer emisije CO₂, kao posljedica potrošnje električne energije za rad crpnih stanica u vodoopskrbnom sustavu. Analiziran je pojam „sadašnje stanje“ (realan sustav) i poboljšani i optimizirani sustav (buduće - planirano stanje) i uzete su sljedeće funkcije:

1. a.) Zahvat vode iz prirodnih vodnih resursa - trenutno stanje i
 - b.) Zahvat vode iz prirodnih vodnih resursa - poboljšano stanje, koje obuhvata sljedeće utjecajne parametre (uzet je samo dio utjecajnih elemenata):
 1. Smanjenje gubitaka vodoopskrbnog sustava,
 2. Manja potrošnja električne energije i korištenje obnovljivih izvora energije (primjer sunčeva energija),
 3. Racionalizacija potrošnje - utjecaj na ljudsku svijest (čovjeka) i povećanje cijene vode (ekonomski parametri).
2. a.) Ispuštanje upotrijebljenih i oborinskih voda u prijemnik (vraćanje vode u vodne resurse) - sadašnje stanje i
 - b.) Ispuštanje upotrijebljenih i oborinskih voda u prijemnik (vraćanje vode u vodne resurse) - poboljšano stanje - pročišćavanje otpadnih upotrijebljenih oborinskih voda, koje obuhvata sljedeće:
 1. Poboljšanje rada kanalizacijskog sustava (materijal i izvedba - vodonepropusnost),

2. Povećanje stope priključenosti na kanalizacijski sustav,
3. Povećanje stupnja pročišćavanja otpadnih voda.

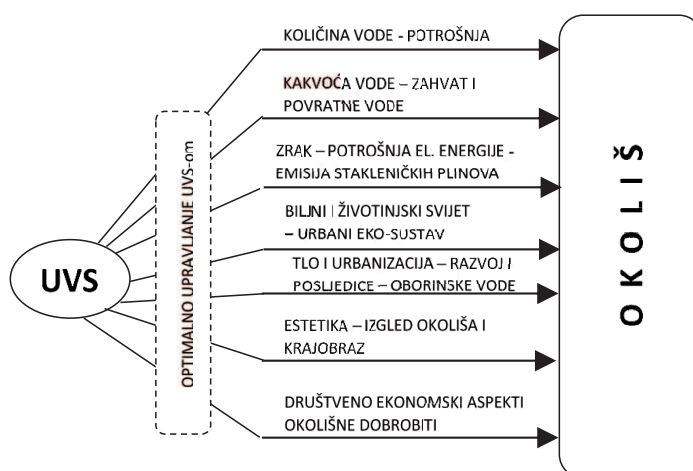
U tu svrhu urađen je model rada UVS-a nazvan "UVS-REAL" i "UVS-OPTIMA", koji će poslužiti kao ilustracija mogućnosti optimalnog upravljanja rada UVS-a u cilju očuvanja i zaštite okoliša. Kao primjer primjene (verifikacija i kalibracija modela), uzet je grad Mostar, gdje su relativno poznati svi potrebni ulazni parametri i izlazni realni rezultati. Cilj je na temelju optimalnog upravljanja i rada UVS-a sve te utjecaje na okoliš poboljšati u smislu sljedećih glavnih funkcija cilja:

$$V_z = \min; K_v = \max; \quad (1)$$

gdje su:

V_z - količina zahvaćene vode iz vodnih resursa,

K_v - kakvoća ispuštenih voda (uzet je jedan parametar za prikaz stanja komunalnih kućanskih otpadnih voda - BPK_5).



Slika 2. Značajniji utjecajni parametri UVS-a na okoliš koji mogu biti glavni čimbenici optimalnog upravljanja UVS-om

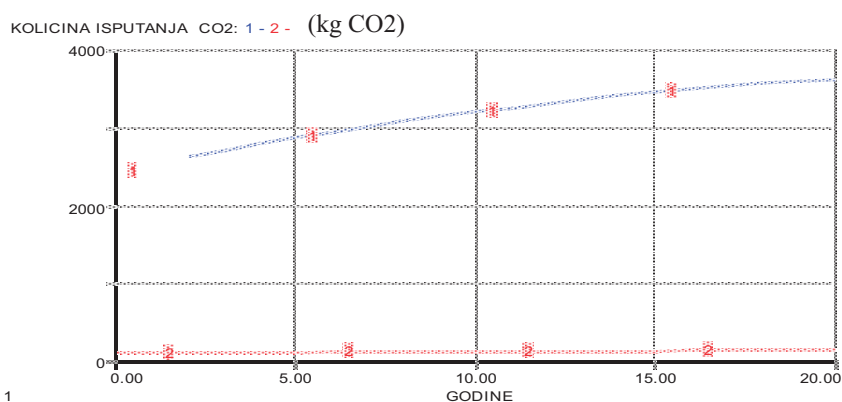
Primjenom objektno orijentiranog modeliranja i prilagođenog softvera "Stella" te na temelju cjelokupne sprovedene analize funkcioniranja i održivog razvoja urbanih vodnih sustava općenito se može izraditi početni - osnovni realni model, nazvan „UVS-OKOLIŠ“ (slika 3), koji u daljoj strukturalnoj analizi predstavlja realno sadašnje stanje mogućih značajnijih utjecaja UVS-a na okoliš i vodne resurse (Rozić, 2006).

Model UVS-OKOLIŠ (slika 3) je modificirani model za upravljanje sustavom UVS-a, nazvan Fizički model količine i kakvoće voda urbanog vodnog sustava (FMKKV) (Rozić, 2006). Dakle, osim količine i kakvoće voda UVS-a, model je modificiran s još nekim parametrima bitnim za odnose UVS-okoliš, primjerice utjecaj na zrak - emisija stakleničkih plinova pri radu crpnih stanica i moguće smanjenje utjecaja i korištenje obnovljivih izvora energije. Za analizu i moguću optimalizaciju rada UVS-a uzeti su

Optimalnim upravljanjem i poboljšanim radom UVS-a smanjena je emisija kg CO_2 u atmosferu s početnog stanja 2.114 kg CO_2 na 81 kg CO_2 za sadašnje stanje i za kraj planskog razdoblja (20 godina) s 3.636 kg CO_2 na 121 kg CO_2 .

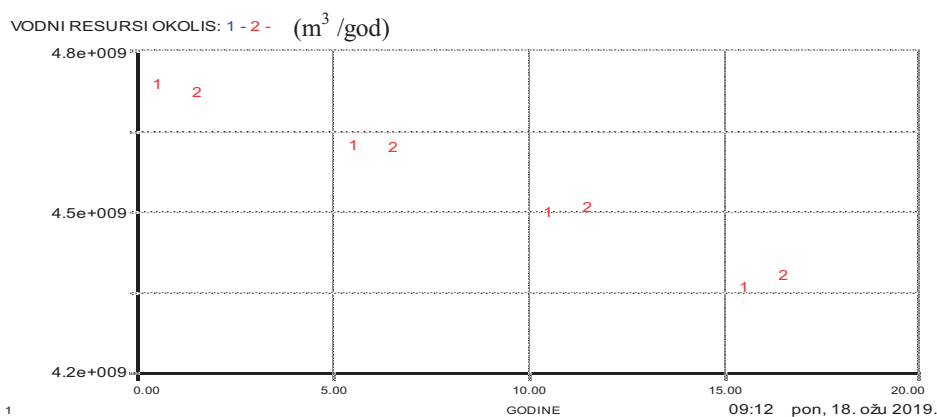
Za slučaj smanjenja gubitaka u vodoopskrbnom sustavu sa 60 % na 40 % povećala bi se količina vodnih resursa na mjestu zahvata za $0,67 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{god}$. za kraj planskog razdoblja.

Ako se poveća stupanj pročišćavanja sa sadašnjeg stupnja od 30 % na budući 80 %, smanjio bi se unos parametra BPK_5 u prijemnik otpadne vode sa 1.233 kg/dan na 1.044 kg/dan (razlika 189 kg/dan) ili za kraj planskog razdoblja s 4.316 kg/dan na 3.565 kg/dan (razlika 751 kg/dan).



1

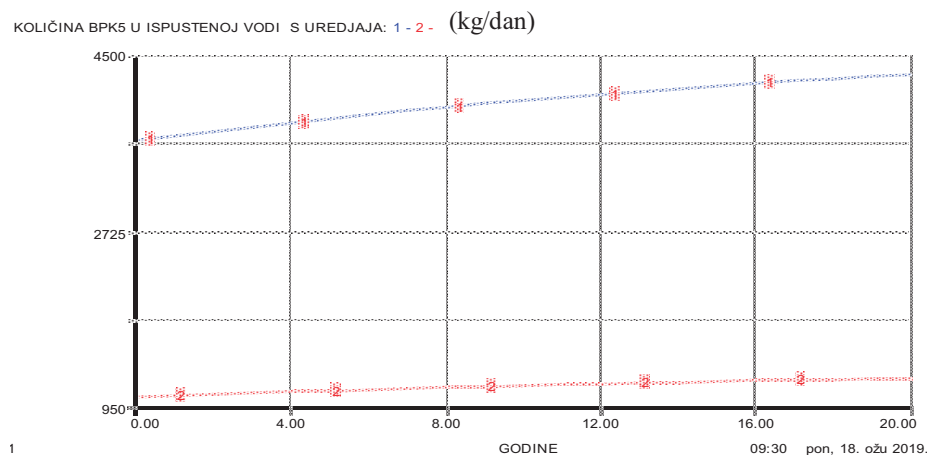
Slika 4. Grafikon usporedbe emisije kg CO_2 ispuštenog u zrak (kg CO_2) za rad crpnih stanica u vodoopskrbi za slučaj: (1) - korištena elektro energija od dizel ili termoelektrana - uglj i (2) - korištena energija - obnovljivi izvori energije - solarni generatori



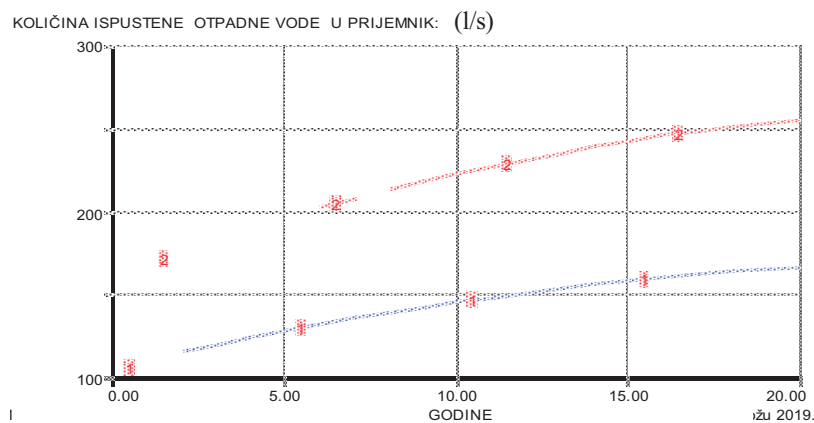
1

Slika 5. Grafikon usporedbe smanjenja količine zahvata vode (vodni resursi) za vodoopskrbu za slučaj: (1) - gubici u vodoopskrbnom sustavu 60 % - sadašnje stanje i (2) - gubici u vodoopskrbnom sustavu 40 % - poboljšano planirano stanje

Također se mogu i povećati količine ispuštene otpadne (pročišćene) vode u prijemnik. Rezultati analize pokazuju da se preko tri bitna parametra: stopa gubitaka u kanalizaciji, stopa izgrađenosti kanalizacijskog sustava i stupanj pročišćavanja može poboljšati stanje količine povratne vode u prijemnik sa 103 l/s na 166 l/s - sadašnje stanje i sa 159 l/s na 255 l/s - za planirano vremensko razdoblje.



Slika 6. Grafikon usporedbe smanjenja ispuštanja tereta onečišćenja BPK5 s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda za slučaj: (1) - stupanj pročišćavanja 30 % - sadašnje stanje i (2) - stupanj pročišćavanja 80 % - poboljšano planirano stanje



Slika 7. Grafikon usporedbe količine ispuštanja otpadne vode u prijemnik za slučaj: - stopa gubitaka u kanalizaciji 35 %, stupanj pročišćavanja 30 % i stupanj izgrađenosti kanalizacijskog sustava 60 % - sadašnje stanje; - stopa gubitaka u kanalizaciji 25 %, stupanj pročišćavanja 80 % i stupanj izgrađenosti kanalizacijskog sustava 80 % - poboljšano planirano stanje

ZAKLJUČAK

U radu su ukazani i apostrofirani problemi u rješavanju optimalnog upravljanja i odlučivanja u radu urbanog vodnog sustava u funkciji zaštite okoliša ili bolje rečeno minimalnog utjecaja na okoliš. Funkcija cilja (minimalni utjecaj na okoliš) u ovom slučaju bi se mogla definirati sljedećim podciljnim funkcijama:

- Minimalni zahvati iz vodnih resursa (okoliša),
- Minimalno ispuštanje stakleničkih plinova u zrak (okoliš),
- Minimalno ispuštanje BPK₅ u prijemnik (okoliš),
- Maksimalne povratne pročišćene količine otpadnih voda koje se ispuštaju u prijemnik (okoliš).

Primjenom modela UVS-OKOLIŠ, koji predstavlja skup objekata (struktura elemenata i interakcijskih odnosa - objektno orijentirano modeliranje), urađena je simulacija i optimalizacija rada UVS-a u svrhu njegovog optimalnog utjecaja na okoliš.

Prema tome, nekadašnja praksa upravljanja vodnim resursima pokazala se nedostatnom u mnogim pitanjima današnjice uzrokovanom brojnim demografskim, ekonomskim i industrijskim promjenama, kao što su naglo povećanje proizvodnje, koncentracija stanovništva u gradovima, koje dalje za sobom uzrokuju niz posljedica kao primjerice povećano korištenje količine vode, zagađivanje voda i okoliša, potreba za većom kvalitetom vode i slično. U radu je dan putokaz i mogući principi rješavanja ovih problema. Polazište je integralno i održivo upravljanje vodama koje najkraće rečeno predstavlja princip cjelovitosti, odnosno u obzir uzima međudjelovanje urbanog vodnog sustava s njegovim okolišem i svim drugim sustavima koji zajedno čine integralni koncept UVS-a (Rozić, 2009).

Uzimajući u obzir navedeno, integralnim upravljanjem urbanim vodnim sustavom nastoji se osigurati dovoljna količina kvalitetne pitke vode za javnu vodoopskrbu stanovništva, neophodna količina vode odgovarajuće kvalitete za različite privredne potrebe, zaštita života ljudi i materijalnih dobara od štetnog djelovanja voda te postići i očuvati dobro stanje voda zbog zaštite vodnih i o vodi ovisnih ekosustava. Uspješnost ovakve misije ovisi o nizu potrebnih mjera i aktivnosti, a jedna od takvih je prikazana i ovom radu. Temelji se na izradi optimalizacijskog modela rada i upravljanja urbanim vodnim sustavom, što prije svega daje dobru i realnu osnovu za razumijevanje problema, moguće prijedloge rješenja te pozitivan i agresivniji pristup za daljnja istraživanja i razvoj novih tehnika i alata.

LITERATURA

- [1] Đurin, B, (2014): *Održivost rada urbanog vodnog sustava*, Doktorska disertacija, Mostar, Građevinski fakultet, 2014., 126 str. Voditelj: Margeta, J.
- [2] Gereš, D, (1995): *Stanje i održivi razvitak vodoopskrbe u Hrvatskoj*, Građevinar, 47 (1995) 12, 749-759.
- [3] Margeta, J, (2011): *Promjene u svijetu i gospodarenje urbanim vodnim sustavom*, Građevinar 63, 12, 1069-1077, Zagreb.
- [4] Rozić, Ž, (2009): *Optimizacija rada urbanog vodnog sustava*, Doktorska disertacija, Mostar, Građevinski fakultet, 24.02.2009., 255 str., Voditelj: Margeta, J.
- [5] Rozić, Ž., (2006): *Upravljanje UVS - om primjenom OOM-a*, magistarski rad, Split, Građevinsko - arhitektonski fakultet, 15.03.2006., 181 str., Voditelj: Margeta, J., Knezić, S.

AUTOR

izv. prof. dr. sc. Željko Rozić ^a

^a Građevinski Fakultet Sveučilišta u Mostaru, Matice hrvatske bb, Mostar, 88000, Bosna i Hercegovina, zeljko.rozic@tel.net.ba



R 3.07.

HIDRAULIČKI MODEL VODOOPSKRBNOG SUSTAVA OSIJEK S ANALIZOM VODNIH GUBITAKA I DINAMIČKIM PRIKAZOM REZULTATA KORISTEĆI TOPOLOŠKI GIS MODEL U 3D OKRUŽENJU

**Igor Dundović, Matej Fremec, Jasna Zima,
Zdenko Tadić, Ante Kristić, Branimir Barać**

SAŽETAK: Ovim radom prikazuju se analitičke metode i rezultati hidrauličke analize vodoopskrbnog sustava. Kao podloga je korišten projekt „Uspostava tehničkog informacijskog sustava vodoopskrbe na području Osijek – Čepin – Dalj i izrada programa upravljanja gubicima vode“. Radom se prikazuju napredne metode izrade hidrauličkog modela, implementacija vodnih gubitaka korištenjem naprednih analitičkih alata te prikazi konačnih rezultata u svrhu kvalitetnog sagledavanja postojećeg stanja vodoopskrbnog sustava Osijek. Prvi puta u Republici Hrvatskoj, a prema dosadašnjim saznanjima i u svijetu, rezultati hidrauličkog modela vodoopskrbnog sustava prikazuju se kao topološki GIS model u 3D okruženju koristeći Google Earth Pro platformu.

Konačni rezultati kalibriranog hidrauličkog matematičkog modela prikazani su na jedinstven način kao dinamički topološki GIS model u trodimenzionalnom okruženju platforme Google Earth Pro. Visina stupca u vizualizaciji predstavlja stvarnu visinu vodnog stupca (tlaka) u odnosu na teren. Na ovaj način, krajnjem korisniku omogućena je virtualna „šetnja“ ulicama grada Osijeka s uvidom u realne visine vodnog stupca u odnosu na okolne zgrade kroz željeni vremenski period.

KLJUČNE RIJEČI: hidraulički model, GIS, kml, Google Earth, vodovod Osijek, vodni gubitci

HYDRAULIC MODEL OF THE WATER SUPPLY SYSTEM OSIJEK WITH AN ANALYSIS OF WATER LOSSES AND A DYNAMIC PRESENTATION OF THE RESULTS USING A TOPOLOGICAL GIS MODEL IN 3D ENVIRONMENT

ABSTRACT: This paper presents the analytical methods and results of the hydraulic analysis of the water supply system, with the project “Establishment of the Technical Information System for water supply in the Osijek - Čepin - Dalj area and the development of a programme for managing water losses” used as baseline information. The paper gives an

overview of advanced hydraulic modelling methods, management of water losses using advanced analytical tools and presentation of the final results for the purpose of gaining improved insight into the existing conditions within the Osijek water supply system. For the first time in the Republic of Croatia, and to our knowledge in the world as well, a hydraulic model of a water supply system is presented as a topological GIS model in 3D environments using the Google Earth Pro platform.

The final results of the calibrated hydraulic mathematical model are presented in a unique manner as a dynamic topological GIS model in the three-dimensional environment of the Google Earth Pro platform. The height of the column in the visualization represents the actual height of the water column (pressure) relative to the terrain, enabling the end user a virtual “walk” down the streets of the city of Osijek with a view of the actual height of the water column relative to the surrounding buildings in the desired time period.

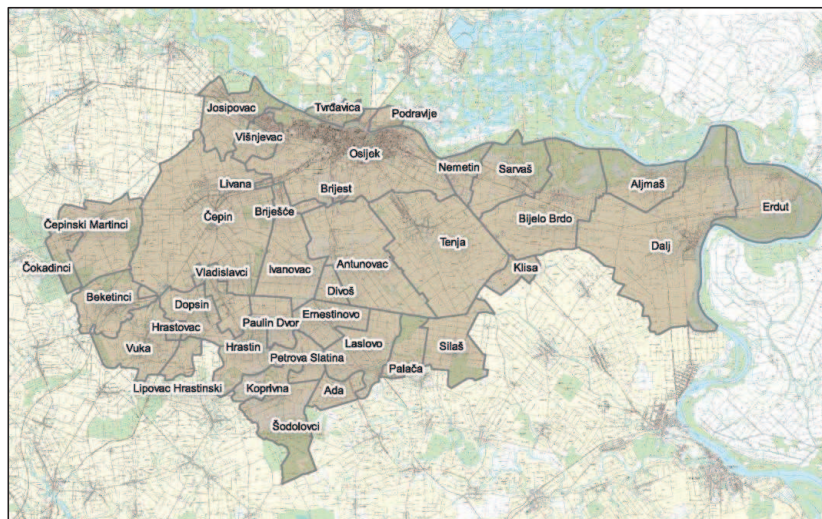
KEYWORDS: hydraulic model, GIS, kml, Google Earth, water supply system Osijek, water losses

1. UVOD

Projekt „Uspostava tehničkog informacijskog sustava vodoopskrbe na području Osijek – Čepin – Dalj i izrada programa upravljanja gubicima vode“ korišten je kao platforma za razvoj naprednih metodologija hidrauličkog modeliranja vodoopskrbnih sustava. Radom se prikazuju metode izrade hidrauličkog modela, implementacija vodnih gubitaka korištenjem naprednih analitičkih alata te prikazi konačnih rezultata u svrhu kvalitetnog sagledavanja postojećeg stanja vodoopskrbnog sustava Osijek. Prvi puta u Republici Hrvatskoj, a prema dosadašnjim saznanjima i u svijetu, rezultati hidrauličkog modela vodoopskrbnog sustava prikazuju se kao topološki GIS model u 3D okruženju koristeći Google Earth Pro platformu.

1.1. Regionalni vodoopskrbni sustav Osijek

Regionalni vodoopskrbni sustav (RVS) Osijek obuhvaća 38 naselja, odnosno 8 jedinica lokalne samouprave, a sastoji se od 832 km vodoopskrbne mreže, 3 crpilišta, 1 vodotornja, 1 vodospreme, 4 stanice za podizanje tlaka, 71 čvorišta nadzorno-upravljajčkog sustava (NUS-a) te 7 stanica za dokloriranje.



Slika 1. Obuhvat Regionalnog vodoopskrbnog sustava Osijek

U svrhu analize vodnih gubitaka, od srpnja 2018. do zaključno s prosincem iste godine, na RVS Osijek provedena je detaljna mjerna kampanja koja je obuhvatila podjelu vodoopskrbnog sustava na 47 DMA zona. Ukupno izračunati vodni gubitak iznosi oko 99,68 l/s, odnosno oko 3.143.508 m³/god.

2. TEORIJSKE OSNOVE

2.1. Hidrauličko modeliranje vodoopskrbnih sustava

Kada se govori o inženjerskom numeričkom, odnosno tzv. matematičkom modelu, mislimo na neku vrstu pomagala kojima se stanovita stvarna ili zamišljena pojava može oponašati. Ona omogućuje sagledavanje gotovo svih bitnih odlika pojave, tj. kao da izvodimo fizikalni pokus na prototipu. Takva pomagala tvore zaokruženu cjelinu u obliku programa za elektronička računala. (Jović, 1993)

Matematičkim modeliranjem vodoopskrbnih sustava omogućen je prikaz hidrauličkih uvjeta tečenja, odnosno prikaz realnih stanja protoka i tlakova unutar vodoopskrbne mreže. U današnje vrijeme zbog raspoloživosti i mogućnosti matematičkih modela, ali i njihove lake dostupnosti i jednostavne primjene, svaki bi se drukčiji oblik analize na kojoj bi se zasnivao kritički osvrt na postojeći rad sustava u cijelosti, ali i njegovih pojedinih dijelova, smatrao neprihvatljivim, posebno ako bi se na tome određivale mjere unapređenja sustava, a pogotovo pri analizi složenijih sustava (mnogobrojnih u prstene povezanih dionica te veći broj vodosprema, crpnih stanica, regulacijskih elemenata i sl.). Matematičko modeliranje postojećeg stanja uz provođenje kalibracije modela osnova je planiranja svih budućih aktivnosti, odnosno odabira ispravnih tehničkih rješenja ne samo za proširivanja sustava, već i provođenje odgovarajućih mjera unapređenja sustava (osiguranje kvalitetnije opskrbe vodom krajnjih korisnika kroz kontrolu protoka i tlakova te smanjivanje vodnih gubitaka) (Dundović, 2017).

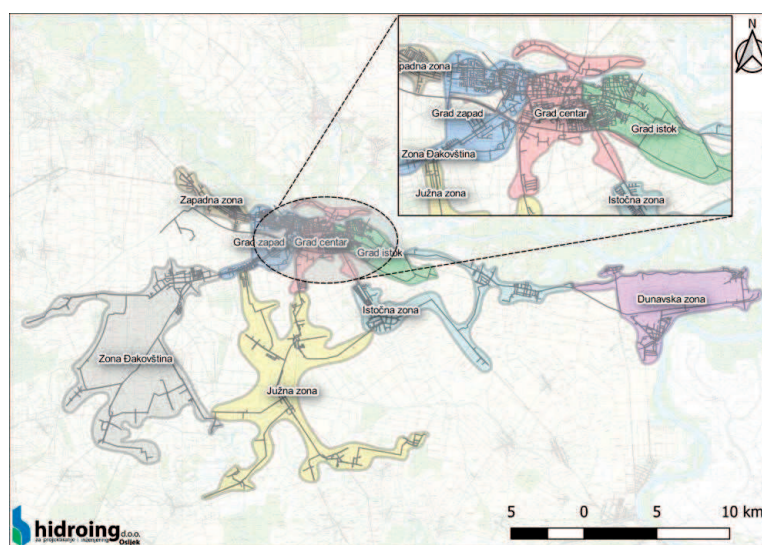
Korištenjem matematičkih modela znatno je olakšano i ubrzano provođenje hidrauličkih analiza vodoopskrbnih sustava uz smanjenu vjerojatnost greške. Modeli nude jednostavnu mogućnost ispitivanja velikog broja složenih scenarija radi dobivanja što kvalitetnijih rješenja. Složenost problema odnosi se na simuliranje i ispitivanje različitih realnih dinamičkih stanja (u neograničenom razdoblju) (Dundović, 2017):

- ispitivanje različite dinamike potrošnje vode kroz proizvoljni period (mjesečna, dnevna ili satna neravnomjernost potrošnje), a u istom čvoru je moguće definirati više različitih kategorija potrošača s različitim neravnomjernostima potrošnje,
- usporedba rezultata s različito određenom dinamikom rada tlačnih jedinica (crpki),
- modeliranje s konstantnim i promjenjivim brzinama crpki (frekvencijska promjena broja okretaja),
- proračun pogonskih troškova pri radu crpki (iz proračuna potrebne energije za rad crpki),
- modeliranje utjecaja različitih regulacijskih armatura – ventil za regulaciju tlakova (opružni i hidraulički), ventil za održavanje uzvodnog tlaka, ventil za regulaciju nizvodnog protoka i dr.,
- modeliranje složenih (višezonskih) sustava s većim brojem vodosprema, gdje je za svaku vodospremu moguće odabrati dinamiku punjenja i pražnjenja,
- modeliranje starosti vode (zadržavanja vode u vodoopskrbnoj mreži),
- provođenje analize vodnih gubitaka,
- modeliranje vodnih gubitaka u realnom vremenu.

Ovdje se posebno ističe računalni program Epanet koji je razvila američka agencija za zaštitu okoliša USEPA (eng. United States Environmental Protection Agency). Epanet model je besplatni alat koji se može slobodno preuzeti s interneta. Dodatno se ističu i komercijalni modeli poput WaterGEMS-a i WaterCAD-a kompanije Bentley te Mike-Urban koji je razvijen na DHI-u, međunarodnoj računalnoj i inženjerskoj tvrtki sa središtem u Danskoj. Svi modeli između ostalog nude i kvalitetnu grafičku prezentaciju dobivenih rezultata, što olakšava njihov pregled i kontrolu (Dundović, 2017). U okvirima svjetske prakse, primjenom različitih matematičkih modela napušta se koncept konvencionalnih metoda proračuna i dimenzioniranja vodoopskrbnih sustava koje u praksi izuzetno teško mogu opisati određena hidraulička stanja. Isto tako napušta se i koncept proračuna i dimenzioniranja na temelju trenutnih podataka ili kratkih epizoda, već se primjenjuju duža vremenska razdoblja kao ulazne veličine za modeliranje. Isto tako, primjena matematičkih modela pokazala se jednako važnom, neovisno o tome radi li se o granatim ili prstenastim vodoopskrbnim sustavima (Vouk i drugi, 2011).

Za svaki se matematički model izrađen za postojeće sustave, a čiji se osnovni projektni parametri i karakteristike sustava usvajaju na temelju raspoložive projektne dokumentacije i obilascima terena, a nemaju detaljnije podloge (snimak izvedenog stanja, geodetske podloge, poznavanje raspodjele potrošnje vode, neravnomjernost potrošnje i dr.) obvezno preporuča provesti njegovu kalibraciju. Kalibraciju modela postojećeg stanja preporuča se provesti i u odnosu na vremenski promjenjive karakteristike pojedinih elemenata sustava, između ostalog i ventila za regulaciju tlakova (Dundović, 2017). Kalibracija modela provodi se tako da se u njega interpoliraju vrijednosti tlakova i protoka dobiveni mjerenjima. U nizu iteracijskih koraka izmjene pojedinih ulaznih parametara, nastoji

se što bolje prilagoditi stvarnom stanju utvrđenom mjerenjima. Pritom se mijenjaju sljedeći parametri: ulazne veličine protoka u model, vlastita potrošnja vode u pojedinim čvorovima, hrapavost cijevi, veličina gubitaka vode po pojedinim zonama odnosno podzonama, koeficijenti lokalnih gubitaka tlaka duž cjevovodne mreže ili na pojedinim elementima sustava (npr. ventilima za regulaciju tlakova) (Dundović, 2017). Predmetni hidraulički model RVS-a Osijek, kalibriran je na osnovu mjerenih podataka protoka i tlakova te verificiran od strane investitora na osnovu dostupnih SCADA podataka.



Slika 2. Primjer glavnih zona RVS-a Osijek

2.2. Geografski informacijski sustavi (GIS) i KML

Geografski informacijski sustav (GIS) je sustav za upravljanje prostornim podacima i obilježjima pridruženih njima. Prema definiciji NCGIA (National Center for Geographic Information and Analyses, USA) to je sustav hardvera, softvera i procedura koje omogućuju upravljanje, obradu, analize, modeliranje, predstavljanje i prikaz georeferenciranih podataka sa svrhom rješavanja kompleksnih problema planiranja i gospodarenja prostorom (Biondić R, 2010). Nadalje, Geografski informacijski sustav (GIS) podrazumijeva upravljanje, manipuliranje i prikaz geografskih podataka. Može se koristiti za kartiranje i praćenje prirodnih resursa, seizmoloških, vulkanskih, meteoroloških i klimatoloških uvjeta diljem svijeta i neprocjenjivo je sredstvo za analizu regionalnih i globalnih sustava (Auerbach, 2018).

GIS je postao jedan od najvažnijih alata za razumijevanje i donošenje odluka s problemima vezanim za upravljanje vodama i sličnih resursa u svijetu. GIS koncept i tehnologija sakuplja i organizira podatke te pomaže objasniti prostorne odnose između njih. Osnovni pregled GIS-a uključuje proces unosa i konverzije podataka, upravljanje podacima i analize (Johnson, 2009). GIS se sastoji od tri segmenta: računalne znanosti, geografije i područje primjene tj. struka u kojoj želimo primijeniti GIS (Biondić R., 2010).

GIS baza podataka čini niz slojeva karata koje su georeferencirane i smještene u zajedničku

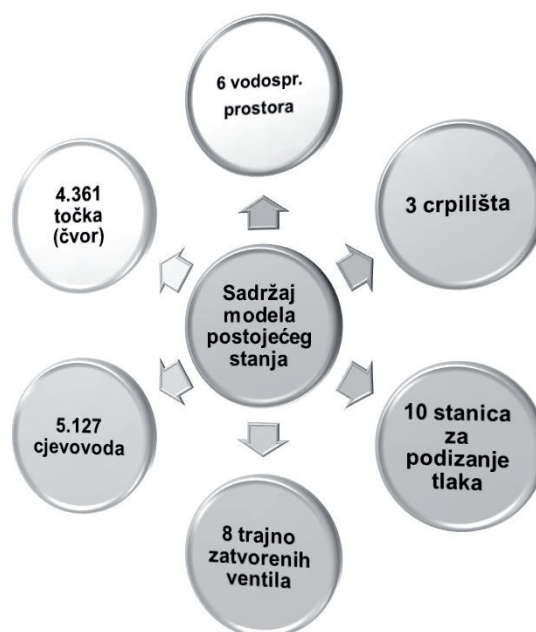
projekciju. GIS organizira podatke u tematske karte. Svaka od njih sadrži informacije o određenim pojavama (npr. pedološka, hidrogeološka podloga). Razdvojena, zasebna tematska karta naziva se slojem, podlogom. Nakon što su ove karte smještene unutar standardiziranog referentnog sustava, podaci prikazani na različitim podlogama mogu se međusobno preklapati (Johnson, 2009).

Za prikaz GIS-a koriste se različiti računalni programi i aplikacije, poput QGIS-a ili Google Earth-a. Google Earth je aplikacija za virtualno GIS mapiranje koja prikazuje detaljne karte lokacija na Zemlji. Aplikacija također uključuje karte neba, mjeseca i Marsa. Korisnici mogu istraživati bilo koju lokaciju, uključujući kontinente, zemlje i gradove. To se postiže rotiranjem karte i/ili zumiranjem na željeno mjesto. Google Earth razvila je softverska tvrtka Keyhole. Godine 2004. Google je kupio Keyhole i izdao Google Earth. Aplikacija je dostupna za preuzimanje na stolnim računalima i mobilnim telefonima. Dostupne su dvije verzije aplikacije - osnovna verzija (Google Earth) i profesionalna verzija (Google Earth Pro). Osnovna verzija namijenjena je za osobnu uporabu, dok je profesionalna verzija namijenjena poslovnoj upotrebi. (Mazzei, 2019). Za prikaz sadržaja na Google Earth platformi (oznake mjesta, slike, poligoni, 3D modeli, tekstualni opisi itd.) koriste se KML, odnosno KMZ datoteke koje su komprimirane .kml datoteke. KML (Keyhole Markup Language) je XML kôd koji služi za prikaz zemljopisnih oznaka i vizualizaciju unutar internetskih, dvodimenzionalnih karata i trodimenzionalnih preglednika. KML koristi strukturu temeljenu na oznakama s ugniježdenim elementima i atributima te se temelji na XML standardu. Sve oznake su osjetljive na velika i mala slova i moraju se prikazati točno onako kako su navedene u KML referenci (Web KML, 2019). KML je razvijen za upotrebu s programom Google Earth, koji je izvorno nazvan Keyhole Earth Viewer. Za svoj geografski referentni sustav, KML koristi 3D geografske koordinate: geografsku dužinu, geografsku širinu i nadmorsku visinu, tim redoslijedom, s negativnim vrijednostima za zapadnu i južnu zemljinu sferu, odnosno polutku te dubinu ispod razine mora (ako su podaci o nadmorskoj visini dostupni). Komponente geografske dužine i širine (decimalni stupnjevi) definirane su Svjetskim geodetskim sustavom iz 1984. (WGS84). Vertikalna komponenta (nadmorska visina) mjeri se u metrima od WGS84 EGM96 Geoid vertikalnog datuma. Ako je visina izostavljena iz niza koordinata, npr. (45.5614578, 18.6952938) tada se za komponentu visine podrazumijeva vrijednost 0 (razina mora), tj. 45.5614578, 18.6952938, 0).

3. HIDRAULIČKI MATEMATIČKI MODEL RVS-A OSIJEK

3.1. Izrada modela

Hidraulički matematički model Regionalnog vodoopskrbnog sustava Osijek, obuhvatio je oko 1.000 km vodoopskrbne mreže, a izrađen je na osnovi detaljnog geoinformacijskog sustava (GIS-a) koji je pak obuhvatio sve informacije o postojećoj vodoopskrbnoj mreži (crpilišta, cjevovodi, stanice za podizanje tlaka, vodospremnički prostori, ventili za redukciju tlaka, itd.) te povezanih vodoopskrbnih sustava. Korištenjem mjerenih podataka i detaljnog GIS-a vodoopskrbnih cjevovoda, vodovodnih priključaka i objekata na mreži, izrađen je hidraulički matematički model. Hidrauličko opterećenje matematičkog modela određeno je na osnovi mjerne kampanje.



Slika 3. Struktura hidrauličkog modela RVS-a Osijek

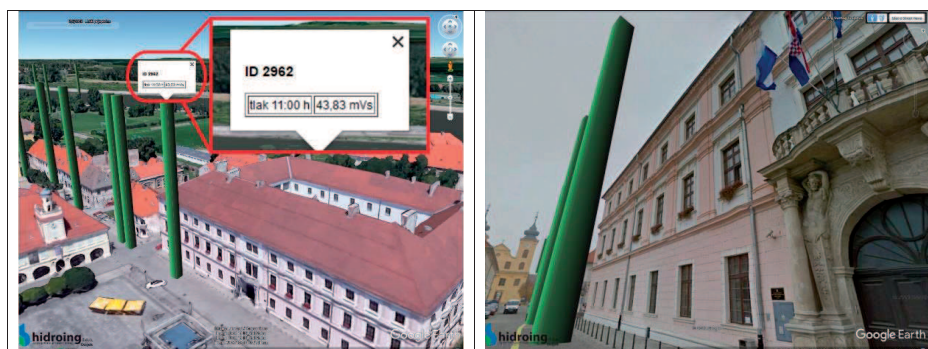
3.2. Rezultati modela i prikaz u dinamičkom GIS okruženju

Rezultati tlakova kalibriranog modela Regionalnog vodoopskrbnog sustava Osijek, prikazani su na jedinstven način i to kao dinamički topološki model u trodimenzionalnom okruženju platforme Google Earth Pro. Hidrauličkim modelom postojećeg stanja simulirano je tečenje vode kroz 24 sata, stoga svaka točka hidrauličkog modela sadrži informaciju o kalibriranoj vrijednosti tlaka kroz promatrano vrijeme. Korištenjem navedenih podataka o tlaku i podataka o prostornoj raspodjeli točaka hidrauličkog modela, upotrebom vlastitog računalnog programa, izrađena je *.kml datoteka pogodna za korištenje u okruženju Google Earth platforme.

Kako bi se izradio spomenuti GIS prikaz tlakova, od korisnika se zahtjeva jedino priprema tablice koja sadrži sljedeće informacije o točkama hidrauličkog modela: zemljopisna dužina (longitude), zemljopisna širina (latitude) te vrijednosti tlakova promatrane točke od 0 – 23 h u mjernoj jedinici metara vodnog stupca (mVs). Vrijednosti zemljopisne dužine i širine trebaju biti zapisane u WGS84 (EPSG 4326) geokoordinatnom sustavu. Pokretanjem računalnog programa, prikazuje se prozor u kojemu se postavljaju višestruki kriteriji i određeni parametri pri izradi .kml datoteke. Na primjer, korisnik može dodati jedinstveni opis vlastitog prikaza tlakova, promijeniti debljinu (radijus) stupaca, odrediti granične vrijednosti prikaza boja stupaca (npr. svi stupci kojima je tlak između 25 i 50 mVs bit će obojani u zelenu boju itd.), a naposljetku je moguće odabrati hoće li grafički prikaz tlakova biti statičan ili dinamičan. Statičan prikaz odnosi se na prikaz tlakova u satu koji korisnik predodredi, dok dinamičan prikaz, uz pomoć vremenskog klizača, daje prikaz promjene tlakova iz sata u sat kroz 24 sata.

Slika 4. Prozor za postavljanje kriterija i određenih parametara pri izradi *.kml datoteke

Nakon odabranih opcija i podešavanja parametara, korisnik pokreće računalni program koji na osnovi spomenute tablice (baze podataka) kreira .kml datoteku pogodnu za korištenje u Google Earth Pro platformi, odnosno kreira 3D poligone (stupce) s informacijama o tlakovima i s visinom stupca koja predstavlja tlak u promatranome trenutku. Tako dobivenu .kml datoteku, potrebno je uvesti u Google Earth Pro platformu. Na slikama u nastavku, prikazan je primjer vizualizacije tlakova kalibriranog hidrauličkog matematičkog modela koristeći 3D poligone (stupce) dobivene kreiranjem *.kml datoteke.



Slika 5. Izvadak iz Google Earth Pro: grafički prikaz tlaka na lokaciji u 11.00 h i Slika 6. Izvadak iz Google Earth Pro: grafički prikaz tlaka na lokaciji u „Street View-u“

U tablici u nastavku, prikazane su informacije koje sadrži svaki grafički prikaz tlakova (3D poligon) u Google Earth Pro.

Tablica 1. Sadržaj informacija 3D poligona

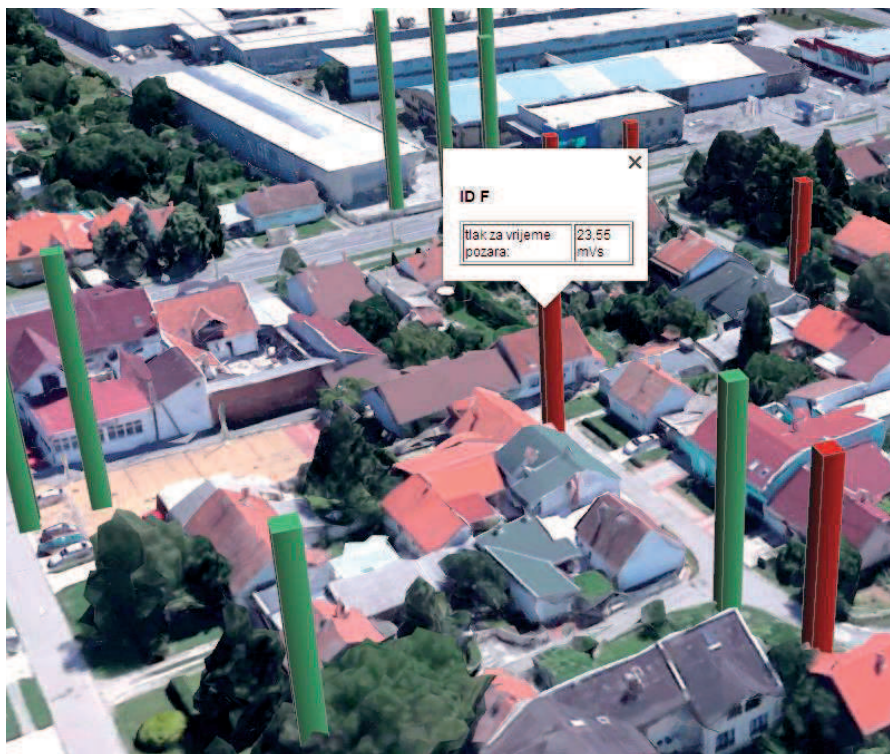
Informacija	Tip podatka
Geografska dužina (WGS84, EPSG 4326)	decimalni broj
Geografska širina (WGS84, EPSG 4326)	decimalni broj
Nadmorska visina	decimalni broj
ID (jedinствена oznaka 3D stupca)	prirodni broj
Tlak u mjernoj jedinici mVs za svaki promatrani sat (0 – 23 sata)	decimalni broj; 24 vrijednosti za svaku točku

3.3. Primjena prezentirane metodologije

Metodologija prikazana ovim radom može primijeniti na razne načine. Gledajući sa stajališta vodoopskrbnog sustava, korištenjem dinamičkog prikaza u GIS okruženju, može se krajnjem korisniku osigurati izuzetno korisno pregledavanje stanja mreže i to:

- stanje tlakova u pojedinom dijelu sustava,
- potrebitost ispiranja mreže u ovisnosti o starosti vode (dinamičko praćenje u realnom vremenu),
- stanje tlakova i dostupnost vode uslijed zatvaranja dijelova mreže,
- svi rezultati mogu biti prikazani u više perspektiva: tlocrtno, izometrijski i/ili iz pogleda „sa ulice“ (Eng. *Street view*),
- zadovoljenje protupožarnih uvjeta (Slika 7 u nastavku).

S obzirom da prezentirana metodologija nema prostornih niti podatkovnih ograničenja, može se koristiti u razne svrhe, ne samo po pitanju vodoopskrbnih sustava. Kao dio komunalne hidrotehnike, ovakav prikaz rezultata može se koristiti i za kanalizacijske sustave te sustave oborinske odvodnje.



Slika 7. Zadovoljenje protupožarnih uvjeta u dijelu vodoopskrbne mreže

ZAKLJUČAK

Ovim radom nastojale su se prikazati metode izrade hidrauličkog modela koji treba biti uspostavljen na takvim osnovama da se dobiveni rezultati mogu koristiti u dinamičkom GIS okruženju. Pretpostavka za realizaciju ovakvog modela i primjenu njegovih rezultata je kvalitetna hidraulička osnova, provedena kalibracija i verifikacija modela te uspostava metodologije digitalnog ispisa rezultata. Dobiveni rezultati se u tom slučaju mogu upotrijebiti za izradu standardiziranih *.kml datoteka primjenjivih u raznim prostornim računalnim alatima.

Na osnovi ovako dobivene *.kml datoteke, tlak svake točke hidrauličkog modela prikazan je 3D poligonom (stupcem), gdje visina istog predstavlja visinu vodnog stupca (tlaka) u odnosu na teren, a različitim bojama stupaca, vizualno je moguće raspoznati podešene vrijednosti tlakova. Na ovaj način, krajnjem korisniku omogućena je virtualna „šetnja“ ulicama grada Osijeka s uvidom u realne visine vodnog stupca u odnosu na okolne zgrade kroz željeni vremenski period. Ovim procesom također se omogućuje prikaz i ostalih rezultata modela.

Autori su istraživanjem dostupnih radova i objava, ustvrdili da se u svijetu još nitko nije bavio temom dinamičkog prikaza rezultata hidrauličkog modela vodoopskrbnog sustava u GIS okruženju na Google Earth platformi s čime je onemogućena usporedba rezultata i metodologije. Valja napomenuti da određene proizvođači računalnih programa nude

opcije prikaza GIS atributa na javno dostupnim kartama (Google Maps, Bing, OSM, itd.), ali autori nisu pronašli dostupne alate koji su besplatni te koji u potpunosti odrađuju cjeloviti dinamički prikaz prezentiran ovim radom.

LITERATURA

- [1] Biondić, R. Uvod u GIS (Geografski informacijski sustav). Skripta iz kolegija Geografski informacijski sustav. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 114 str, 2010.
- [2] Dundović Igor, Model optimizacije tlakova u svrhu smanjenja vodnih gubitaka u vodoopskrbnom sustavu, Završni rad na Sveučilišnom specijalističkom poslijediplomskom studiju, Građevinski fakultet Osijek, 2017.
- [3] Geographic information systems (GIS). Autor: Auerbach, Michael P., Salem Press Encyclopedia of Science, 2018
- [4] Google Earth. Autor: Mazzei, Michael, Salem Press Encyclopedia, 2019
- [5] Web stranica za razvojne upute KML datoteka, Web KML, https://developers.google.com/kml/documentation/kml_tut (preuzeto: 1. travnja 2019. u 14.00 h)
- [6] Johnson L. EGIS in water resources engineering, Taylor & Francis Group, LLC, USA, 286 p., 2009.
- [7] Jović, V. Uvod u inženjersko numeričko modeliranje. Split: Aquarius engineering, Sveučilišna knjižnica Split, 1993.
- [8] Vouk, D., Malus, D., Halkijević, I., i Vuković, Ž. Modeliranje vodoopskrbnog sustava Grada Koprivnice. 5. hrvatska konferencija o vodama: Hrvatske vode pred izazovom klimatskih promjena (str. 1021.-1030.). Opatija: Hrvatske vode: Zbornik radova, 18.-21. svibnja 2011.

AUTORI

Igor Dundović, univ. spec. ing. aedif. ^a

Matej Fremec, mag. ing. aedif. ^a

Jasna Zima, dipl. ing. građ. ^b

Zdenko Tadić, dipl. ing. građ. ^a

Ante Kristić, dipl. ing. građ. ^b

Branimir Barač, mag. ing. aedif. ^a

^a Hidroing d.o.o. Osijek, Tadije Smičiklase 1, Osijek, 31000, Hrvatska, hidroing@hidroing-os.hr

^b Vodovod-Osijek d.o.o., Poljski put 1, Osijek, 31000, Hrvatska, vodovod@vodovod.com



R 3.08.

KLIMATSKE PROMJENE, EKSTREMNA STANJA NA KRŠKIM IZVORIMA I NJIHOV UTJECAJ NA ODRŽIVOST VODOOPSKRBE

Jure Margeta

SAŽETAK: Krške izvore vode u Jadranskom slivu karakteriziraju velika varijabilnost protoke i mutnoće vode. Klimatske promjene će mijenjati veličine i učestalost klimatskih varijabli što će imati značajan utjecaj na vodoopskrbne sustave. U radu se obrađuje pojava velikih i malih voda i utjecaj na vodoopskrbu na primjeru izvora Jadro. Pojednostavljeno se analizira mogući trend promjena uzrokovan klimatskim promjenama, te se analiziraju posljedice i mjere za jačanje otpornosti vodoopskrbe. Utvrđeno je da će mutnoća biti veća i češća i time sve veći problem u zadovoljavanju standarda vode za piće. Kondicioniranje vode će biti zahtjevnije, skuplje i nesigurnije. Smanjenje ljetnog protoka i time vodoopskrbnog kapaciteta neće biti vrlo veliko kako se očekivalo. Međutim, stanje bi se moglo pogoršati zbog rastućih potreba. Rješavanje problema nije tehnički složeno ako se za to ostvare dobri uvjeti za upravljanje procesima u sustavu. Problem se mora etapno rješavati u suradnji sa svim dionicima.

KLJUČNE RIJEČI: klimatske promjene, krški izvori, ekstremne protoke, vodoopskrba, mutnoća

CLIMATE CHANGE, EXTREME CONDITIONS IN KARST SPRINGS AND THEIR IMPACT ON THE SUSTAINABILITY OF WATER SUPPLY

ABSTRACT: Karst springs in the Adriatic basin are characterized by great variability of water discharge and turbidity. The climate change will increase the magnitude and frequency of climate variables, which will have a significant impact on water supply systems. The paper addresses the occurrence of high and low water levels and their impact on water supply on the example of the Jadro spring. A potential trend of changes caused by the climate change is analysed in a simplified manner as well as their consequences and measures to strengthen the resilience of water supply. It was established that turbidity would increase and become more frequent, thus becoming a growing problem in view of meeting the drinking water standard. Water conditioning will be more challenging, expensive and uncertain. A reduction in summer discharges and thus in the capacity of water supply will not be as significant as expected. However, the situation could be aggravated by the growing demand. Solving these issues is not technically complex if good

conditions for managing the processes in the system are fulfilled. The problem must be resolved in phases and in cooperation with all stakeholders.

KEYWORDS: climate change, karst spring, extreme discharges, water supply, turbidity

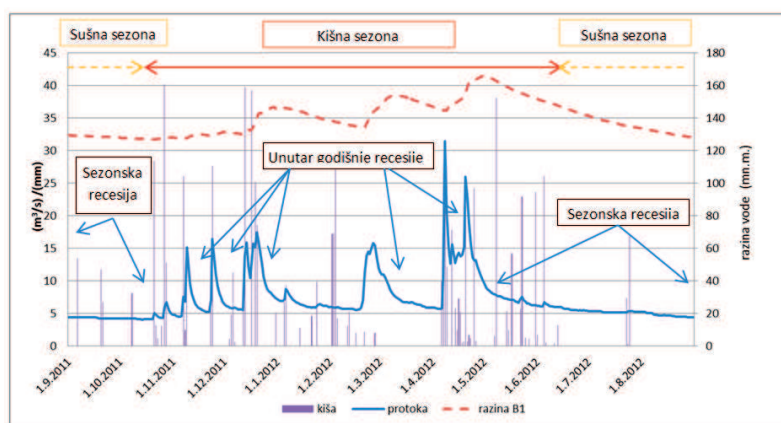
1. UVOD

Krški izvori su specifične vodne pojave koje karakteriziraju vrlo propusni vapnenački vodonosnici koji brzo reagiraju na oborine. Zbog toga su na izvorima promjene protoke nagle i velike. Takve promjene protoke imaju za posljedicu nagle i velike promjene mutnoće vode kao i drugih parametara kakvoće vode. Zahvaćanje vode za potrebe vodoopskrbe je stoga zahtjevno i nesigurno. Klima je glavni čimbenik promjena. Klima se u prošlosti mijenjala djelovanjem prirodnih čimbenika (solarnog zračenja i erupcije velikih vulkana), a u industrijskom i postindustrijskom periodu je sve više pod utjecajem čovjeka (staklenički plinovi, urbanizacija, sječa šuma, itd.). Inženjeri su stoga uvijek morali prilagođavati zahvate vode i vodoopskrbni sustav novim stanjima na izvoru, a sve kako bi se ostvarila održiva vodoopskrba. U tome su bili dosta uspješni, a najbolji primjer je izvor Jadro koji se od 1. st. prije Kr. koristi za vodoopskrbu (Margeta i Marasović, 2018). Dugo vremena se uspješno održavao uravnotežen odnos između prirodne opskrbe i ljudskih potreba. Međutim, zadnjih pedesetak godina stanje se postupno pogoršava. Prognozirane promjene klime, ako se ostvare, mogu ugroziti održivost vodoopskrbe. Očekuje se smanjenje ukupnih godišnjih oborina i time izdašnosti izvora, te povećanje mutnoće i drugih parametara kakvoće vode. Mutnoća uzrokuje probleme u dezinfekciji vode, te se u periodima visokih mutnoća zabranjuje direktno korištenje vode iz vodoopskrbnih sustava ili se zahtjeva prokuhavanje vode prije korištenja (Split, Dubrovnik). Takva stanja su uglavnom u zimskom, kišnom periodu godine. U sušnom, ljetnom periodu, izvori su karakteristični s dugim razdobljima s malom protokom, što ugrožava opskrbni kapacitet vodovoda, pa se uvode redukcije opskrbe. Takve pojave ugrožavaju razvoj turizma i privrede, te pogoršavaju životni standard stanovništva. Stanje u budućnosti će se pogoršavati zbog vanjskih pritisaka prvenstveno promjene klime, te razvoja turizma koji sve više povećava vršnu ljetnu potrošnju vode. Očekuje se da će u narednim godinama problem postati vrlo značajan. Klimatski modeli za ovo područje prognoziraju za period do 2100 povećanje prosječne godišnje temperature za +4.0 °C, a ljetne za +4.70 °C, te smanjenje godišnje oborine (- 7 %) i to najviše ljeti (- 25 %), zatim u jesen (-13 %), u proljeće (-8 %), te povećanje zimskih oborina za oko 7% (IPPC, 2014). Mijenjati će se ekstremna vremenska stanja i pojave, koje će biti sve veće i češće. To će dovesti do promjene raspoloživog kapaciteta vodnih resursa i kakvoće vode. S druge strane, isto će uzrokovati porast potreba za vodom pa će vodoopskrbne sustave biti potrebno prilagoditi novim uvjetima rada. Što bi se moglo događati sa minimalnom protokom i pojavom mutnoće na krškim izvorima, i što se može poduzeti da se ojača njihova otpornost, ukratko se prezentira u radu na temelju preliminarnih rezultata za izvor Jadro.

2. PROTOKE I UTJECAJ NA VODOOPSKRBU

Krški vodonosnici su protočni otvoreni prirodni sustav koji stalno i brzo izmjenjuje vodu sa svojim okolišem i unutar sustava. Takvi sustavi, u pravilu nikada nisu u cjelini poznati

tako da ih je teško proučavati. Krški vodni resursi se već dugo proučavaju u Hrvatskoj i svijetu tako da je dosta nepoznanica riješeno (Bonacci, 2004, Hartmann, 2014, Milanović, 2004). Ponašanje vodonosnika se najčešće obrazlaže kroz tri tipa poroznosti: poroznost mikro pora, poroznost malih pukotina i fraktura, te poroznost velikih fraktura, cijevi/otvora (Hartmann, 2014). Gustoća, učestalost i brojnost pukotina mijenja se s dubinom, tako da je na dubini od 10-20 m najveća te se sa rastom dubine značajno smanjuje (Milanović, 2004). Zbog ovih značajki vodonosnik se brzo puni, oko 1 m/sat, a kod visokih vodostaja relativno brzo prazni, oko 0,25 m/s, dok kod malih vodostaja dosta sporije (Bonacci, Hartmann, 2014, Milanović, 2004). Dobro razvijeni sustav pukotina/otvora različitih dimenzija, od 1mm do otvora od nekoliko metara, omogućava brzi transport vode dok kapacitet akumuliranja nije velik (efektivna poroznost 0,5-3,5 %) (Milanović, 2004). Kroz pukotine malih dimenzija tečenje je s lamilarnim režimom, dok se kroz pukotine većih dimenzija odvija brzo tečenje s uglavnom turbulentnim režimom. Kako vodostaj vodonosnika opada brzina vode usporava te je kod malih vodostaja u sušnom periodu godine, tečenje lamilarno pretežito kroz male pukotine. Ovakvi procesi tečenja imaju direktni utjecaj na protoku i na pojavu mutnoće na izvoru. Oscilacije razine vode u vodonosniku tijekom godine su značajne, a vodonosnik relativno brzo reagira na oborine u slivu, sve ovisno o građi (Slika 1).



Slika 1. Izvor rijeke Jadro - tipični odnosi u periodu 1.9.2011. - 31.8.2012 (oborine preuzete s meteorološke stanice Dugopolje)

Hidrograf otjecanja je karakterističan u kišnim vrlo dinamičnim periodom u kojem protoka brzo raste i brzo opada kod svake značajnije kiše, te dugim sušnim periodom u kojem protoka stalno opada i zadržava se oko minimalnih vrijednosti. U kišnom periodu vodonosnik se postepeno puni do maksimalnih razina, a s početkom sušnog perioda se prazni, prvo intenzivno, a zatim sve sporije kako opada energetski potencijal. Sustav ima tri područja/razine pražnjenja, izrazito brzu, srednja i vrlo sporu. To je uobičajena karakteristika krških vodonosnika u Dinaridima. Ovakve značajke hidrograma otjecanja i ponašanja vodonosnika definiraju glavne značajke izvora vezane za korištenje vode. Ljetni sušni protok definira raspoloživi kapacitet za vodoopskrbu. Minimalni protok značajno se ne mijenja bez razlike koliko je kiše palo u kišnom periodu godine. Međutim, te

male promjene u kritičnom mjesecu mogu biti od velikog značaja za vodoopskrbu. To je važna značajka izvora koja definira njegovu održivost kao zahvata vode za piće. Može se reći da su vodoopskrbne rezerve relativno stabilne.

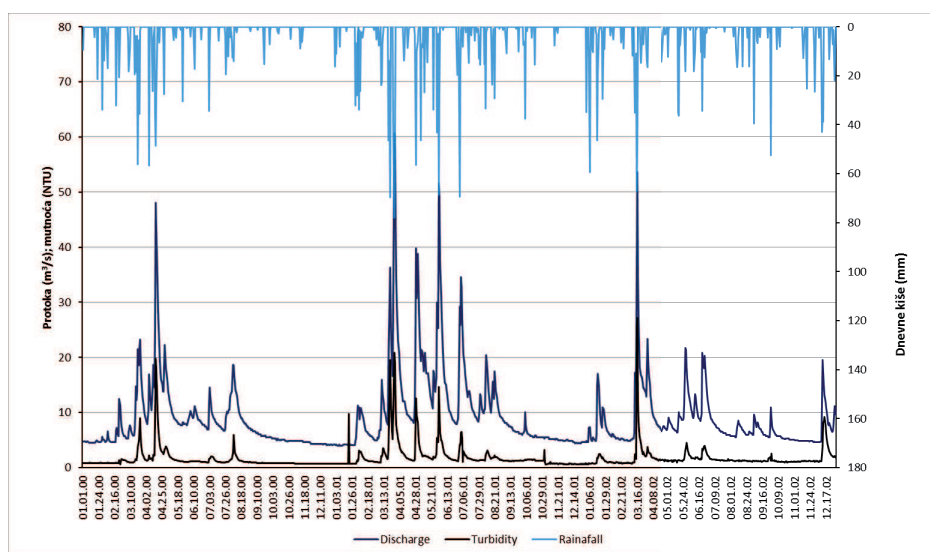
Da je to tako potvrđuju podaci iz dvije godine, izrazito sušne 2012, i izrazito kišne 2013. Ukupne oborine u 2012. su bile oko 796 mm to jest 34 % manje od prosjeka (1200 mm), prosječna godišnja protoka izvora Jadro oko 7,06 m³/s, te 28 % manje od višegodišnjeg prosjeka (9,95 m³/s), maksimalna 31,5 m³/s, a minimalna 4,1 m³/s. Ukupni godišnji volumen vode istekao na izvoru je bio 222.762.205 m³. Hidrološka godina 2013. je bila ekstremno vlažna. Ukupne oborine su bile oko 1.775 mm to jest 48 % više od prosjeka, a prosječna godišnja protoka izvora Jadro oko 12,2 m³/s (25 % više od prosjeka), maksimalna 43,5 m³/s, a minimalna 4,3 m³/s. Ukupni godišnji volumen vode je bio 384.056.640 m³. Uspoređujući 2012. i 2013. godinu dobiva se da su oborine bile veće za 223%, srednji protok Qsrednja za 73 %, Qmax 38 %, Qmin 5 %, a ukupni volumen vode istekao na izvoru za 73 %. To je značajna varijabilnost između dvije uzastopne godine koja zorno oslikava što bi se moglo dešavati u budućnosti kod klimatskih promjena. Unutar razmatranog vremenskog perioda 2011.-2015. izmjerena je manja minimalna protoka (3,64 m³/s) iako su godišnje oborine veće od minimalne godine, kao i veće protoke (52,47 m³/s) iako su godišnje oborine bile manje od maksimalne godine. To zorno govori o velikoj varijabilnosti protoka u krškim sustavima koja ovisi ne samo o veličini godišnjih oborina nego i o rasporedu tijekom godine te nizu drugih procesa. Upravo su raspored i količine oborina u kraćim vremenskim razdobljima najveća nepoznanica i rizik u rješavanju problema održivosti kapaciteta vodoopskrbnih sustava.

Dobiveni rezultati pokazuju da procesi u sustavu ljeti ne daju izlaz razmjerni promjeni ulaza iz kišne sezone, te da se bez razlike na izrazito veće oborine u slivu, ljetni minimalni protok ne mijenja značajno, oko 5-10 %. To je rezultat hidrogeoloških karakteristika vodonosnika nepravilno raspoređenih u cjelokupnom masivu kolektora. Vode se akumuliraju u sustavu pukotinske poroznosti, u pjeskovitom i glinovitom materijalu istaloženom u slabo aktivnim kanalima i kavernama, te brojni sifonskim dijelovima kanala. To znači da prognozirano povećanje oborina tijekom zime od 7 % i smanjenje u proljeće od 8 % ne mora imati značajnog utjecaja na ljetne protoke (srpanj-kolovoz). Veći utjecaj bi mogao imati raspored oborina u kišnom periodu, odnosno dinamika punjenja i pražnjenja vodonosnika. Stoga je potrebno detaljnije pratiti i analizirati razlike u pojedinim sezonama i karakteristike sezonskih recesija jer se minimumi pojavljuju na kraju sezonske recesije (rujan-listopad), u razdoblju kada su potrebe za vodom ipak značajno manje. Zimske velike vode bi povremeno mogle biti značajno veće od današnjih, te bi mogle ugrožavati obalno područje rijeke Jadro i ljude nizvodno od izvora. Koliko i gdje, tek treba istražiti jer treba uzeti u obzir i hidrološke promjene koje će se dešavati u slivu vodotoka nizvodno od izvora kao i utjecaj podizanja srednje razine mora.

3. MUTNOĆA I UTJECAJ NA VODOOPSKRBU

Problematika promjene kakvoće vode razmatra se samo za mutnoću i to na temelju dostupnih i relevantnih podataka koji postoje jedino za razdoblje 1999. - 2002., te 2017. i 2018. godinu. Jedino u ovom razdoblju mutnoća se mjerila kontinuirano, a u ostalim godinama pojedinačnim uzorkovanjem. Zbog velike varijabilnosti mutnoće unutar jednog dana, pa i sata, pojedinačni podaci nisu relevantni za proučavanje mutnoće. Mutnoća

je standardni kemijski pokazatelj vode za piće koji se kao indikator koristi od antičkih vremena do danas. Mutnoća je standardna značajka krških izvora pa time i izvora Jadro. Krški hidrološki sustav ima vrlo slabe filtracijske učinke posebno kod velikih voda, tako da je zadržavanje suspendiranih tvari malo, uglavnom kod malih voda. Zbog toga se mutnoća mijenja sa svakom kišom. U Hrvatskoj je dozvoljena veličina za vodu za piće 4 NTU (NN 47/2008), dok WHO preporučuje 1.5 NTU (WHO, 2011). U tijeku je proces izmjene Drinking Water Directive, u kojoj se predlažu veličine niže od preporuka WHO-a. Nastajanje mutnoće kao i sama kakvoća vode krških izvora je složen i nedovoljno istražen proces. Brojni čimbenici utječu na stvaranje mutnoće i drugih parametara kakvoće vode. Prirodne značajke i aktivnosti u slivnom području zajedno s klimatskim značajkama su osnovni generatori promjene kakvoće vode. Hidrološki i hidrogeološki parametri i procesi transformiraju kakvoću vode i pojavu tvari na izvoru. Tvari koje mijenjaju kakvoću vode na izvoru nastaju interakcijom čimbenika kao što su značajke tla i razina saturacija, infiltracija, razrjeđenje, disperzija, duljina transporta, filtracija i adsorpcija. Zbog toga je vrlo teško pouzdano prognozirati kakvoću vode i mutnoću. Klimatske promjene će mijenjati značajke sliva (biocenuzu i biotop), podložnost eroziji, hidrološke veličine i tako cijeli proces nastajanja kakvoće vode i time mutnoće. Tijekom vremena mijenjati će se društveno-ekonomske aktivnosti u slivu i time izvori onečišćenja. Moguća je češća pojava sušnih razdoblja i požara što će sve skupa stvarati uvjete za veću eroziju, tla te veći talog pepela i drugih tvari. Pojava kao i koncentracija tvari na izvoru će se stalno mijenjati pa se vodoopskrbni sustav mora stalno prilagođavati novim uvjetima rada.

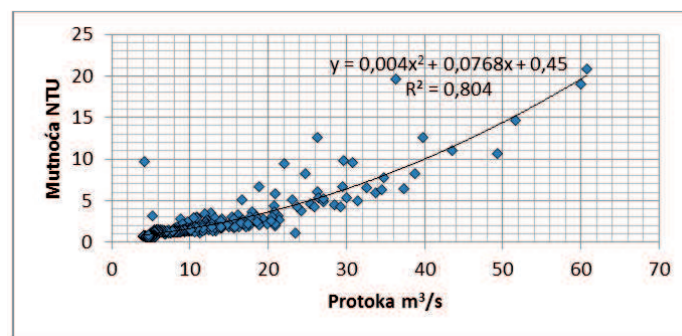


Slika 2. Vremenska serija veličina oborina (meteorološka stanica Dugopolje), protoke i mutnoća na izvoru rijeke Jadro, 01.09.1999. do 30.08.2002. godine

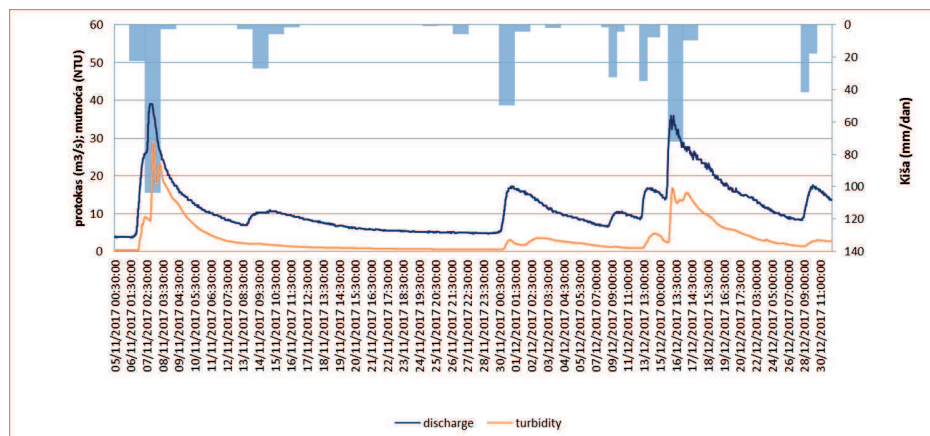
Kiše generiraju mutnoću koja se stalno javlja na izvoru, a najviše neposredno poslije kiše, Slika 2. Pravilo je da se najveće mutnoće javljaju poslije većih oborina, kada je vodonosnik popunjen i velika je protoka na izvoru kao rezultat brzog protjecanja i

pražnjenja vodonosnika, dominantno kroz velike pukotine. U takvim situacijama odvija se značajno ispiranje i erozija površine sliva, te brzo turbulentno otjecanje vode kroz podzemlje. Mutnoća se javlja naglo, slično kao i protoka za kojom kasni nekoliko sati (2-4), slika 2. Velika mutnoća se može javiti i u periodima velikih kiša i time protoka, a da pri tome vodonosnik nije značajnije popunjen.

Zato razlikujemo pojavu mutnoće kada je vodonosnik slabo popunjen i kada je dobro popunjen. U sušnom periodu na površini sliva se natalože značajne količine nečistoća, tlo je rahlo zbog velikih vrućina i suše. Prve kiše intenzivno ispiru i odnose u podzemlje veće količine čestica tla i drugih tvari, te tako formiraju veliku mutnoću. U kišnom razdoblju kada je vodonosnik popunjen i kada su protoke stalno velike, a time i mutnoća, kod svake nove veće kiše javlja se vrlo velika mutnoća jer se ove dvije mutnoće zbrajaju, mutnoća koja je rezultat prethodnih kiša (bazno otjecanje) i mutnoća koju generira neposredna kiša (brzo otjecanje). U slučaju Jadra ukupno oko 30 dana u godini mutnoća prelazi dozvoljenu razinu od 4 NTU, a ekstremne vrijednosti, > 15 NTU, se javljaju samo nekoliko puta godišnje (3-6) i to u kišnom razdoblju godine. Pojednostavljena analiza jasno ukazuje da je mutnoća (T) prije svega funkcija veličine protoke (Q); $T_1 = f(Q_1)$, Slika 3.



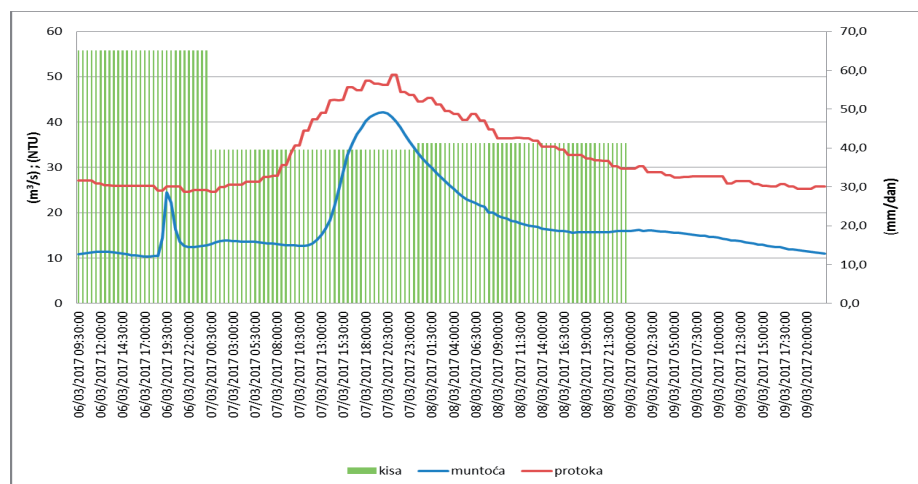
Slika 3. Ovisnost mutnoće i protoke na izvoru Jadro (1999. - 2002.).



Slika 4. Kiša (meteorološka stanica Dugopolje), protoka i mutnoća na izvoru Jadro u razdoblju od 05/11/2017. do 31/12/2017.

Odnos između kiše, protoke i mutnoće za razdoblje slabe ispunjenosti vodonosnika, najbolje se uočava na primjeru pojave prve značajnije mutnoće u jesen 2017. godine (slika 4).

Na raspolaganju su bili podaci mjerenja mutnoće i protoke u terminima svakih pola sata, te ukupne dnevne oborine (postaja Dugopolje). Prva značajnija jesenska kiša koja je padala 6. i 7.11.2017. godine (22,4 mm + 103,9 mm=126,3 mm) generirala je maksimalnu protoku od 39,02 m³/s, te mutnoću od 28,93 NTU. Protoka je sa 4,45 m³/s u 06.11.2017. u 10:00 sati porasla za period od 22 sata na 39,02 m³/s u 07.11.2017. u 08:00 sati, a koji je trajao sve do 07.11.2017. u 10:30. Mutnoća je počela rasti četiri sata kasnije u 06/11/2017. u 14:00 kada je bila 0,40 NTU te dosegla maksimum 07/11/2017. u 13:00 sa vrijednošću 28,93 NTU. Znači da je porast do maksimuma trajao skoro isto kao i kod protoke. Kiše koje su se javile kasnije u mjesecu 14.11.2017. (26,8 mm) te na kraju mjeseca 30.11.2017. (49,8 mm) nisu značajnije povećale mutnoću vode. Na ovom primjeru se jasno vidi da je prva veća kiša poslije sušnog razdoblja isprala površinski i podzemni dio sliva tako da svaka slijedeća kiša kao i protoka generira nešto manju mutnoću sve dok se vodonosnik značajnije ne popuni. U ovakvim uvjetima protoka i mutnoća su generirani kroz lako propusni dio vodonosnika, dijelom prioriternim tokom vode kroz velike pukotine te dijelom iz ostalog dijela vodonosnika koji ima sporiju protočnost prema izvoru. Zato mutnoća kao i protoka brzo opadaju na niže vrijednosti. To je pojava kad brzo otjecanje formira mutnoću, dok je doprinos baznog otjecanja vrlo mali. Tijekom zime kiše su češće i veće te se vodonosnik brzo puni pa su protoke kao i mutnoća sve veće. To se najbolje vidi na primjeru iz ožujka 2017. godine kada je mutnoća dosegla veličinu od 40,2 NTU (7.03.2017. u 19:30 sati), a koja je porasla izrazito brzo, 29 NTU jedinica u periodu od 9 sati (3,2 NTU/satu), Slika 5. To je duplo brže nego u studenom.



Slika 5. Kiša (meteorološka stanica Dugopolje), protok i mutnoća na izvoru Jadro od 6.3.2017. u 9:30 do 9.3.2017. u 21:30

Ovaj primjer zorno oslikava svu složenost problema upravljanja mutnoćom, te utjecaj bazne mutnoće na ukupnu mutnoću. U ovakvim situacijama veličina mutnoće kao i protoka je rezultat intenzivnog brzog protjecanja vode kroz veće pukotine (vodni val brzog otjecanja) nastalog neposrednom kišom 6. i 7.3.2017. te protoke i mutnoće nastale pretežito od prethodnih kiša (bazno sporo otjecanje). Nakon kišnog perioda recesiju protoke prati i recesija mutnoće s manjim oscilacijama u sušnom periodu ako se pojave značajnije kiše. Mutnoća u sušnom periodu rijetko prelazi veličinu od 1 NTU. Tijekom kišnog perioda protoka se stalno i brzo mijenja pa time i mutnoća vode, za razliku od sušnog perioda kada su promjene blage. Prema ljetu kiše su sve manje i rjeđe pa se vodonosnik postepeno prazni kroz male pukotine dijelom popunjene talogom, tako da protoka i mutnoća postepeno opadaju s manjim oscilacijama u slučaju pojave većih oborina.

Klimatske promjene mijenjaju okvir za rješavanje problema što će dodatno otežati kontrolu kakvoće vode. Povećanje intenziteta i učestalosti kiša u zimskom periodu godine će rezultirati pojavom češćih i viših mutnoća kao i drugih parametara kakvoće vode, dok će u ostalim periodima promjena mutnoće biti manja. Sve značajne pojave mutnoće dešavati će se uglavnom u kišnom periodu godine kada su potrebe za vodom najmanje. Kako je dinamika pojave oborina uzrokovana klimatskim promjenama nepoznata, teško je govoriti o veličinama promjene. Zato je potrebno pojavu mutnoće i drugih pokazatelja kakvoće vode stalno pratiti adekvatnim monitoringom i analizirati trendove.

4. POLITIKA UPRAVLJANJA

Vodoopskrba u turističkim područjima na Jadranskoj obali je složena, a s klimatskim promjenama će biti još više. Ljetna izdašnost izvora vode je mala u odnosu na rastuće potrebe tijekom ljeta. Trend povećanja potreba je značajan, a posebno u vršnim ljetnim mjesecima. S druge strane, klimatske promjene će rezultirati većim temperaturama i time većim potrebama za vodom u svim privrednim sektorima. Uz to, oborine će biti manje, a posebno ljeti (do 25 %) tako da će vodni resursi ljeti biti siromašniji vodom. Sukobi oko ograničenih resursa će biti sve izražajniji, pa tako i oko korištenja krških izvora vode. Bit će teško ostvariti dobar balans između potreba čovjeka i okoliša.

Kao što je prethodnom analizom utvrđeno, promjene u izdašnosti ljetnih kapaciteta krških izvora ne bi trebale biti jako velike. Međutim, te male promjene mogu značajno ugrožavati opskrbu u vršnim periodima potrošnje. Stoga potrebe treba smanjiti, a prije svega gubitke vode, racionalizirati ljetnu potrošnju, bolje preraspodijeliti vode u kritičnom periodu opskrbe i drugo. Nužno je predvidjeti dodatne zahvate vode ili rješenja, bar za incidentne situacije ili za prevladavanje kratke vršne ljetne potrošnje (korištenje akumulacija, desalinizacija, rudarenje vode iz kanalizacije, te korištenje drugih nekonvencionalnih izvora vode). U svakom slučaju zadatak je složen i mora se cjelovito rješavati.

Pojavnost mutnoće na izvorima je takovo da je nužno vodu pročišćavati. Postavlja se pitanje kapaciteta i tehnologije uređaja. Iz kratke prezentirane analize je vidljivo da su oscilacije i pojava mutnoće vrlo brze i da traju kratko. Slično se događa, ali u manjoj mjeri, i s drugim pokazateljima kakvoće vode. Za sad je kakvoća vode dobra u odnosu na većinu parametara. Ne zadovoljava povremeno u odnosu na mutnoću, te stalno u odnosu na bakteriološki standard. Zato se voda dezinficira. Međutim, mutnoća najviše ugrožava učinkovitost dezinfekcije tako da ju je nužno smanjiti. Zbog karcenogenih produkata

dezinfekcije klorom pojačana dezinfekcija za vrijeme mutnoće nije rješenje.

Velike i brze promjene mutnoće stvaraju vrlo nepovoljne uvjete za učinkovitu implementaciju uređaja. Klasični fizikalno-kemijski postupci su dosta nepraktični za takve uvjete rada. Održivo i učinkovito rješenje će trebati tražiti kroz primjenu različitih tehnologija, jednih za velike mutnoće kratkog trajanja (1-2 dana; taloženje, flokulacija, sita, niskotlačne membrane-mikrofiltracija), a drugih za periode s malim oscilacijama mutnoće (klasična filtracija s koagulacijom/flokulacijom i taloženjem prije filtracije, direktna filtracija bez taloženja, membrane (nanofiltracija i ultrafiltracija), itd). Trebat će analizirati razne opcije paralelnog i serijskog rada različitih tehnologija, te implementaciju učinkovitog sustava upravljanja. Tehnologije će trebati prilagoditi potrebnom kapacitetu uređaja, u periodu van sezone i u sezoni. S obzirom na različitu pojavnost mutnoće u ovim periodima otvara se mogućnost i za primjenu drugih rješenja kroz aktivno upravljanje zahvatom vode, volumenima vodosprema, te sličnih mjera bez pročišćavanja vode. Brojne su opcije pa zato problem treba sustavno i cjelovito analizirati. Kod toga ne treba zaboraviti na činjenicu da su prognoze klimatskih promjena dosta općenite i za sada ne daju dovoljno precizne informacije za rješavanje problema mutnoće. Zato rješenja moraju biti fleksibilna i otporna na brze promjene. U svakom slučaju, problem treba rješavati etapno shodno dinamici promjene klime.

Uz primjenu pasivnih mjera-gradnje uređaja, potrebno je implementirati i sve druge aktivne mjere na smanjenju nastajanja raznih tvari, a posebno nutrijenata u slivu. Kombinacijom mjera u slivu, na zahvatu, pročišćavanju, upravljanju sustavom, moguće je ostvariti održivo rješenje koje će osigurati dobar standard vode za piće u hidrološkim uvjetima koje će stvarati klimatske promjene. U ovakvim situacijama nužna je primjena mjera za aktivno upravljanje sustavom uz primjenu integralnog (pametnog) sustava upravljanja koji sadržava ekspertne sustave (ES), informacijski sustav (IS) i sustav za podršku u odlučivanju (SPU).

LITERATURA

- [1] Bonacci, O. (2004). *Posebnosti krških vodonosnika*. Građevinski Godišnjak '03/'04. Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb: 89-197.
- [2] Hartmann, A., N. Goldscheider, T. Wagener, J. Lange, and M. Weiler (2014), Karst water resources in a changing world: Review of hydrological modeling approaches, *Rev. Geophys.*, 52, 218–242, doi:10.1002/2013RG000443.A.
- [3] IPCC (2014), Working Group II, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability* (Sunders, Philadelphia, 2014): www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/. pristupljeno 15.12.2016.
- [4] Margeta, J., Marasović K. (2018), Vodoopskrbni zahvati na izvoru Jadro od antike do danas, *Građevinar* 11/2018.
- [5] Milanović, P. (2004), *Water resources engineering in karst*, CRC Press, London
- [6] NN 47/2008 (25.4.2008.), *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće*
- [7] World Health Organization (2011), *Guidelines (WHO) for Drinking-water Quality*, Drinking water quality standard in fourth edition, Copenhagen.

AUTOR

prof.dr.sc. Jure Margeta ^a

^a Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilišta u Splitu, Matice Hrvatske
15, Split, 21000, Hrvatska, margeta@gradst.hr



R 3.09.

NUMERIČKA ANALIZA KVALITETE TOPLE VODE U CILJU KONTROLE RIZIKA RAZVOJA LEGIONELE

Lado Kranjčević, Hana Salamun, Siniša Družeta, Luka Grbčić

SAŽETAK: Bakterija legionela (*Legionella pneumophila*) prisutna u vodoopskrbnim sustavima predstavlja opasnost za čovjekovo zdravlje izazivajući legionarsku bolest. Cilj ovog rada je računalnom simulacijom analizirati parametar starosti vode te gradijenta starosti vode u jednom bolničkom sustavu tople vode, u cilju kontrole rizika razvoja legionele. Pretpostavlja se da je u dijelovima cjevovoda gdje voda duže stoji povećana koncentracija bakterija legionela. Analiziran je sustav koji čine dovodno-odvodni cjevovodi sustava tople vode i crpka sa spremnikom. Na temelju podataka o izgledu sustava i njegovih hidrauličkih karakteristika napravljen je numerički model u računalnom programu EPANET kao i simulacije strujanja za analizu kvalitete vode u raznim režimima rada sustava. Osim standardnih podataka o protoku i tlaku u svim točkama sustava, računalnom simulacijom dobiven je i detaljan prikaz dinamike starenja vode u sustavu, odnosno lociranje kritičnih zona u cijelom cjevovodnom sustavu. U lociranim kritičnim područjima određuje se starost vode i pripadna debljina biofilma, a na osnovu tih parametara procjenjuje se koncentracija mikroorganizama. Posebno su osjetljivi periferni dijelovi sustava van recirkulacijskog režima, a također simulacija omogućuje upravljanje recirkulacijskom pumpom cijelog sustava kako bi on radio u optimalnom režimu imajući u vidu dopuštenu koncentraciju mikroorganizama te energetska potrošnju s druge strane.

KLJUČNE RIJEČI: Legionela, vodoopskrbni sustav, kvaliteta vode, cjevovodna mreža

NUMERICAL ANALYSIS OF HOT WATER QUALITY AS A TOOL FOR LEGIONELLA DEVELOPMENT RISK CONTROL

ABSTRACT: The presence of Legionella bacteria (*Legionella pneumophila*) in a water supply system poses a danger to human health by causing legionnaires' disease (a severe form of pneumonia). The aim of this paper is to use a computer simulation for analysing the water age parameter and water age gradients in a hospital hot water system in order to control the risk of legionella development. It is assumed that an increased legionella bacteria concentration is present in the pipeline segments in which water remains for a longer time period. A system comprised of supply and drainage pipelines of the hot water supply system and a pump with a reservoir was analysed. Based on the system layout data and its hydraulic characteristics, a numerical model was created using the EPANET open

source software as well as flow simulations for water quality analysis in different operating regimes of the system. In addition to standard flow and pressure data at all points of the system, a computer simulation provided a detailed view of the dynamics of water aging in the system, i.e. the locations of critical zones throughout the pipeline system. In the located critical areas, the age of water and corresponding biofilm thickness was determined and, based on these parameters, the concentration of pathogenic microorganisms was estimated. The peripheral parts of the system outside the recirculation regime are particularly sensitive. The numerical simulation allows the management of the recirculation pump for the entire system, so that it can operate in an optimum regime, while also keeping in mind the permissible concentration of microorganisms and energy consumption.

KEYWORDS: Legionella, water supply system, water quality, pipe network

1. UVOD

Sustav za opskrbu pitkom vodom (toplom i hladnom) neizostavan je dio tehničkog rješenja stambenih građevina, kao i pripadajući sustavi za grijanje, hlađenje i ventilaciju prostora unutar građevina. Topla voda je izložena većim fizikalno-kemijskim promjenama od hladne vode te nepropisno postavljanje sustava potrošne tople vode može dovesti do opasnosti po ljudsko zdravlje zbog pojave mikroorganizama u vodi (potencijalno smrtonosnih za čovjeka) kao i ostalih nepoželjnih fizikalnih i kemijskih promjena (Declerck i drugi, 2009, Caicedo i drugi, 2019). Premda pitka voda nije u potpunosti bez mikroorganizama, njihova koncentracija kao i koncentracija bakterija obično je bezopasna. Posebnu opasnost predstavljaju veliki sustavi za pripremu potrošne tople vode u bolnicama i ustanovama za smještaj starijih i nemoćnih osoba (De Filippis i drugi, 2018, Gavaldà i drugi, 2019, Vincenti i drugi, 2019), budući da se u takvim ustanovama vrlo često koriste akumulacijski sustavi pripreme tople vode koji pri određenim uvjetima predstavljaju žarište razvoja patogenih mikroorganizama, a u takvim ustanovama te sustave često koriste osobe oslabljenog imuniteta. U ovom će se radu provesti analiza starosti vode u segmentima cjevovoda jednog dijela bolničkog sustava zbog pretpostavke da u dijelovima cjevovoda gdje voda duže stoji raste debljina biofilma uz stijenku cijevi. Na mjestima debljeg biofilma prisutna je sve veća koncentracija bakterija, a posebno je patogena bakterije legionele, što dovodi do pada biološke kvalitete vode i predstavlja veliku opasnost za pojedine korisnike.

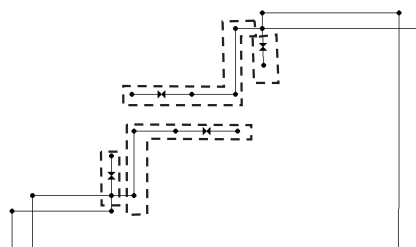
Legionella pneumophila je gram-negativna bakterija široko rasprostranjena u prirodi, osobito u vodenim sredinama i u vlažnoj zemlji. Poznati je uzročnik atipične pneumonije (legionarske bolesti), koja se javlja kao posljedica infekcije legionelama iz okoliša te može zaraziti ljude, posebno osobe oslabljenog imuniteta. Pneumonije uzrokovane legionelama mogu biti teške i povezane s multiorganskim oštećenjima te visokim mortalitetom. Legionele su ubikvitarni mikroorganizmi, rasprostranjeni posvuda, a osobito se lako održavaju u vodi i vlažnom tlu. Malen je broj legionela u prirodnim vodenim sustavima (potoci, rijeke, jezera i termalni izvori), ali u velikom broju koloniziraju različite vodoopskrbne sustave koje je čovjek izgradio da mu služe (vodovodi, rezervoari, rashladni tornjevi, uređaji za zagrijavanje, hlađenje i isparivanje vode i ovlaživanje zraka). Kako legionele nisu osjetljive na uobičajene koncentracije klora u vodovodnoj vodi, nalaze se i u sustavima za opskrbu stanovništva pitkom vodom.

Uz prisutnost organskog i anorganskog onečišćenja, rastu i razmnožavanju legionela pogoduje stagnacija vode u slijepim završecima vodoopskrbnih sustava, rezervoarima, bojlerima, bazenima i aparatima za kondicioniranje zraka. Kada se voda koju nastanjuje velika količina legionele pretvori u maglu i podložna je isparivanju, legionela (sada kao čestice u zraku – vodeni aerosol) se može prenijeti na drugog osjetljivog domaćina kao što su ljudska pluća. Bakterija dolazi u zrak preko mlaza vode iz glave tuša, slavine, vrtloga u kadi, respiratorne terapijske opreme, dekorativnih fontana i drugih izvora. Kada je bakterija udahnuta, uvući će se u najdublji dio pluća gdje će naći pogodno mjesto za razmnožavanje. Na tom će se mjestu početi stvarati infekcija koja će dovesti do pneumonije, odnosno legionarske bolesti. Legionela živi na temperaturi između 20,5 °C i 50 °C, a optimalna temperatura za razmnožavanje je između 35 °C i 46 °C. Na temperaturi vode višoj od 55 °C bakterija ne može preživjeti duže od 5 ili 6 sati, dok do trenutnog uništavanja bakterije dolazi na temperaturi vode iznad 70 °C (Grupa autora, 2003).

2. ANALIZIRANI SUSTAV

Za potrebe ovog rada, numeričkom simulacijom analizirane su hidrauličke karakteristike sustava cirkulacije tople vode te kvaliteta vode u cirkulaciji glede starosti vode u segmentima cjevovoda. Analiziran je sustav opskrbe toplom vodom jednog dijela bolničkog sustava, koji uključuje cjevovodnu mrežu dovodno-odvodnog sustava tople vode te crpku sa spremnikom. Karakteristika ovakvih sustava za opskrbu toplom vodom su dvostruke cijevi (jedna dovodna i jedna odvodna cijev) do svake slavine, koje omogućavaju recirkulaciju vode kroz cijeli sustav periodičnim uključivanjem crpke na spremniku. Takvim rješenjem se smanjuje rizik od razvoja opasnih mikroorganizama u granama koje su duže vremena neaktivne, tj. kod slavina koje se rijetko otvaraju. Sustav se projektira na način da dijelovi sustava koji su van recirkulacijskog režima budu minimalni, a na Slici 1. uokvireni su isprekidanim linijama.

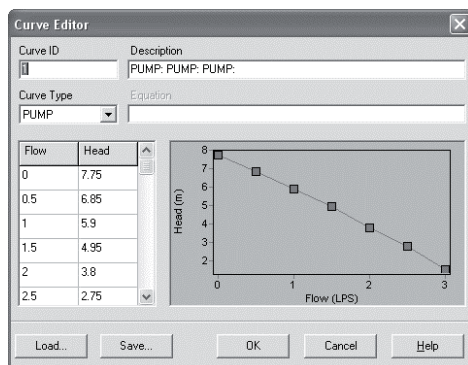
Iz dobivene projektne dokumentacije definirane su hidrauličke karakteristike sustava: duljine cijevi i pripadajuće dužinske gubitke, koljena s pripadajućim lokalnim gubicima, slavine s procijenjenim hidrauličkim gubicima, razvodni dovodni i razvodni odvodni sklop te karakteristika crpke GRUNDFOS 32-80B. Crpka radi sa protokom $Q = 5 \text{ m}^3/\text{h}$ i dobavnim tlakom $\Delta p = 40 \text{ kPa}$, snage je $P_{el} = 340 \text{ W}$, a njena radna karakteristika preuzeta je iz dokumentacije proizvođača (Grupa autora, 2015). Hidraulički gubitak na slavini definiran je pomoću ventila (leptirasta oznaka na Slici 1.) kojim se regulira otvorenost, a time i gubitak.



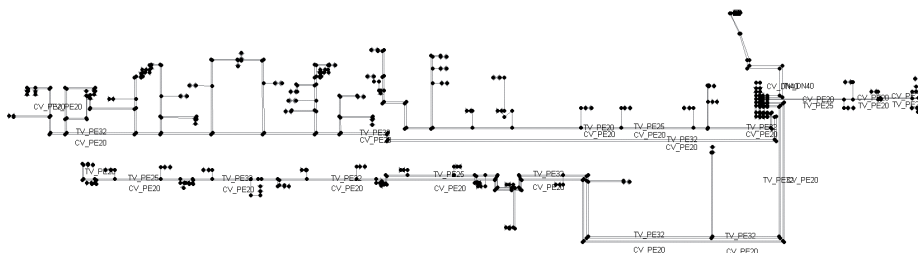
Slika 1. Primjer perifernog dijela sustava bez recirkulacije (označeno iscrtkanim linijama)

3. RAČUNALNI MODEL

Numerički model u kojem je napravljena simulacija strujanja postavljen je u računalnom programu EPANET s uključenim dodatnim modulima potrebnim za analizu kvalitete vode. Na Slici 2. prikazana je karakteristika crpke unesena u program, a na Slici 3. dana je shema modeliranog sustava (bez crpke, spremnika glavnog dovodno/odvodnog voda).



Slika 2. Karakteristika crpke GRUNDFOS UPS 32-80B unesena u numerički model



Slika 3. Prikaz modela hidrauličkog sustava na testnom odjelu klinike

Na osnovu postavljene geometrije i hrapavosti modelirani su energetski gubici strujanja koristeći Hazen-Williams jednadžbu gubitaka. Simulacija se matematički zasniva na zakonu očuvanja mase te činjenici da je algebarski zbroj pada tlaka po zatvorenoj petlji jednak nuli te on rezultira sustavom nelinearnih jednadžbi koje je potrebno riješiti u svakom vremenskom trenutku kako bi se dobila nestacionarna simulacija. Na osnovu Hardy-Cross postupka rješavanja takvih specifičnih nelinearnih sustava jednadžbi provodi se linearizacija sustava te se dobivene linearne jednadžbe dalje rješavanju u svakom vremenskom trenutku simulacije postupkom LU dekompozicije. Tim postupkom dobiveni su tlakovi i protoci u svim čvorovima odnosno cijevima sustava za svaki vremenski trenutak. Na dobivenoj slici strujanja modelira se miješanje svježje i stare vode u sustavu. Miješanje u križnim spojevima sustava se modelira upotrebom principa potpunog miješanja, zbog kratkoće vremena. Računalnom simulacijom analiziran je tzv. parametar starosti vode i gradijent starosti vode iz razloga što se pretpostavlja da se u dijelovima cjevovoda gdje voda duže stoji raste debljina biofilma uz stijenku cijevi. S povećanjem debljine biofilma povećava se koncentracija bakterija (ciljano bakterije

legionele), što dovodi do pada biološke kvalitete vode. Pomoću parametra gradijenta starosti moguće je locirati stajaću vodu u sustavu.

Kako bi se modelirao što realniji režim potrošnje vode, definiran je protok vode na pojedinim slavinama prema Tablici 1 u kojoj je dan podijeljen na pet perioda, a slavine su definirane po lokaciji na sljedeći način: ordinacija (oznaka „o“), zahod (oznaka „wc“) i tuš (oznaka „t“).

Tablica 1. Lokacije i vremena aktivnosti pojedinih slavina

R. br.	Satni period	Dnevni period	Lokacija/vrijeme
1	7-11h	j (jutro)	o-j, wc-j, t-j
2	11-15h	p (podne)	o-p, wc-p
3	15-18h	pp (popodne)	wc-pp, t-pp
4	18-22h	v (večer)	-
5	22-7h	n (noć)	-

Protok u slavinama i na tušu određen je na način da je pretpostavljen realni protok otvorene slavine/tuša na $Q_0 = 0,16$ l/s za već gotovu izmiješanu vodu. Potrošnja tople sanitarne vode zbog miješanja s hladnom vodom smanjena je za približno 40 % tako da je konačno, potrošnja tople vode za vrijeme kad je slavina aktivna, određena kao $Q_0 = 0,1$ l/s. U Tablici 2 prikazana je pretpostavljena učestalost aktivnosti pojedine slavine za jedan prosječni radni dan, dok subotom i nedjeljom nema potrošnje tople vode u razmatranom dijelu bolnice. Neaktivnima su ostavljene slavine u osam izabranih prostorija, kako bi se uvidio utjecaj neaktivnosti pojedinih zona na starost vode. Na osnovu definiranih postavki provedena je simulacija protoka i dinamike starenja vode za cijeli tjedan, koja obuhvaća pet radnih dana te subotu i nedjelju uvažavajući kompleksni režim potrošnje dan u Tablicama 1. i 2.

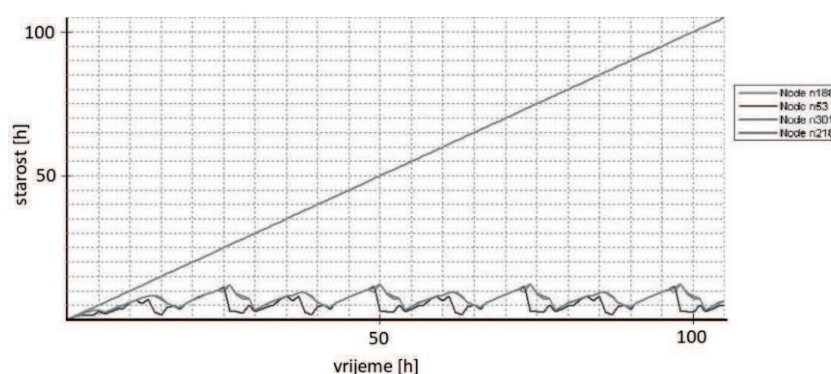
Tablica 2. Pretpostavljena učestalost aktivnosti pojedine slavine

R. br.	Lokacija/vrijeme	Oznaka	Učestalost potrošnje
1	ordinacija jutro	o-j	svakih 30min po 15 s
2	ordinacija podne	o-p	svakih 30min po 15 s
3	wc jutro	wc-j	svakih 15min po 30s
4	wc podne	wc-p	svakih 30min po 15 s
5	wc popodne	wc-pp	svakih 15min po 30s
6	tuš jutro	t-j	svakih 30min po 5 min
7	tuš popodne	t-pp	svakih 30min po 5 min

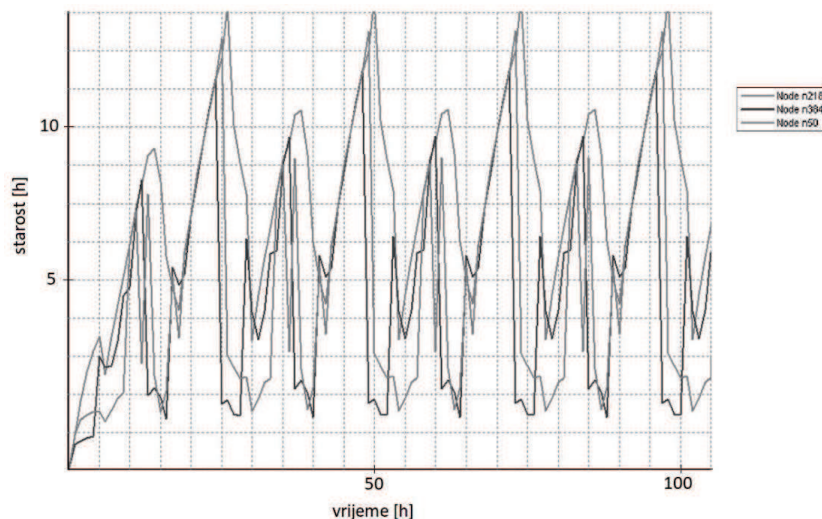
4. REZULTATI SIMULACIJA

Računalna simulacija rezultira prikazom različitih karakteristika sustava. Izdvojena su dva grafička prikaza starenja vode u vremenu, za izabrane čvorove u modelu. Na Slici 5. prikazani su čvorovi n188, n53, n301 i n218, gdje se vidi da u čvoru n188, koji nije u cirkulacijskom dijelu sustava, starost vode rapidno raste, za razliku od ostalih čvorova. Iz ovog rezultata je jasno da se radi o nepovoljnom stanju starosti vode nastalom uslijed odsutnosti miješanja sa svježom vodom. Na mjestu tog čvora dolazi do izrazitog stvaranja naslaga i različitih bakterija, među ostalim i legionele, koje izlaze iz sustava prilikom otvaranja slavine te mogu dovesti do infekcije potrošača koji ih udahne. U ostalim čvorovima nema stvaranja takvih naslaga zbog recirkulacije u koju su ti čvorovi uključeni. Na dijagramu na Slici 6. dobro je uočljiva dinamika starenja vode u čvorovima odnosno vidljive su dnevne oscilacije za čvorove n218, n384 i n50. U tom slučaju niti jedan čvor ne iskače, što dovodi do zaključka da su ti čvorovi unutar sustava recirkulacije vode gdje se naslage stvaraju u prihvatljivim granicama i na tim mjestima neće doći do stvaranja dovoljnog broja bakterija koje su opasne po ljudsko zdravlje.

Na ovakav način moguće je dobiti detaljan prikaz dinamike starenja vode za svaki čvor u sustavu te na temelju toga uspostaviti automatske kontrole koje alarmiraju sustav ako u određenim čvorovima kvaliteta vode padne ispod dopuštene granice. Također, na temelju ovog modela može se predložiti režim ispiranja određene zone kako bi se kvaliteta vode vratila na ciljane vrijednosti.



Slika 5. Kvaliteta vode u čvorovima unutar recirkulacijskog dijela sustava i u čvoru izvan njega



Slika 6. Dnevne oscilacije kvalitete vode (starosti vode) u nekoliko izabranih čvorova

ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih numeričkih simulacija za pojedine režime uključivanja recirkulacijske pumpe u sustavu tople vode i ispuštanja vode na određenim slavinama, određena su područja s maksimalnom starošću vode te pripadna starost vode. Dobiveni rezultati pokazuju da periferni dijelovi sustava koji nisu u recirkulacijskom režimu mogu zadržavati toplu vodu dovoljno dugo da se u njima pojavi opasno velika koncentracija bakterije legionele. Nakon identifikacije rizičnih mjesta u sustavu, potrebno je uspostaviti režime ispiranja (tj. periodičnog otvaranja slavina) u cilju osvježavanja vode u tim dijelovima sustava.

Upotrebom postavljenog modela moguće je dinamički pratiti te upravljati režimom rada recirkulacijske crpke cijelog sustava, kako bi se ona aktivirala u potrebnim razmacima koji će onemogućiti starenje vode u određenim zonama preko zadanog limita, a istovremeno kontrolirati da sustav ne radi kontinuirano, kako bi se uštedjelo na energiji. Kako bi numerička simulacija dala precizni proračun miješanja svježe vode sa starom vodom u cijevnim spojevima, nužno je koristiti realistične tzv. *bulk mixing* modele miješanja koji uzimaju u obzir razne parametre (Kranjčević i drugi, 2010). Također, u daljnjem istraživanju potrebno je uspostaviti što realnije modele koji povezuju starenje vode s porastom debljine biofilma i posljedičnim koncentracijama mikroorganizama.

LITERATURA

- [1] Caicedo, C., Rosenwinkel, K.-H., Exner, M., Verstraete, W., Ruchenwirth, R., Hartemann, P., Nogueira, R., (2019): *Legionella occurrence in municipal and industrial wastewater treatment plants and risks of reclaimed wastewater reuse: Review*, 149, 21-34.
- [2] Declerck, P., Behets, J., Margineanu, A., van Hoef, V., De Keersmaecker, B., Orlievier, F., *Replication of Legionella pneumophila in biofilms of water distribution pipes*, 164, 593-603.
- [3] De Filippis, P., Mozzetti, C., Messina, A., D'Alo, G.L., (2018): *Prevalence of Legionella in retirement homes and group homes water distribution systems*, Science of The Total Environment, 643, 715-724.
- [4] Gavalda, L., Garcia-Nunez, M., Quero, S., Gutierrez-Milla, C., Sabria, M., (2019): *Role of hot water temperature and water system use on Legionella control in a tertiary hospital: An 8-year longitudinal study*, Water Research, 149, 460-466.
- [5] Grupa autora, (2003): *Controlling Legionella in Domestic Hot Water Systems*, Armstrong International, Inc., London.
- [6] Grupa autora, (2015): *UP/UPS-B/UPN Hot Water Service Circulators*, GRUNDFOS, Leighton Buzzard.
- [7] Kranjčević, L., Čavrak, M., Šestan, M., (2010): *Contamination Source Detection in Water Distribution Networks*, Engineering Review, 30, 2, 11-25.
- [8] Vincenti, S., de Waure, C., Raponi, M., Telesman, A.A., Boninti, F., Bruno, S., Boccia, S., Damiani, G., Laurenti, P., (2019): *Environmental surveillance of Legionella spp. colonization in the water system of a large academic hospital: Analysis of the four-year results on the effectiveness of the chlorine dioxide disinfection method*, Science of The Total Environment, 667, 248-253.

AUTORI

prof. dr. sc. Lado Kranjčević ^a

Hana Salamun ^b

izv. prof. dr. sc. Siniša Družeta ^a,

Luka Grbčić, mag. Ing. mech. ^a

^a Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Vukovarska 58, Rijeka, 51000, Hrvatska, lado.kranjcevic@riteh.hr, sinisa.druzeta@riteh.hr, luka.grbcic@riteh.hr

^b Maceljska 28, Zagreb, 10000, Hrvatska, hsalamun@riteh.hr



UPOTREBA KIŠNICE U ZGRADAMA

Dino Obradović, Marija Šperac, Željko Koški

SAŽETAK: Sagledavajući posljedice klimatskih promjena, pitka voda postaje deficitarn element održivog razvoja. Pitku vodu iz sustava javne vodoopskrbe koristimo u kućanstvima za podmirenje svih vrsta dnevnih potreba za vodom. Upotrebom prikupljene kišnice, u zgradama se može znatno smanjiti potreba za vodom iz javnog vodoopskrbnog sustava kako u urbanim, tako i u ruralnim područjima. Također, upotrebom kišnice u zgradama značajno se može smanjiti rizik od poplava i rasteretiti uređaj za pročišćavanje otpadnih voda za vrijeme velikih oborina. Prikladno prikupljena i uskladištena kišnica može se višestruko upotrijebiti u stambenim objektima, dvorištima, vrtovima, parkovima, za pranje javnih površina i slično. Prednosti upotrebe kišnice su ekološke i financijske. Odvodnja oborinske vode s kosih krovova objekta u većini slučajeva rješava se olucima i kišnim vertikalama koje odvođe oborinsku vodu u vanjska kontrolna okna te dalje u kanalizacijsku mrežu. Navedeni način odvodnje oborinske vode nije dobar budući da povećava opterećenje na uređaju za pročišćavanje te se oborinska voda zapravo „baca“, a mogla se iskoristiti u kućanstvu ili oko njega. U radu su dana tehnička rješenja za odvodnju oborinskih voda s krovova zgrada i navedeni osnovni elementi sustava za upotrebu oborinske vode u kućanstvu.

KLJUČNE RIJEČI: kišnica, tehnička rješenja, upotreba kišnice, zgrada

RAINWATER USE IN BUILDINGS

ABSTRACT: Consequential to the climate change, drinking water is becoming a scarce resource in sustainable development. Potable water from public water supply systems is used in households to meet all kinds of daily water needs. By using collected rainwater in buildings, we can significantly reduce the need for water from public water supply systems, both in urban and rural areas. Moreover, using rainwater in buildings can significantly reduce the risk of flooding and relieve wastewater treatment plants during heavy rainfall. Adequately collected and stored rainwater can have multiple uses - in residential buildings, yards, gardens, parks, for public area washing, etc. The benefits of rainwater use are both ecological and financial. Rainwater drainage from buildings with sloped roofs is generally executed with gutters and vertical downpipes that drain rainwater into outer inspection shafts and further down the sewerage network. This method of rainwater drainage is not good because it increases the load of wastewater treatment plants, and

rainwater is actually wasted instead of being used in or around households. In the paper, technical solutions for rainwater drainage from building roofs are offered and the main elements of a system for using rainwater in households are presented.

KEYWORDS: rainwater, technical solutions, rainwater use, building

1. UVOD

1.1. Pojam integralnog pristupa

Voda je temeljna potreba za život i razvoj ljudskog društva (Gereš, 2003). Također, voda je jedan od najznačajnijih resursa na Zemlji jer regulira rast ljudske populacije, značajno utječe na uvjete življenja i zdravlja stanovništva te stanje bioraznolikosti (Newson, 1992; Vučijak i drugi, 2011). Kako bi se voda što je moguće više očuvala, u smislu njezine kvalitete i količine dostupne za ljudsku potrošnju, potrebno je integralno upravljanje vodama. Integralno upravljanje vodama u biti je upravljanje ponudom i potražnjom vode. Uz integralno upravljanje vodama vezana je održivost te kriteriji održivosti voda. Veći dio zahvaćenih količina vode nije „potrošen”, već se vraća u kružni tok vode i tako postaje ponovo raspoloživ za daljnju upotrebu, poslije pročišćavanja ili prirodnog samočišćenja. Za održivost vodnog sustava nužna je ravnoteža između potražnje, tj. potrošnje vode i njezine raspoloživosti (Gereš, 2004; Šperac i Obradović, 2017). Općenito, pojam održivosti uključuje politike i strategije kojima se zadovoljavaju potrebe današnjeg društva, bez ugrožavanja mogućnosti zadovoljenja potreba budućih generacija (Draper, 2011; Drljača, 2012; Šperac i Obradović, 2017).

Najznačajnija prednost integralnog pristupa planiranju i upravljanju atmosferskim vodama nad tradicionalnim je njegov izrazito pozitivan utjecaj na karakteristična biofizička obilježja urbane sredine (onemogućava stvaranje toplinskih otoka, smanjuje negativno djelovanje atmosferskih voda na gradski prostor i recipijent) uz optimalne ekonomske efekte. Osim toga, ovakav pristup poboljšava kvalitetu stanovanja i života, povećava vrijednost zgrada i okoliša, unaprjeđuje ekološke, ekonomske i socijalne karakteristike i poboljšava zaštitu prostora u cjelini, a kroz poboljšanje mikroklimе i ublažavanje efekata suše, ublažava ili čak eliminira posljedice klimatskih promjena (Miličević i drugi, 2015).

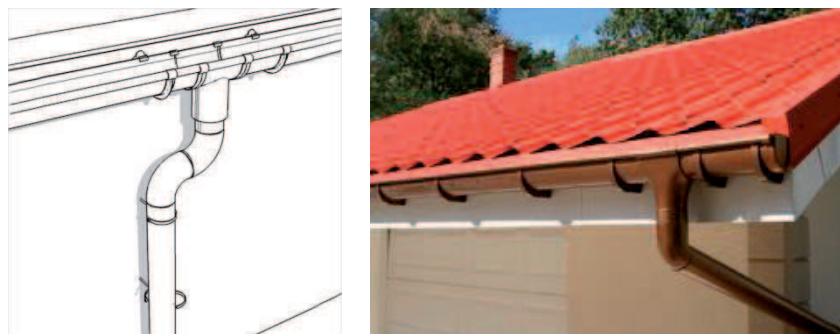
1.2. Oborinska voda - kišnica

Oborinska (atmosferska) voda je najčistija prirodna voda. Ova voda, pored apsorbiranih plinova iz zraka (O, N i CO₂) sadrži organske i neorganske tvari, čija količina i sastav zavise od okolne atmosfere. U blizini naselja i industrijskih centara u atmosferskim padalinama nalaze se sumpor, SO₂, SO₃, čestice prašine, čađi i dr. U blizini mora u atmosferskoj vodi nalazi se i nešto otopljenog natrij klorida (Kovačević i Agić, 2012). Urbano područje svojim hidrološkim/vodnim ciklusom vode najbolje kakvoće transformira u zagađene vode s negativnim utjecajem na okoliš i vodne resurse. Stoga je za održivost naselja i okoliša nužna kontrola urbanoga hidrološkog ciklusa (Rozić i drugi, 2007).

2. OBORINSKA VODA U ZGRADAMA

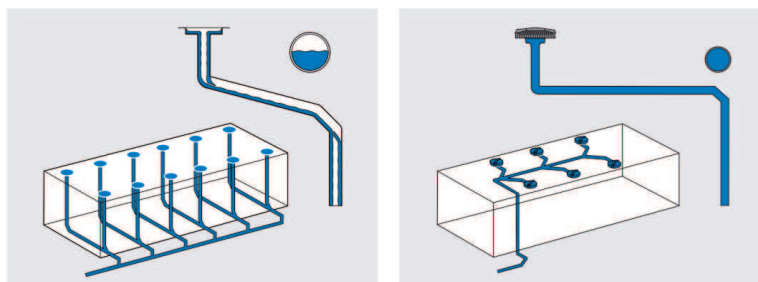
2.1. Tehnička rješenja odvodnje oborinskih voda

Odvodnja oborinske vode s kosih krovova zgrada u većini slučajeva rješava se krovnim olucima koji su spojeni na vanjske kišne vertikale (Slika 1 i 2), koje dalje uvode oborinsku vodu u vanjska kontrolna okna. Drugi način odvodnje je kod ravnih krovova ili složenih krovova, gdje se oborinska voda odvodi unutrašnjim kišnim vertikalama, koje se na razini glavnog sabirnog voda uključuju u zajednički temeljni kanal pri mješovitim kanalizacijskim sustavima, odnosno na odvojeni cjevovod kod razdjelnih kanalizacijskih sustava (Đurin, 2009). Prethodno navedeni klasični/uobičajeni sustavi odvodnje slobodnim padom su projektirani tako da se u cijevima miješa voda i zrak te je zbog toga cijela odvodna instalacija, od krova do vanjske kanalizacije u cesti, dimenzionirana tako da su cijevi samo dijelom ispunjene vodom. Stupanj ispunjenosti instalacija za odvodnju oborinske vode iz objekata iznosi najviše do 70 % (Đurin, 2009).



Slika 1. i 2. Primjer „običnog” sustava krovne odvodnje olucima i kišnim vertikalama (elita-mebel)

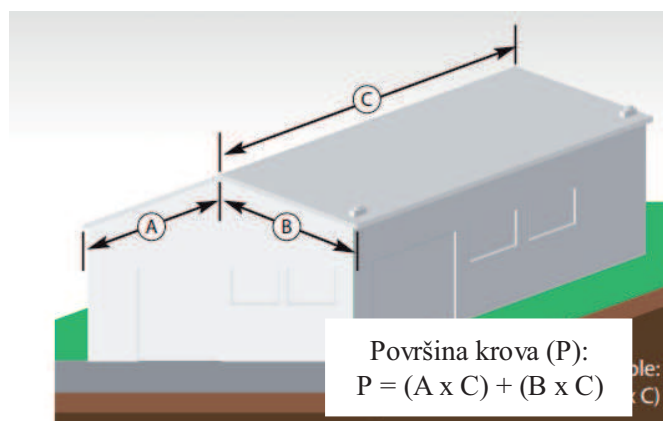
Osim klasičnog sustava (Slika 3) postoji još i podtlačni sustav odvodnje (Slika 4). Kod podtlačnog sustava odvodnje ispušta se dvostruko veća količina oborinske vode kroz cijev dvostruko manjeg promjera. S obzirom na to da se cijevi više ne moraju naginjati, prisutna je i veća dizajnerska sloboda pri planiranju. Još neke prednosti su: manje krovnih slivnika, manji promjer cijevi, manje vertikalnih vodova, sustav se sam čisti, manje cijevi za temeljni razvod, itd. (Geberit, 2018).



Slika 3. i 4. Usporedba običnog sustava krovne odvodnje (lijevo) i podtlačne krovne odvodnje Geberit Pluvia (desno) (Geberit, 2018)

2.2. Elementi sustava

Kišnica koja dolazi s krova vodi se po cijevima za skupljanje tj. žljebovima do vertikalnih cijevi koje vode u glavni spremnik, odakle se crpi u dnevni spremnik (pri manjim sustavima nije potreban), a zatim u mrežu do pojedinih trošila (Vrančić, 2009). Prije izrade (postavljanja) bilo kakvog spremnika za spremanje kišnice (burad, rezervoari, podzemni spremnici, itd.) ili direktne infiltracije kišnice u okolno tlo, potrebno je izračunati približno količinu kišnice koja se može prikupiti s površine krova zgrade (Slika 5).



Slika 5. Primjer izračuna površine krova (KingspanWater, 2012)

Izračun količine kišnice koja se može prikupiti s krova se izračuna tako da se površina krova pomnoži sa srednjom godišnjom visinom oborine za promatrano područje (1).
 Jednadžba za izračun količine prikupljene kišnice glasi:

$$V = [(A \times C) + (B \times C)] \times \bar{h} \quad (1)$$

Gdje su:

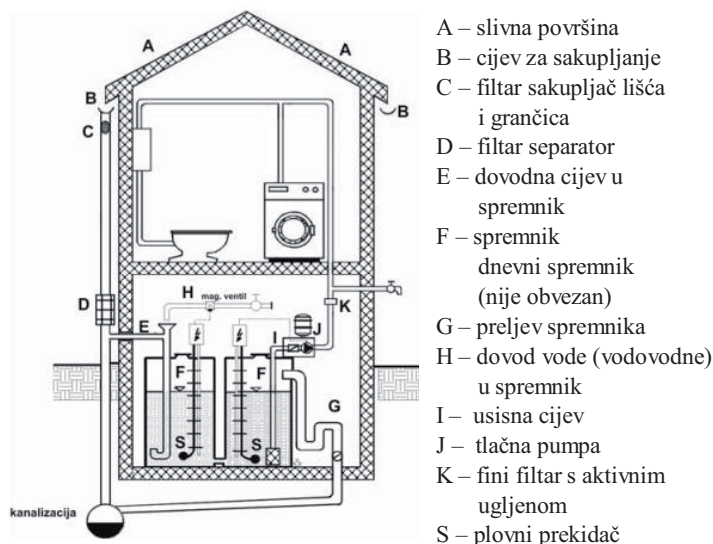
A - širina jedne strane krova [m]

B - širina druge strane krova [m]

C - duljina krova [m]

\bar{h} - srednja godišnja visina oborine za promatrano područje [l/m²]

Važniji elementi (dijelovi) sustava za prikupljanje kišnice su: slijevna površina (krov zgrade), cijev za sakupljanje i odvod, filter lišća i grančica, filter separator, spremnik, preljev spremnika (Slika 6).



Slika 6. Sustav za prikupljanje kišnice (Vrančić, 2009)

Sustav za kuće prikazan je na slici 6. U žlijeb koji vodi kišnicu s krova smještena su dva filtra: prvo skupljač lišća, a zatim separator. Spremnik je u podrumu (sastoji se od dva plastična spremnika). Kako bi se osigurala što niža temperatura vode, najbolje ga je postaviti na sjevernom zidu. Spremnik ima dvije odvodne cijevi. Prva je provedena u kanalizaciju i osigurava da kod velikih kiša ne dođe do poplava, a isto tako ima branu za neugodne mirise. Odvod mora biti pravilno dimenzioniran s obzirom na intenzitet padalina. Druga odvodna cijev vodi do crpke koja se aktivira kada membranski prekidač detektira pad tlaka kao rezultat oduzimanja vode iz sustava. Membranski je prekidač sastavni dio uređaja za povećanje tlaka. U spremnik je proveden i dovod pitke vode, što je potrebno u dugotrajnom razdoblju suše. Zatim voda kroz fini filter s aktivnim ugljenom ide u mrežu (Vrančić, 2009).

2.3. Načini upotrebe kišnice u kućanstvu

Voda koja nije za piće može se zamijeniti kišnicom. U vodu koja ne mora biti pitka, ulazi voda za ispiranje zahoda, pranje rublja, čišćenje i zalijevanje vrta. Ako se pogleda tablica 1, uočava se da samo 5 % ukupno potrošene vode u kućanstvu treba biti pitka voda, dok ostatak može biti i kišnica.

U prosjeku se svaki dan može uštedjeti 45 litara pitke vode ako se zamijeni kišnicom (Tablica 2). Kišnica se skuplja na krovu i vodi kroz filtre u spremnik koji mora biti odgovarajuće veličine, mora se postaviti na odgovarajuće mjesto i zaštititi od izravnoga sunčeva svjetla da se u njemu ne bi počele razvijati alge (Vrančić, 2009).

Tablica 1. Prikaz potrošnje vode u jednom standardnom kućanstvu (EPA Victoria, 2006)

Postotci potrošnje vode u standardnom kućanstvu	
Kuhinja	5 %
Vrt	34 %
Pranje rublja	15 %
WC	20 %
Kupaonica	26 %

Tablica 2. Potrebe za vodom koja ne mora biti pitka (Vrančić, 2009)

Potrebe na nepitkom vodom [l]	
Ispiranje zahoda	18
Pranje rublja	18
Čišćenje	4
Zalijevanje vrta	4
UKUPNO	45

Oborinske vode moguće je višestruko koristiti što je u konačnici vrlo isplativo. Prednosti upotrebe kišnice su ekološke i financijske. Isplativost korištenja kišnice leži u smanjenju svakodnevnih troškova korištenja uobičajene skupe vodovodne mreže, te manjoj ovisnosti o toj mreži. Korištenje kišnice je element koji vodi ka samoodrživosti.

Još neke prednosti korištenja kišnice su: smanjena upotreba pitke vode, smanjenje oborinskog otjecanje i smanjanje rizika od urbanih poplava (Zhang i drugi, 2009).

3. UPORABA KIŠNICE U HRVATSKOJ I SVIJETU

U Republici Hrvatskoj uporaba kišnice u zgradama je još na relativno niskoj razini. Iako, sustav za prikupljanje kišnice koji se jednom napravi može trajati dugo godina te će se uložena investicija vratiti kroz to što za, npr. zalijevanje vrta nećemo trebati koristiti pitku vodu iz vodoopskrbnog sustava koju treba platiti (što nam je direktna ušteda). Također, kišnica je primjenjiva za direktnu upotrebu tijekom tuširanja, pranje rublja te u sanitarijama. Jako mali udio minerala smanjit će i potrebnu količinu detrdženata tijekom pranja, jer se dosta detrdženata koristi da veže na sebe minerale iz vode, a ostali dio veže čestice nečistoća na sebe (Hrastović inženjering).

U svijetu je skupljanje kišnice prihvaćeno i prisutno, što se lako uočava i pregledom samo nekih dostupnih radova na tu temu. Zhang i drugi, (2009) u svome radu govore o problematici prikupljanja kišnice u australskim gradovima – Melbourneu, Perthu, Sydneyu i Darwinu. Rad autora Domènech i Saurí (2011) govori o prikupljanju kišnice u Barceloni, Španjolska u obiteljskim kućama i višestambenim zgradama. Zaključuju da bi korisnici rado prikupljali kišnicu, međutim postoje još prepreke (manjak znanja) koje je potrebno premostiti kako bi se skupljanje i upotreba kišnice moglo u potpunosti provoditi.

ZAKLJUČAK

Klimatske promjene i sve brža urbanizacija koja uzrokuje sve veće probleme trebali bi biti pokretač za nov način razmišljanja. Sve više se u svim područjima rada i života spominje integralno (održivo) upravljanje. Vidljivo je da se u novije vrijeme, rješavanju problema odvodnje atmosferskih voda u razvijenim zemljama poklanja velika pažnja, primjenom integralnog pristupa planiranju i upravljanju oborinskim vodama. To je inovativni pristup koji se oslanja na ekološka načela planiranja i projektiranja odvodnje prema prirodnom načinu otjecanja.

Mogućnosti korištenja oborinskih voda u zgradama su velike, naravno, tamo gdje nije potrebna pitka voda. Neki od načina odnosno mjesta, gdje se oborinska voda može koristiti je za ispiranje zahoda, pranje rublja, navodnjavanje vrta, itd. Najznačajnija prednost ovakvog pristupa je njegov pozitivan utjecaj na karakteristična biofizička obilježja urbane sredine gdje se smanjuje negativno djelovanje oborinskih voda na gradski prostor. Nadalje, odvodnju i rješavanje oborinske vode se može izvesti na slijedeća tri načina, od kojih je svaki dobar, a odabir treba raditi ovisno o raspoloživom prostoru, količini vode i drugim faktorima. Ti načini su: infiltracija u tlo, zadržavanje (retencija) oborinske vode te polagano otpuštanje u kanalizaciju i zadržavanje oborinske vode za kasniju upotrebu (akumulacija).

Vidljivo je da takav pristup ima puno prednosti, međutim još se slabo primjenjuje. Promjena postojećih sustava oborinske odvodnje je dosta skupa i složena, ali ipak, sve više se uviđaju razne mogućnosti i prednosti primjene takvog pristupa, njezin utjecaj na poboljšanje kvalitete stanovanja i života, poboljšanje zaštite prostora u cjelini, a na kraju ublažavanje posljedica klimatskih promjena.

LITERATURA

- [1] Domènech, L., Saurí, D., (2011): *A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multifamily buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs*, Journal of Cleaner Production, Vol. 19, No. 6-7, str. 598-608.
- [2] Draper, J., (2011): *Urban Design and Stormwater Management: An Integrated Approach to Public Hardscape Design*, Clemson University TigerPrints, Theses, Paper 1084, 123 str.
- [3] Drljača, M., (2012): *Koncept održivog razvoja i sustav upravljanja*, Međunarodni skup Nedelja kvaliteta, Kvalitet i izvrsnost, Vol. 1, Br. 1-2, FQCE-Fondacija za kulturu kvaliteta i izvrsnost, Beograd, str. 20-26.
- [4] Đurin, B., (2009): *Tehnička rješenja i greške u izvedbi sustava odvodnje oborinskih voda*, Zbornik radova Konferencija s međunarodnim sudjelovanjem Suvremene metode odvodnje oborinskih voda urbanih sredina na obalnim područjima (Rubinić, J., Zmaić, B.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Rijeka, str. 338-349.
- [5] elita-mebel, preuzeto sa: <https://elita-mebel.ru/hr/metal-drain-for-roof-elements-of-the-roofing-system/> (27.02.2019.)
- [6] EPA Victoria, (2006): *Rainwater use in and around the home*, preuzeto sa: [https://www.epa.vic.gov.au/~media/Publications/DSE0603.pdf](https://www.epa.vic.gov.au/~/media/Publications/DSE0603.pdf) (27.02.2019.)

- [7] Geberit, (2018): *Geberit Pluvia*, P-241/HR/01-2018, preuzeto sa: <https://www.geberit.hr/local-media/brochure-pluvia-b2b-group-en-hr-hr.pdf> (06.03.2019.)
- [8] Gereš, D., (2003): *Upravljanje potražnjom vode*, Građevinar, Vol. 55, No. 6, str. 329-338.
- [9] Gereš, D., (2004): *Održivi razvoj vodnog gospodarstva*, Sabor hrvatskih graditelja 2004, Cavtat, str. 925-935.
- [10] Hrastović inženjering d.o.o., preuzeto sa: <https://www.hrastovic-inzenjering.hr/biološka-energija/kisnica.html> (03.04.2019.)
- [11] KingspanWater, (2012): *Commercial Rainwater Harvesting Systems*, preuzeto sa: <https://docplayer.net/8285584-Commercial-rainwater-harvesting-systems.html> (26.02.2019.)
- [12] Kovačević, A., Agić, Dž., (2012): *Održivo upravljanje kišnicom, Uputstvo za infiltraciju i korištenje*, Centar za ekologiju i energiju, Tuzla, 18 str.
- [13] Milićević, B. D., Anđelković, N. Lj., Mitić, P. M., (2015): *Nužnost integralnog pristupa planiranju i upravljanju atmosferskim vodama na primeru grada Pirota*, Tehnika-kvalitet ims, standardizacija i meteorologija, Vol. 15, No. 6., str. 1065-1072.
- [14] Newson, M., (1992): *Water and sustainable development: the turn around decade'?*, Journal of Environmental Planning and Management, Vol. 35, No. 2, str. 175-183, <https://doi.org/10.1080/09640569208711918>
- [15] Rozić, Ž., Margeta, J., Knezić, S., (2007): *Modeliranje urbanog vodnog sustava*, Građevinar, Vol. 59, No. 2, str. 93-102.
- [16] Šperac, M., Obradović, D., (2017): *Stormwater management in the urban environment*, PROCEEDINGS of the 15th International Symposium Water Management and Hydraulics Engineering (Bekić, D., Carević, D., Vouk, D.), Građevinski fakultet Zagreb, Zagreb, str. 137-146.
- [17] Vrančić, T., (2009): *Građevni sustavi*, Građevinar, Vol. 61, No. 12, str. 1207-1210.
- [18] Vučijak, B., Čerić, A., Silajdžić, I., Midžić Kurtagić, S., (2011): *Voda za život: Osnove integralnog upravljanja vodni resursima*, UNDP, Sarajevo
- [19] Zhang, Y., Chen, D., Chen, L., Ashbolt, S., (2009): *Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities*, Journal of Environmental Management, Vol. 91, No. 1, str. 222-226.

AUTORI

Dino Obradović, mag.ing.aedif.^a
izv.prof.dr.sc. Marija Šperac, dipl.ing.građ.^a
izv.prof.dr.sc. Željko Koški, dipl.ing.arh.^a

^a Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Vladimira Preloga 3, 31000 Osijek, Hrvatska, dobradovic@gfos.hr, mšperac@gfos.hr, koski@gfos.hr



R 3.11.

**REAL - TIME MANAGEMENT OF HIGHWAY RUNOFF:
TREATMENT OF CHRONIC EFFECTS AND
PROTECTION FROM ACUTE EFFECTS ON THE
ENVIRONMENT CAUSED BY LIQUID SPILLS**

**Stefano Biondi, Jovan Despotović, Francesca Sambo, Michele Arnoffi,
Jasna Plavšić, Aleksandar Đukić, Andrijana Todorović, Dušan Prodanović**

ABSTRACT: Highway stormwater runoff is influenced by various factors resulting in a significant unpredictability in terms of its quality and composition. The paper presents the experience gained through a process lasting several years in big infrastructure civil works in the Veneto Region, a highly urbanized, industrialized area with a very rich artistic and environmental heritage. To address environmental impact concerns, long-term data was collected by monitoring stormwater runoff and other site parameters to establish different correlations of relations and events (rain, temperature, traffic conditions). Thus it has been possible to build a model using these correlations to determine a curve of acceptance and a range of normality. As a result of that first experimental process, a centralized integrated system was created with a capability to manage all environmental aspects related to highway runoff, from the regular management and control of permanent impacts to extraordinary emergencies due to accidental spills, including the management of maintenance scheduling and interventions as well. Additionally, such control provides a reliable system for rainfall runoff harvesting i.e. irrigation with treated and filtered water in the area behind the potable water aquifer along the Sava river banks for the Belgrade Water System.

KEYWORDS: Integrated stormwater, monitoring, Spill control, Real time control, Rainfall harvest

**UPRAVLJANJE OTJECANJEM OBORINSKIH VODA S PROMETNICA
U REALNOM VREMENU: UBLAŽAVANJE TRAJNIH UTJECAJA I
ZAŠTITA OD POVREMENIH UTJECAJA NA OKOLIŠ
UZROKOVANIH AKCIDENTNIM ONEČIŠĆENJEM**

SAŽETAK: Na otjecanje oborinskih voda s prometnica utječu razni čimbenici, što rezultira znatnom nepredvidljivošću u pogledu njihove kakvoće i sastava. U redu je prikazano iskustvo stečeno višegodišnjim procesom na velikim infrastrukturnim građevinskim ra-

dovima u Regiji Veneto, visoko urbaniziranom i industrijaliziranom području s bogatim umjetničkim i okolišnim nasljeđem. U svrhu rješavanja problema utjecaja na okoliš, monitoringom su prikupljeni dugoročni podaci otjecanja oborinskih voda i drugih parametara kako bi se utvrdile drugačije korelacije odnosa i događaja (kiša, temperatura, uvjeti u prometu). Stoga je bilo moguće izraditi model primjenom tih korelacija kako bi se utvrdili krivulja prihvatljivosti i raspon normalnosti. Kao rezultat toga prvog eksperimentalnog procesa, stvoren je centraliziran, integriran sustav sa sposobnošću upravljanja svim okolišnim aspektima vezanim uz otjecanje oborinskih voda s prometnicama, od redovnog upravljanja i kontrole stalnih utjecaja do izvanrednih slučajeva poput akcidentnog izlivanja, uključujući i upravljanje rasporedom održavanja i intervencija. Takvom kontrolom uspostavljen je i pouzdan sustav prikupljanja oborinskih voda t.j. navodnjavanje pročišćenom i filtriranom vodom na području iza izvorišta /vodonosnika pitke vode uz obale rijeke Save za sustav vodoopskrbe Beograd.

KLJUČNE RIJEČI: integrirane oborinske vode, monitoring, kontrola izlivanja, kontrola u realnom vremenu, prikupljanje kišnice

1. INTRODUCTION

Stormwater runoff from highway surfaces is recognized as strongly contaminated by heavy metal pollutants and the scale of the problem is found significant because this type of contamination is chronic and constant over time (chronic impact), so the consequence is rather a negative accumulative impact on the environment.

The other major underestimated issue linked to highway stormwater runoff is management of accidental liquid spills (acute impact) from incidental and arson events that lead to the discharge and dispersion of pollutants into the environment and consequentially, extremely high costs for clean-up and environmental restoration.

For some important infrastructure projects in Veneto region, located in the north-east of Italy, the need of a centralized stormwater management system has emerged in order to maintain a high degree of aquifers protection due to particular hydrologic fragilities of the territories involved in the works. This led to the development of an integrated system that added to the traditional stormwater filtration treatment plant an automated emergencies management system, the *Swerm03*[®], capable to prevent in less than a second any liquid spill diffusion in the surrounding environment ensuring a high protection for the water bodies along infrastructures.

Applicability is rather advisable, particularly within the potable water sources' protection zones what is in compliance to EU WFD Directive for water (EU, 2000); e.g. in karstic terrains and in permeable aquifers where the river banks are equipped with capacity wells for water pumping (Despotovic et al., 2012 - 2019).

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Adopted approach for an appropriate response to the acute impact

Normally, management systems and procedures for avoiding acute impacts present long times of reaction and human presence for the manual control of valves and gates. The complexity of the management of acute impact events is due to the fact that is not possible

to predict type and quantities of pollutants and the moment when the accidental event occurs, leading to a substantial inefficiency of the traditional systems realized until today. In 2012 SWI Group started to develop a smart system able to overcome the limits of traditional solutions through an accurate analysis of the unsolved issues and the implementation of a stormwater runoff quality monitoring system through an experimental campaign conducted in the Passante di Mestre highway, located in Veneto Region (Biondi, Sambo, 2017).

2.2. Experimental campaign definition

The experimental activities lasted more than two years and were conducted using different probes for the real time measure of pH, conductivity and turbidity (Djukic, et. al., 2016). The aim was the creation of a large database related to highway stormwater runoff water quality, the analysis and validation of the probes measured data through sampling and chemical analysis using laboratory equipment and through the control of other parameters such as rain, temperature and presence of water flux in the drainage system in dry periods. The results achieved have led to the definition of an average quality curve for highway stormwater runoff in “normal” conditions.

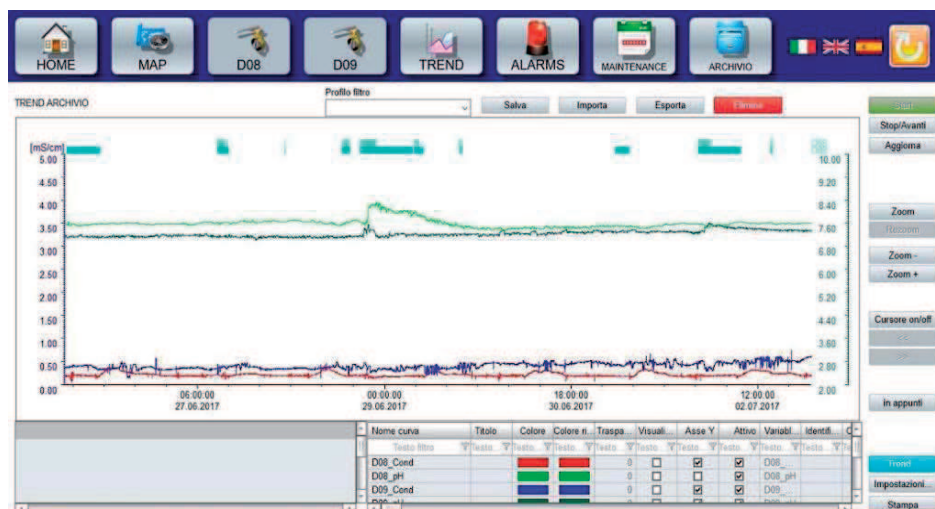


Figure 1. Trend of conductivity (lower curves), pH (upper curves) and presence of rain-fall, given on top as light blue bars recorded at two different plants / locations

3. RESULTS AND DISCUSSION

After the experimental campaign, a specific algorithm was defined and inserted in a Programmable Logic Controller that manage probes and other components realizing a full scale model optimized for highways and infrastructures facilities, the *Swerm*[®].

The *Swerm*[®] is installed in line with the drainage network or in proximity of a discharge point and supplied with an intelligent unit provided with a software that operates according to a dual logic capable to discriminate between “dry” weather and “wet”

weather conditions thanks to the long-term data collected by the monitoring system. The “Dry Condition” monitoring is able to detect and manage anomalous liquid presence on the sewer network, ensuring the interception of 100 % of the spills in the dry period, that correspond at the 65 % of time in Veneto Region.

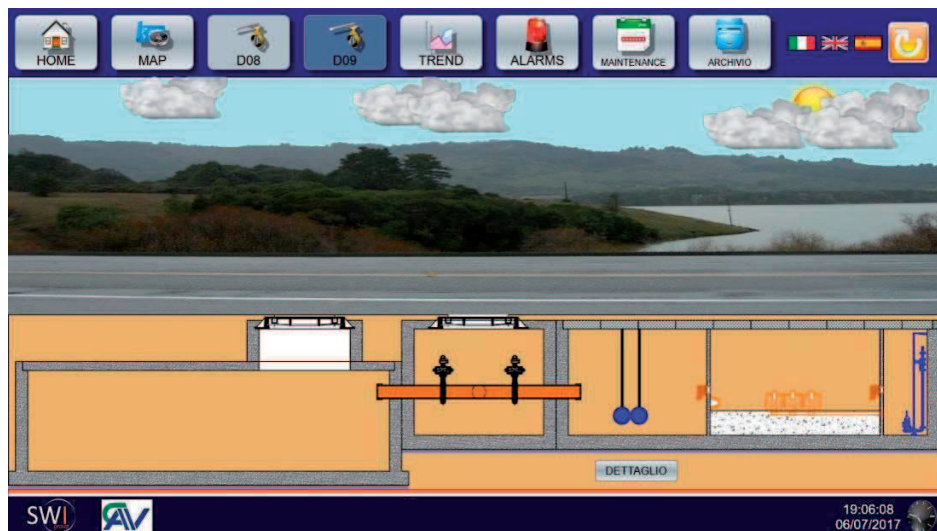


Figure 2. Normal operation of the Stormfilter[®] and Swerm[®] in dry conditions from the supervision system

In “Wet Condition” the monitoring system is based on continuous comparison with an acceptance curve defined by the integration of the probes data able to ensure an interception of 90 % of the spills in the remaining 35 % of time.

In Figure 3. is given a schematic view of a work of the system during rainfall event(s).

3.1. Case study No.1: The Superstrada Pedemontana Veneta highway project

The Superstrada Pedemontana Veneta Highway (SPV) is the biggest Italian new toll highway project, designed to solve the mobility requests of a fragile area with high traffic congestion. Along the infrastructure are expected and partially realized 189 stormwater continuous treatment plants based on Stormfilter[®] filtration systems able to treat all the stormwater runoff ensuring the management of the chronic impacts. Each plant will be coupled with a Swerm[®] system for the management of acute impacts, forming an extensive network of continuous stormwater runoff monitoring stations, interconnected through a centralized SCADA, where several single plants data converge together with maintenance activities and telemetries of pumping stations, realizing a real-time control of infrastructural stormwater runoff.

The designed system is extremely compact and easy to operate through automatic pneumatic valves that permit rapid reaction in case of an accidental spill in less than a second. A supervision system provides a complete control from a remote central room via several types of connections: GSM/GPRS, fiber or Ethernet (Biondi et al., 2017)



Figure 3. Normal operation of the Stormfilter® and Swerm® in wet conditions from the supervision system

Thanks to its automation and smart logic, the system offers a continuous global protection and a timeliness via the sending of alarms and messages to the end users (environmental protection Authorities, highway operation managers, etc.).

Experience gained during performing of this project, also reviewing of design and construction at the SPV was used for an exchange of ideas and completion within the design project procedure of the Faculty of Civil Engineering and Cekibeo Ltd. Co. in Belgrade.

3.2. Case study No.2: The Ostruznica bridge project over the river Sava

The stormwater drainage and treatment system at the highway E-70/E-75 at the bridge Ostruznica over the Sava river, is constructed in Belgrade potable water protection zone - Makis and Surcin fields. Analysis of the rainfall runoff process have been improved for decades including all of the phases of the entire process, as follows: rainfall - runoff (Despotovic, Petrovic, 2002); inlets and pipe system (Despotovic, 2005).

This deserves the highest level of protection, including prevention of pollution from vehicles and accidents (known as “non point sources” of pollution), in soil and the river Sava, based on combined Stormfilter® and Swerm® plants. The filtered water is used for irrigation channel along the series of Renney wells for improvement of their capacity and quality (Figure 4).

In accordance to previous research and monitoring works, the whole capacity of a series of wells along the banks of the river Sava is decreasing significantly, according to global and possibly also climate change.

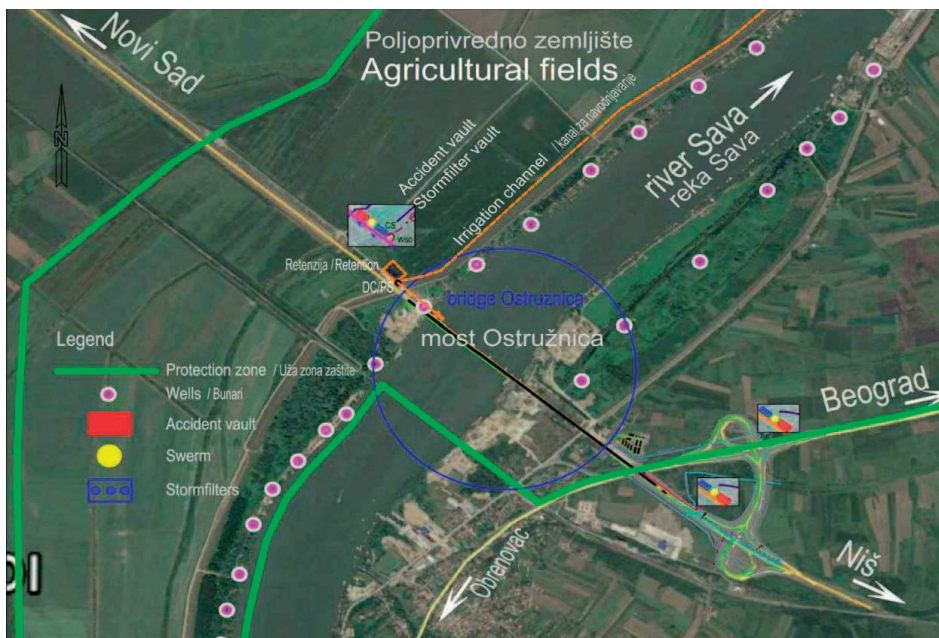


Figure 4. A layout of the Ostruznica bridge and highway compound drainage and treatment system consisting of retention pond, and equipped with filtering Stormfilter® and Swerm® before discharging into the irrigation channel along the series of Renney wells

At first place, housing and development, rather without any city analysis nor reliable planning for its perspective, meaning turning immense permeable or green wide areas into concrete or asphalt or impervious or impermeable at the both banks of the river, directly decrease recharge of ground. It has happened for decades but even more rapidly in recent decades while development close to the river at both banks, actually in the vicinity of the wells (Despotovic et al., 2016).

In addition, last decades have happened several times a significant variability of the water stage of the Sava river what causes an unstable regime what changes a regime of ground water and so the capacity of the Renney wells an also pipe wells of the Belgrade Water Supply system.

CONCLUSION

The need of a centralized system for stormwater runoff management in infrastructure has become a strategic issue for environment protection. To satisfy environmental needs, data were collected by monitoring stormwater runoff and site parameters to establish the relationship with events (rain, temperature, traffic conditions). And so is developed a model using these correlations to determine a curve of acceptance and a range of normality.

Through the research and experimentation in Veneto Region, a complete and integrated system was developed in cooperation with local highway authorities that are able to

manage in an innovative way, like an industrial process, all the environmental aspects of highway runoff, from ordinary control of the chronic impacts to extraordinary accidental scenarios.

The maintenance and managing module represents a significant innovation that permits a real time monitoring and control of the efficiency of the entire runoff treatment systems. Further improvements are under development thanks to the availability of long-term runoff quality data that can be used to analyse and model behaviour of stormwater at long transport and traffic infrastructure systems, such as: roads and highways, bridges, airports, ports, railway stations and others.

Such a compound system provides a reliable rainfall runoff control at large impervious areas what could be furthermore used for a water harvesting as a measure to fight climate change.

LITERATURE

- [1] Biondi, S., Scattolin, M., Fasiol, G., Fusco, S., Vernizzi, S.: *ITS for integrated management of highway stormwater runoff: the treatment of chronic effects and the protection from acute effects on the environment caused by liquid spills: the Concessionaria Autostradale Veneta (CAV) and the Superstrada Pedemontana Veneta (SPV) experiences*, IRF World Road Meeting 2017, Delhi, India.
- [2] Biondi, S., F. Sambo: *Information technology and integrated stormwater management for ports, highways, airports and industries*, 14th International Conference on Urban Drainage, Prague - Poster Session, 2017.
- [3] Despotovic, J., Petrovic, J., Jacimovic, N.: *Measurements, calibration of rainfall-runoff models and assessment of the return period of flooding events at the urban catchment Kumodraz in Belgrade*, Water Science and Technology, Vol 45, No. 2, pp.127-133.,2002.
- [4] Despotović, J., N. Stefanović, D. Pavlović, J. Plavšić: *Inefficiency of urban storm inlets as a source of urban floods*, Water Science and Technology, Vol. 51, No. 2, pp. 139-145, 2005.
- [5] Despotović, J., A. Todorović, J. Plavšić, M. Stanić, A. Djukić, N. Jaćimović, S. Biondi, F. Sambo, P. Bogdanovic, N. Vrvic, M. Lazic: *Bridge deck runoff control: The case study of the Ostruznica bridge (Contrôle des eaux de ruissellement d'un tablier du pont: étude de cas du pont Ostruznica)*, Conference NOVATECH, Lion, POSTER. 2016.
- [6] Despotovic, J., et al., *Main and executive design projects of the drainage and treatment system at the bridge Ostruznica at the Highway E-70/E-75*, Cekibeo Ltd., Mostprojekt Co, Belgrade, 2012 - 2019.
- [7] Djukic, A., B. Lekic, V. Rajakovic - Ognjanovic, Dj. Veljovic, T. Vulic, M. Djolic, Z. Naunovic, J. Despotovic, D. Prodanovic: *Further insight into the mechanism of heavy metals partitioning in stormwater runoff*, *Journal of Environmental Management*, 168, 104-110. 2016.
- [8] *EU Water Framework Directive*, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Par-

liament and of the Council, Brussels.

AUTORI

Dot. Stefano Biondi ^a

Prof. dr. Jovan Despotovic ^{b,c}

Francesca Sambo ^a

Michele Arnoffi ^a

Prof. dr. Jasna Plavsic ^b

Ass. prof. dr. Aleksandar Djukic ^b

Ass. prof. dr. Andrijana Todorovic ^b

Prof. dr Dusan Prodanovic ^b

^a SWI Group S.r.l., Stormwater Italia, Via III Armata, 3, 30176 Venezia Marghera (VE), Italy, s.biondi@swigroup.eu

^b University of Belgrade - Faculty of Civil Eng., Bul. K. Aleksandra 73/I, Belgrade, Serbia, jdespotovic@grf.bg.ac.rs

^c Cekibeo Ltd., Belgrade, Zahumska 26/III, Serbia, cekibeo.doo@gmail.com



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

TEMA 4.

**VODNA POLITIKA, OBRAZOVANJE,
VODNOGOSPODARSKO PLANIRANJE,
MEĐUNARODNA SURADNJA I
SUDJELOVANJE JAVNOSTI**

Recenzenti:

Sanja Barbalić, Danko Biondić, Marko Čaleta, Neven Kuspilić, Jure Margeta



R 4.01.

ZAKONODAVNO UREĐENJE LJUDSKOG PRAVA NA VODU U REPUBLICI HRVATSKOJ

Desanka Sarvan

SAŽETAK: Ljudsko pravo na vodu pretpostavlja kako nikome ne smije biti obustavljena ili ograničena isporuka vode za piće i sanitarne potrebe a da istovremeno nije osiguran pristup dovoljnim količinama vode neophodnim za svakodnevni život. Iako se ljudsko pravo na vodu ne nalazi na popisu ljudskih prava u Ustavu Republike Hrvatske, Nacrt prijedloga Zakona o vodnim uslugama usvaja koncept ljudskog prava na vodu te obustavu ili ograničenje isporuke vodnih usluga uvjetuje osiguranjem dovoljnih količina vode za piće i sanitarne potrebe za zadovoljavanje osnovnih potreba korisnika.

KLJUČNE RIJEČI: ljudsko pravo na vodu i sanitarnu odvodnju, ograničenje usluga konstitucionalizacija

LEGAL REGULATION OF THE HUMAN RIGHT TO WATER IN THE REPUBLIC OF CROATIA

ABSTRACT: The human right to water assumes that the provision of drinking water and sanitation may not be suspended or limited to anyone without a simultaneously secured access to sufficient quantities of water necessary for everyday life. Although the human right to water is not listed as a human right in the Constitution of the Republic of Croatia, the draft Act on Water Services adopts the concept of the human right to water. It makes a suspension or limitation of water services conditional on securing sufficient quantities of drinking water and water for sanitation for the fulfilment of basic user needs.

KEYWORDS: human right to water and sanitation, limitation of water services, constitutionalization

1. UVOD

Aktualnost prepoznavanja prava na vodu, kao samostalnog ljudskog prava, iskazuje se u progresivnom interesu međunarodne zajednice za to pravo u posljednjih 30 godina. Nacionalne i međunarodne politike započele su odražavati rastuće zahtjeve za uvažavanje prava na vodu sredinom 70-ih godina 20. stoljeća. Tijekom ranih 2000-ih godina interes međunarodne zajednice za način upravljanja, primjenu tehnologija i gospodarstva za

ostvarenje ciljeva u vezi s uporabom vodnih resursa utemeljen je na percepciji vode kao *ljudskog* prava.

Danas najznačajnije međunarodne institucije ukazuju da je globalna kriza u vezi s vodom u svijetu najznačajniji okolišni problem te su u međunarodnim dokumentima započele upotrebljavati izraze temeljene na ljudskim pravima u namjeri da podrže rastući konsenzus o pravu na vodu kao ljudskom pravu.

Koncept ljudskog prava na vodu u osnovi izrasta na antiprivatizacijskim osnovama u upravljanju vodnim uslugama, jer se privatizacija općenito percipira osnovnim razlogom diskriminacije i nejednakosti u dostupnosti opskrbe vodom za piće i sanitarnu odvodnju. Socijalna država ne može se u potpunosti temeljiti na načelu *laissez-faire*, već takvo određenje države zahtijeva, pored jamstava slobode poduzetništva i tržišnog nadmetanja, nužnost državne intervencije na cijelom nizu područja. Polazeći od opskrbe vodom za piće i sanitarnom odvodnjom kao osnovne egzistencijalne potrebe čovjeka, intervencija države u upravljanju vodnim uslugama je *condicio sine qua non* koji postavlja pozitivan zahtjev prema državi da svojim posredovanjem, putem zakonodavstva, ispravi nepoželjne učinke djelovanja mehanizma tržišnoga gospodarstva.

2. LJUDSKO PRAVO NA VODU KAO SAMOSTALNO LJUDSKO PRAVO

Pravo na vodu prvi put se spominje u Akcijskom planu Mar de Plata – Izvješću s Konferencije o vodi Ujedinjenih naroda iz 1977.: „...svi narodi, bez obzira na stupanj razvoja i njihove društvene i ekonomske uvjete, imaju pravo na pristup vodi za piće u količini i kvaliteti jednako njihovim osnovnim potrebama... dostupnost tog resursa čovjeku je neophodna za život i njegov puni razvoj...“ Dokument preporučuje da, tamo gdje ljudske potrebe još nisu zadovoljene, nacionalne razvojne politike i planovi moraju dati *prioritet opskrbi vode za piće za cijelo stanovništvo i konačnoj dispoziciji otpadnih voda.*¹

Opća skupština Ujedinjenih naroda prihvatila je 20. srpnja 2010. *Rezoluciju o ljudskom pravu na vodu i sanitarnu odvodnju,*² koja definira „pravo na sigurnu i čistu vodu za piće i zbrinjavanje otpadnih voda kao ljudsko pravo koje je esencijalno za potpuno ostvarenje života i svih ljudskih prava.“ U dokumentu je prihvaćen pristup pravu na vodu kao ljudskom pravu potrebnom za ostvarenje drugih ljudskih prava, tj. kao ljudskom pravu *subordiniranom* drugim građanskim i političkim te gospodarskim, socijalnim i kulturnim ljudskim pravima.

Ljudsko pravo na vodu nije izričito i sveobuhvatno sadržano ni u jednom pravno-obvezujućem međunarodnom dokumentu o ljudskim pravima te se, stoga, percipira kao novo ljudsko *pravo in statu nascendi*. Međutim, ljudsko pravo na vodu implicite je prepoznato u nizu međunarodnih dokumenata o ljudskim pravima, uključujući ugovore, deklaracije i druge međunarodne standarde, te se, stoga, percipira kao ljudsko pravo subordinirano drugim građanskim i političkim te gospodarskim, socijalnim i kulturnim ljudskim pravima. No, posljednjih desetljeća elaborirane su postavke konstrukcije

1 Mar de Plata Action Plan – Report of the United Nations Water Conference, 1977, para. II.

2 United Nations General Assembly Resolution on the human right to water and sanitation A/RES/ 64/292 3. August 2010, para. 1, 2.

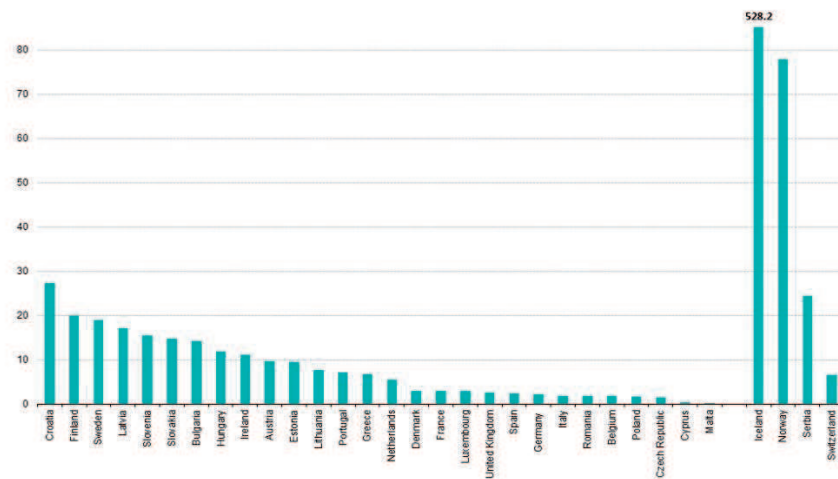
ljudskog prava na vodu kao samostalnoga ljudskog prava.

Teleološkom interpretacijom postojećih pravno-obvezujućih međunarodnih dokumenata o ljudskim pravima i njihovom interferencijom s drugim dokumentima međunarodnog prava okoliša, pravilima međunarodnog trgovačkog prava, kao i odredbama o osiguravanju dostupnosti vode za piće i sanitarnu odvodnju u međunarodnim humanitarnim ugovorima i standardima kaznenog prava i pravno neobvezujućim dokumentima međunarodnog prava (rezolucije, deklaracije, izjave), kojima međunarodna zajednica iskazuje stajališta o određenim svjetskim pojavama, zaključuje se kako pravo na vodu nije nikakvo novo ljudsko pravo u odnosu na druga u međunarodnim ugovorima izravno navedena ljudska prava, već postojeće (*existens*) i samostalno (*per se*) ljudsko pravo u suglasju s pravilima interpretacije međunarodnih ugovora koja naglašavaju potrebu promicanja *cilja i svrhe* pojedinoga međunarodnog instrumenta ljudskih prava.

3. KONSTITUCIONALIZACIJA LJUDSKOG PRAVA NA VODU

U nedostatku konsenzusa međunarodne zajednice o institucionalizaciji novoga ljudskog prava u međunarodnom sustavu ljudskih prava – *ljudskoga prava na vodu*, mnoge države su recentno prihvatile dostupnost vode za piće i sanitarnu odvodnju, prema načelu jednakosti, kao temeljnu društvenu vrijednost i inkorporirale je u nacionalne pravne sustave u obuhvatu različitih pravnih instituta. Pojedine države, koje su revidirale ustavne odredbe početkom 20. stoljeća, inkorporirale su ljudsko pravo na vodu u ustavne odredbe. Procesi konstitucionalizacije ljudskog prava na vodu u različitim državama započeti su na prijelazu iz 20. u 21. stoljeće u državama u Africi i Latinskoj Americi, koje su se među prvima suočile s problemom osiguravanja dostupnosti vode za piće i zbrinjavanja otpadnih voda stanovništva prema načelu jednakosti.

Primarni razlog za konstitucionalizaciju ljudskog prava na vodu bio je ograničavanje agresivne privatizacije upravljanja vodnim uslugama, ali i želja da se istaknu suvremenost i socijalna osjetljivost ustavnog sadržaja. Republika Južna Afrika je prava država u svijetu koja je u prosperitetni tzv. „post-apartheid“ Ustav iz 1996. inkorporirala ljudsko pravo na vodu, uslijedio je Ustav Republike Gambije (1996.), te Ustav Demokratske Republike Kongo (2005.) i Ustav Nigera (2010.). Konstitucionalizacija ljudskog prava na vodu u latinsko-američkim državama predstavlja odgovor na njihova teška iskustva i porazne posljedice agresivne privatizacije vodnih usluga u tim zemljama, te su ljudsko pravo na vodu unijele u ustav države Urugvaj (2004.) Republika Ekvador (2008.) i Bolivija (2009.) Nakon što je Republika Slovenija kao prva država članica EU 17. studenoga 2016. godine u Ustav Republike Slovenije inkorporirala ljudsko pravo na vodu, bilo je opravdano očekivati da i u Republici Hrvatskoj, kao državi članici EU koja posjeduje značajne raspoložive obnovljive resurse vode *per capita*, započne proces konstitucionalizacije ljudskog prava na vodu, međutim interes javnosti i političkih struktura za ovu temu izostao je.



Slika 1. Raspoloživi obnovljivi resursi vode na per capita u državama EU
(Izvor: Eurostat Water statistics)

4. LJUDSKO PRAVO NA VODU U REPUBLICI HRVATSKOJ

4.1. Derivacija ljudskog prava iz odredbi Ustava Republike Hrvatske

Iako ljudsko pravo na vodu u pravnom sustavu Republike Hrvatske nije konstitucionalizirano, ono derivira iz pojedinih prava zajamčenih Ustavom Republike Hrvatske (Narodne novine br. 56/90, 135/97, 8/98 – proć. tekst, 113/00, 124/00 – proć. tekst, 28/01, 41/01 – proć. tekst, 55/01 – ispr., 76/10, 85/10 – proć. tekst i 5/14 – Odluka USRH).

Razmatrajući vodne usluge (tj. opskrbu vodom za piće i sanitarnu odvodnju) kao usluge kojima se zadovoljavaju osnovne životne potrebe i devastirajući utjecaj obustave isporuke vode za piće i sanitarne odvodnje na ostvarenje života u dostojanstvu kao osnove autonomije pojedinca, te znaćajan negativan utjecaj obustave isporuke vode za piće i sanitarne odvodnje na javno zdravlje stanovništva i na zdravlje okoliša kao priznate društvene vrijednosti, ljudsko pravo na vodu za piće i sanitarnu odvodnju derivira iz prava na život (ćlanak 21. Ustava Republike Hrvatske), jer su voda za piće i sanitarna odvodnja osnovna egzistencijalna potreba i preduvjet života.

Nadalje, ljudsko pravo na vodu derivira iz prava na zdrav život i obveze države osigurati uvjete za zdrav okoliš, te obveze da je svatko dužan, unutar svojih ovlasti i djelatnosti, osobitu skrb posvećivati zaštiti zdravlja ljudi, prirode i ljudskog okoliša (ćlanak 70. Ustava Republike Hrvatske).

Ljudsko pravo na vodu derivira iz socijalne klauzule kojom se jamći pravo na pomoć za podmirenje osnovnih životnih potreba slabim, nemoćnima i drugim, zbog nezaposlenosti ili nesposobnosti za rad, nezbrinutim osobama (stavak 1. ćlanka 58. Ustava Republike Hrvatske), te posebne zaštite društvenih grupa: majki, djece i mladeži, kojima država stvara socijalne, kulturne, odgojne, materijalne i druge uvjete kojima se promiće ostvarivanje prava na dostojan život (ćlanak 63. Ustava Republike Hrvatske). Kako su

dostupnost vode za piće i sanitarna odvodnja nedvojbeno osnovna životna potreba, prema navedenim kategorijama građana ne bi smjela biti poduzeta mjera ograničenja, odnosno obustave vodnih usluga zbog nemogućnosti plaćanja računa, jer se podmirenje njihovih troškova opskrbe vodom za piće i sanitarne odvodnje mora osigurati putem sustava socijalne zaštite.

4.2. Ljudsko pravo na vodu na zakonodavnoj razini

Pa ipak, iako u Republici Hrvatskoj nije izražen interes da se ljudsko pravo na vodu inkorporira u popis ljudskih prava zajamčenih Ustavom RH, na zakonodavnoj razini učinjeni su znatni pomaci u percepciji vode za piće i sanitarne potrebe kao ljudskom pravu.

4.2.1. Ograničenje ili obustava isporuke vodnih usluga

Nacrtom prijedloga Zakona o vodnim uslugama (u daljnjem tekstu: Nacrt prijedloga ZoVU)³ pravno su uređena pitanja ograničenja ili obustave isporuke, planirani i neočekivani prekidi isporuke vodnih usluga koja polaze od osnovne premise ljudskog prava na vodu tj. zahtjeva da se nikome ne može u potpunosti obustaviti isporuka vode za piće i sanitarne potrebe a da njemu istovremeno nije osiguran alternativni izvor opskrbe u najnužnijem obimu.

Osnovna je premisa kako isporučitelj vodnih usluga može iz opravdanih razloga, sukladno općim uvjetima isporuke vodnih usluga, ograničiti, odnosno obustaviti korisnicima isporuku vodnih usluga.

Opravdanim razlozima mogu se smatrati:

- korištenje vode za ljudsku potrošnju iznad količina dopuštenih u vrijeme kada je korištenje voda ograničeno u skladu s Zakonom o vodama ili tim Zakonom,
- protupravno sprječavanje ili ometanje drugih korisnika u korištenju vode za ljudsku potrošnju,
- nepodmirenje računa za vodne usluge i
- drugi razlozi usporedive težine.

Isporuka vodnih usluga može se obustaviti ili ograničiti zbog nepodmirenja računa za vodne usluge svim korisnicima, a prema potrošačima samo za dug nastao u najmanje 3 mjeseca uzastopno ili neuzastopno unutar kalendarske godine. Obustavi ili ograničenju obvezatno mora prethoditi opomena pred obustavu ili ograničenje uz naknadni rok ne kraći od 15 dana za podmirenje svih dospjelih dugova.

Međutim, javni isporučitelj je za vrijeme obustave ili ograničenja vodne usluge dužan omogućiti isporuku vode za ljudsku potrošnju od najmanje 20 litara po članu kućanstva dnevno, u vremenskom razdoblju od najmanje osam sati, na način i u mjestu koje odredi općim uvjetima isporuke vodnih usluga, vodeći računa o ranjivosti korisnika.

Isporučitelj vodnih usluga dužan je isporučiti vodu za ljudsku potrošnju za vrijeme planiranih ili neočekivanih prekida isporuke vode za ljudsku potrošnju stanovnicima kojima prijeti opasnost po život i zdravlje ili poslovnim korisnicima kojima prijeti znatnija materijalna šteta, a u slučaju duljih prekida svim stanovnicima, od najmanje 20 litara po

3 Članak 41 Nacrta prijedloga ZoVU

članu kućanstva dnevno, u vremenskom razdoblju od najmanje osam sati i na mjestu koje odredi općim uvjetima isporuke vodnih usluga, vodeći računa o ranjivosti korisnika. Navedena obveza opskrbe minimalnim količinama vode za piće korisnicima kojima je obustavljena ili ograničena isporuka vode za ljudsku potrošnju, odnosno u slučaju planiranih ili neočekivanih prekida isporuke vode odgovara normativnom sadržaju ljudskog prava na vodu prema kojem *ograničenje, odnosno obustava pristupa vodi za piće i sanitarne potrebe nije zabranjena, ali mora biti provedena na način na koji najmanje nanosi štetu korisniku, prema propisanom postupku i uz omogućavanje pravnog lijeka.*⁴

4.2.2. Javni isporučitelj

Nacrt ZoVU zadržao je dosadašnji koncept javnog isporučitelja vodnih usluga kao društva kapitala u kojem sve udjele, odnosno dionice imaju jedinice lokalne samouprave koji koncept onemogućava sudjelovanje privatnog kapitala u isporuci vodnih usluga.

ZAKLJUČAK

Iako ljudsko pravo na vodu nije sadržano u popisu ljudskih prava u Ustavu Republike Hrvatske, zakonodavna rješenja iz Nacrta ZoVU osiguravaju dostupnost vode za ljudsku potrošnju svakome prema načelu jednakosti i u slučaju obustave, ograničenja ili očekivanih ili neočekivanih prekida isporuke. Tradicionalni antiprivatizacijski koncept pružanja vodnih usluga po javnom isporučitelju u hrvatskom zakonodavstvu predstavlja jamstvo dostupnosti vode ranjivim socijalnim grupama.

U tom smislu, možemo zaključiti da će usvajanjem Nacrta ZoVU u predloženom tekstu u hrvatskom zakonodavstvu biti zastupljeno ljudsko pravo na vodu, te da će to biti *pro futuro* poticaj za uvrštavanje ljudskog prava na vodu i u popis ljudskih prava u Ustav Republike Hrvatske.

Konstitucionalizacija ljudskog prava na vodu značila bi potvrdu dostupnosti vode za piće i sanitarne odvodnje, prema načelu jednakosti, kao *temeljne društvene vrijednosti*. Implementacija odredbe o obavljanju djelatnosti vodnih usluga po javnim isporučiteljima u Ustav Republike Hrvatske predstavljala bi čvrstu i trajnu osnovu jamstva ograničenja privatizacije upravljanja vodnim uslugama u Republici Hrvatskoj kao *temeljnog opredjeljenja* u upravljanju vodnim uslugama.

LITERATURA

- [1] Mar de Plata Action Plan – Report of the United Nations Water Conference, 1977,
- [2] Nacrt prijedloga Zakona o vodnim uslugama
- [3] <https://esavjetovanja.gov.hr/Econ/MainScreen?EntityId=9995>, 1. ožujak 2019.
- [4] Sarvan, Desanka: „Ljudsko pravo na vodu - pravno utemeljenje i implikacije implementacije“, Novi Informator, Zagreb, 2016.
- [5] United Nations General Assembly Resolution on the human right to water and sanitation A/RES/ 64/292 3. August 2010

⁴ Prema standardima Svjetske zdravstvene organizacije količina od 20 do 50 l vode po osobi dovoljna je za podmirenje osnovnih potreba.

[6] Eurostat water statistic

[7] https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Water_statistics#Water_as_a_resource, 1. ožujak 2019.

AUTOR

dr. sc. Desanka Sarvan, dipl. iur.^a

^a Istarska županija, Riva 8. Pula 52 000 desanka.sarvan@istra-istria.hr



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE NA INVESTICIJSKOM VALU

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

R 4.02.

ZNAČENJE VODNOGOSPODARSKIH DJELATNOSTI I USTROJSTVO DRŽAVNE UPRAVE ZA VODE

Josip Marušić

SAŽETAK: U praksi je potvrđena tehničko-tehnološka i društveno-ekonomska povezanost vodnogospodarskih djelatnosti i velikog broja gospodarskih, infrastrukturnih i ostalih djelatnosti. I pored duge tradicije izgradnje vodnih građevina za zaštitu od štetnog djelovanja voda u cilju očuvanja prirodnih resursa i ljudskih dobara, u Hrvatskoj još uvijek stupanj razvitka vodnogospodarskih djelatnosti ne zadovoljava zahtjeve uspješnijeg gospodarskog i društvenog razvitka. Pored potrebe optimalnih tehničko-financijskih rješenja vodnih građevina i vodnogospodarskih sustava neophodno je pravovremeno donošenje i provedba operativnih odredbi Zakona o vodama. Zakon o vodama koji je donijet 1891. godine bio je u najdužoj primjeni do početka 1940-ih godina. Nažalost nakon 1990. godine učestalo je donošenje izmjena Zakona o vodama, što dovodi do usporavanja izvršenja aktivnosti i poslova u razvoju vodnogospodarskih djelatnosti. Posljedice promjena hrvatskih vlada svake četiri godine su i „seljenja“ nadležne Uprave za vode - vodoprivredu - vodno gospodarstvo, svaki put u drugo ministarstvo, što također usporava razvoj vodnog gospodarstva u Hrvatskoj. Praksa je potvrdila da u ustrojstvu Vlade Republike Hrvatske treba djelovati samostalna Uprava za vode - vodno gospodarstvo.

KLJUČNE RIJEČI: vodno gospodarstvo, djelatnost, značenje, razvitak, zakon, ustrojstvo uprava, vode.

SIGNIFICANCE OF WATER MANAGEMENT ACTIVITIES AND ORGANISATION OF WATER MANAGEMENT DIRECTORATE

ABSTRACT: A connection between technical/technological and socioeconomic activities and numerous economic, infrastructural and other activities has been confirmed in practice. Despite a long tradition of building water facilities for protection against adverse effects of water aimed at conserving natural resources and protecting property, the level of water management activities in Croatia still does not fulfil the requirements for a more successful economic and social development. In addition to the need for optimum technical and financial solutions for water facilities and water management systems, a timely enactment and enforcement of the operational provisions of the Water Act is necessary. The Water Act adopted in 1891 was the longest in force, until the start of 1940s. Unfortunately, amendments to the Water Act have been frequent since 1990, and this has

slowed down the implementation of water management activities and tasks. The changes of Croatian governments every four years resulted in transferring of the competent Water/Water Management Directorate to a different ministry each time, further slowing down the development of water management in Croatia. The practice has confirmed that the Government of the Republic of Croatia should include an independent Water/Water Management Directorate.

KEYWORDS: water management, activity, significance, development, Water Act, organisation of directorates, water.

1. UVOD

Vodnogospodarske djelatnosti imaju osobito gospodarstveno i društveno značenje za razvitak svake države. Svestrana potreba i udjel vode gotovo u svim ljudskim djelatnostima uz istodobnu ograničenost vode po količini i kvaliteti također potvrđuju višenamjensko značenje vodnogospodarskih djelatnosti. U praksi je potvrđena tehničko - tehnološka i društveno - ekonomska povezanost vodnogospodarskih djelatnosti i velikog broja gospodarskih, infrastrukturnih i drugih djelatnosti, a u najvećoj mjeri poljoprivrede, energetike, turizma, prometa, većine industrijskih djelatnosti te urbanog i komunalnog razvitka, sporta i relaksacije. Društveno - ekonomski odnosi u vodnom gospodarstvu planiraju se i provode u trajnom procesu uzajamnog djelovanja i prilagođavanja svih čimbenika koji dolaze do izražaja u sklopu cjelokupnog razvitka svake države (Marušić, Šturlan, 1997.).

Povećanje potrebe za vodom, povećanje broja zagađivača, te povećanje broja ljudskih dobara što ih je potrebno zaštititi od štetnog djelovanja voda, izazivaju sve veće probleme zbog kojih su vodnogospodarski sustavi sve složeniji i utjecajni na cjelovit gospodarski i društveni razvitak. U procesu gospodarenja vodama osnovni je cilj definirati postojano uspostavljanje i održavanje ravnoteže ljudskih htijenja potreba i djelovanja s jedne i prirodnih procesa te očuvanju resursa sa druge strane. Taj je cilj moguće ostvariti ocjenom kriterija razumnog ispunjavanja ljudskih potreba, htijenja i djelovanja (zadovoljavanja potreba), te kriterija uspostavljanja i održavanja prihvatljivih promjena u prirodi (očuvanje prirode, kulturne baštine i ostalih stvorenih vrijednosti). Posljednjih desetljeća neprestano se povećava kompleksnost i razvojno značenje vodnogospodarskih djelatnosti zbog njihove interakcije sa drugim kako proizvodnim tako i društvenim sustavima i djelatnostima i to jednako u razvijenim i u državama u razvitku (Drmić, 2008.).

2. VODOPRIVREDNE DJELATNOSTI - PREDUVJET ODRŽIVOG RAZVITKA

Radi pravilnog vrednovanja gospodarskog i infrastrukturnog značenja kao sastavnog dijela održivog razvoja svake države bitno je imati na umu i razmotriti vodnogospodarske djelatnosti kako slijedi (Marušić, 1993., Marušić, Šturlan, 1997.):

1. Zaštita od štetnog djelovanja voda:

- Regulacija i uređenje vodotoka s izgradnjom vodnih građevina i nasipa za obranu od poplava,
- Izgradnja retencija i akumulacija za obranu od poplava ili kao višenamjenskih vod-

nogospodarskih objekata (hidroenergetskih, za zaštitu od poplava, korištenje voda za naselja i industriju, poljoprivredu, ribogojstvo, rekreaciju),

- Uređenje bujičnih vodotoka i zaštita od štetnog djelovanja erozije,
- Odvodnja površinskih i podzemnih voda kao sastavni dio hidrotehničkih melioracija,
- Odvodnja oborinskih voda naselja i gospodarskih djelatnosti - kanalizacija naselja,
- Uređenje vodotoka za plovidbu i eksploataciju šljunka,

2. Korištenje voda:

- Korištenje voda za potrebe stanovništva - vodoopskrba naselja,
- Korištenje voda za potrebe gospodarskih djelatnosti,
- Korištenje voda za navodnjavanje poljoprivrednih i ostalih zemljišta, za ribogojstvo, kao sastavni dio hidrotehničkih melioracija,
- Korištenje voda za proizvodnju električne energije,
- Korištenje voda za potrebe sporta i za rekreaciju,

3. Zaštita voda:

- Preventivna zaštita voda od zagađenja i onečišćenja - s katastrom zagađivača voda na slivnim područjima pojedinih vodotoka, jezera, akumulacija i retencija i naselja,
- Zaštita voda od zagađivanja Jadranskog mora - s katastrom zagađivača voda,
- Odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda naselja i gospodarstva,
- Oplemenjivanje malih voda vodotoka, retencija i akumulacija,
- Ekološko značenje zaštite voda (vodotoka, mora, jezera, retencija, akumulacija).

Iz te sheme vidljivo je i značenje pojedinih vodnogospodarskih djelatnosti za razvitak pripadnih gospodarskih i infrastrukturnih djelatnosti, te urbanog i društvenog razvitka svake države (Marušić, 1995.).

U procesu planiranja, projektiranja, građenja, održavanja i upravljanja vodnim građevinama i sustavima s pripadajućim strojevima i opremom koji su sastavni dijelovi vodnogospodarskih djelatnosti od posebnog značenja je uvažavanje i primjena trajnih vodnogospodarskih postulata (Marušić i suradnici 1993, 2003.), a to su:

1. Voda je nezamjenljiva materija,
2. Vode su javno - društveno dobro,
3. Vodama se raspoložuje demokratski,
4. Vodama se upravlja jedinstveno - integralno,
5. Vodnogospodarska jedinica je sliv,
6. Vodno gospodarstvo je kompleksna aktivnost i
7. Upotrebljiva voda je proizvod ljudskog rada.

Glavni odbor Ujedinjenih naroda proglasio je 1993. godine 22. ožujak Svjetskim danom voda - pozivajući se na odgovarajuće odredbe 18. poglavlja AGENDE 21. Također je usvojen prijedlog da se svake godine daje druga tema, odnosno poruka u svezi značenja voda i vodnog gospodarstva za cjelokupni gospodarski i društveni razvoj svake države. Glavne teme i poruke Glavnog odbora Ujedinjenih naroda prigodom obilježavanja Svjetskog dana voda od 1994. do 2019. godine potvrđuju složenost raznovrsnog djelovanja, značenja i potreba vode, kao i vodnogospodarskih djelatnosti:

1994. - Briga za vodne resurse tiče se svakog,
1995. - Žene i vode,
1996. - Voda za žedne gradove,
1997. - Svjetske vode - ima li ih dovoljno ?,
1998. - Podzemne vode - nevidljivo bogatstvo,
1999. - Svi živimo nizvodno,
2000. - Voda za 21. stoljeće,
2001. - Voda za zdravlje,
2002. - Voda za razvoj,
2003. - Voda za budućnost i Međunarodna godina slatkih voda,
2004. - Voda i katastrofe,
2005. - Voda za život,
2006. - Voda i kultura,
2007. - Kako se nositi s nestašicom vode ?,
2008. - Sanitacija je važna,
2009. - Zajedničke vode - zajedničke mogućnosti,
2010. - Kakvoća voda - izazovi i mogućnosti,
2011. - Voda za gradove,
2012. - Voda i sigurnost hrane,
2013. - Međunarodna godina suradnje na području voda,
2014. - Voda i energija,
2015. - Voda i održivi razvoj,
2016. - Voda i posao,
2017. - Otpadne vode,
2018. - Priroda za vodu,
2019. - Voda za sve.

3. POČETAK I PROMJENE ORGANIZIRANOG VODNOG GOSPODARSTVA NA PODRUČJU HRVATSKE OD 1876. DO 1990. GODINE

Na osnovi dokumentiranih pokazatelja, Stručni kolegij Hrvatskih voda predložio je početkom 1997. godine, a Upravno vijeće je u lipnju iste godine donijelo Odluku da se 7. rujna obilježava kao Dan organiziranog vodnog gospodarstva na području Republike Hrvatske. Tog datuma 1876. godine u Klisi (između Osijeka i Vukovara) osnovano je *Društvo za regulaciju rijeke Vuke* kao prva organizacija za vodno gospodarstvo na tadašnjem području Kraljevine Hrvatske, Slavonije i Dalmacije, odnosno na području koje je kontinuirano u sastavu Hrvatske. Krajem 1896. godine u Donjem Miholjcu osnovana je *Zadruga za regulaciju Karašice - Vučice*. 1985. godine donijeta je Odluka o osnivanju *Vodne zadruge za uređenje Lonjskog i Odranskog polja*. 1891. godine Sabor tadašnjih Kraljevina Hrvatske, Slavonije i Dalmacije donio je Zakon o vodnom pravu u kojem su definirane odredbe o: pravnom statusu voda, pravima na vodama, iskorištavanju voda, vodnim građevinama, vodnim zadrugama, pravnim ovlastima i o mjerama za zaštitu voda i vodnih građevina. U tom Zakonu o vodama u najvećem poglavlju date su odredbe o vodnim zadrugama kao specifičnim vodnogospodarskim organizacijama čiji su glavni zadaci reguliranje vodotoka, utvrđivanja obala, melioracijska odvodnja površinskih i

podzemnih voda, navodnjavanje, uređenje poljoprivrednih zemljišta, uređenje bujica i zaštita od erozije (Šimunović, 1997.).

Vodne zadruge se osnivaju kao korporacije posjednika zemljišta i drugih interesenata sa ciljem, kako izgradnje tako i redovitog održavanja regulacijskih i hidromelioracijskih građevina, ali i sa zadatkom financiranja pripadajućih vodnogospodarskih radova, kao i upravljanja zaštitnim i odvodnim građevinama i vodnogospodarskim sustavima.

U razdoblju od 1. prosinca 1918. do svibnja 1945. godine u području vodnog prava donijet je 1931. godine Zakon o iskorištavanju vodnih snaga u kojem se pravno uređuje pravo iskorištavanja vodnih snaga na javnim vodama putem koncesija koje dodjeljuju državni organi. (Šimunović, 1997.). 1938. godine vlada tadašnje Kraljevine Jugoslavije donosi Uredbu o melioracionom fondu s osiguranjem sredstava za financiranje uređenja vodotoka, obrane od poplava, odvodnjavanja i objekata za vodoopskrbu. Na području Hrvatske do 1940-ih godina u najvećoj mjeri primjenjivan je Zakon o vodnom pravu iz 1891. godine.

U razdoblju od 1945. do 1990. godine veće značenje ima Opća odredba o vodnim zajednicama koju je 1952. godine donijela Savezna vlada tadašnje Federativne Narodne Republike Jugoslavije. U svibnju 1949. godine osnovan je Komitet za vodoprivredu Vlade NR Hrvatske u čijem sastavu su organizirani Vodoprivredni odjeljci u Zagrebu, Sisku, Slavanskom Brodu, Varaždinu, Osijeku, Rijeci i Splitu. Sastavni dio djelovanja i rada Komiteta za vodoprivredu je osnivanje Vodnih zajednica sa zadatkom obrane od štetnog djelovanja i zajedničke uporabe vode. Osnovano je ukupno 26 vodnih zajednica slivnih područja na 4 glavna vodna područja i to: Sava. - 14; Drava i Dunav - 7; Istra i Primorje - 2, te Dalmacija - 3. Prvi cjeloviti Zakon o vodama u SR Hrvatskoj donijet je 1965. godine po kojem je provedena Odluka o utvrđivanju četiri vodna područja za koje se osnivaju četiri Opća vodoprivredna poduzeća (OVP) - od 1967. godine. Zadatak OVP je održavanje jedinstvenog režima voda i organizacija svih radova građenja i održavanja vodnih građevina i vodnogospodarskih sustava, obrana od poplave i kontrola ostalih radova koji se financiraju sredstvima SR Hrvatske. Zakonom o vodama iz 1974. godine od 1. siječnja 1975. godine osnivaju se Samoupravne vodoprivredne interesne zajednice (SVIZ). Zakonom o vodama iz 1984. godine OVP postaju Vodoprivredne radne organizacije za vodna područja u cilju obavljanja operativnih vodnogospodarskih radova te usklađivanja planova 4 vodna i 28 pripadajućih slivnih područja u sastavu tadašnjeg SOUR-a Vodoprivreda Hrvatske.

Od 1966. poslove Komiteta za vodoprivredu preuzima Republički sekretarijat za vodoprivredu koji koordinira provedbu programa vodoprivrede na području SR Hrvatske.

4. ORGANIZACIJA VODNOG GOSPODARSTVA I USTROJSTVO UPRAVE ZA VODE - VODOPRIVREDU - VODNO GOSPODARSTVO OD 1991. DO 2018. GODINE

Od 10. travnja 1991. godine poslove SOUR-a Vodoprivreda Hrvatske preuzima Javno vodoprivredno poduzeće „Hrvatska vodoprivreda“ (JVP - HV). Kako je područje Republike Hrvatske prema hidrografskim cjelinama tada bilo podijeljeno na 4 vodna područja, u cilju obavljanja poslova operativnog upravljanja vodoprivrednim sustavom i što neposrednijeg izvršavanja poslova na zaštiti od štetnog djelovanja voda, zaštite voda i osiguranju vodnih zaliha za svako vodno područje, organizirane su četiri organizacijske

jedinice JVP „Hrvatska vodoprivreda“ sa sjedištima u Zagrebu, Osijeku, Rijeci i Splitu. Pravilnikom o unutrašnjoj organizaciji i sistematizaciji radnih mjesta u JVP „Hrvatska vodoprivreda“ utvrđena je unutrašnja organizacija poduzeća i pojedini oblici te načini organizacije i koordinacija rada u poduzeću. Sastavni dio navedenog Pravilnika čine opis poslova, odnosno radnih mjesta sa shemom unutrašnje organizacije poduzeća.

U JVP „Hrvatska vodoprivreda“, vodoprivredni poslovi se izvršavaju u sektorima koji su organizirani na razini uprave poduzeća te u odjelima i službama koji su organizirani u organizacijskim jedinicama Zagreb, Osijek, Rijeka i Split.

U skladu s tadašnjim Zakonom o vodama (Narodne novine, broj 53/90) koji se primjenjivao od 1. siječnja 1991. godine, JVP „Hrvatska vodoprivreda“ preuzela je prava, obveze i sredstva bivših samoupravnih vodoprivrednih interesnih zajednica za vodna područja, bivše Republičke vodoprivredne interesne zajednice i četiri bivše vodoprivredne radne organizacije za vodna područja sa sjedištima u Zagrebu, Osijeku, Rijeci i Splitu. Za obavljanje vodnogospodarskih poslova na slivnim područjima organizirana su javna vodoprivredna poduzeća za slivna područja, koja su nastala izdvajanjem operativnih područnih OOUR-a iz vodoprivrednih radnih organizacija za vodna područja. Javna vodoprivredna poduzeća za slivna područja preuzimaju i prava i sredstva SVIZ-a za slivna područja (Šimunović, 1997.)

U skladu sa Zakonom o vodama koji je stupio na snagu od 1. siječnja 1996. godine osnovana je pravna osoba za upravljanje vodama Hrvatske vode sa zadaćama trajnog i nesmetanog obavljanja javne službe i drugih poslova kojima se ostvaruje upravljanje vodama u opsegu utvrđenom planovima i u skladu sa sredstvima koja se na osnovi Zakona o financiranju vodnog gospodarstva i drugih izvora osiguravaju za takve namjene. Osnivač Hrvatskih voda bio je Sabor Republike Hrvatske, a djelatnost čine poslovi i zadaci koji su u isključivoj funkciji upravljanja vodama. Ti se poslovi i zadaci ne obavljaju na tržištu i kao takvi imaju obilježja pravnih službi. (Šimunović, 1997.)

Djelatnosti Hrvatskih voda čine aktivnosti i poslovi reguliranja i poboljšanja poslovanja u vodnom gospodarstvu a to je: priprema vodnogospodarskih osnova i vodnogospodarskih planova, uređenje vodotoka i drugih voda, zaštita od štetnog djelovanja voda, zaštita voda, iskorištavanje voda, upravljanje javnim vodnim dobrom, vođenje vodne dokumentacije, stručni nadzor. Organ upravljanja Hrvatskih voda je Upravno vijeće (7 članova, imenuje i razrješava Vlada Republike Hrvatske). Voditelj poslova Hrvatskih voda jest generalni direktor sa svim zakonskim i ustavnim ovlastima, a imenuje se na vrijeme od 5 godina i razrješuje odlukom Vlade Republike Hrvatske (Marušić, 1995.).

Institucije zadužene za upravljanje vodama imaju ovlasti, obveze i mogućnosti ostvariti usklađena kvalitetna rješenja održiva za sve dijelove vodnog sustava i sve djelatnosti vodnog sustava i o vodi ovisnoga gospodarstva. U tome se polazi od koncepcije održivog razvoja, za koju se Republika Hrvatska opredijelila, a koja je zasnovana na sljedećim načelima:

- racionalno upravljanje prirodnim resursima,
- očuvanje ekoloških sustava na kojima počiva ukupna kakvoća života sadašnjih i budućih generacija uz očuvanje biološke raznolikosti,
- otklanjanja nejednakosti koje ugrožavaju socijalnu koheziju, pravdu i sigurnost,
- ostvarenje predviđenoga gospodarskog rasta,
- osiguranje integracije u globalno društvo, uz zadržavanje vlastita identiteta.

Ostvarivanje navedenih razvojnih načela zahtjeva aktivno uključivanje vodnoga sektora uz uvažavanje integracije u globalno društvo, uz zadržavanje vlastita identiteta, te vodeći računa o sljedećem:

- voda je temeljni prirodni resurs,
- voda je osnovna životna supstancija i pretpostavka za održavanje svih ekosustava,
- pitka voda je živežna namirnica i civilizacijska potreba nužna za život pojedinaca i funkcioniranje društvenih zajednica,
- voda je sirovina i čimbenik proizvodnje u mnogim gospodarskim djelatnostima,
- voda je predmet pojačane brige svih relevantnih europskih i svjetskih institucija, a pravilan odnos prema vodi i vodnom okolišu preduvjet je za uključivanja u željene međunarodne integracije (Strategija upravljanja vodama, 2008.).

Za obavljanje poslova upravljanja vodama, 1990. i 1991. godine djelovalo je Ministarstvo vodoprivrede, i to sve do kraja 1991. godine kada je osnovana Uprava za vodoprivredu u sastavu tadašnjeg Ministarstva poljoprivrede i šumarstva. U Upravi za vodoprivredu osnovana su dva odjela, i to: za gospodarenje vodama i za vodoprivrednu inspekciju. Takav preustroj je doveo do otežanog i usporenog neposrednog komuniciranja s drugim nadležnim republičkim tijelima i jedinicama lokalne samouprave i uprave u procesu provedbe zadataka u području programa vodoprivrede Republike Hrvatske. Za efikasnije obavljanje poslova upravljanja vodama 1994. godine osnovana je Državna uprava za vode kao samostalno tijelo državne uprave na razini Republike Hrvatske. To se potvrdilo kao organizacijski, stručno i financijski učinkovitije i kvalitetnije rješenje od djelovanja Uprave za vode u sastavu drugih ministarstava.

Nažalost od 1991. do 2018. godine nadležna Uprava za vodoprivredu - vode - vodno gospodarstvo mijenjala je nazive i „lokaciju“ ustrojstva svake četiri godine - nakon konstituiranja novih vlada Republike Hrvatske (Marušić, 2016.). Predlagatelji i donositelji nadležnih odluka za vodno gospodarstvo nisu u dovoljnoj mjeri uvažavali stručna obrazloženja dugogodišnjih stručnjaka i znanstvenika u cilju uspješnijeg integralnog upravljanja u području vodnog gospodarstva Republike Hrvatske.

Promjene naziva i „lokacije“ ustrojstva nadležne Uprave za vodoprivredu - vode - vodno gospodarstvo od 1991. do 2018. prikazane su u tablici 1 (Marušić, 2016.).

Tablica 1. Pregled „selidbe“ Uprave za vodoprivredu - vode - vodnog gospodarstva po odlukama Vlade Republike Hrvatske od 1990. do 2016.

Godine	Nadležno ministarstvo i naziv nadležne Uprave za vodoprivredu - vode - vodno gospodarstvo
1990. - 1991.	Ministarstvo vodoprivrede - samostalna
1991. - 1994.	Ministarstvo poljoprivrede i šumarstva s jednom upravom - Uprava za vodoprivredu
1994. - 1996.	Državna uprava za vodoprivredu - samostalna
1996. - 1999.	Državna uprava za vode - samostalna
2000. - 2003.	Državna uprava za vode - resorno Ministarstvo za javne radove, obnovu i graditeljstvo
2004. - 2007.	Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnoga gospodarstva s jednom upravom - Uprava vodnoga gospodarstva
2008. - 2011.	Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva s dvije uprave - Uprava gospodarenja vodama i Uprava vodne politike i međunarodnih projekata
2012. - 2015.	Ministarstvo poljoprivrede s jednom upravom - Uprava vodnoga gospodarstva
2016. -	Ministarstvo zaštite okoliša i energetike s jednom upravom - Uprava vodnoga gospodarstva i zaštite mora

Na osnovu opisnih pokazatelja i brojčanih podataka o razvojnim značenjima vodno-gospodarskih djelatnosti potvrđuje se tehnička i financijska opravdanost postojanja i djelovanja samostalne Uprave vodnoga gospodarstva ili Državne uprave za vode, a ne svake 4 godine u drugom ministarstvu - bez uvažavanja prijedloga i obrazloženja struke i znanosti. Veće značenje te uspješno samostalno ustrojstvo i djelovanje od 1991. do danas, potvrđeno je za Državni hidrometeorološki zavod i Državnu geodetsku upravu - a to je potrebno primijeniti i za samostalno ustrojstvo Državne uprave za vode. Promjene djelokruga i naziva većine ministarstava u Hrvatskoj ponavljaju se nakon svakih parlamentarnih izbora i ustrojstava novih Vlada Republike Hrvatske, čime se stvaraju nepotrebni i neopravdani troškovi (Marušić, 2016.).

5. STRATEGIJA UPRAVLJANJA VODAMA I PROVEDBA PROGRAMA VODNOGA GOSPODARSTVA

Na temelju odredbi Zakona o vodama (Narodne novine, br. 107/95 i 150/05), Hrvatski sabor je 15. srpnja 2008. godine donio Strategiju upravljanja vodama (Narodne novine, broj 91/08) kao dugoročni planski dokument kojim se utvrđuju vizija, misija, ciljevi i zadaće državne politike u upravljanju vodama Hrvatske - sa sljedećim osnovnim konstatacijama, prijedlozima, pokazateljima i odredbama:

- Strategija upravljanja vodama daje strateška opredjeljenja i smjernice razvoja vodnog gospodarstva polazeći od zatečenog stanja vodnog sektora, razvojnih potreba, gospodarskih mogućnosti, međunarodnih obveza, potreba za očuvanje i unapređenjem stanje voda, te vodnih i o vodi ovisnih ekosustava,
- Sadržaj Strategije upravljanja vodama usklađen je s relevantnim direktivama Europske unije, te je stoga činio osnovnu podlogu za pregovaračko stajalište za sektor voda u poglavlju okoliša u pristupnim pregovorima. Isto tako čini i jednu podlogu za pripremu aplikacija za korištenje sredstava, ranije iz pretpristupnih, a danas iz kohezijskih i strukturnih fondova Europske unije,
- Strategija upravljanja vodama je dokument na temelju kojeg se provode reforme vodnog sektora kako bi se dostigli europski standardi u upravljanju vodama, pa stoga čini osnovnu podlogu za pripremu vodnog zakonodavstva,
- Strategija upravljanja vodama također je okvir za pripremu strategija i planova drugih relevantnih sektora (prostornog uređenja, zaštite okoliša, zaštite prirode i razvoja ostalih sektora koji ovise o vodama ili utječu na stanje voda u sklopu poljoprivrede, šumarstva, ribarstva, industrije, energetike, prometa, turizma, javnog zdravstva i drugih),
- Strategijom upravljanja vodama su definirani zakonodavni, organizacijski, financijski, tehnički, znanstveno-istraživački i informatički okviri djelovanja vodnog gospodarstva u društveno - gospodarskim okolnostima ranijeg pristupnog procesa Republike Hrvatske Europskoj uniji, te u okolnostima punopravnog članstva,
- Strategija upravljanja vodama vrijedi sve dok su na snazi pretpostavke pod kojima je donesena, uz poštovanje postupne pravne prilagodbe i trajanja dva petnaestogodišnja investicijska ciklusa do kraja 2038. godine.

Analize postojećeg stanja i razvojnih potreba pokazale su da Hrvatska raspolaže dovoljnim količinama vode za svoje potrebe, te da vodni resursi svojim količinama i kakvoćom nisu ograničavajući čimbenik gospodarskog razvoja. No, zbog izražene vremenske i prostorne neravnomjernosti vodnog režima, učinkovito i ekološki prihvatljivo upravljanje vodama zahtjeva sustavna ulaganja u razvoj i redovita održavanja vodnogospodarskih sustava. Konačni cilj Strategije upravljanja vodama je postizanje cjelovitog i usklađenog vodnog režima na državnom teritoriju i na svakom od četiriju vodnih područja, što uključuje:

- osiguranje dovoljnih količina kvalitetne pitke vode za vodoopskrbu stanovništva,
- osiguranje potrebnih količina vode odgovarajuće kakvoće za različite gospodarske namjene,
- zaštitu ljudi i materijalnih dobara od poplava i drugih oblika štetnog djelovanja voda,
- zaštitu i unapređenje stanja voda te vodnih i o vodi ovisnih ekosustava.

Ovaj konačni cilj ostvarit će se integralnim upravljanjem vodama i postizanjem strateških ciljeva upravljanja vodama u glavnim vodnogospodarskim djelatnostima: zaštiti od štetnog djelovanja voda, korištenju voda i zaštiti voda.

Strategijom upravljanja vodama predlaže se ostvarenje sljedećeg:

- integralno upravljanje vodama i podjela na vodna područja u skladu s Okvirnom direktivom o vodama,
- decentralizacija upravljanja vodama s jasnim nadležnostima u nacionalnom, regional-

- nom i lokalnom vodnom sektoru,
- isključena mogućnost privatizacije prava na vodni resurs,
 - izdvajanje vodne infrastrukture iz vlasništva komunalnih trgovačkih društava u vlasništvo jedinica lokalne samouprave,
 - dodjela koncesija za javnu vodoopskrbu lokalnoj upravi (gradovima i općinama), a ne operaterima,
 - reforma komunalnog sektora,
 - promovirano načelo „korisnik/potrošač/onečišćivač plaća“,
 - predviđeno uspostavljanje neovisnog regulatora vodnih usluga u formi vijeća za vodne usluge,
 - uspostava nacionalne mreže HR-VODONET za razmjenu informacija,
 - osnivanje neovisne znanstveno - stručne institucije za vode.

Gospodarenje vodama planira se na razinama vodnih područja. U izradi planova bitno je prihvaćanje odgovarajućih planskih i razvojnih dokumenata svih sektora i korisnika, uz poštivanje ograničenja koje postavlja vodni resurs u smislu očuvanja zdravlja i sigurnosti stanovništva i dobara i dobrog stanja voda. Plan upravljanja vodnim područjima vrednuje vodne resurse i ujedinjuje djelatnosti vodnog gospodarstva: uređenje voda i zaštitu od poplava, korištenje voda i zaštitu voda u skladu sa Strategijom upravljanja vodama i odredbama europskog zakonodavstva. Informiranje o planiranom gospodarenju vodama provodi se u skladu s pravilima europskog zakonodavstva.

Institucionalni ustroj upravljanja vodama zasniva se na načelu decentralizacije s jasnim nadležnostima u nacionalnom, regionalnom i lokalnom vodnom sektoru. Nacionalni vodni sektor ostvaruje nadležnosti u upravljanju vodama (zaštiti kakvoće voda, redistribuciji raspoložive količine voda za različite namjene i zaštiti od štetnog djelovanja voda), upravljanju javnim vodnim dobrom, razvoju i upravljanju sustavom osnovne melioracije odvodnje, te provedbom politike nacionalnih ulaganja u regionalni i lokalni vodni sektor. Regionalni vodni sektor (čiji su nositelji županije) ostvaruje nadležnosti u razvoju i upravljanju sustavima navodnjavanja i detaljne melioracijske odvodnje. Lokalni vodni sektor (čiji su nositelji udruženi gradovi i općine) ostvaruje nadležnosti u razvoju i upravljanju sustavima javne vodoopskrbe, odvodnje otpadnih i oborinskih voda, te pročišćavanju otpadnih voda.

Provedbom Strategije upravljanja vodama, Republika Hrvatska kao i sve ostale države članice Europske unije postupno postiže propisane norme u upravljanju vodama, što je od velikog značenja za njezino gospodarstvo (Drmić, 2008.).

Za uspješno ostvarivanje zacrtanih ciljeva predviđena je viša razina i učinkovitije izvršenje tehničkih obveza koje proizlaze iz pravne stečevine Europske unije na svim razinama vlasti - središnjim tijelima državne uprave, pravnim osobama, jedinicama lokalne i područne (regionalne) samouprave, komunalnim trgovačkim društvima i drugim institucijama u sektoru upravljanja vodama. Za ostvarenje ciljeva Strategije upravljanja vodama i provedbu EU direktiva u području vodnog sektora bitna je visoka razina stalne suradnje iskusnih nadležnih izvršitelja poslova u području vodnogospodarskih djelatnosti iz Hrvatskih voda i Uprave vodnoga gospodarstva i zaštite mora - bez nepotrebnih promjena svake četiri godine.

ZAKLJUČAK

Vodnogospodarske djelatnosti imaju veliko gospodarstveno i društveno značenje za razvitak svake države. Postoje zapisi iz XII. stoljeća o izvođenju radova u cilju zaštite od poplavnih voda rijeka u Hrvatskoj. Dana 7. rujna 1876. godine u Klisi je održana osnivačka skupština *Društva za regulacije rijeke Vuke* kao preduvjeta izgradnje melioracijskih kanala za odvodnju suvišnih voda s poljoprivrednih površina. Od 1997. godine 7. rujna se obilježava kao početak organiziranog vodnog gospodarstva u Hrvatskoj. Postoji niz dokumentiranih pokazatelja o dugoj tradiciji izvedbe regulacijskih i hidromelioracijskih radova na velikom broju slivnih područja Hrvatske, a u manjoj mjeri i na izgradnji vodoopskrbnih objekata. U nizu država potvrđeno je da o razvoju vodnog gospodarstva i hidromelioracijskih djelatnosti ovisi i stupanj razvoja poljoprivrede, energetike, turizma, prometa te niza industrijskih djelatnosti, kao i urbanog ali i ruralnog razvoja. O stupnju izgrađenosti i funkcioniranja vodnih građevina i sustava za zaštitu od štetnog djelovanja voda ovisi zaštita prirodnih resursa i ljudskih dobara. Važnost voda i upravljanja vodama potvrđuju i poruke - teme Glavnog odbora Ujedinjenih naroda prigodom obilježavanja Svjetskog dana voda od 1994. do danas.

Pored iznalaženja optimalnih tehničkih i financijskih rješenja vodnih građevina i sustava, bitna je i provedba operativnog zakonodavstva u području voda i vodnog gospodarstva. Nažalost u Hrvatskoj su od 1991., a posebno od 2009. godine učestale izmjene Zakona o vodama i Zakona o financiranju vodnog gospodarstva. Posljedica toga je usporavanje aktivnosti i poslova u provedbi programa u području vodnog gospodarstva. Navedene posljedice su i zbog ustrojstva nadležne Uprave za vodoprivredu - vode - vodno gospodarstvo koja se svake četiri godine nalazi u sastavu drugog ministarstva. Postoji niz prirodnih, tehničkih i financijskih pokazatelja koji ukazuju na opravdanost ustrojstva i djelovanja samostalne Uprave za vode ili vodno gospodarstvo i njeno učinkovitije djelovanje, za razliku od ovisnosti u sastavu „promjenljivih“ ministarstava svake četiri godine.

LITERATURA

- [1] Drmić, R.; (2008.): *Vodno gospodarstvo u svijetu strategije upravljanja vodama*, Hrvatske vode, 16 (2008.), 63; Uvodnik, str. I. -V.
- [2] Marušić, J.; (1993.): *Značenje vodoprivrednih djelatnosti za obnovu i razvoj*, Hrvatske, Hrvatske vode 1 (1) Zagreb, str. 1-12.
- [3] Marušić, J. i suradnici (1995.): *Ustrojstvo i financiranje vodoprivrede Hrvatske*, pozivni rad, Prva hrvatska konferencija o vodama, Dubrovnik, str. 1-18.
- [4] Marušić, J., Šturlan, S.; (1997.): *Značenje i uloga vodnogospodarskih djelatnosti u razvitku Republike Hrvatske*, Hrvatska vodoprivreda, posebno izdanje (1977.) Hrvatske vode 1876. - 1997.), str. 22-29.
- [5] Marušić, J.; (1999.): *Hrvatske vode - djelatnosti i način rada*, Građevinar, 9/51, Zagreb, str. 573-584.
- [6] Marušić, J.; (2003.): *Značenje i uloga vodnogospodarskih djelatnosti za razvoj Hrvatske*, Multidisciplinarna konferencija: Vizija inteligentne Hrvatske, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb, str. 1-37 (17 tablica) i slika 1-34.

-
- [7] Marušić, J.; (2011.): *Prijedlog izmjene Zakona o vodama i Zakona o financiranju vodnog gospodarstva*, Hrvatske vode, 19 (75), Zagreb, str. 51-54.
- [8] Marušić, J.; (2016.): „*Selidbe*“ *Uprave vodnog gospodarstva po odlukama Vlade Republike Hrvatske*, Pravna zaštita voda, HAZU, Znanstveno vijeće za državnu upravu, pravosuđe i vladavinu prava HAZU, Zagreb, str. 72-80.
- [9] *Strategija upravljanja vodama* (Narodne novine, broj 91/08).
- [10] Šimunović, I.; (1997.): *Povijesni pregled načina organiziranja vodnog gospodarstva na današnjem području Republike Hrvatske*, Hrvatska vodoprivreda, posebno izdanje (1997.), Hrvatske vode 1876-1997., str 13-17.
- [11] Šimunović, I.; (2001.): *Pregled povijesti vodnog prava na području Republike Hrvatske*, Hrvatska vodoprivreda, X/107, kolovoz 2001., str. 31-41.
- [12] *Zakoni o vodama* (Narodne novine).

AUTOR

prof.dr.sc. Josip Marušić, dipl. ing. građ. ^a

^a Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Kačićeva 28, Zagreb 10000, Hrvatska, josip.marusic12@gmail.com



R 4.03.

VAŽNOST DUGOROČNIH ISTRAŽIVANJA U OKOLIŠU

Irena Ciglenečki, Milan Čanković, Marija Marguš, Ivica Janeković

SAŽETAK: Dugoročni skupovi podataka iz slatkovodnih, estuarijskih i morskih ekosustava pružaju jedinstvenu sliku o složenoj dinamici unutar samih ekosustava, osobito kada isti reagiraju na antropogene pritiske i klimatske promjene. Dugoročno praćenje stanja ekosustava danas je značajno za ozbiljne rasprave i zaključke koji se odnose na klimatske i antropogene utjecaje. Važnost dugoročnih istraživanja u vodenom okolišu općenito, posebno je značajna kod tumačenja glavnih procesa unutar ekosustava, detektiranju pojava koje se inače ne vide u kraćim vremenskim razdobljima, dokumentiranju fizikalnih, kemijskih i bioloških fenomena te otkrivanju složenosti biogeokemijskih procesa kao i dinamici populacija, odnosno ekologiji zajednica.

Dugoročni podaci (28 godina, od 1992. do 2018.) o ekološkom sustavu Rogozničkog jezera, jedinstvenog morskog ekosustava na Jadranu, čija je osobitost pojava hipoksično-anoksičnih, odnosno euksinskih uvjeta, jedinstvenih za Jadran i Sredozemlje. Rogozničko jezero se pokazalo kao idealan model za praćenje promjena u okolišu. Dugoročni podaci ukazuju na klimatske promjene koje se u jezeru očituju u zagrijavanju vodenog stupca, akumulaciji toksičnih sulfida i amonijaka u pridnenom anoksičnom sloju. Uočene promjene su u skladu s promjenama u Jadranu i predstavljaju upozorenje na moguće daljnje promjene u biogeokemijskim procesima, kao i u strukturi životnih zajednica, što u konačnici može dovesti i do degradacije ovog jezerskog ekosustava.

KLJUČNE RIJEČI: dugoročna istraživanja, morski ekosustavi, Rogozničko jezero, hipoksično-anoksični uvjeti, akumulacija sulfida, promjene u okolišu, Jadransko more

IMPORTANCE OF LONG-TERM INVESTIGATIONS IN THE ENVIRONMENT

ABSTRACT: Long-term data sets from freshwater, estuarine and marine ecosystems provide a unique information on complex dynamics within the ecosystems themselves, especially when they respond to anthropogenic pressures and the climate change. Today, they become even more important since they play a key role in comprehensive discussions and conclusions concerning the climatic and anthropogenic pressures. The importance of long-term research in the aquatic environment is crucial for many reasons, such as: the interpretation of the main processes within ecosystems, detecting the occurrence of complex conditions which might be indiscernible in short-time scale, documenting

physical, chemical and biological phenomena and discovering the complexity of interactions as well as dynamics and the population ecology.

In that sense, long-term data (28 years, 1992-2018) on the unique hypoxic-anoxic and euxinic marine ecosystem of Rogoznica Lake represent a unique data set for the Adriatic and the Mediterranean. The lake has proven to be an ideal test-bed to track changes in the environment indicating the climate change that reflects in the warming of the water column and accumulation of toxic sulphide and ammonium in the bottom layer of the lake. The observed changes are congruent with the reports for the Adriatic and represent a potential trigger for further, even more severe changes, which can ultimately lead to the degradation of this lake ecosystem.

KEYWORDS: long-term study, marine environment, Rogoznica Lake, hypoxic-anoxic conditions, sulfide accumulation, environmental changes, Adriatic Sea

1. UVOD

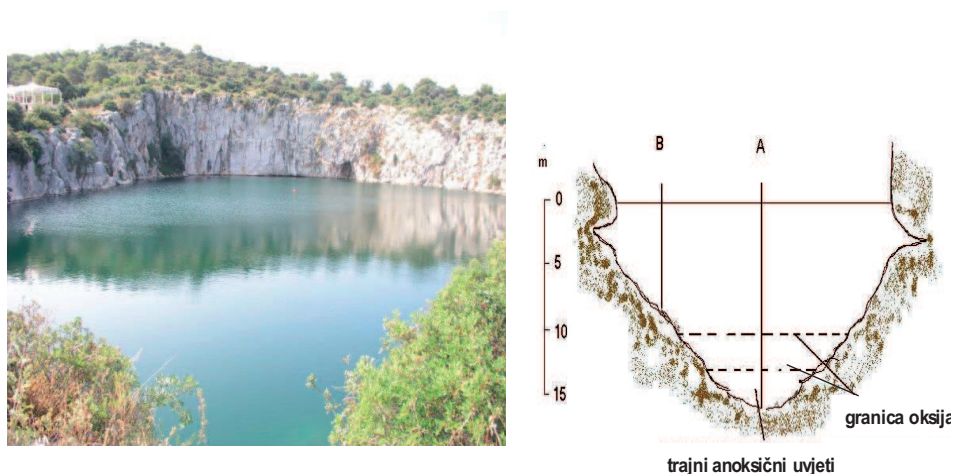
U znanosti, ali i u društvu sve više jača svijest o važnosti tzv. malih vodenih sustava (jezera, bare, potoci, izvori, kanali) u smislu njihove zastupljenosti, važnosti za bioraznolikost, uloge u vodoopskrbi te njihove osjetljivosti uslijed antropogenih poremećaja te klimatskih promjena (Biggs i drugi, 2017). Mali vodeni sustavi (površine od 1 m² do 2-5 ha) općenito spadaju u najbrojnija slatkovodna okruženja, te su važni za praćenje bioraznolikosti, a imaju i sve veću ulogu u smislu iskorištavanja (eng. *ecosystem service delivery*) (Biggs i drugi, 2017). Takvi sustavi često predstavljaju najbolje primjere preostalih netaknutih i još uvijek nezagađenih staništa, a često su i utočište za vrste koje su nestale iz većih, degradiranih vodenih ekosustava. Istovremeno, to su sustavi u kojima promjene u okolišu mogu imati i nekoliko puta veće efekte u odnosu na velike vodene sustave. Stoga mali vodeni sustavi predstavljaju idealne prirodne laboratorije za praćenje promjena u okolišu, pogotovo ako su predmet dugoročnih istraživanja. Rogozničko jezero je jedan od takvih posebnih sustava na jadranskoj obali, čiji se ekosustav sustavno i multidisciplinarno istražuje od 1992. godine u okviru različitih znanstveno-istraživačkih i prirodno-znanstvenih projekata. U ovom radu sumirano je dugogodišnje istraživanje dinamike fizičko-kemijskih parametara: temperature, koncentracije sulfida i amonijaka u anoksičnom vodenom sloju Rogozničkog jezera (RJ) te je istaknuto značenje postignuća. Dugoročno praćenje danas je vrlo važno za ozbiljne rasprave i zaključke koji se posebno odnose na klimatske i antropogene utjecaje (American Chemical Society meeting, Washington DC, SAD, 2017.). Neki od aktualnih ekoloških problema ne bi bili prepoznati bez dugoročnih studija (Schlesinger, 2017.). Nadalje, mnogi problemi u okolišu uzrokovani su sporim promjenama koje nisu lako uočljive. Često postoji izražena varijabilnost pojedinih fizičko-kemijskih i bioloških parametara na tjednoj, mjesečnoj i godišnjoj skali, ali se samo dugoročnim praćenjem može pokazati trend uočenih varijacija (Schlesinger, 2017.). U okolišu se mogu pokazati neposredni prirodni ili antropogeni učinci na ekosustave i organizme, ali su potrebni i zapisi-mjerenja (kratkoročni-dugoročni) koji će pokazati stanje i trendove, te koncentracije potencijalnih onečišćivala u danom trenutku.

Dugoročna istraživanja nisu omiljena od strane financijera jer nisu jeftina, protežu se kroz nekoliko višegodišnjih projekata te su suprotna današnjem fokusu na neposrednim

otkrićima. Izuzetno je važno istaknuti da samo dugoročne studije mogu predstavljati vjerodostojnu bazu za vrednovanje i kreiranje zakonodavstva usmjerenog na kontrolu kvalitete okoliša, onečišćenja i praćenje te potencijalnu predikciju klimatskih promjena (Schlesinger, 2017.).

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Rogozničko jezero u narodu poznato kao Zmajevo oko, jedinstveni je morski okoliš (površina 10.276 m², duljina 143 m, dubina 15 m), s euksinskim (anoksični vodeni sloj obogaćen sulfidom) i eutrofnim karakteristikama (Slika 1) (Ciglenčki i sur., 2015., 2017. i reference unutar). Smješteno je na poluotoku Gradina na istočnoj obali Jadranskog mora (43 ° 32' N, 15 ° 58' E) u blizini mjesta Rogoznica. Osnovne fizičko-kemijske, mikrobiološke i biogeokemijske karakteristike vodenog stupca i sedimenta u jezeru, opisane su u brojnim publikacijama (Ciglenčki i drugi, 2015., 2017. i reference unutar; Marguš i drugi, 2015.; Čanković i drugi, 2017.).



Slika 1. Rogozničko jezero (panoramski snimak) i vertikalni profil jezera s označenim točkama uzorkovanja u anoksičnom (A) i oksičnom vodenom stupcu (B). Anoksični vodeni sloj obogaćen je sulfidom u koncentracijama do 5 mM, kao i amonijakom u koncentracijama do 350 uM.

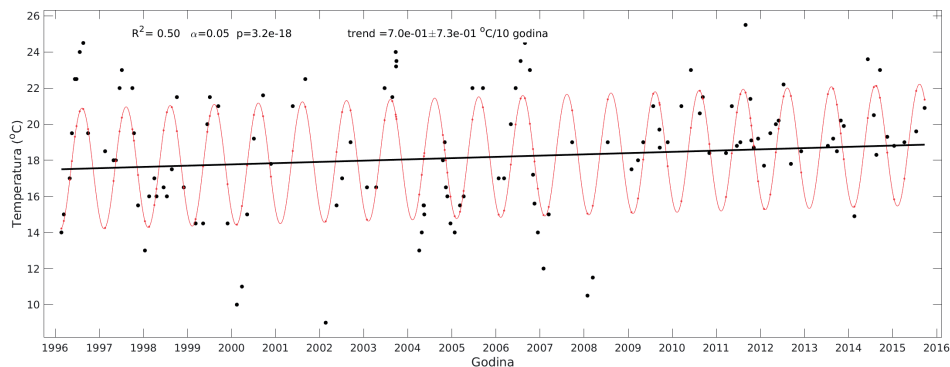
3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Dugoročni podaci temperature, koncentracije sulfida i amonijaka prikupljeni su uzorkovanjem vodenog stupca jezera na lokaciji A (Slika 1) pomoću 5 litarskog Niskinovog crpca u mjesečnim i sezonskim intervalima kao što je već prethodno opisano (Ciglenčki i drugi, 2015., 2017. i reference unutar). Temperatura je mjerena Hg termometrom i CTD sondom (HQ40d Portable Meter, HACH, USA) *in situ*, u sredini jezera. Prilikom uzorkovanja posebna pažnja posvetila se očuvanju anoksičnih uvjeta u prikupljenim uzorcima. Elektroanalitičke voltometrijske metode korištene su za

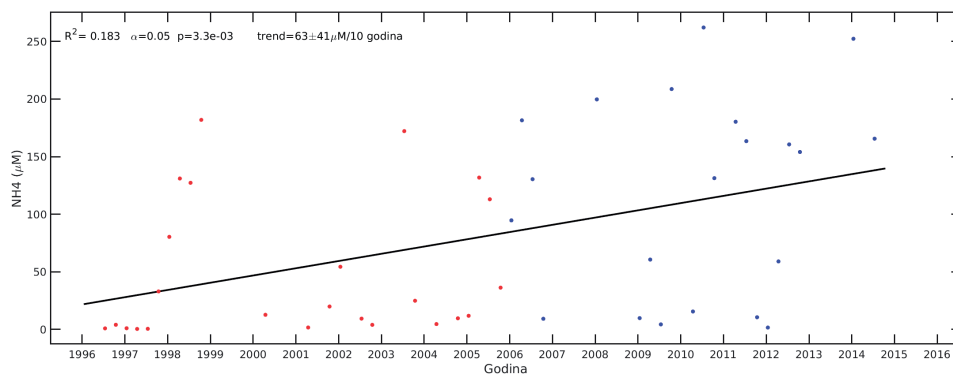
određivanje sulfida (Bura-Nakić i drugi, 2010) dok je amonijak određivan standardnom metodom po Stricklandu (1972). Kako bi se utvrdili dugoročni trendovi u temperaturi, koncentraciji sulfida i amonijaka u pridnenom vodenom sloju (12 m dubine), korištena je metoda linearne regresije koja se sastojala od izračuna linearnog trenda u vremenu zajedno sa sezonskim ciklusima (sezonski ciklus korišten je samo u slučaju temperature).

4. REZULTATI I RASPRAVA

Rogozničko jezero je vrlo pogodno za istraživanje procesa koji kontroliraju biogeokemiju obalnih područja - potencijalno hipoksično/anoksičnih sredina. Stratifikacija i miješanje vodenog stupca u jezeru direktno su pod utjecajem atmosferskih prilika tj. odnosa između količine oborina i isparavanja, protoka topline, kao i učestalosti ekstremnih vremenskih događaja koji su direktna posljedica okolišnih/klimatskih promjena (Ciglencečki i drugi, 2015.). Takve ekstremne vremenske prilike imaju značajan utjecaj na biogeokemiju i interakcije u hranidbenom lancu RJ. Zbog svog malog volumena i fizički stabilne stratifikacije,



Slika 2. Dugoročni podaci i trend temperature za pridneni vodeni sloj Rogozničkog jezera (12 m dubine)



Slika 3. Dugoročni podaci koncentracije sulfida (gore) i amonijaka (dolje) u pridnenom vodenom sloju Rogozničkog jezera (12m dubine)

RJ omogućuje istraživanja varijabilnosti na maloj prostornoj i finoj vremenskoj skali, kao i istraživanja dugoročnih procesa. Integracija dugoročnih podataka (od 1996. do danas) fizikalno-kemijskih parametara: temperature, koncentracije sulfida i amonijaka kao glavnih indikatora anoksičnih redoks uvjeta, pokazuje kako RJ, uz svoje meromiktičke i holomiktičke karakteristike, može potencijalno služiti i kao laboratorij za praćenje okolišnih/klimatskih promjena. Naime, dugoročno praćenje anoksičnog pridnenog sloja na 12 m dubine u RJ, u vremenskom razdoblju od 1996. do 2016. godine ukazuje na trend porasta temperature (Slika 2) te porast koncentracije sulfida i amonijaka (Slika 3). Modelom linearne regresije ($r^2 = 0.50$, 95 % pouzdanosti i $p = 3.2 \times 10^{-18}$) utvrđen je porast temperature od $0.7 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.7$ u 10 godina (Slika 2), odnosno sulfida (Slika 3, gore) od $0.6 \text{ mM} \pm 0.2 \text{ mM}$ u 10 godina ($r^2 = 0.32$, 95 % pouzdanosti i $p = 1.3 \times 10^{-6}$) te amonijaka (Slika 3) od $63 \pm 41 \text{ } \mu\text{M}$ u 10 godina ($r^2 = 0.18$, 95 % pouzdanosti, $p = 3.3 \times 10^{-3}$). Uočeni trendovi porasta još su izraženiji i statistički značajni za period od zadnjih 10 godina (2006. – 2016.), kada porast sulfida iznosi $1.2 \pm 0.8 \text{ mM}$ ($r^2 = 0.21$, 95 % pouzdanosti, $p = 5.8 \times 10^{-3}$; plave točke na grafu sulfida). Potvrđene promjene u vodenom stupcu jezera u skladu su s predikcijama globalnih promjena i širenja hipoksičnih okoliša (Noon i drugi, 2013). Promjene uočene u RJ u skladu su i s opaženim promjenama u Jadranu, poput promjene varijabilnosti površinske temperature (Grbec i drugi, 2018.), promjene u prostorno-vremenskoj reproducibilnosti mikrobne hranidbene mreže (Šolić i drugi, 2018.), te promjene u termohalinoj cirkulaciji (Vilibić i drugi, 2013., 2019.). S druge strane, proučavanje biološke kao i mikrobiološke raznolikosti u RJ koja kontrolira biogeokemijsko kruženje i specijaciju sumpora u holomiktičnim i stratifikacijskim uvjetima ukazuje na promjenu populacija ovisno o fizičko-kemijskim i redoks uvjetima koji prevladavaju u vodenom stupcu jezera (Kršinić i drugi, 2000.; Ciglenečki i drugi, 2015.; Pjevac i drugi, 2015.; Čanković i drugi, 2017.; Čanković 2018.). Ekstremni okoliš RJ značajno utječe na ekološku i metaboličku raznolikost (interakcije u hranidbenom lancu) oslanjajući se uglavnom na dominantne vrste od kojih bi neke vrlo lako mogle biti izgubljene kao rezultat promjena u okolišu (Ciglenečki i drugi, 2015.; Čanković 2018.). Sukcesija planktonskih i bakterijskih zajednica u RJ uvjetovana je promjenom redoks uvjeta unutar samog vodenog stupca (Ciglenečki i drugi, 2015.; Čanković i drugi 2017.; Čanković 2018.). Većina mikrobnih zajednica u pridnenom, anoksičnom sloju jezera tijekom stratifikacije ne može se taksonomski detaljno odrediti, što ukazuje na postojanje novih vrsta o čijim se morfološkim i fiziološkim značajkama za sada malo zna, ali isto tako ukazuje na to da ovakvi okolišni sustavi još uvijek nisu dovoljno istraženi. Odsustvo nekih bitnih mikroorganizama (npr. nitrificirajućih i denitrificirajućih bakterija) indikator je gubitka pojedinih metaboličkih puteva, vjerojatno uslijed razvoja iznimno specijaliziranih svojti, što u konačnici okoliš RJ čini jedinstvenim, ali u isto vrijeme i vrlo osjetljivim (Čanković, 2018.). Ustanovljene dugoročne promjene poput zagrijavanja vodenog stupca, te akumulacije sulfida i amonijaka svakako utječu na stabilnost vodenog stupca, a posljedično i na kruženje hranjivih tvari te primarnu produkciju odnosno na metaboličke i mikrobiološke procese. S obzirom da u obalnom morskom pojasu raste pojavnost hipoksičnih i anoksičnih sredina (Diaz i drugi, 2010.) praćenje funkcioniranja ekosustava sličnih RJ, važno je u predviđanju budućih globalnih promjena. Obalna područja, kao najnaseljeniji dio Mediterana, EU i svijeta općenito, pod povećanim su antropogenim pritiskom koji dovodi do eutrofikacije. Danas, fenomeni povezani s

eutrofikacijom, usko su povezani s okolišnim, odnosno klimatskim promjenama koje, da bi se potvrdile, moraju biti praćene na dužoj vremenskoj skali.

ZAKLJUČAK

Dugoročna mjerenja i skupovi podataka pružaju jedinstven uvid na složenu dinamiku biogeokemijskih i fizičkih procesa u različitim ekosustavima koji mogu biti značajno modificirani antropogenim pritiscima i klimatskim promjenama. Za praćenje takvih procesa, multidisciplinarna istraživanja, koja uključuju suradnju između različitih komplementarnih istraživačkih grupa, od iznimnog su značaja.

Podaci prikupljeni tijekom dugih vremenskih intervala pokazuju kako interakcija i ravnoteža između fizičkih, kemijskih, i bioloških procesa utječe na vremensku i prostornu raspodjelu kemijskih i bioloških vrsta, odnosno funkcioniranje ekosustava općenito. Takvi podaci omogućuju detaljna i točna objašnjenja i razumijevanje procesa u ekosustavu, te pružaju uvid u pojave koje nisu vidljive u kraćim vremenskim okvirima. Stoga, dugoročna istraživanja predstavljaju idealnu bazu za vrednovanje i kreiranje zakonodavstva usmjerenog na kontrolu kvalitete okoliša i onečišćenja te praćenje i predikciju klimatskih promjena.

Mali i izolirani vodeni sustavi poput jezera (morskih i slatkovodnih) izuzetno su osjetljivi na klimatske promjene i antropogene utjecaje, te mogu predstavljati dobre modele za proučavanje uzroka i posljedica koje u kritičnim slučajevima dovode do eutrofikacijskih procesa uz razvoj hipoksično-anoksičnih stanja. Kao idealan primjer za praćenje takvih procesa na jadranskoj obali može se istaknuti jedinstveni morski okoliš Rogozničkog jezera.

ZAHVALA

Integracija dugoročnih podataka omogućena je potporom projekata Hrvatske zaklade za znanost IP-11-2013-1205, SPHERE i IP-2018-01-1717, MARRES. Autori se zahvaljuju E. B.-N. za uzorkovanje i analize sulfida u periodu od 2005.-2011., te grupi iz Instituta za more i priobalje iz Dubrovnika za analize amonijaka.

LITERATURA

- [1] Biggs, J, Fumetti, S, Kelly-Quinn, M, (2017) *The importance of small waterbodies for biodiversity and ecosystem services: implications for policy makers*. Hydrobiologia, 793, 3–39.
- [2] Bura-Nakić, E, Helz, G.R, Ciglenečki, I, Čosović, B, (2009): *Seasonal variations in reduced sulfur species in a stratified seawater lake (Rogoznica Lake, Croatia): evidence for organic carriers of reactive sulfur*. Geochimica et Cosmochimica Acta. 73, 3738-3751.
- [3] Ciglenečki, I, Janeković, I, Marguš, M, Bura-Nakić, E, Carić, M, Ljubešić, Z, Batistić, M, Hrustić, E, Dupčić, I, Garić, R, (2015). *Impacts of extreme weather events on highly eutrophic marine ecosystem (Rogoznica. Lake, Adriatic coast)*. Continental Shelf Research, 108, 144-155.

- [4] Ciglenečki, I, Ljubešić, Z., Janeković, I, Batistić, M, (2017) *Rogoznica Lake, a Euxinic Marine Lake on the Adriatic Coast (Croatia) that Fluctuates Between Anoxic Holomictic and Meromictic Conditions*, Ecology of Meromictic Lakes (Zadereev, E.S, Bohrer, B, Gulati, R.D) Springer, pp. 125-154.
- [5] Diaz, R, Selman, M, Chique, C, (2010) *Eutrophication and hypoxia: nutrient pollution in coastal waters*, <http://www-wri.org/project/eutrophication>.
- [6] Čanković, M, Petrić, I, Marguš, M, Ciglenečki, I, (2017) *Spatio-temporal dynamics of sulfate-reducing bacteria in extreme environment of Rogoznica Lake revealed by 16 S rRNA analysis*. Journal of Marine Systems, 172, 14-23.
- [7] Čanković, M, (2018) *Molekularna karakterizacija prokariotskih zajednica u euksinskom okolišu Rogozničkog jezera*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, srpanj 2018.
- [8] Grbec, B, Matic, F, Beg Paklar, G, Morovic, M, Popovic, R, Vilibić, I, (2018) *Long-term trends, variability and extremes of in situ sea surface temperature measured along the eastern adriatic coast and its relationship to hemispheric processes*. Pure Applied Geophysist <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1793-1>
- [9] Kršinić, F, Carić, M, Viličić, D, Ciglenečki, I, (2000) *The calanoid copepod *Acartia italica* Steuer, phenomenon in the small saline Lake Rogoznica (Eastern Adriatic coast)*. Journal of Plankton Research. 22, 1441-1464.
- [10] Marguš, M, Morales-Reyes, I, Bura-Nakić, E., Batina, N., Ciglenečki, I, (2015) *The anoxic stress conditions explored at the nanoscale by Atomic Force Microscopy in highly eutrophic and sulfidic marine lake*. Continental shelf research 109, 24-34.
- [11] Noon, K.J, Sumaila, U.R, Diaz, R.J, (2013) *Managing ocean environments in a changing climate*, Elsevier, San Diego, USA.
- [12] Pjevac, P, Korlević, M, Berg, J, S, Bura-Nakić, E, Ciglenečki, I, Amann, R, Orlić, S, (2015) *Community Shift from Phototrophic to Chemotrophic Sulfide Oxidation following Anoxic Holomixis in a Stratified Seawater Lake*. Applied Environmental Microbiology, 81, 298-308.
- [13] Schlesinger, W, (2017) *Long-term Study*, Citizen Scientist.
- [14] Strickland J D H, Parsons, T R (1972): *A practical handbook of seawater analysis*. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 167, 1-310
- [15] Šolić, M, Grbec, B, Matic, F, Šantić, D, Šestanović, S, Gladan, Z. N, Bojanić, N, Ordulj, M, Jozić, S, Vrdoljak, A, (2018) *Spatio-temporal reproducibility of the microbial food web structure associated with the change in temperature: Long-term observations in the Adriatic Sea*. Progres in Oceanography, 161, 87-101.
- [16] Vilibić, I, Šepić, J, Proust, N, (2013). *Weakening of thermohaline circulation in the Adriatic Sea*. Climate Research, 55, 217-225.
- [17] Vilibić, I, Zemunik, P, Šepić, J, Dunić, N, Marzouk, O, Mihanović, H, Denamiel, C, Precali, R, Djakovac, T, (2019) *Present-climate trends and variability in thermohaline properties of the northern Adriatic shelf*. Ocean Sci. Discuss., <https://doi.org/10.5194/os-2019-10>.

AUTORI

Izv. prof.dr. sc. Irena Ciglenečki ^a

dr.sc. Milan Čanković ^a

dr. sc. Marija Marguš ^a

dr.sc. Ivica Janeković ^a,

^a Institut Ruđer Bošković, Zavod za istraživanje mora i okoliša; Bijenička 54, 10002 Zagreb, Hrvatska, irena@irb.hr, mcankov@irb.hr, Marija.Margus@irb.hr, ivica.jan@gmail.com



R 4.04.

PLAN UPRAVLJANJA VODNIM PODRUČJIMA U PRAKSI - INFORMACIJE O VODNIM TIJELIMA I RIZICIMA OD POPLAVA

Marina Barbalić, Darko Barbalić, Đorđa Medić, Danko Biondić

SAŽETAK: Podaci iz Plana upravljanja vodnim područjima (NN 66/16) sve više se koriste u svakodnevnoj praksi upravljanja vodama. Hrvatske vode prema Zakonu o pravu na pristup informacijama (NN 25/13 i 85/15) dostavljaju podatke iz Plana upravljanja vodnim područjima svim zainteresiranim. Podaci o karakteristikama i stanju vodnih tijela kao i opasnostima i rizicima od poplava koriste se za potrebe procjene utjecaja novih zahvata na okoliš, ali i za niz drugih potreba. U radu je dan sistematiziran pregled: isporučenih podataka, sadržaj informacija te mogućih unapređenja sustava interpretacije podataka koji se dostavljaju za različite potrebe.

KLJUČNE RIJEČI: Okvirna direktiva o vodama, članak 4.7, vodna tijela, rizik od poplava

RIVER BASIN MANAGEMENT PLAN IN PRACTICE - INFORMATION ON WATER BODIES AND FLOOD RISKS

ABSTRACT: Data from the River Basin Management Plan (OG 66/16) is increasingly used in everyday water management practices. According to the Act on the Right of Access to Information (OG 25/13 and 85/15), Hrvatske vode provide data from the River Basin Management Plan to all interested parties. Data on the characteristics and status of water bodies as well as on flood hazards and risks is used for assessing the impact of new interventions on the environment and a variety of other needs. The paper provides a systematic overview of the delivered data, content of information and possible improvements of the system for interpreting data delivered for different purposes.

KEYWORDS: water Framework Directive, Article 4.7, water status, flood risks

1. UVOD

Pristupanjem Europskoj uniji i prihvaćanjem europskog okvira upravljanja vodama i upravljanja poplavnim rizicima, postepeno se u vodnogospodarsku praksu uvodi niz pratećih postupaka koje se tim okvirom zahtijevaju. Postizanje ciljeva zaštite voda odnos-

no vodnog okoliša, kao i rizik da oni neće biti postignuti na kraju planskog razdoblja je postao jedan od značajnijih indikatora u upravljanju vodama a zasniva se na poznavanju stanja vodnih tijela. Posljedično, stanje vodnih tijela, proglašeno u Planu upravljanja vodnim područjima postaje predmet zanimanja sve većeg broja zainteresiranih.

Tako, osim za potrebe raznih istraživanja, znanstvenih pregleda, studija i slično, Zakonom o vodama, prema zahtjevu Direktive 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike izmijenjena i dopunjena (u tekstu Okvirna direktiva o vodama), za sve nove zahvate i aktivnosti u okolišu koji mogu narušiti dobro stanje voda i time dovesti u pitanje ispunjavanje ciljeva zaštite voda odnosno vodnog okoliša, zahtjeva se provesti odgovarajuću analizu utjecaja zahvata na stanje voda. Znači, ukoliko se za aktivnost ili zahvat u prostoru zahtjeva provedba procjene utjecaja na okoliš, onda je postupak utvrđivanja njegovog utjecaja na stanje voda (postizanje ciljeva zaštite voda) uključen u samu procjenu i to kao posebno obrađeno poglavlje. Ako je zahvat ili aktivnost ispod praga značajnosti koji zahtjeva procjenu utjecaja na okoliš (određen Uredbom o procjeni utjecaja zahvata na okoliš, Narodne novine, br. 61/14 i 3/17), istovrsna analiza se provodi u sklopu izdavanja vodopravnih akata, a ukoliko analiza pokaže da će zahvat ili aktivnost pogoršati stanje voda, pokreće se daljnji postupak kojim se zahvat eventualno može odobriti uz ispunjavanje dodatnih uvjeta.

Jednako tome i vodnogospodarsko planiranje je postalo kompleksnije. Tako Okvirna direktiva o vodama zahtjeva da se u Planu upravljanja vodnim područjima prikažu i obrazlože svi novonastali zahvati i aktivnosti u prostoru za koje je dokazano da utječu na stanje vodnih tijela, procijeni stanje vodnih tijela na kraju planskog razdoblja, a budući razvoj uključi u određivanje područja potencijalno značajnog rizika od poplava i slično. Poseban dodatni problem koji se javlja je vezan uz pitanje procjene kumulativnog efekta odnosno kumulativnog utjecaja više zahvata u prostoru na stanje voda. Naime, često se događa da više projekata, koji se pokreću neovisno jedan od drugoga, računaju na isti vodni resurs koji radi njihovih kumulativnih utjecaja postaje preopterećen, odnosno ciljevi zaštite voda i vodnog okoliša (najmanje dobro stanje vodnih tijela) ne mogu biti dostignuti.

Istovremeno, Hrvatska se nalazi pod velikim pritiskom „povlačenja“ europskih sredstava kojima se financiraju razvojni projekti od kojih mnogi mogu bitno utjecati na stanje voda, čije održanje je imperativ.

2. SUSTAV ZA DISTRIBUCIJU INFORMACIJA

Osnovne informacije o stanju vodnog tijela kao osnovne podloge za procjenu utjecaja određene aktivnosti ili zahvata u prostoru na stanje voda su sistematizirane u obrascu Izvadak iz registra vodnih tijela. Kako bi se zadovoljile različite potrebe, a naročito zbog:

- velikog broja zahtjeva za izvatom iz registra vodnih tijela i informacijama o rizicima od poplava koji su počeli pristizati,
- potrebe da se velika količina informacija pruži u jasnoj i razumljivoj formi, uz dodatna pojašnjenja,
- potrebe da se upiti sistematiziraju kako bi se mogli koristiti za planske aktivnosti,
- potrebe da se omogući praćenje podataka koji postaju dio upravnog postupka kroz

studije utjecaja na okoliš i vodopravne akte,

- potrebe da se u većini slučajeva informacije izdaju u vrlo kratkom roku,

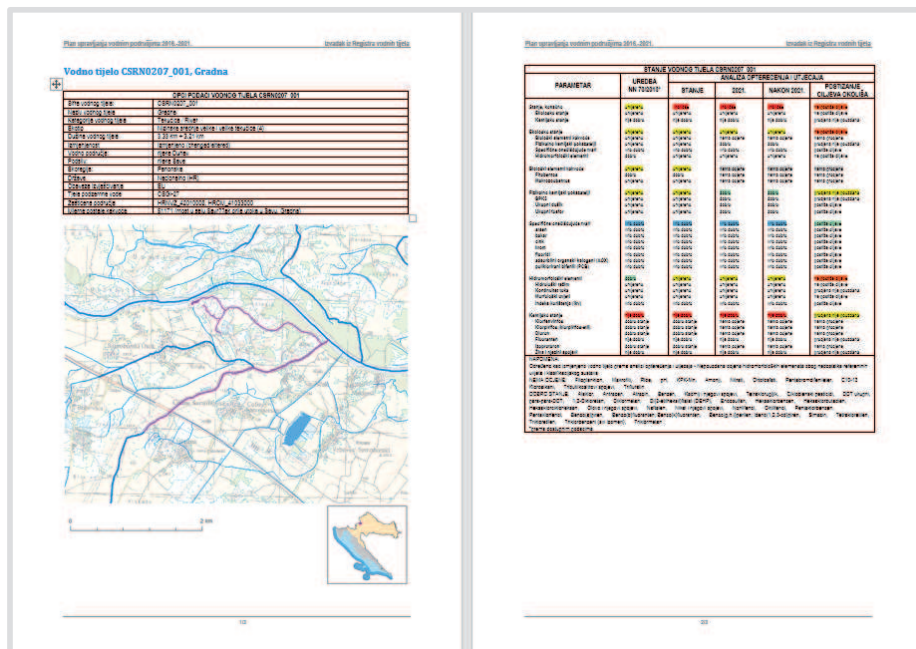
postalo je očigledno da je potrebno uspostaviti sustav, kojim bi se riješili navedeni izazovi, a naročito stoga što se sve aktivnosti pružanja informacija zainteresiranim provode u sklopu standardnih aktivnosti i vrlo ograničenih kapaciteta Sektora razvitka i Zavoda za vodno gospodarstvo u Hrvatskim vodama. Kako se ne bi uspostavljali dodatni kanali komunikacije, a pojednostavili administrativni postupci te olakšao pristup podnositeljima zahtjeva i odgovaranje na zahtjev u zakonskom roku, korisnici kojima je potrebna informacija zahtjeve dostavljaju službeniku za davanje informacija sukladno Zakonu o pravu na pristup informacijama, najčešće elektroničkom poštom. Većina podnositelja zahtjeva, iako to nije obavezno, navodi razlog zbog kojeg traži pristup informaciji odnosno namjenu korištenja informacije. Ukoliko je riječ o informacijama potrebnim za izradu procjene prihvatljivosti zahvata na stanje vodnog tijela, tada je u većini slučajeva, dostupna informacija o nositelju zahvata. Lokacija se najčešće dostavlja kao već pripremljen obuhvat zahvata u nekom od CAD ili GIS formata, u prilogu elektroničke pošte. Istim zahtjevom se traže i ostali podaci (hidrološki podaci, rezultati analiza sa mjernih postaja i dr.) sukladno Zakonu o pravu na pristup informacijama. Pripremljeni podaci se stranci dostavljaju elektroničkom poštom. Podneseni zahtjevi upisuju se u Upisnik o zahtjevima, postupcima i odlukama o ostvarivanju prava na pristup informacijama i ponovnu uporabu informacija (Upisnik). Povjereniku za informiranje pri Uredu povjerenika za informiranje dostavlja se izvješće o provedbi Zakona o pravu na pristup informacijama, koje on podnosi Hrvatskom saboru.

3. INFORMACIJE

Informacije koje se pružaju strankama su u već pred definiranim oblicima i formatima koji omogućavaju lakše razumijevanje i korištenje. Tako Izvadak iz registra vodnih tijela sadrži:

- administrativne informacije (šifra, naziv, vodno područje, podsliv, država te obavezu izvještavanja),
- karakteristike (kategorija, ekoregija, ekotip, izmijenjenost, veličina (dužina za tekućice odnosno površina za stajačice),
- pripadajuća zaštićena područja, tijela podzemne vode te mjerne postaje kakvoće,
- stanje vodnog tijela prema svim indikatorima (biološkim, fizikalno kemijskim, hidromorfološkim, specifičnim onečišćujućim tvarima, kemijskim):
 - Stanje prema monitoringu u trenutku izrade plana (agregirano na dva načina, s obzirom da biološki monitoring nije proveden u potpunosti),
 - Procijenjeno stanje na kraju planskog ciklusa odnosno 2021. godine, te procijenjeno stanje nakon potpune implementacije osnovnih mjera,
- procijenjeni rizik nepostizanja dobrog stanja na kraju planskog ciklusa,
- preglednu kartu vodnog tijela,
- ostale prateće informacije.

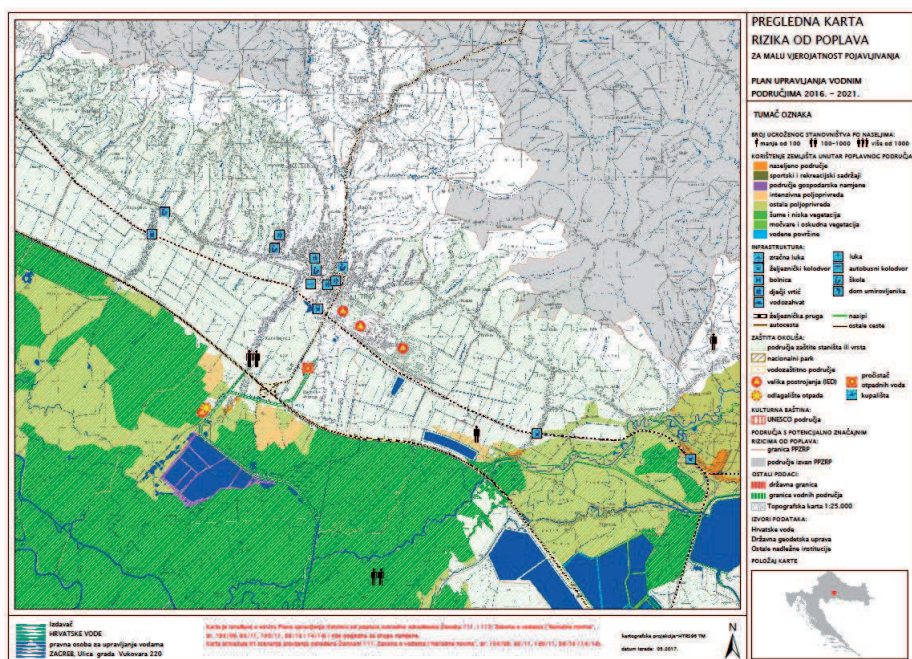
S obzirom na količinu informacija, podaci su sistematizirani u „pdf“ dokumentu koji prate prostorni podaci o položaju vodnih tijela.



Slika 1. Prikaz informacija o stanju jednog vodnog tijela u pdf formatu

Informacije o opasnosti i rizicima od poplava sadrže

- Prostorne podatke o:
 - Područjima potencijalno značajnih rizika od poplava,
 - Opasnosti od poplava (3 scenarija),
 - Rizicima od poplava (3 scenarija),
- Pregledne karte o opasnostima i rizicima od poplava u „pdf“ formatu,
- Prateće informacije o podacima.



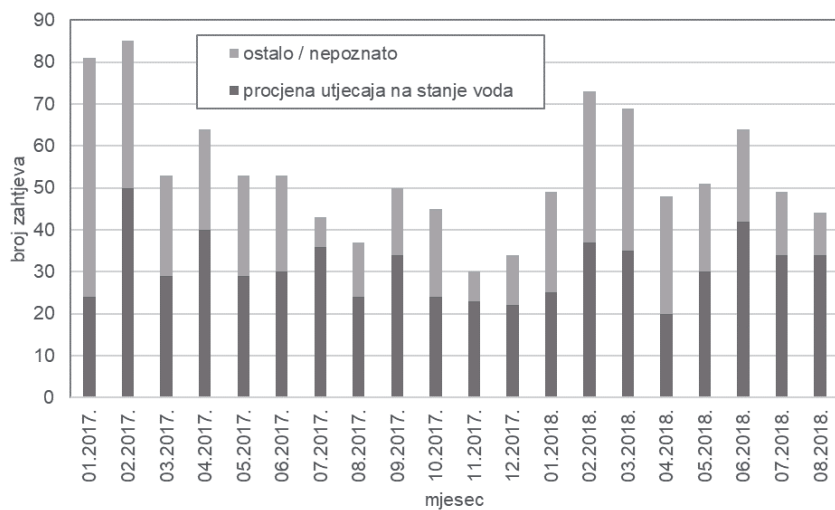
Slika 2. Pregledna karta rizika od poplava u pdf formatu

Prema potrebi, navedene podatke prate dodatna pojašnjenja, upute, tumačenja te ostale informacije zatražene u zahtjevu.

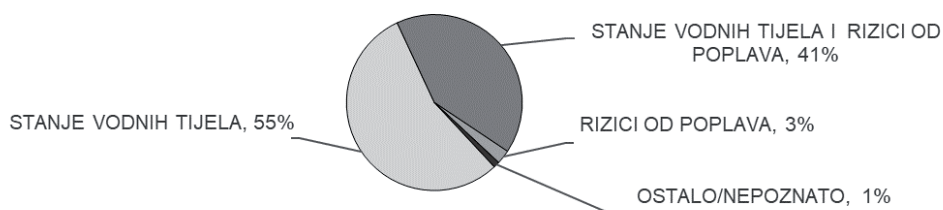
4. PROVEDENE AKTIVNOSTI

Kada se sistematiziraju aktivnosti na izdavanju informacija može se zaključiti da je u razdoblju od siječnja 2017. godine do kraja kolovoza 2018. godine zaprimljeno ukupno 1075 zahtjeva (u prosjeku 53 mjesečno), od čega 622 (u prosjeku 31 mjesečno) vezanih za izradu elaborata zaštite okoliša za ocjenu o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš (Slika 3).

Od zahtjeva vezanih za potrebe izrade elaborata zaštite okoliša za ocjenu o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš, u većini slučajeva se traži informacija o stanju vodnih tijela (96 %), dok se podaci o rizicima od poplava zahtijevaju u nešto manje od pola (46 %) zahtjeva.

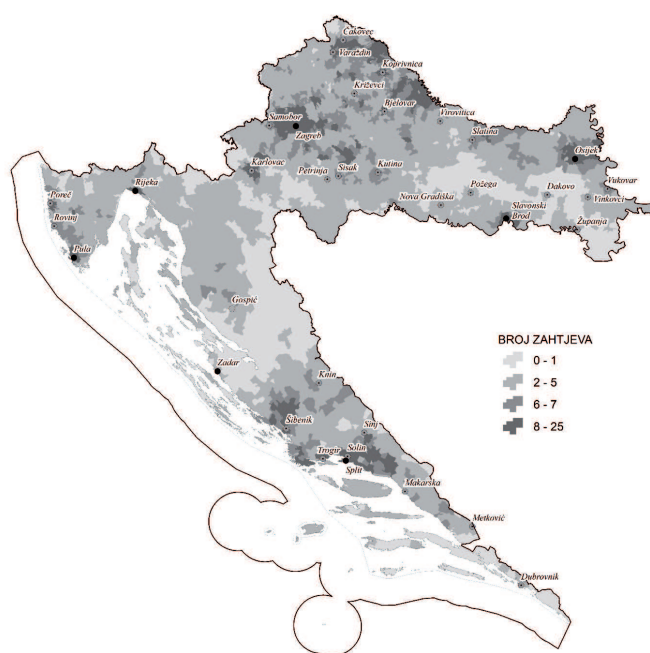


Slika 3. Dinamika pristizanja i obrade zahtjeva



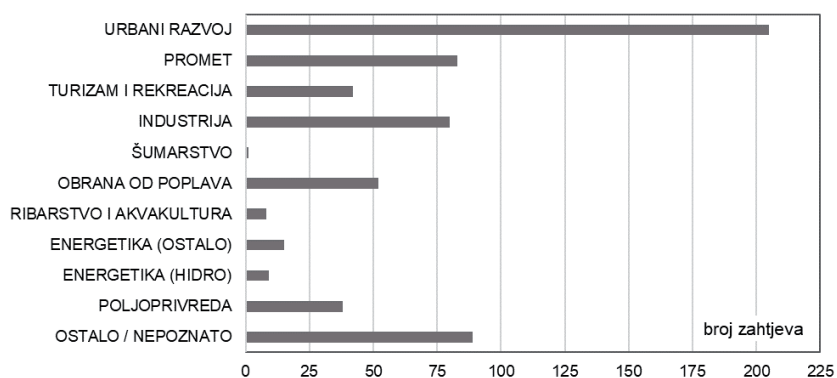
Slika 4. Informacije koje se zahtijevaju za potrebe elaborata zaštite okoliša

Ukoliko se promatra prostorna raspodjela, očigledno je da se najviše zahtjeva odnosi na velike gradove ili njima susjedna naselja, Zagreb (25 zahtjeva), Karlovac (15), Solin (14), Sesvete, Slavonski Brod, Split, Zaprešić, Strahoninec, Dugopolje, Ježdovec (13).



Slika 5. Prostorna raspodjela lokacija

Ukoliko se promatra sistematizacija zahtjeva prema pokretačima aktivnosti za koje su upućeni zahtjevi, u većini slučajeva to je urbani razvoj koji uključuje sustave javne vodoopskrbe i /ili odvodnje, odlagališta otpada te gospodarske građevine, a slijede ga promet te industrija.



Slika 6. Pokretači aktivnosti

Više od polovine zaprimljenih zahtjeva vezanih za urbani razvoj, odnosno jedna šestina odnosi se na razvoj sustava javne vodoopskrbe i/ili odvodnje što ukazuje na velike napore koji se ulažu u dostizanje ciljeva Direktive Vijeća 91/271/EZ od 21. svibnja 1991. o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (SL L 135, 30.5.991.) dopunjena, Direktive Vijeća 98/83/EZ od 3. studenoga 1998. o kakvoći vode namijenjenoj za ljudsku potrošnju (SL L 330, 5.12.1998) i Okvirne direktive o vodama.

ZAKLJUČAK

Prikazani sustav je, na tehničkoj razini, korištenjem uglavnom postojećih administrativnih postupaka, uspio postaviti temelje za potpunu primjenu okvira koji bi adresirao buduće razvojne projekte u kontekstu upravljanja vodama. Pristup i alat su predstavljeni na nivou Europske unije na sastancima tehničkih radnih grupa i radionicama kao primjeri prakse i inicijativa država članica, što pozitivno utječe na percepciju Hrvatske kao članice koja aktivno pristupa izazovima i nudi rješenja za njih, koja mogu biti inspirativna i za druge. Također, prikazane sistematizirane informacije dobivene iz sustava su iskorištene i kao podloga za prvi planski dokument – Prethodnu procjenu rizika od poplava 2018. godine.

Do uspostave potpunog sustava potrebno je poduzeti još niz tehničkih poboljšanja koje je moguće postići u konsekvativnim koracima, kao što su:

- U Izvadcima iz registra vodnih tijela, prikazati program mjera vezanih za pojedino vodno tijelo, za što je potrebno prethodno definirati točne prostorne obuhvate svake od mjera koje su u nadležnosti pojedinih dionika a definirani su opisno pa nije moguća njihova računalna interpretacija,
- U Izvadcima iz registra vodnih tijela, pružiti informacije o ostalim zahtjevima odnosno informacije o kumulativnim utjecajima više budućih projekata,
- Omogućiti i ostvariti bolju integraciju informacija, odnosno jedinstvenu informaciju o stanju vodnih tijela prema Okvirnoj direktivi o vodama i rizika od poplava prema Direktivi 2007/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima (SL L 288, 6.11.2007.) itd.,
- Proširiti sustav za izdavanje dodatnih informacija o vodnim tijelima specifičnim za prijelazne i priobalne voda te podzemne vode,
- Poboljšati kvalitetu i pouzdanost osnovnih, naročito prostornih podataka.
- Ipak, i nadalje najveći su organizacijski izazovi, kao što su:
 - Ubrzavanje postupka izdavanja informacija,
 - Uspostava sustava praćenje daljnje realizacije projekata, do njihove izgradnje (uporabna dozvola) i uvezivanje u sustav monitoringa njihovog utjecaja,
 - Razvoj metodologija za transparentnije i efikasnije provođenje testova koje zahtjeva članak 4.7 Okvirne direktive o vodama odnosno procjena utjecaja na stanje voda koji bi smanjio subjektivnost procjena i omogućio investitoru da u ranoj fazi razvoja projekta pouzdanije ocjeni mogućnost njegove realizacije,
 - Detaljna razrada pratećeg pravnog odnosno regulatornog okvira,
 - Unapređenje podatkovne osnove i posljedično smanjenje zastupljenosti stručnih procjena.

S obzirom na značaj uspostavljenog sustava za upravljanje vodama u cjelini, za pretpostaviti je da će se sustav i dalje razvijati i dopunjavati.

LITERATURA

- [1] Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. (NN 66/16)
- [2] WFD Reporting Guidance 2016, Final – Version 6.0.6, Document endorsed by EU Water Directors at their meeting in Heraklion on 6 June 2014
- [3] Guidance Document No. 36, Exemptions to the Environmental Objectives according to Article 4(7) - New modifications to the physical characteristics of surface water bodies, alterations to the level of groundwater, or new sustainable human development activities, European Union, 2017
- [4] Prethodna procjena rizika od poplava 2018., Hrvatske vode, Zagreb 2018.

AUTORI

mr.sc Marina Barbalić ^a

dr.sc Darko Barbalić ^a

Đorđa Medić, dipl.ing.kem. ^a

dr.sc Danko Biondić ^a

^a Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, 10000, Republika Hrvatska, marina.barbalic@voda.hr, darko.barbalic@voda.hr, dmedic@voda.hr, danko.biondic@voda.hr



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE NA INVESTICIJSKOM VALU

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

R 4.05.

USLUGE EKOSUSTAVA U INTEGRALNOM UPRAVLJANJU VODAMA

Gorana Ćosić-Flajsig, Ivan Vučković, Barbara Karleuša

SAŽETAK: Okvirna direktiva o vodama Europske unije (u daljnjem tekstu: ODV), donesena 2000. godine, uvela je obvezu integralnog upravljanja vodama riječnog sliva. *Okolišni ciljevi riječnog sliva* u njoj predstavljaju veći izazov od postizanja *najmanje dobrog stanja voda*, planiranog ODV-om i to prvobitno do 2015., trenutno do 2021. godine s tendencijom pomaka do 2027. godine, jer mnoge države članice nisu uspjele ostvariti poboljšanje stanja voda po ciljevima iz ODV-a. Povezivanje ciljeva ODV-a i ciljeva usluga ekosustava radi dobrobiti čovjeka ostvaruje se preko Strategije EU o bioraznolikosti do 2020., čiji je Cilj 2 usmjeren na usluge ekosustava. Zemlje članice se obvezuju do 2020. godine očuvati i unaprijediti ekosustave i njihove usluge kroz uspostavu zelene infrastrukture, te obnoviti najmanje 15 % degradiranih ekosustava i provesti kartiranje istih. Revizija ODV-a koja se planira izraditi tijekom 2019. godine nudi priliku za fokusiranje na funkcionalnost vodenih ekosustava i položaj u riječnom slivu. Povezivanjem pristupa korištenja usluga ekosustava kao ravnopravne mjere u provedbi ODV-a, moguće je optimizirati set mjera u riječnom slivu. Temeljem raspoloživih znanja i iskustava iz raspoložive literature i hrvatske prakse, u radu će se analizirati postojeći pristupi i predložiti unaprjeđenje primjene usluga ekosustava u integralnom upravljanju vodama kao važan korak ka holističkom upravljanju vodama.

KLJUČNE RIJEČI: integralno upravljanje, Okvirna direktiva o vodama, okolišni ciljevi, riječni sliv, dobro stanje voda, mjere, usluge ekosustava

ECOSYSTEM SERVICES IN INTEGRATED WATER MANAGEMENT

ABSTRACT: The EU Water Framework Directive (hereinafter: WFD), adopted in 2000, introduced the obligation of integrated water management in a river basin. Its environmental objectives for river basins pose a bigger challenge than achieving at least good water status, which was originally planned by 2015, currently by 2021, with a tendency of a 2027 deadline shift since many Member States have failed to achieve improved water status in view of many WFD objectives. Linking WFD objectives and ecosystem services objectives to human benefit is being achieved through the EU Biodiversity Strategy to 2020, whose Target 2 focuses on ecosystem services. Member States are committed to maintain and improve ecosystems and their services by establishing green infrastruc-

ture and restoring at least 15 % of degraded ecosystems, including their mapping, by 2020. The WFD review, which is planned in 2019, offers an opportunity to focus on the functionality of water ecosystems and their position within the river basin. By using ecosystem services as an equitable measure in the WFD implementation, it is possible to optimize a set of measures in the river basin. Based on available knowledge and experience from literature and the Croatian practice as well, the paper will analyse the existing approaches and propose an improvement in the implementation of ecosystem services in integrated water management as an important step to holistic water management.

KEYWORDS: integrated management, Water Framework Directive, environmental objectives, river basin, good water status, measures, ecosystem services

1. UVOD

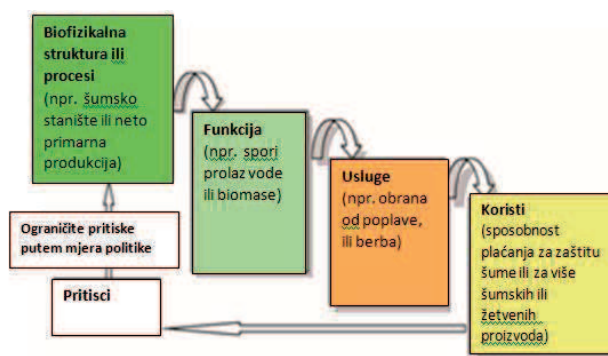
Okvirna direktiva o vodama (2000/60/EC) (u daljnjem tekstu: ODV) temelj je vodne politike Europske unije. *ODV ima za cilj postići najmanje dobro stanje svih voda* (rijeke, jezera, prijelazne, priobalne vode i podzemne vode), zaštititi i unaprijediti vodene ekosustave i promicati održivo korištenje vode diljem Europe (European Commission, 2000). Postoji zabrinutost da se neće postići cilj dobrog stanja voda svih voda vodama EU-a niti do 2027. godine. *Postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva* predstavlja veći izazov od postizanja *dobrog stanja voda*, prvobitno planirano do 2015., a trenutno do 2027. godine. Naime, u procesu postizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva prema ODV-u uloga ekonomije predstavlja ključno mjesto u integralnom upravljanju vodama, i to ukupni troškovi vodnih usluga koji se mogu podijeliti na troškove okoliša, financijske troškove i troškove resursa. Od 2000. godine i formalnog usvajanja ODV-a, različiti događaji su potencijalno utjecali na njezinu provedbu, a neki od ključnih su: a) povećano je prepoznavanje važnosti specifičnih pritisaka, uključujući klimatske promjene i povezane rizike od poplava i suša, invazivne vrste i širok spektar onečišćivača, b) razvijeni su novi pristupi upravljanju vodama koji uključuju usluge ekosustava, c) postavljeni su ciljevi UN-a za održivi razvoj, a mnogi ciljevi su povezani ili utječu na vode, d) razvijene su ostale politike EU-a o bioraznolikosti, obnovljivim izvorima energije i upravljanju poplavama koje utječu na način upravljanja vodama. U kontekstu ovih promjena i predstojeće revizije ODV-a, tijekom 2019. godine očekuje se: (i) procjena prednosti i nedostataka provedbe ODV-a, (ii) inovacije koje nude nove mogućnosti za praćenje i upravljanje vodama, (iii) rješavanje potencijalnih sukoba i sinergija između ODV-a i novih politika, te fokusiranje na funkcionalnost vodnih ekosustava i njihov položaj u riječnom slivu. U radu će se prikazati važnost usluga ekosustava, europska i hrvatska iskustva u korištenju usluga ekosustava, te se daje prijedlog unaprjeđenja primjene usluga ekosustava u integralnom upravljanju vodama. U sklopu rasprave i zaključaka dane su smjernice za daljnje istraživanje u tom području.

2. USLUGE EKOSUSTAVA

U skladu s *Ukupnom ekonomskom vrijednošću ekosustava i inicijativom biološke raznolikosti* (engl.: Total Economic Value of Ecosystems and Biodiversity Initiative, u daljnjem tekstu: TEEB, 2010), usluge ekosustava podrazumijevaju dobrobiti koje ljudi imaju od ekosustava (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), a pri tom uključujući

sve izravne i neizravne doprinose ekosustava i dobrobiti ljudi. Usluge ekosustava (u daljnjem tekstu: UE) mogu se pružiti u četiri glavne kategorije: (i) usluge pružanja hrane, tj. proizvodi dobiveni iz ekosustava, (ii) usluge reguliranja, tj. procesi i funkcije, (iii) usluge staništa i (iv) kulturne usluge. One uključuju korištenje voda za različite namjene kao što je uklanjanje onečišćenja ekosustava mikroorganizmima, zaštitu od poplava korištenjem prirodnih poplavnih područja za ribolov, rekreaciju i turizam.

Definicije funkcija ekosustava i usluge ekosustava razlikuju se u literaturi, a jedna od njih je kapacitet ekosustava potencijalnih koristi za ljude (pružanje dobara i usluga), što se povećava postizanjem dobrog ekološkog stanja voda, dok povećane UE-a (korištenje voda) imaju trend degradacije vodenih ekosustava. Konceptcija UE-a već je usvojena u planovima upravljanja vodama u nekoliko država EU-a, iako se često taj izraz ne spominje izričito, a odnosi se na integraciju sektorskih politika, višestruke koristi UE-a u sklopu predloženih mjera upravljanja vodama i analizi troškova i koristi u vodnoj politici (Vlachopoulou i sur., 2014; Grizzetti i sur., 2016). Druga važna tema je renaturalizacija/rehabilitacija/obnova vodnih tijela i oporavak ekosustava i UE-a. Pristup UE-a i procjene koje su sastavni dio provedbe ODV-a uzimaju u obzir da je dobro ekološko i kemijsko stanje voda preduvjet za normalno funkcioniranje ekosustava, jer veliki dio praćenja ekološkog stanja površinskih voda ODV-a *određuje sastav i strukturu pojedinih bioloških elementa, ali ne i njihovu funkciju*. Dodatna korist primjene UE-a uključuje dobrobit čovjeka i unaprjeđenje njegova života kao važan korak ka holističkom pristupu upravljanja vodama (Vlachopoulou i sur. 2014). Prilikom povezivanja rezultata ODV-a s UE-om, glavna veza se svodi na odnos između ciljeva ODV-a i funkcija ekosustava koje dovode do usluga ekosustava i uspostave ekološkog stanja voda. Prema Slici Vlachopoulou i sur., 2014, poboljšanje stanja voda rezultirat će većim koristima ekosustava, a prisutnost ili nedostatak ekološki netaknutih vodotoka utječe na dostupnost usluga / funkcija ekosustava.



Slika 1. Prikaz biološke strukture prema uslugama ekosustava (prilagođeno prema: Vlachopoulou i sur., 2014)

To znači, da ako ljudski pritisci rezultiraju umjerenim, lošim ili vrlo lošim stanjem voda određenog vodnog tijela, učinak će postati vidljiv kroz odsustvo usluga ekosustava. S druge strane, ako vodno tijelo ispunjava ciljeve ODV-a, te je podložno samo manjim antropogenim pritiscima, potencijalne koristi od daljnjih poboljšanja stanja voda možda

neće biti tako lako uočljive (Vlachopoulou i sur., 2014).

2.1. Europska iskustva

Posljednjih godina, koncepcija UE-a se pojavila kao pristup potpori politikama čiji je cilj održivi razvoj i zaštita biološke raznolikosti i strategija planiranja na više razina. Proces kartiranja i procjene ekosustava i njihovih usluga (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services, u daljnjem tekstu: MAES) pruža jedan primjer razvoja analitičkog okvira UE koji će se primjenjivati u Europskoj uniji (EU) i njegovim državama članicama. Rad MAES-a započeo je 2012. godine s ciljem pružanja potpore državama članicama EU-a u kartiranju i procjeni UE-a unutar nacionalnih granica, jer ne postoji posebna politika EU-a posvećena upravljanju UE-a. Koncepcija UE-a dobila na političkom značaju tijekom posljednjih 15 godina i već je ugrađena u okolišne politike EU-a, kao što su *Strategija bioraznolikosti 2020.* i *Uredba o invazivnim stranim vrstama*. Pregledom i analizom 12 politika EU-a, Bouwma i sur. (2018) su pokazali umjerenu koherentnost između postojećih politika i koncepcije UE-a i da su politike koje pokazuju vrlo visoku koherentnost ograničene na politička područja koja se bave prirodnim ekosustavima, šumarstvom ili poljoprivredom, kao što se vidi u Tablici 1.

Tablica 1. Ključne europske politike okoliša i razina koherentnosti (prilagođeno prema Bouwma i sur., 2018)

Politike	Razina koherencije
Strategija zelene infrastrukture	Vrlo visoka
Strategija biološke raznolikosti	Vrlo visoka
Strategija šumarstva	Vrlo visoka
Sprječavanje i upravljanje unošenjem i širenjem invazivnih stranih vrsta	Vrlo visoka
Okvirna direktiva o morskoj strategiji	Visoka
Zajednička poljoprivredna politika	Visoka
Direktiva o staništima	Srednja
Okvirna direktiva o vodama	Srednja
Urbana strategija	Srednja
Adaptacijska strategija	Srednja
Direktiva o promociji korištenja energije iz obnovljivih izvora	Niska
Trans-europska prometna mreža	Niska

Sektorska priroda politika EU-a, kao i ograničene mogućnosti revizije u bliskoj budućnosti, ukazuju da je poboljšanje koherentnosti moguće ostvariti integracijom koncepcije UE-a u provedbu postojećih politika EU-a na nacionalnoj i regionalnoj razini (Bouwma i sur., 2018).

U radu (Koundouri i sur., 2016), opisuje se metodologija kojoj je cilj postizanje održivog, okolišnog i socio-ekonomskog upravljanja uslugama ekosustava. Ovaj pristup sastoji se od sljedeća tri koraka:

- socio-ekonomska karakterizacija područja riječnog sliva,
- procjena trenutnog povrata troškova korištenja vode i
- utvrđivanje i predlaganje odgovarajućih programa mjera održivog upravljanja vodama u prostoru i vremenu.

Ova metodologija je u skladu s i) ekonomskim načelima usvojenim u ODV-u, ii) pristupom implementaciji ODV-a dokumentu Smjernice br. 1 Ekonomija i okoliš, Implementacijski izazov ODV-a (WFD CIS Guidance Document No. 1, 2003), iii) pristupu uslugama ekosustava za vrednovanje slatkovodnih dobara i usluga za ljude. Konkretnije, ODV zahtijeva primjenu ekonomskih načela, pristupa i instrumenata na razini plana upravljanja riječnim slivom. Prvi korak je provedba ekonomske karakterizacije voda na razini riječnog sliva uključujući procjenu značaja korištenja voda i ekonomskih pokretača koji mogu utjecati na pritiske i stanje voda. Drugi korak je procjena povrata troškova vodnih usluga, a treći ekonomska procjena potencijalnih mjera za uravnoteženje potražnje i opskrbe vodom uz uključivanje dionika u upravljanje riječnim slivom što je sustavniji način određivanja značajnih pritisaka i odabir odgovarajućeg programa mjera unutar integralnog upravljanja vodama riječnog sliva.

2.2. Hrvatska iskustva

Strategija i akcijski plan zaštite prirode Republike Hrvatske za razdoblje od 2017. do 2025. godine (NN 72/17) naglašava važnost vrednovanja i kartiranja usluga ekosustava u svrhu procjene njihovog stanja i poboljšanja. Do sada je na području Republike Hrvatske obavljeno nekoliko studija iz područja usluga ekosustava kao npr. „*Vrednovanje doprinosa ekosustava Nacionalnog parka Sjeverni Velebit i Parka prirode Velebit gospodarskom rastu i boljitku čovjeka*“ (Flores i Ivičić, 2011) i „*Studija o vrednovanju slatkovodnih usluga ekosustava Hrvatske*“ (Pithart i sur., 2014). Prva studija izrađena na nacionalnoj razini pod nazivom „*Kartiranje i procjena ekosustava i njihovih usluga u Hrvatskoj*“ (*Mapping and assessment of ecosystems and their services in Croatia*) donijela je kartu ekosustava Hrvatske. Karta je izrađena na temelju baze zemljišnog pokrova CLC 2012, sukladno predloženoj metodologiji Europske komisije (Maes i sur., 2013, MAES Working Paper, 2013), prema kojoj se pojedinim CLC klasama pridruže odgovarajuće klase EUNIS klasifikacije staništa (EUNIS habitats classification) iz koje se izvedu klase ekosustava. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu je tijekom 2018. godine pokrenula projekt pod nazivom „*Tršćaci – vrednovanje usluga slatkovodnih ekosustava*“, financiran darovnicom Eurostata 2017 kroz modul „*Knowledge innovation project on accounting for ecosystems*“. Cilj projekta je provesti procjenu vrijednosti usluga jednog ekosustava na području Republike Hrvatske u kojoj će naglasak, osim na ekonomske vrijednosti ovog ekosustava, biti na testiranju novih metoda za procjenu vrijednosti ekosustava te na višeslojnoj popularizaciji ovog pristupa u stručnim i znanstvenim istraživanjima u Republici Hrvatskoj.

3. PRIJEDLOG UNAPRJEĐENJA PRIMJENE USLUGA EKOSUSTAVA U INTEGRALNOM UPRAVLJANJU VODAMA

Revizija ODV-a koja se planira izraditi tijekom 2019. godine nudi priliku za fokusiranje na funkcionalnost vodnih ekosustava i položaj u riječnom slivu, kao i njegovim socio-ekonomskim aspektima, te predstavlja priliku da ODV ispuni svoju osnovni namjeru. U radu (Giakoumis i Voulvoulis, 2018) prikazana je veza između okolišnih čimbenika površinskih voda i usluga ekosustava prema ODV-u, koji uključuju kriterije kakvoće voda, povezuje se s kakvoćom okoliša te s uslugama ekosustava i funkcijom ekosustava. Iako se UE-a ne spominju u ODV-u, ona je ipak usredotočena na ekosustav i ima za cilj zaštitu korištenja voda u budućnosti. Razvoj planova upravljanja vodama riječnog sliva mogao bi imati koristi od koncepcije UE-a, uzimajući u obzir multifunkcionalnost vodenog ekosustava i koristi od prirode, opravdavajući troškove zaštite i obnove u sklopu ODV programa mjera. Analiza pritiska i utjecaja važan je proces u integralnom upravljanju riječnim slivom i ključni je proceduralni element ODV-a, no ne daje propisane smjernice putem „ključnih vrsta mjera“ o tome kako bi se trebala provoditi. Iako su u prvom ciklusu planova upravljanja riječnim slivovima uglavnom nedostajale reference na usluge ekosustava, one su se počele pojavljivati u drugom ciklusu (Grizzetti i sur., 2016), Tablica 2.

Tablica 2. Očekivani kvalitativni učinci stresora/pritiska na različite usluge ekosustava (prilagođeno prema Grizzetti i sur., 2016)

Usluge ekosustava		Modifikacija toka	Raspršeno i točkasto onečišćenje	Zaslanjivanje podzemne vode	Erozija	Hidromorfološke promjene	Strane vrste	Prekomjerni izlov
Pružanje usluga	Ribarstvo i akvakulture	●	●	○	●	●	●	●
	Voda za piće	●	●	●	●	●	○	○
	Sirovi (biotički) materijali	●	●	○	●	●	●	●
	Voda koja nije za	●	●	●	●	●	○	○
	Sirovi materijali za energiju	●	●	○	○	●	●	○
Regulacija i održavanje	Pročišćavanje voda	●	●	●	●	●	●	○
	Regulacija kakvoće zraka	●	●	○	○	●	○	○
	Prevenција erozije	●	○	○	○	●	●	○
	Obrana od poplave	●	○	○	○	●	●	○
	Održavanje populacije i staništa	●	●	●	○	●	●	●
	Kontrola štetočina i bolesti	●	●	●	○	●	●	●
	Stvaranje i sastav tla	●	●	○	●	●	○	○
	Uklanjanje CO ₂	●	○	○	●	●	●	○
	Lokalna klimatska regulacija	●	○	○	●	○	○	○
Kulturne	Rekreacija	●	●	○	●	●	●	●
	Lokalno i estetsko uvažavanje	●	●	●	●	●	●	●
	Duhovno i simboličko uvažavanje	●	●	●	●	●	●	●

Legenda: Očekivani utjecaj za svaki pritisak preko usluge ekosustava: ● visoki, ● srednji, ○ niski

U planu upravljanja vodama izrađuje se Program mjera (Programme of Measures, PoM) kako bi se postigla potrebna poboljšanja stanja voda. Cijeli riječni sliv razmatra se i uključuje partnerstvo s drugim sektorima, kao što su poljoprivreda, zaštita od poplava, hidroelektrane, plovidba i ribarstvo, te se uključuju „osnovne mjere” koje su obuhvaćene drugim zakonodavstvom o vodama (Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda, Direktiva o vodi za kupanje, Direktiva o nitratima, Direktiva o pitkoj vodi, Direktiva o staništima).

Korištenje ekonomskih instrumenata, kao što je određivanje cijena vode, također su dio „osnovnih mjera“ u ODV-u. One su praćene „dodatnim mjerama“ (npr. poboljšanje migracije riba, obnova riječnih meandara i funkcija poplavnog područja). Države članice izvijestile su o znatnim kašnjenjima u provedbi planiranih mjera, pa je samo oko 20% osnovnih mjera i 10% dodatnih mjera za hidromorfološke i raspršene pritiske iz ODV-a prijavljeno kao dovršeno do 2015. Procjena usluga ekosustava temelji se na analizi pritiska i utjecaja riječnog sliva, prema tip specifičnoj klasifikaciji vodotoka, te primjeni specifičnih mjera „po mjeri“ riječnog sliva, a ne samo općih, i monitoringa. Primjena općih mjera ponekada je teško primjenjiva jer su mjere općenite, a praćenje učinkovitosti provedbe mjera preko monitoringa voda u Hrvatskoj još nije u potpunosti zaživjela. Povezivanjem navedena dva, naizgled različita, pristupa korištenjem UE-a kao ravnopravne mjere u provedbi ODV-a, moguće je ekonomski optimizirati set mjera u riječnom slivu.



Slika 2. Komplementarni odnos ODV-a i pristupa usluga ekosustava (prilagođeno prema Vlachopoulou i sur., 2014)

Prednosti korištenja UE-a kod provedbe ODV-a posebno su važne kod analize strukturalnih komponenti ekosustava i procjeni kvalitete strukture zajednice, kao i međuodnosa između vrsta kod utvrđivanja ekološkoga stanja. Povezivanja ciljeva ODV-a s UE-om uključuje pregled pojedinačnih okolišnih ciljeva riječnog sliva, kvalitativnu procjenu jačine njihove veze s pojedinim uslugama ekosustava i njegovo ocjenjivanje što uključuje prikaz komplementarnog odnosa između ODV-a i EU-a na Slici 2.

4. RASPRAVA

Danas se zahtijeva veća pozornost uvođenja vodne politike kroz druge politike, kao što su Zajednička poljoprivredna politika i Direktiva o poplavama. Naglasak na ekološkom stanju voda koji je ODV uvela 2000. godine, danas je bolje razumljiv i prihvaćen te se uklapa u Strategiju EU-a o bioraznolikosti do 2020. i globalne ciljeve. Pristup ODV-a koji se usredotočuje na ekološko stanje bio je ključan za UN-ov Međuvladin panel o biološkoj raznolikosti i uslugama ekosustava (IPBES). Napredak s mjerama upravljanja i poboljšanje ekološkog stanja bio je mnogo sporiji nego što je prvobitno bilo predviđeno, te se mora nadograditi jačom integracijom politika svih sektora. Tri područja su identificirana za ostvarenje ciljeva ODV-a: bolje razumijevanje uzroka pogoršanja u uvjetima višestrukog stresa, te veća integracija politika u planiranju i provedbi mjera. Rok za postizanje dobrog stanja je ključan, ali još važnije je imati stalni okvir za upravljanje riječnim slivom, sigurno daleko iza 2027. godine (Carvalho i sur., 2019). U Europi, MAES je razvila okvir za procjenu UE-a kao potporu strategiji EU-a o biološkoj raznolikosti i predloženi su pokazatelji za UE-a koji vode prema kapacitetu usluga, protoku, održivosti i učinkovitosti (Grizzetti i sur., 2016), a nedavno je uspostavljen pristup za procjenu promjena u pružanju UE-a u odnosu na mjere. Naglašava se vrijednost Plana upravljanja vodnim područjima za ugradnju UE-a uključujući rad s dionicima i drugim sektorima što može pomoći u utvrđivanju optimalnih mjera za ostvarivanje višestrukih koristi povezanih s poboljšanjem ekološkog stanja. Daljnja istraživanja mogu pružiti praktični dokaz mogućnosti usklađivanja pristupa EU-a u provedbi ODV-a, a to uključuje provjeru i / ili kvantificiranje jačine veza između ciljeva ODV-a i UE-a, te odabir i testiranje funkcionalnih pokazatelja kao dopune strukturnim pokazateljima koji se već koriste u okviru ODV-a. Temelj za ovaj pristup je pretpostavka da postoji jasna veza između ekološke kakvoće/stanja voda i pružanja usluga ekosustava (Vlachopoulou i sur., 2014), što zahtijeva poboljšano prikupljanje podataka o funkcijama ekosustava, te prikladnost i kvalitetu podataka za kartiranje UE-a.

ZAKLJUČAK

Pristup usluga ekosustava i ODV-a su slični u namjeri, te zapravo nisu različiti u ishodu, ukoliko ekonomske procjene koje su sastavni dio provedbe ODV-a uzimaju u obzir da je dobro ekološko i kemijsko stanje voda preduvjet za sve funkcije ekosustava. Praćenje ekološkog stanja površinskih voda uključuje određivanje sastava i strukture bioloških elementa kakvoće voda kao glavnih, te osnovnih fizikalno-kemijskih i hidromorfoloških elementa kao podržavajućih elemenata u ocjeni ekološkog stanja voda, ali ne analiziraju funkcije pojedinog elementa. Dodatna korist primjene UE-a je uključivanje dobroti čovjeka i unaprjeđenje kvalitete njegovog života čime se dodatno ostvaruje i treća komponenta održivog razvoja uz ekonomsku i okolišnu, te je važan korak u holističkom pristupu upravljanja voda. Promatrajući analizu pritiska i utjecaja iz perspektive procjene rizika, pruža se mogućnost rangiranja pritiska na temelju toga kako na pružanje usluga ekosustava utječe svaki pritisak i uključivanje vrijednosti usluga ekosustava kao pokazatelja veličine utjecaja. Zbog povećanja ljudskih pritisaka i utjecaja, smanjuje se sposobnost pružanja UE-a potrebnih za prihvatljivu razinu ljudskog blagostanja. Korištenje UE-a u planiranju upravljanja riječnim slivom može operacionalizirati i

uključiti usvajanje sustavnog pristupa u provedbi ODV-a, jer ODV zahtijeva dubinsko razumijevanje riječnog sliva i njegova upravljanja koji usklađuju međuzavisnosti čovjeka i prirode s ciljem poboljšanja sustava upravljanja u cjelini. Kao rezultat toga zahtijeva PoM za upravljanje antropogenim pritiscima kako bi se poboljšalo stanje ekosustava što je EK naglasila već 2000 godine.

ZAHVALA

Ovaj rad je sufinanciralo Sveučilište u Rijeci projektom: *Održivo upravljanje riječnim slivom implementacijom inovativnih metodologija, pristupa i alata* [uniri-tehnic-18-129].

LITERATURA

- [1] Bouwma, I., Schleyer C., Eeva, E., Winkler K. J. Berry P., Young J., Carmen E., Špulerová J., Bezák P., Elena Preda E., Vadineanu A. (2018): *Adoption of the ecosystem services concept in EU policies*, Ecosystem Services, 29, 213–222.
- [2] Carvalho i sur., (2019): *Protecting and restoring Europe's waters: An analysis of the future development needs of the Water Framework Directive*, Science of the Total Environment, 658, 1228–1238.
- [3] European Commission, (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy, Official Journal of the European Communities, L327, 22.12.2000.
- [4] Flores, M., Ivičić, I., (2011): *Vrednovanje doprinosa ekosustava Nacionalnog parka Sjeverni Velebit i Parka prirode Velebit gospodarskom rastu i boljitku čovjeka*, WWF, 101 str.
- [5] Giakoumis, T., Voulvoulis, N., (2018): *A participatory ecosystems services approach for pressure prioritisation in support of the Water Framework Directive*, Ecosystem Services, 34, 126–135.
- [6] Grizzetti, B., Liqueste C., Antunes P., Carvalho L., Geamana N., Giuca R., Leone M., Mc Connell S., Preda E., Santos R., Turkelboom F., Vadineanu A., Woods H., (2016): *Environmental science & policy ecosystem services for water policy: insights across Europe*, Environmental Science Policy, 66, 179–190.
- [7] Koundouri, P., Ker Rault P., Pergamalis V., Skianis V., Souliotis I., (2016): *Development of an integrated methodology for the sustainable environmental and socio-economic management of river ecosystems*, Science of the Total Environment, 540, 90–100.
- [8] Maes, J., Hauck J., Paracchini M. L., Ratamaki O., Hutchins M., Termansen M., Furman E., Perez-Soba M., Leon Braat L., Bidoglio G., (2013): *Mainstreaming ecosystem services into EU policy*, Current Opinion in Environmental Sustainability 2013, 5:128–134
- [9] MAES Working Paper, (2013.): *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020*. Publications office of the European Union, Luxembourg.

- [10] Millennium Ecosystem Assessment, (2005): *Ecosystem and Human Well-being*; Synthesis: Island Press, Washington.
- [11] Pithart, D. Petrov Rančić I., Kutleša P., Duplić A., (2014): *Studija o vrednovanju slatkovodnih usluga ekosustava Hrvatske*, GEF, Državni zavod za zaštitu prirode RH, Ministarstvo zaštite okoliša i prirode RH, UNDP, Zagreb
- [12] TEEB (2010): *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*. Edited by Pushpam Kumar. Earthscan, London and Washington.
- [13] Vlachopoulou, M., Coughlin D., Forrow D., Kirk S., Logan D., Voulvoulis N. (2014): *The potential of using the Ecosystem Approach in the implementation of the EU Water Framework Directive*, Science of the Total Environment 470–471, 684–694.
- [14] WFD CIS Guidance Document No. 1, (2003): *Economics and the Environment – The Implementation Challenge of the Water Framework Directive*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

AUTORI

mr. sc. Gorana Ćosić-Flajsig ^a

dr. sc. Ivan Vučković ^b

prof. dr. sc. Barbara Karleuša ^c

^a Tehničko veleučilište u Zagrebu, Graditeljski odjel, Av. V. Holjevca 15, Zagreb, Hrvatska, gcfajsig@tvz.hr

^b Elektroprojekt d.d. Zagreb, Alexandera von Humboldta 4, Zagreb, Hrvatska, ivan.vuckovic@elektroprojekt.hr

^c Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, Hrvatska, barbara.karleusa@uniri.hr



R 4.06.

PRIMJENA ZELENE INFRASTRUKTURE U URBANIM PODRUČJIMA NA PRIMJERU DIJELA GRADSKJE ČETVRTI SOPOT U ZAGREBU

Gorana Ćosić Flajsig, Dejan Kovačević, Doroteja Deak

SAŽETAK: Utjecaj klimatskih promjena na vodne resurse značajan je za dugoročna planiranja u tom području. Usljed klimatskih promjena očekuje se pojava hidroloških ekstrema, sušnih i intenzivnih kišnih razdoblja. Na primjeru koji će biti prikazan u radu, primjenu zelene infrastrukture u urbanim područjima, želi se ukazati na potrebu korištenja prirodnih, višenamjenskih rješenja. Naselje južne gradske četvrti Sopot karakteriziraju visoke zgrade sa širokim ulicama i šetnicama. Za stambene objekte, sa oko stotinjak stanova bez podzemnih garaža za parkiranje automobila, veliki dio gradskog prostora zauzimaju parkirališta i dominiraju slabo propusne površine. U radu je napravljena usporedba projektnih rješenja odvodnje postojeće konvencionalne odvodnje oborinske vode mješovitim kanalizacijskim sustavom i uključivanja zelene infrastrukture u postojeću mrežu konvencionalne odvodnje. Kao primjer građevine zelene infrastrukture, odabrani su porozni zastor i zeleni krov. Proračunom količina vode i dimenzioniranja sustava odvodnje prikazane su prednosti i nedostaci navedenih infrastrukture. Usporedba infrastrukture temeljem ekonomskih, okolišnih i socioloških čimbenika provedena je računalnim alatom E2 STORMED. Usvajanjem Strategije i Akcijskog plana prilagodbe klimatskim promjenama te korištenjem rezultata regionalnih klimatskih modela, očekuje se kvalitetnije planiranje i odabir optimalnih scenarija s cijelim nizom mjera zelene infrastrukture, a ovim radom želi se ukazati na potrebu takvih analiza u urbanim sredinama.

KLJUČNE RIJEČI: klimatske promjene, odvodnja oborinskih voda, zelena infrastruktura, zeleni krov, porozni zastor, E2 STORMED

IMPLEMENTATION OF GREEN INFRASTRUCTURE IN URBAN AREAS – SOPOT DISTRICT (PART) IN THE CITY OF ZAGREB

ABSTRACT: The climate change impact on water resources is important for long-term planning. Due to climate change, the occurrences of hydrological extremes, both dry periods and periods of intense rainfall, are expected. The case study addressing green infrastructure implementation in urban areas that is presented in the paper aims to illustrate a need for the use of natural, multifunctional solutions. Sopot, a southern district of the City of Zagreb, is characterized by tall buildings with wide streets and promenades.

In addition to residential buildings with approximately one hundred apartments and no underground garages, a large urban area of the district is covered by parking lots, with the prevailing poorly permeable surfaces. In the paper, a comparison is made between the design solutions for the existing conventional stormwater drainage as part of the mixed sewage system and the inclusion of green infrastructure into the existing conventional sewage network. As examples of green infrastructure, porous asphalt pavements and green roofs were selected. The advantages and disadvantages of this infrastructure are presented through the calculation of the water volumes and the dimensioning of the drainage system. The infrastructure comparison, which is based on economic, environmental and sociological factors, was performed by using the software E2 STORMED. It is expected that the adoption of the Climate Change Adaptation Strategy and Action Plan and the application of the regional climate model results will lead to improved planning and selection of optimal scenarios with a whole range of green infrastructure measures. The aim of this paper is to emphasize the need for such analyses in urban environments.

KEYWORDS: Climate change, stormwater drainage, green infrastructure, green roof, porous asphalt, E2 STORMED.

1. UVOD

Usljed sve češćih klimatskih ekstrema, dugotrajnih suše praćenih visokim temperaturama i kratkotrajnih kiša velikih intenziteta, dolazi do sve većih problema vezanih uz komunalnu infrastrukturu urbanih sredinama. Intenzivne oborine uz povećani koeficijent otjecanja, dovode do poplavljanja urbanih područja što smanjuje sigurnost u prometu i ugrožava stambene objekte i zdravlje ljudi. S druge strane dugotrajna sušna razdoblja uz visoke temperature u gradovima stvara pojavu toplinskih otoka, što utječe na zdravlje ljudi i povećanu potrošnju električne energije za hlađenje.

Primjena Okvirne direktive o vodama i europske vodne politike, uz obavezno uključivanje strategije i planova smanjenja i prilagodbe klimatskim promjenama, ukazuje i na značaj uloge zelene infrastrukture u smanjenju i prilagodbi klimatskim promjenama, kao i uloga korištenja usluga ekosustava i dobiti čovjeka. Stoga, ovim radom željelo se ukazati na mogućnost primjene nekih od sustava zelene infrastrukture (u daljnjem tekstu: ZI) na postojeću konvencionalnu infrastrukturu na primjeru južnog dijela naselja Sopot. Istovremeno, željelo se istaknuti određene mane konvencionalnog mješovitog sustava odvodnje urbanih sredina, i to posebno u svjetlu klimatskih promjena.

Da bi se prikazale mogućnosti i prednosti ZI-a, proveden je proračun i dimenzioniranje konvencionalnog sustava javne odvodnje, a potom konvencionalnog sustava odvodnje uz primjenu odabrane zelene infrastrukture. Navedena dva rješenja su analizirana pomoću računalnog alata E²STORMED (E² STORMED - *Manual*, 2017) te su prikazani svi pozitivni učinci primjene zelene infrastrukture u urbanim područjima.

Moglo bi se reći da zelenom infrastrukturom vraćamo prirodi dijelove koje smo uzeli urbaniziranjem površina, no uloga ZI-a je više od toga. ZI ne samo da je jedno od rješenja ublažavanja klimatskih promjena, pomaže ostvarenju Strategije EU o bioraznolikosti do 2020 i cilja 2, već omogućava usluge ekosustava i ostvarenja dobiti čovjeka u urbanim područjima.

2. METODOLOGIJA PRIMJENE ZELENE INFRASTRUKTURE

Za projektno pilot područje odabran je južni dio naselja Sopot u Novom Zagrebu, kao primjer naselja u kom je moguća primjena zelene infrastrukture. Južni dio naselja Sopot karakteriziraju široke prometnice s pripadajućim šetnicama te veliki broj stambenih zgrada za koje nisu predviđene podzemne garaže. Veliki dio gradskog prostora su parkirališta sa slabo propusnim površinama. Gradskim sredinama, pa tako i u naselju Sopot, prevladavaju slabo propusne površine te je malo površina na kojima je moguća infiltracija oborina u slojeve tla.



Slika 1. Digitalni ortofoto snimak južnog djela naselja Sopot, s iscrtanim slivnim površinama (Državna geodetska uprava, 2018.)

Radi usporedbe zelene i konvencionalne infrastrukture proveden je hidraulički proračun i dimenzioniranje svakog sustava. Na slici 1. prikazane su površine koje ulaze u proračun (krovne površine, parkirališna područja i prometnice). Hidraulički proračun i dimenzioniranje konvencionalne oborinske odvodnje proveden je za dio naselja, ukupne slivne površine 2,59 ha, s pripadajućim kolektorima ukupne duljine 900 m. Površina krovova iznosi 1,06 ha dok je površina parkirališta 1,53 ha. Intenzitet oborine za područje grada Zagreba iznosi 140 l/s/ha, za vrijeme trajanja oborine 25 min i povratni period 3 godine. Hidraulički proračun količina oborinske vode proveden je prema Racionalnoj metodi, dok je proračun kolektora napravljen prema njemačkoj Normi za hidraulički proračun otpadne vode, oborinske vode i mješovitog kanalizacijskog sustava (engl.: Standards for the Hydraulic Calculation of Wastewater, Stormwater and Combined Wastewater Sewers (ATV A 118, 1977).

Za slabo propusne površine (krovove i asfalte) odabrani koeficijent otjecanja iznosi 0,9 (Margeta J., 2009.). Minimalni promjer kolektora iznosi 400 mm. Uzdužni pad kolektora je minimalni i iznosi 0,25 %.



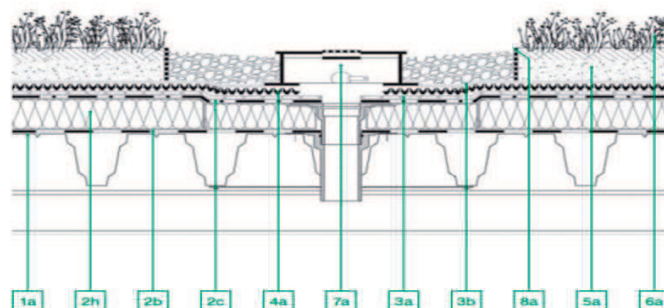
Slika 2a. Prikaz područja primjene poroznog zastora



Slika 2b. Prikaz područja primjene zelenog krova

Odabranom ZI pokušalo se obuhvati što više urbaniziranog područja i to korištenjem: zelenog krova ekstenzivnog tipa i poroznog zastora sa potpunom infiltracijom u tlo prikazanog na slici 4. Slika 2a prikazuje područje primjene poroznog zastora (P1-P5). Površine označene tamnijom bojom predstavljaju prometnice. Na slici 2b označene su površine primjene zelenog krova. Navedena ZI pruža visok stupanj pročišćavanja oborinske vode što omogućava ispuštanje vode direktno u okoliš. Na taj način može se značajno rasteretiti konvencionalni sustav odvodnje ili ga u potpunosti zamijeniti. Rješenja ZI-a koja su uzeta u proračun na projektnom pilot području, mogu biti lako primjenjiva za nova područja, ili integrirana u postojeću infrastrukturu.

Zeleni krov izvrsno je rješenje za urbane sredine u kojima prevladavaju nepropusne podloge. Osim što smanjuje količine oborinskih voda koja otječe sa krovnih površina u kanalske kolektore, postižu se znatna toplinska i zvučna izolacijska svojstva te smanjuju emisije CO₂. Također, vizualno uljepšava sliku grada i postaje mjesto za rekreaciju i boravak građana. Ukupna površina zelenog krova primijenjenog u ovom primjeru iznosi 10.579 m². Predviđen je zeleni krov ekstenzivnog tipa sa slojevima kao što je prikazano slikom 3. Vegetacijski sloj planira se zasaditi trajnicama otpornim na lokalne uvjete koje ne zahtijevaju stručnu njegu, a predviđeni sloj supstrata iznosi 12 cm. Prema Slici 3, da bi se spriječilo procjeđivanje i ispiranje sitnijih čestica supstrata u donje slojeve, koje može dovesti do začepljenja, predviđen je filterski sloj geotekstila izrađen od sintetičkih vlakana otpornih na truljenje. Drenažno-akumulacijski sloj načinjen je prešane plastične kadice odabrane debljine 2,5 cm. Radi mehaničke zaštite hidroizolacije od prodiranja korijenja postaviti će se zaštitni sloj koji štiti hidroizolaciju tijekom izrade i eksploatacije zelenog krova koji ujedno pohranjuje vlagu. (Baunder, 2018).



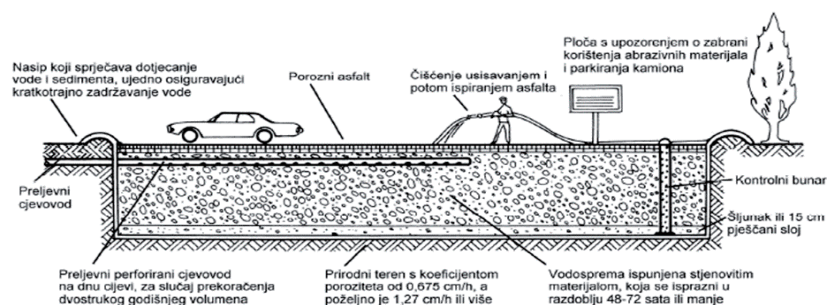
Slika 3. Poprečni presjek kroz konstrukciju zelenog krova (Baunder, 2018)

Legenda:

- 1a Krovna konstrukcija
- 2b Parna brana
- 2c Hidroizolacija otporna na korijenje
- 2h Toplinska izolacija vlaknaste strukture
- 3a Sloj mehaničke zaštite
- 3b Filterski sloj
- 4a Drenažno-akumulacijske ploče
- 5a Ekstenzivni supstrat
- 6a Zeljaste trajnice otporne na sušu
- 7a Revizijsko okno
- 8a Rubni profil za šljunak.

Porozni zastor je materijal kojim je moguće promijeniti klasičan sustav odvodnje sa prometnica i parkirališnih površina. Ovakav završni sloj ima sposobnost propuštanja 600 l/m² u jednoj minuti. Osim što ima iznimno dobra svojstva upijanja zbog svoje porozne strukture, daje dobre rezultate pri smanjenju buke (Kvadrat.hr, 2018).

U ovom primjeru, obzirom da Zagreb leži na šljunkovito-pjeskovitim nanosima rijeke Save, čija razina podzemne vode varira od 3-10 m ispod razine tla, odabrani zastori biti će tipa potpune infiltracije u tlo (HGI, 2018). Površina slivnog područja iznosi 1,53 ha a površina prostora predviđenog za porozni zastor je 4892 m². Računski intenzitet dvogodišnje kiše je 50,4 mm/sat, a pretpostavljena brzina infiltracije u tlo je 7,2 mm/sat (Margeta J., 2009). Volumen oborinskog dotoka iznosi 771,12 m³, a visina retencijskog sloja iznosi 0,394 m. Planira se 24-satna retencija s udjelom šupljina od 0,4 uz potrebnu površinu poroznog zastora od 4590 m². Pretpostavlja se da je dubina podzemne vode 3,0 m ispod dna spremnika. Udaljenost dna spremnika do nivoa podzemne vode iznosi 2,6 m te se može postići potpuna infiltracija oborinske vode u tlo.



Slika 4. Presjek poroznog zastora (Margeta J., 2009)

2.1. Usporedba konvencionalne i zelene infrastrukture primjenom računalnog alata E²STORMED

E²STORMED je alat za podršku odlučivanju koji se sastoji od više alata: baze podataka, simulacije i optimizacije te podržava proces donošenja odluka u upravljanju urbanim oborinskom vodom. Koristeći ovaj alat uz uključivanje dionika, mogu se definirati različiti kriteriji odlučivanja za odabir optimalne varijante upravljanja urbanom oborinskom vodom jer potiče donošenje odluka koje se temelje ne samo na financijskim kriterijima, već i na energetske, okolišnim i sociološkim kriterijima. E²STORMED je izrađen radi poboljšanja energetske učinkovitosti urbanog vodnog ciklusa korištenjem inovativnog upravljanja oborinskim vodama u pametnim gradovima Mediterana. Sufinancirao ga je Transnacionalni program MEDITERAN, nositelj projekta je bilo Tehničko veleučilište iz Valencije i Sveučilište Abertay Dundee, s ciljem promicanja inovativnih rješenja za odvodnju oborinskih voda u urbanim sredinama. Na projektu je sudjelovalo još 8 partnera iz 6 europskih zemalja, među kojima je i Hrvatska, Grad Zagreb s pilot projektom naselja Borovje. E²STORMED nije razvijen za detaljno projektiranje, u smislu izrade hidrauličkih proračuna i analize kvalitete oborinske vode, već koristi podatke o građevinama na nivou idejnih rješenja koje je potrebno samostalno dimenzionirati.

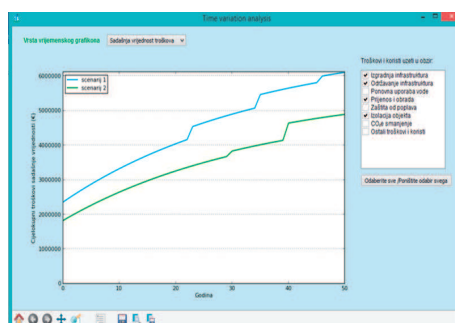
Pomoću računalnog alata E²STORMED napravljena je usporedba konvencionalne odvodnje i odvodnje uz pomoć zelene infrastrukture. Kako bi se usporedile različite mogućnosti odvodnje, E²STORMED analizira troškove i energiju potrošnje tijekom razdoblja analize. Analiza troškova tijekom cijelog razdoblja omogućuje homogenu usporedbu između različitih opcija. Za svaku komponentu infrastrukture odvodnje, za svaki scenarij, E²STORMED analizira troškove i potrošnju energije na temelju sljedećih pretpostavki: troškovi izgradnje, potrošene energije i emisija, troškovi otkupa zemljišta i troškovi održavanja u vijeku trajanja građevine. E²STORMED uključuje katalog preko 20 vrsta infrastrukture odvodnje, uključujući Održive sustave odvodnje ZI-a koji se koriste za definiranje različitih sustava odvodnje. Za jedno područje odvodnje, program nudi dva ili više scenarija u kojima se odabire infrastruktura za koju se želi provjeriti isplativost. Prilikom zadavanja scenarija potrebno je definirati niz lokalno specifični podataka, kao npr: državu za koju se provodi projekt, valutu u kojoj se obračunavaju cijena, zatim cijenu električne energiju, cijenu vode, period analize definiranih infrastruktura, koji u ovom primjeru iznosi 50 godina, i drugi. U slučaju nedostupnosti informacija za svaki od ovih podataka program nudi procjenu. Nakon što se odabere infrastruktura, potrebno

je unijeti pokazatelje za svaki scenarij koji se odnose na vodoopskrbu, kanalizaciju, kvalitetu vode, zaštitu od poplave, izolaciju objekta i razne usluge ekosustava. Ovisno o odabranoj infrastrukturi, neke od navedenih pokazatelja nije potrebno ispunjavati, a u slučaju nedostupnosti informacija program nudi procjenu traženih vrijednosti kada lokalno-specifični podaci nisu dostupni. Oni su izvedeni temeljem aplikacije za donošenje odluka i međunarodnih referenci sakupljenih tijekom šest studija projekta E² STORMED. Kako bi usporedba zadanih scenarija dala što korisnije podatke provodi se višekriterijska analiza temeljem definiranih kriterija odlučivanja i udjela svakog kriterija u konačnoj odluci, suma udjela svih kriterija iznosi 100 %, kako bi se procijenila mjera do koje ciljevi mogu biti ispunjeni. Kriteriji koje program nudi su: financijski kriteriji (trošak upravljanja kišnicom, troškovi održavanja), energetske kriteriji (potrošena energija tijekom izgradnje, potrošena energija za održavanje), emisijski kriteriji (ukupne emisije tijekom izgradnje i održavanja, obrada i prijenos emisije), kriterij kvalitete vode i okoliša (kvaliteta vode globalnog otjecanja, unaprjeđenje usluga ekosustava) i drugi kvantitativni kriteriji (volumen ponovno upotrijebljene vode) (E²STORMED, 2018).

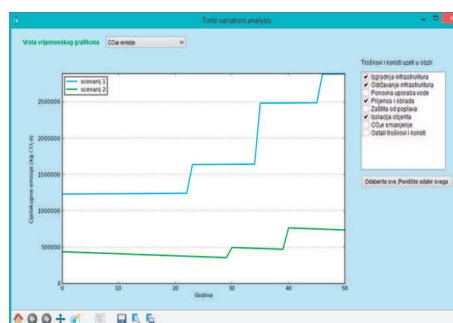
Definirana su dva scenarija, i to: Scenarij 1 koji obuhvaća konvencionalni kanalizacijski sustav, konvencionalni krov i standardni zastor te Scenarij 2 koji obuhvaća zelenu infrastrukturu: zeleni krov i porozni zastor .

2.2. Rezultati

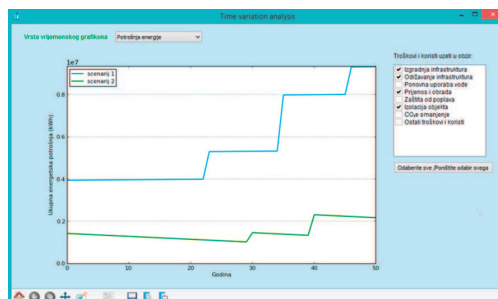
Krajnji rezultat usporedbe dva odabrana scenarija izrađen je temeljem dostupnih podataka dva aspekta: energetska učinkovitost i ekonomska isplativost. U primjeru su odabrana 3 kriterija odlučivanja koji su relevantni za prikaz metodologije, a koji uzimaju potrošnju električne energije za vrijeme izgradnje i korištenja te emisiju CO₂ kod izgradnje i vrijednost troškova. (PJR CONSULTING, 2018). Nakon unosa ulaznih podataka i odabira kriterija program proračunava koji je scenarij najbolji za projekt te rezultate prikazuje u obliku grafa.



Slika 5. Sadašnja vrijednost troškova



Slika 6. Emisija CO₂



Slika 7. Potrošnja energije

Na Slici 5, Slici 6 i Slici 7 prikazani su rezultati usporedbe dvaju scenarija u obliku vremenskog grafa. Gornja krivulja na grafovima označava scenarij 1 koji podrazumijeva konvencionalnu odvodnju, dok donja krivulja, scenarij 2, prikazuje zelenu infrastrukturu koja obuhvaća zelene krovove i porozni zastor. Troškovi i koristi koje su uzete u obzir za sva tri grafa su: izgradnja i održavanje infrastrukture, odvodnja i obrada otpadne vode te izolacija objekta. Slika 5 prikazuje sadašnju vrijednost troškova za sve gore navedene troškove i koristi kroz 50 godina. Vidljivo je da konvencionalna infrastruktura iziskuje veće troškove, što je čini nepovoljnijom. Slika 6 prikazuje vrijednost emisije CO₂ uzrokovane pojedinom infrastrukturom kroz 50 godina. I ovdje se može zaključiti da zelena infrastruktura daje bolje rezultate, odnosno manje emisije CO₂, naročito kroz duži vremenski period. Slika 7 prikazuje potrošnju električne energije potrebne za izgradnju i održavanje, odvodnju i preradu otpadne vode te troškove uzrokovane izolacijom objekta. Iz grafa se može zaključiti da je zelena infrastruktura i u pogledu potrošnje energije puno prihvatljivije rješenje.

Iako rezultati nedvojbeno pokazuju kako ZI iz scenarija 2 daje bolje rezultate od konvencionalne odvodnje, ne smije se zaboraviti da zelena infrastruktura iziskuje nešto viša financijska ulaganja pri izgradnji i održavanju, međutim dugoročno se takva ulaganja višestruke isplate. Korištenje ZI-a, kada se u obzir uzmu sve četiri komponente odlučivanja: izgradnja i održavanje infrastrukture, sakupljanje i obrada otpadne vode te izolacija objekta, pokazuje *izrazitu učinkovitost u pogledu potrošnje energije i emisije CO₂* u odnosu na konvencionalnu odvodnju.

3. ISKUSTVA DRUGIH URBANIH SREDINA

U susret izraženim klimatskim promjenama, koje se više ne mogu ignorirati, doneseno je niz mjera i zakonskih odredbi na globalnoj razini, unutar država, pa čak i lokalnih zajednica. Značajan iskorak u području primjene ZI-a napravila je Švicarska, odnosno grad Zürich, gdje je još 1991. godine donesena odluka da svi novo izgrađeni ili renovirani objekti sa ravnim krovovima moraju primijeniti zelene krovove. Na taj način je promijenjena vizura grada, smanjeno je opterećenje sustava odvodnje i pročišćavanja otpadne vode te je smanjen utjecaj toplinskih otoka (Urban green blue grids, 2019). Grad Almere, u blizini Amsterdana, zanimljiv je spoj urbanog i zelenog prostora. Površina za gradnju grada stvorena isušivanjem vodenih područjima, a izgradnjom ZI-a, omogućeno je prirodno i zeleno okruženje. U izrazito modernu arhitekturu uklopljena je bujna priroda, s velikim brojem bioretencija i kišnih vrtova. Uz to grad je osigurao velike površine gradska

zemljišta koja stanovnici mogu koristiti, za uzgajanje voća i povrća na prirodan i ekološki prihvatljiv način (Adri D.Green City Almere, 2019). U pogledu razvoja ZI-a svakako prednjači Imperial Collegue o London gdje je utemeljena nova filozofiju zelene gradnje pod nazivom Blue Green Dream, projekt u koji je uloženo preko 26 milijardi funti. Radi se o smjernicama za planiranje, izgradnju, upravljanje i održavanje zelene infrastrukture. Primjenom takvih rješenja korak je bliže samoodrživim gradovima (Climate-KIC,2017). Na žalost, ovakve promjene vezane su ekonomski status regije, pa su siromašnijim sredinama veća financijska ulaganja prepreka za projekte zelene infrastrukture. Istovremeno, nužno je naglasiti da Europska unija, putem svojih fondova, već odavno investira u ovakve projekte. Uporaba zelene infrastrukture donosi ekonomske i okolišne koristi, ugodnije okruženje, i ono najvažnije stvara uvjete za održivi rast urbanih sredina.

4. RASPRAVA

U slučaju da se konvencionalni sustav oborinske odvodnje želi nadograditi ZI-om mora se računati na značajna ulaganja pri izgradnji i održavanju, a takav zahvat bi zahtijevao i povezivanje više vrsta ZI-a u jednu cjelinu. Međutim, u pogledu odvodnje i obrade oborinske vode ZI pokazuje značajne financijske uštede te štiti vodne resurse. Oborinsku vodu sakupljenu na površinama zelenih krovova i poroznih zastora nije potrebno naknadno pročišćavati, već je možemo direktno upustiti u podzemlje i tako dodatno obogatiti podzemne vode. Zeleni krov, osim što je pogodan u hidrotehničkom pogledu, pruža iznimno dobru termoizolaciju na krovovima zgrada što dovodi do smanjena troškova grijanja i hlađenja. Nadalje „*1m² zelenog krovu tijekom jedne godine apsorbira i do 5 kg CO₂. Zbog učinka smanjenja potrošnje energije, dodatno se smanjuje emisija ugljičnog dioksida. Tako 1m² zelenog krova apsorbira istu količinu CO₂ koju ispusti prosječan automobil, koji prijeđe udaljenost od 80 km.*“ (Urbanscape sustav zelenih krovova, 2018).

ZAKLJUČAK

Cilj ovoga rada bila je usporedba postupaka rješavanja oborinske odvodnje na konvencionalan način i putem zelene infrastrukture. Problematika je razmatrana kroz teoretski dio proučavanja i odabira zelene infrastrukture, zatim hidrološko-hidrauličkim proračunom i dimenzioniranjem te na kraju usporedbom koje je provedena pomoću alata za donošenje odluka E²STORMED. Rezultati koji su dobiveni korištenjem E²STORMED-a nedvojbeno ukazuju na višestruke pogodnosti zelene infrastrukture.

Može se zaključiti kako zelena infrastruktura na početku iziskuje veća financijska ulaganja, i početno zahtijeva više održavanja, naročito zeleni krov, međutim dugoročno zelena infrastruktura donosi uštede u ekonomskom i okolišnom pogledu. Poroznim zastorom osim što se značajno rastereti konvencionalni sustav te tako smanje količine vode koje se odvođe na skup proces pročišćavanja otpadne vode, obogaćuje se vodonosnik potpunom infiltracijom oborinskog dotoka. Obzirom na karakteristike retenciranja poroznim zastorom, također je smanjen vršni dotok, a oborinska voda značajno pročišćena. Zeleni krov, pak, osim ekonomskih dobiti i usluga ekosustava donosi i estetski prihvatljiviji izgled. Svojim karakteristikama poboljšava kvalitetu života stanara zgrade sa zelenim krovom, na način da toplinski i zvučno izolira zgradu. Također smanjuje vršni dotok, pročišćava oborine i okolni zrak od suspendiranih čestica, a vegetacija osim što fotosintezom proizvodi kisik značajno smanjuje emisije CO₂.

NAPOMENA

Ovaj rad je izrađen temeljem završnog rada Stručnog studija graditeljstva studentice Doroteje Deak na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu, Graditeljski odjel.

LITERATURA

- [1] Adri D, Green City Almere, (2019.): Dostupno: <http://www.adriduivesteijn.nl/wp-content/uploads/Green-City-Almere.pdf> (Preuzeto:3.04.2019)
- [2] ATV A 118, (1977.): *Standards for the Hydraulic Calculation of Wastewater, Stormwater and Combined Wastewater Sewers*
- [3] BAUNDER (2018.):, *Zeleni krov*, Dostupno putem Web mjesta tvrtke: BAUNDER: <https://www.bauder.hr/sk/zeleni-krov/zeleni-krov-u-kompletu/zeleni-krov-light-paket.html> Preuzeto 17.07.2018.
- [4] Climate-KIC, (2017.): *Blue Green Dream*, Dostupno: <https://www.climatekic.org/wp-content/uploads/2017/10/BGD-Guide-spread-final.compressed.pdf> (Preuzeto:27.03.2019.)
- [5] E²STORMED (2017.), *Decision Support Tool Guidelines, Manual – Version 1.1.3.*, Dostupno: <https://www.e2stormed.eu/> (Preuzeto: 3.4.2018.)
- [6] HGI, (2009): *Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu*. Zagreb: Hrvatski geološki institut. Dostupno: http://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/ocjena_stanja_i_rizika_cjelina_podzemnih_voda_u_panonskom_dijelu_rh_.pdf (preuzeto 17.08.2018.)
- [7] Kvadrat.hr. (2015): *Suha cesta i po najvećem pljusku*, Dostupno: <http://www.kvadrat.hr/suha-cesta-i-po-najvecem-pljusku/> (Preuzeto: 17.7.2018.)
- [8] Margeta J. (2009.) *Kanalizacija naselja: odvodnja i zbrinjavanje otpadnih i oborinskih voda*, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- [9] PJR CONSULTING, E²STORMED, objavljeno: 8.1.2018. Dostupno putem Web-mjesta tvrtke: <https://pjr.hr/e2stormed/> (Preuzeto: 27.7.2018.)
- [10] Urban green blue grids, (2019.): *Zürich's green roof programme*, Dostupno: <https://www.urbangreenbluegrids.com/projects/zurich-switzerland/> (Preuzeto :3.04.2019)
- [11] Urbanscape sustav zelenih krovova, (2018.): *Zašto zeleni krovovi?*, Dostupno iz Web gradnja.hr: <https://www.webgradnja.hr/clanci/urbanscape-sustav-zelenihkrovova-zasto-zeleni-krovovi/1064/> (Preuzeto: 17. 8 2018)

AUTORI

mr. sc. Gorana Ćosić Flajsig ^a
Dejan Kovačević, dipl. ing. građ. ^a,
Doroteja Deak, bacc. ing. aedif. ^a

^a Tehničko veleučilište u Zagrebu, Graditeljski odjel, Avenija Većeslava Holjevca 15, Zagreb, 10000, Hrvatska, gcflajsig@tvz.hr, dejan.kovacevic@tvz.hr, ddeak1@tvz.hr



R 4.07.

JAČANJE KURIKULUMA DIPLOMSKIH STUDIJA U UPRAVLJANJU VODNIM RESURSIMA - PROJEKT SWARM

**Barbara Karleuša, Nevena Dragičević, Nevenka Ožanić,
Ivana Sušanj Čule**

SAŽETAK: Cilj projekta *SWARM-Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders* je unaprjeđenje obrazovanja stručnjaka za upravljanje vodnim resursima na Zapadnom Balkanu u skladu s nacionalnim i EU politikama.

Projekt financira EU kroz program ERASMUS+. Započeo je 15. studenog 2018. i realizirat će se kroz tri godine, uz sudjelovanje četrnaest projektnih partnera iz deset zemalja (Grčka, Crna Gora, Srbija, Norveška, Hrvatska, Portugal, Austrija, Bugarska, Kosovo, Bosna i Hercegovina) i četiri suradničke institucije (iz Bugarske, Srbije, Bosne i Hercegovine, Crne Gore).

Specifični ciljevi projekta su: unaprijediti razinu kompetencija i vještina u visokoškolskim ustanovama Zapadnog Balkana razvojem novih i inovativnih diplomskih studijskih programa u području upravljanja vodnim resursima u skladu s Bolonjskim zahtjevima i nacionalnim standardima; osmisliti i implementirati sedam suvremenih laboratorija na visokim učilištima Zapadnog Balkana te razviti i implementirati tečajeve za cjeloživotno učenje za vodni sektor u skladu s Okvirnom direktivom o vodama EU.

U radu će se prezentirati osnovni elementi projekta (radni paketi, aktivnosti, dinamika realizacije, očekivani rezultati i dr.), s naglaskom na aktivnosti koje se planiraju održati na Sveučilištu u Rijeci, Građevinskom fakultetu i u kojima će sudjelovati projektni tim Katedre za hidrotehniku Građevinskog fakulteta.

KLJUČNE RIJEČI: upravljanje vodnim resursima, kurikulum, diplomski studij, visokoškolske institucije

STRENGTHENING OF MASTER CURRICULA IN WATER RESOURCES MANAGEMENT - PROJECT SWARM

ABSTRACT: The main goal of the *SWARM* project (*Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders*) is to improve the education of water resources management experts in the Western Balkans in

compliance with the national and EU policies.

The project is funded by the EU through the ERASMUS+ programme. It started on November 15, 2018 and will be implemented for three years, with the participation of fourteen project partners from ten countries (Greece, Montenegro, Serbia, Norway, Croatia, Portugal, Austria, Bulgaria, Kosovo, Bosnia and Herzegovina) and four associate institutions (from Bulgaria, Serbia, Bosnia and Herzegovina, Montenegro).

The specific objectives of the project are: to improve the level of competences and skills in higher education institutions of the Western Balkans by developing new and innovative master study programs in the field of water resources management in accordance with the Bologna requirements and national standards; to design and implement seven modern laboratories at the Western Balkans HEIs and to develop and implement lifelong learning courses for the water sector in line with the EU Water Framework Directive.

The paper will present the main elements of the project (work packages, activities, implementation dynamics, expected results, etc.), while focusing on the activities to be held at the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering, in which the project team of the Department of Hydrotechnology, the Faculty of Civil Engineering, will participate.

KEYWORDS: water resources management, curriculum, master study, higher education institutions

1. UVODNO O PROJEKTU SWARM

Projekt pod nazivom *Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders/SWARM* je financiran kroz ERASMUS+ KA2 – *Strateška partnerstva za inovacije i razmjenu dobrih praksi – Jačanje sposobnosti u području visokog obrazovanja* (<http://www.swarm.ni.ac.rs/>). Cilj Projekta je unaprijeđenje obrazovanja stručnjaka za upravljanje vodnim resursima na Zapadnom Balkanu u skladu s nacionalnim i EU politikama.

ERASMUS+ je program Europske unije za obrazovanje, osposobljavanje, mlade i sport za razdoblje do 2020. (http://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/node_en). Planirani budžet ERASMUS+ programa iznosi 19 milijardi eura. Erasmus+ okuplja sedam prethodnih programa i pruža razne mogućnosti pojedincima, ali i širokom spektru organizacija (npr. sveučilišta, pružatelji usluga edukacija i usavršavanja, istraživačke organizacije, privatno poduzetništvo).

Projekt SWARM je započeo 15. studenog 2018. i realizirat će se kroz tri godine, uz sudjelovanje četrnaest projektnih partnera iz deset zemalja (Grčka, Crna Gora, Srbija, Norveška, Hrvatska, Portugal, Austrija, Bugarska, Kosovo te Bosna i Hercegovina) i četiri suradničke institucije (iz Bugarske, Srbije, Bosne i Hercegovine te Crne Gore).

Specifični ciljevi projekta su: unaprijediti razinu kompetencija i vještina u visokoškolskim ustanovama Zapadnog Balkana razvojem novih i inovativnih diplomskih studijskih programa u području upravljanja vodnim resursima u skladu sa Bolonjskim zahtjevima i nacionalnim standardima; osmisliti i implementirati sedam novih suvremenih laboratorija na visokim učilištima Zapadnog Balkana u suradnji s projektnim partnerima iz EU te razviti i implementirati programe za cjeloživotnog obrazovanja za stručnjake vodnog sektora u skladu s Okvirnom direktivom o vodama EU.

Logo projekta SWARM prikazan je na Slici 1.



Slika 1. Logo projekta SWARM

U radu će se prezentirati osnovni elementi projekta (partnerska struktura, radni paketi i aktivnosti, dinamika realizacije, očekivani rezultati i dr.), s naglaskom na aktivnosti koje se planiraju održati na Sveučilištu u Rijeci, Građevinskom fakultetu kao i aktivnosti u kojima će sudjelovati projektni tim Katedre za hidrotehniku sa Građevinskog fakulteta u Rijeci.

2. PARTNERSKA I SURADNIČKA STRUKTURA

SWARM projektom analizirat će se mogućnosti unaprjeđenja upravljanja vodnim resursima u zemljama Zapadnog Balkana, stoga je bilo potrebno uspostaviti odgovarajuću partnersku i suradničku strukturu – konzorcij. Sastav konzorcija rezultat je prethodnih suradnji sveučilišta u regiji Zapadnog Balkana, a dio članova iz EU uključen je u konzorcij zbog svoje stručnosti ali i prethodne / tekuće suradnje unutar različitih međunarodnih projekata i mreža.

Konzorcij Projekta SWARM čini četrnaest partnerskih institucija i četiri suradničke institucije. Uz partnersku instituciju (P14) Public Water Management Company „Vode Vojvodine“, ostalih trinaest partnera su visokoškolske institucije:

- P1 - University of Niš, Srbija (voditelj projekta)
- P2 - University of Natural Resources and Life Sciences, Beč, Austrija
- P3 - Norwegian University of Life Sciences, Norveška
- P4 - Aristotle University of Thessaloniki, Grčka
- P5 - University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Bugarska
- P6 - Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Hrvatska
- P7 - Universidade de Lisboa, Portugal
- P8 - University of Novi Sad, Srbija
- P9 - University of Sarajevo, Bosna i Hercegovina
- P10 - Džemal Bijedić University of Mostar, Bosna i Hercegovina
- P11 - University of Priština in Kosovska Mitrovica, Kosovo
- P12 - Technical College of Applied Sciences Uroševac with temporary seat in Leposavić, Kosovo
- P13 - University of Montenegro, Crna Gora

Suradničke institucije u Projektu su:

- Sofijska voda AD, Sofija, Bugarska
- Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd, Srbija
- Association Resource Aarhus center in B&H, Sarajevo, BiH
- Regionalni vodovod Crnogorsko primorje, Budva, Crna Gora

Prvi sastanak (kick-off meeting) suradnika na Projektu SWARM održan je u Nišu 20. i 21. prosinca 2018. godine (Slika 2.).



Slika 2. Sudionici „kick-off“ sastanka projekta SWARM (Niš, 20. i 21. prosinca 2018.)

3. RADNI PAKETI

Projekt SWARM realizirat će se kroz aktivnosti u okviru sedam radnih paketa (RP):

- RP1 - Analiza upravljanja vodama na području Zapadnog Balkana
- RP2 - Razvoj kurikuluma temeljenog na kompetencijama u skladu s trendovima EU
- RP3 - Razvoj edukacija za stručnjake u vodnom sektoru
- RP4 - Implementacija razvijenih kurikuluma diplomskog studija i edukacija
- RP5 - Osiguravanje kvalitete i monitoring
- RP6 - Diseminacija i korištenje
- RP7 - Upravljanje projektom

Radni paket 1 pod naslovom: *Analiza upravljanja vodama na području Zapadnog Balkana* obuhvaća slijedeće aktivnosti:

- Identificiranje i analiza problematike upravljanja vodnim resursima na području Zapadnog Balkana, institucija i kvalifikacija djelatnika tih institucija, što će biti temelj za izradu novih kurikuluma i kolegija,
- Analiza regulative upravljanja vodama Europske unije, analiza inovacija u regulativi i preporuka u području upravljanja vodama,
- Analiza i usporedba postojećih kurikuluma iz područja upravljanja vodnim resursima u zemljama EU i Zapadnog Balkana u cilju unaprjeđenja postojećih i razvoja novih kurikuluma u skladu s EU kurikulumima,
- Identificiranje potrebne laboratorijske opreme i literature u području upravljanja vodnim resursima za visokoškolske institucije Zapadnog Balkana i usklađivanje s postojećim popisima laboratorijske opreme i literature visokoškolskih institucija EU,

- Trodnevna radionica o inovativnim praksama u sektoru upravljanja vodama u EU, kako bi se uočile prepreke i mogućnosti unaprjeđenja vodnog sektora kroz implementaciju tehnoloških inovacija i unaprjeđenje znanja stručnjaka u području upravljanja vodnim resursima (npr. utjecaj klimatskih promjena i promjena u demografiji na upravljanje vodnim resursima).

Radni paket 2 pod naslovom: *Razvoj kurikuluma temeljenog na kompetencijama u skladu s trendovima EU* obuhvaća slijedeće aktivnosti:

- Izrada kataloga kompetencija i ishoda učenja (generičkih i specifičnih-stručnih) kao temelja za razvoj kurikuluma u području upravljanja vodnim resursima na području Zapadnog Balkana,
- Razvoj sadržaja i silabusa za barem 15 suvremenih kolegija iz područja upravljanja vodnim resursima,
- Inoviranje postojećih i razvoj novih diplomskih studijskih programa iz područja upravljanja vodnim resursima na Zapadnom Balkanu,
- Akreditiranje kurikuluma diplomskih studija na visokoškolskim institucijama Zapadnog Balkana u skladu s zahtjevima Bolonjske deklaracije i nacionalnim zahtjevima (nacionalnom i sveučilišnom regulativom),
- Šest trodnevnih edukacija za nastavno osoblje visokoškolskih institucija Zapadnog Balkana koje će organizirati EU partneri na svojim visokoškolskim institucijama u cilju stjecanja znanja o novim metodama poučavanja i učenja,
- Nabavka literature, software-a i laboratorijske opreme u cilju opremanja sedam laboratorija na partnerskim visokoškolskim institucijama Zapadnog Balkana.

Radni paket 3 pod naslovom: *Razvoj edukacija za stručnjake u vodnom sektoru* obuhvaća slijedeće aktivnosti:

- Upoznavanje s programima cjeloživotnog obrazovanja koje nude partnerske EU institucije stručnjacima u vodnom sektoru, sadržajem programa i nastavnim materijalima koji će služiti kao temelj za razvoj programa cjeloživotnog obrazovanja u partnerskim zemljama Zapadnog Balkana,
- Analiza potreba za programima cjeloživotnog obrazovanja u vodnom sektoru zemalja Zapadnog Balkana,
- Razvoj sadržaja programa cjeloživotnog učenja i nastavnog materijala za edukaciju stručnjaka.

Radni paket 4 pod naslovom: *Implementacija razvijenih kurikuluma diplomskog studija i edukacija* obuhvaća slijedeće aktivnosti:

- Implementacija razvijenih kurikuluma diplomskih studija upisivanjem studenata na nove i inovirane studijske programe visokoškolskih institucija Zapadnog Balkana u ak. god. 2020./21., koji obuhvaćaju korištenje suvremene laboratorijske opreme i software-a,
- Implementacija/organizacija trodnevnih edukacija (programa cjeloživotnog obrazovanja), uz pripremljene nastavne materijale dostupne na web stranici projekta, za stručnjake u vodnom sektoru na partnerskim visokoškolskim institucijama Zapadnog Balkana,
- Samo-evaluacija kurikuluma diplomskih studija dva puta godišnje,
- Samo-evaluacija edukacija za stručnjake u vodnom sektoru.

Radni paket 5 pod naslovom: *Osiguravanje kvalitete i monitoring* obuhvaća slijedeće aktivnosti:

- Razvoj Plana osiguravanja kvalitete kako bi se evaluiralo ostvarenje predviđenih projektnih ishoda,
- Održavanje sastanaka Odbora za osiguravanje kvalitete dva puta godišnje na kojima će se raspravljati o temama vezanim uz unaprjeđenje kvalitete projektnih aktivnosti,
- Vanjsko vrednovanje kvalitete Projekta osigurat će se kroz kontinuirano predstavljanje aktivnosti i rezultata projekta SWARM i kroz stručnu procjenu neovisnog vanjskog stručnjaka u sredinom trajanja projekta,
- Vanjska financijska kontrola Projekta bit će provedena od strane vanjskog stručnjaka,
- Inter-project coaching će se organizirati u drugoj godini projekta kako bi se istražile sinergije sa sličnim projektima u regiji.

Radni paket 6 pod naslovom: *Diseminacija i korištenje* obuhvaća slijedeće aktivnosti:

- Izrada Plana diseminacije i iskorištavanja koji obuhvaća: ciljeve, ciljne skupine, metode koje će se koristiti i vremenske rokove,
- Razvoj i održavanje web stranice Projekta (<http://www.swarm.ni.ac.rs/>), izrada promotivnih materijala i strategije provedbe diseminacijskih aktivnosti,
- Održavanje info dana za upisivanje studenta diplomskih studija na visokoškolskim institucijama Zapadnog Balkana uz dijeljenje promotivnih materijala,
- Održavanje okruglih stolova za ne-akademski sektor od strane visokoškolskih institucija Zapadnog Balkana s ciljem promocije usavršavanja stručnjaka u području upravljanja vodama,
- Provedba zimskih/ljetnih škola za studente Zapadno Balkanskih visokoškolskih institucija na partnerskim EU visokoškolskim institucijama u cilju usporedbe njihovih stečenih znanja sa znanjima i kompetencijama kolega iz EU,
- Održavanje simpozija za promociju upravljanja vodama u partnerskim zemljama Zapadnog Balkana, na kojem će se prezentirati inovacije i tehnologije iz EU sektora upravljanja vodama.

Radni paket 7 pod naslovom: *Upravljanje projektom* obuhvaća slijedeće aktivnosti:

- Provedba sastanka za početak Projekta na kojem će se identificirati i analizirati problematika upravljanja vodnim resursima na području Zapadnog Balkana, institucija i kvalifikacija djelatnika tih institucija, što će biti temelj za izradu novih kurikuluma i kolegija,
- Provedba sastanka za početak projekta u Brusselsu,
- Razvoj Vodiča za upravljanje Projektom kojim se utvrđuju uloge, odgovornosti i zadatci voditelja radnih paketa i voditelja pojedinih aktivnosti, način komunikacije unutar konzorcija i praktične upute za standardizaciju i optimizaciju koordinacijskih aktivnosti i upravljanja Projektom,
- Sastanci odbora za upravljanje Projektom,
- Svakodnevna koordinacija koordinatora Projekta s voditeljima radnih paketa u cilju provedbe projektnih aktivnosti i praćenje njihove realizacije,
- Podnošenje periodičnih i konačnih tehničkih i financijskih izvještaja.

4. PROJEKTNE AKTIVNOSTI GRAĐEVINSKOG FAKULTETA SVEUČILIŠTA U RIJECI

Djelatnici Katedre za hidrotehniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci će sudjelovati u implementaciji planiranih radnih paketa i aktivnosti SWARM projekta u skladu s obavezama definiranim u prihvaćenom projektnom prijedlogu, od kojih su najvažnije sljedeće:

- Doprinos izradi novih kurikuluma diplomskih studija u području upravljanja vodama temeljem vlastitog iskustva u reformiranju studijskih programa u skladu s Bolonjskom deklaracijom, koji su temeljeni na ishodima učenja i primjenu ECTS bodova kao osnovne mjere za određivanje opterećenja studenata, kao i izvedbi tih studija,
- Doprinos izradi programa cjeloživotnog obrazovanja za stručnjake Zapadnog Balkana u području upravljanja vodama temeljem vlastitog iskustva,
- Doprinos u opremanju visokoškolskih institucija Zapadnog Balkana laboratorijskom opremom software-ima i literaturom temeljem vlastitog iskustva poglavito u opremanju laboratorija na kampusu Sveučilišta u Rijeci (u okviru *RISK – Razvoj istraživačke infrastrukture na Kampusu Sveučilišta u Rijeci*, projekta sufinanciranog od Europske unije iz Europskog fonda za regionalni razvoj),
- Organiziranje i provedba trodnevne edukacije za nastavnike visokoškolskih institucija Zapadnog Balkana u zgradi Građevinskog fakulteta u Rijeci (rujan 2019.),
- Organiziranje petodnevne zimske škole za studente visokoškolskih institucija Zapadnog Balkana u zgradi Građevinskog fakulteta u Rijeci (veljača 2021.),
- Diseminaciji rezultata Projekta i promotivnim aktivnostima,
- Sudjelovanje u radu Odbora za osiguravanje kvalitete i Odbora za upravljanje Projektom kroz organizirane sastanke projektnih partnera.

Iako Građevinski fakultet u Rijeci nema u okviru Projekta obavezu izmijene ili dopune postojećih studijskih programa niti organiziranje programa cjeloživotnog obrazovanja za stručnjake u području upravljanja vodama, u ovom Projektu vidi mogućnost unaprjeđenja vlastitih studijskih programa kao i ponude novih programa cjeloživotnog obrazovanja. Implementacijom projektnih aktivnosti očekuje se umrežavanje s visokoškolskim institucijama uključenih u Projekt i postavljanje temelja da suradnju i izvan aktivnosti SWARM projekta, a koja bi mogla obuhvatiti prijavu i suradnju na novim projektima vezanim uz nastavne i znanstveno-istraživačke aktivnosti, kao i publiciranje zajedničkih radova.

ZAKLJUČAK

U radu su prezentirani osnovni elementi ERASMUS+ projekta SWARM (partnerska struktura, radni paketi i aktivnosti, dinamika realizacije, očekivani rezultati i dr.), s naglaskom na aktivnosti koje se planiraju održati na Građevinskom fakultetu u Rijeci kao i aktivnosti u kojima će sudjelovati projektni tim Katedre za hidrotehniku s Građevinskog fakulteta u Rijeci.

Uz specifične ciljeve projekta: unaprjeđenje razina kompetencija i vještina u visokoškolskim ustanovama Zapadnog Balkana razvojem novih i inovativnih diplomskih studijskih programa u području upravljanja vodnim resursima u skladu sa Bolonjskim

zahtjevima i nacionalnim standardima; osmišljavanje i implementiranje sedam novih suvremenih laboratorija na visokim učilištima Zapadnog Balkana u suradnji s projektnim partnerima iz EU te razvijanje i implementiranje programa za cjeloživotno obrazovanje stručnjaka u vodnom sektoru u skladu s Okvirnom direktivom o vodama EU, Građevinski fakultet u Rijeci, u ovom Projektu vidi mogućnost unaprjeđenja vlastitih studijskih programa kao i ponude novih programa cjeloživotnog obrazovanja.

Implementacijom projektnih aktivnosti očekuje se unaprjeđenje upravljanja vodama na širem području, ali i umrežavanje s visokoškolskim institucijama uključenim u Projekt i postavljanje temelja za suradnju i izvan aktivnosti SWARM projekta, a koja bi mogla rezultirati prijavama i implementaciji novih projekata vezanih uz nastavne i znanstveno-istraživačke aktivnosti, kao i publiciranjem zajedničkih radova.

ZAHVALA

Rad je napisan temeljem aktivnosti koje se provode u sklopu ERASMUS+ projekta *SWARM - Strengthening of master curricula in water resources management for the Western Balkans HEIs and stakeholders*.

Objavu rada sufinanciralo je Sveučilište u Rijeci kroz projekte: *Održivo upravljanje riječnim slivom implementacijom inovativnih metodologija, pristupa i alata (UNIRI-TEHNIC-18-129)* i *Hidrologija vodnih resursa i identifikacija rizika od poplava i blatnih tokova na krškim područjima (UNIRI-TEHNIC-18-54)*.

LITERATURA

[1] <http://www.swarm.ni.ac.rs/>, pristupljeno 18.2.2019.

[2] http://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/node_en ; pristupljeno 2.1.2019.

AUTORI

Prof. dr. sc. Barbara Karleuša^a, doc. dr. sc. Nevena Dragičević^b,
prof. dr. sc. Nevenka Ožanić^c, dr. sc. Ivana Sušanj Čule^d

^a Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, barbara.karleusa@uniri.hr

^b Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, nevena.dragicevic@uniri.hr

^c Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, nozanic@uniri.hr;

^d Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, isusanj@uniri.hr



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE NA INVESTICIJSKOM VALU

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

R 4.08.

**INTERNATIONAL POSTGRADUATE COURSE ON FLOOD
MANAGEMENT AT THE RIVER DANUBE BASIN**

**Enikő Anna Tamás, Dejana Djordjevic, Jovan Despotović,
György Varga, László Mrekva**

ABSTRACT: The International Postgraduate Course on Flood Management in the Danube River Basin is aimed at harmonizing the necessary levels of education, information and preparedness prior to declaring a flood on the Danube as a widest-scale phenomenon under the EU Strategy for the Danube Region. A further intention is a timely exchange of experience and knowledge and a better coordination of competent institutions immediately before a flood occurrence and for the duration of high waters and floods on the Danube and its tributaries as a basis of an integrated system of harmonized cross-border management. The goal is adequate preparation and higher mutual harmonization during floods as well as cross-border assistance in order to establish a sustainable system for protecting human life and property in the entire Danube River Basin. Based on the analysis of historical data on the Danube floods, hydrological and hydraulic considerations and risk models, including the aspects of flood occurrences and flood forecasting, flood-related legislation and regulations are presented. Finally, an overview of possible models, measures of flood protection and impacts on the infrastructure of river and urban systems is provided for the purpose of impact assessment on the environment as well as climate change impact on floods in the Danube river basin.

KEYWORDS: Danube River Basin, EU Strategy for the Danube Region, Floods, Education, Management, Coordination

**MEĐUNARODNI POSLEDIPLOMSKI KURS O
UPRAVLJANJU POPLAVAMA NA SLIVU DUNAVA**

SAŽETAK: Međunarodni poslediplomski kurs o upravljanju poplavama na slivu Dunava je predviđen radi usklađivanja neophodnog stepena obrazovanja, informisanja i pripravnosti pre najave poplava na Dunavu, kao fenomenu najširih razmera u okviru Strategije za Dunav EU. Takođe radi pravovremene razmene iskustava i znanja, te bolje koordinacije nadležnih institucija neposredno pre pojave, za vreme trajanja velikih voda i poplava na Dunavu i njegovim pritokama, kao podloga jedinstvenom sistemu prekogranične usklađenosti upravljanja. Cilj je adekvatna priprema i veća međusobna usklađenost tokom poplava, prekogranična pomoć radi uspostavljanja održivog podunavskog sistema

zaštite ljudi i imovine na celom slivu. Na bazi analiza istorijskih podataka o poplavama na Dunavu, preko hidroloških i hidrauličkih razmatranja te modelima rizika, kao i aspekte pojave poplava i predviđanje poplava, izložene su legislative i regulative u vezi poplava. Da bi se na kraju kroz pregled mogućih modela i sredstava zaštite od poplava i uticaja na infrastrukturne rečne i gradske sistema, ocenili uticaji na životnu sredinu kao i efekti promene klime u domenu poplava na slivu Dunava.

KLJUČNE RIJEČI: sliv Dunava, strategija Dunava, poplave, edukacija, upravljanje, koordinacija

1. INTRODUCTION

The Danube Strategic Project Fund (DSPF) was founded with the idea to serve as facility that will support the implementation of transnational strategic projects which are aligned with the objective of the EU Strategy for the Danube Region (EUSDR). The most significant activity in the Priority Area 5 is in the field of environmental risks. The activity should facilitate the flood protection of the Region and to enhance the flood safety of the whole Danube Basin.

The lack of the dissemination of specific knowledge and practical solutions in flood protection hinders the implementation of EU Floods Directive and the Danube Basin Flood Risk Management Plan. Floods are amongst the major issues in the Danube river basin, if not the most important one.

Numerous floods have happened in the last two decades in almost all countries in the Danube River basin. Many of them were very huge, although there had been even larger ones during the long history [1]. In addition to huge floods in the Danube River (2006, 2010, 2013, 2014), even larger ones had happened along the major tributaries of the Danube River in its middle course such as those in the Tamiš River (2005), the Tisza River (2006), the Sava River (2005, 2010, 2013, 2014), as well as in the Sava River's principal tributaries: the Drina River (2010), the Kolubara River in 2014. Damages topped billions of EUROS, and the casualties were even worse.

Management of floods is usually based on harmonized flood defense planning, forecast procedures and co-ordination of the activities of different institutions on the national and international level. Basic documents related to flood issues, that have been already developed in the EU, include the EU Floods Directive and the Danube Basin Flood Risk Management plan. The EU Strategy for the Danube Region (EUSDR) recognizes the importance of flood management. Thus, the Danube Strategic Project Fund (DSPF) supported the InterFloodCourse Project which aimed at the development of a curriculum and training material for the international, basin-wide course on flood management.

The curriculum within the InterFloodCourse Project is developed by experts from 7 countries basin-wide, who have long experience in water management education, research and engineering practice. Apart from the course curriculum, the team of experts prepared course materials in the book of which covers numerous aspects of the flood management. Additionally, the course material provides an overview of impacts of climate change on floods and those of flood duration and magnitude on the environment, navigation, urban infrastructure systems and flood control structures. Various topics are complemented with examples demonstrating practical experience on the Danube River and its tributaries in

Hungary and Serbia. This has been prepared, co-ordinated and edited by the two Project partners: the Faculty of Water Sciences of the National University of Public Service of Baja and the Faculty of Civil Engineering of the Belgrade University.

The Course is offered at provision to interested parties and state agencies, who will benefit both from general and advanced knowledge in river hydrology and hydraulics, including statistics, sediment, soil and ground data, and different flood forecast aspects.

The Course will be divided into two parts in accordance with the curriculum. The first half of the course, which roughly covers 8 topics/chapters of the book, will be held at the University of Belgrade - Faculty of Civil Engineering, and the second half, covered by additional 8 topics/chapters, at the Faculty of Water Sciences in Baja. In addition to class trainings, one field trip is included in each host country. It should be stressed that the course aims at preparing flood management professionals for the prevention and hopefully reduction of damages and casualties in the entire Danube River basin.

It should be emphasised that there is a strong need for harmonization of flood risk management in the entire Danube River Basin which is approximately 800.00 sqkm large (Figure 1).

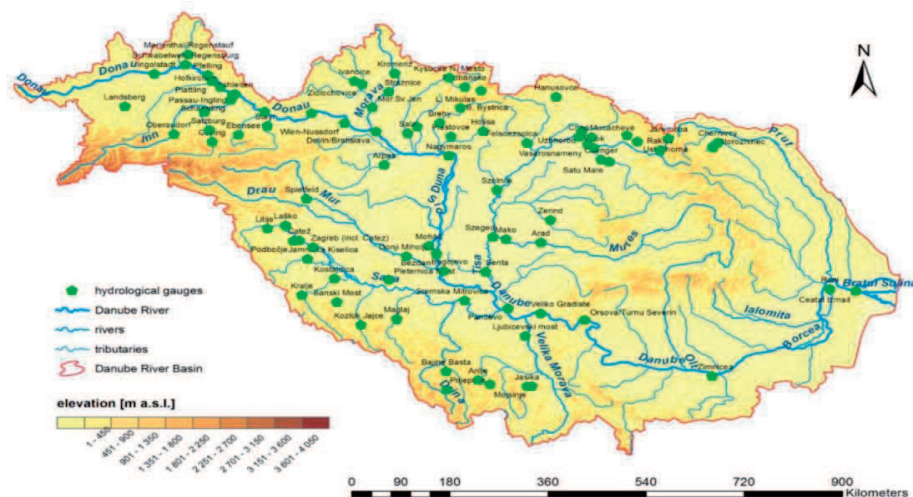


Figure 1. Gauging stations on the Danube River and its tributaries

2. CONCEPT AND CONTENTS OF THE INTERFLOODCOURSE

A brief description of the 16 chapters/courses within the International Postgraduate Course on Flood Management that lasts 2 semesters is given. It is assumed that course participants will have general civil engineering background.

2.1. Historical floods on the Danube

The chapter is intended to present a comprehensive overview of the major flood events in the Danube River Basin based on the available hydrologic data, starting from the flood event in 1012. Specifically, major flood events in the mediaeval period (1501 - 1820) and

events that have occurred since the founding of gauging systems (1821. onwards) will be presented chronologically at several locations in the Danube River Basin. Tendencies and periodicities in flood occurrence and changes in flood properties along the Danube River will be outlined. Particularly, propagation of the flood wave along the river course will be illustrated for few major events. The course stems from the draft of the project “Flood Regime of Rivers in the Danube River Basin”, being prepared by the Slovak National Committee for IHP UNESCO at the Institute of Hydrology [1].

2.2. Flood frequency analysis

This course covers theory and practice of the analysis of flood frequencies. It summarizes statistical methods used in hydrology (hydrological statistical methods) as tools for better understanding of flood events. Information on data acquisition and statistical evaluation of the acquired data that are used for the description of flood magnitudes and evaluation flood probabilities are given. Consequently, the methods for evaluation and interpretation of the results that are used as an input for flood management planning and flood risk management are presented. This is followed by the quantification of the flood probability and overview of tangible and intangible damages. Then, basics of the flood - risk mapping are given together with the forecasting, warning and system response.

2.3. Hydraulic modelling

The quality of flood risk assessment and consequent flood defence planning and management highly depends of the proper definition of flood hazard maps. The level of confidence of these maps is governed both by the quality of the hydrologic and hydraulic models. This course is focused on the hydraulic modelling of floods.

The course shall provide a state-of-the-art in hydraulic modelling of floods. It shall confine to 1D models due to their robustness. The quality of different models shall be assessed by comparison with experimental and field data. The following topics shall be included:

- characteristics of flow structure in compound channels,
- role of vegetation, its effect on flow structure and its environmental effect,
- floodplain processes,
- overview of 1D-models for compound channel flow modelling,
- comparative analysis of traditional and new, improved models and the assessment of their performance.

2.4. Retention and localization

Water retention measures in the prevention of extreme flood stages. How to design and operate reservoirs in the upper catchment in order to lower peak discharges/stages on the lower stretches of the tributaries, and how to manage flash floods with retention facilities. Localization of flood spills with reservoirs. The methodological bases of the emergency flood retention, the practice of application (the required water quantity from the point of view of detention, the most effective period of the filling up of the flood detention reservoir, the flood peak reductive effect of the emergency flood retention, the effect of the emergency flood retention in the river system, the hydrological viewpoints of the selection of the

emplacement and the building-up of the emergency flood reservoir, the possible technical solutions of the filling-up and the return flow, the operation management of the flood detention reservoirs and the operational plan of their utilization, hydrological observations, measurements, perceptions).

The concept of the flood localization, its role and its types (static localization, dynamic localization, preventive and operative localization, hydrological bases of the localization plans, primary parts of the new localization plans - register plans, primary parts of the new localization plans - operational plan, approval and application of the localization plans, validity of the localization plans and their regular revision, viewpoints of the development of the localization plans, proposals to the selection of the certain localization opportunities, selection of the places of return flow and technologies, examination of the endangerment of the inhabited areas and their localization opportunity, methodology of hydraulic examinations needed to the localization plans).

2.5. Flood risk assessment

Flood risk assessment is a rather challenging task as it combines the results of hydrologic and hydraulic simulations with assessment of corresponding flood damages and negative impacts of human health and lives in an area of interest. As such, it combines hydrologic-hydraulic modelling with economic indicators of e.g. asset values in a considered area. Flood risk is communicated to the decision makers and communities by means of flood risk maps. Although challenging and fraud with uncertainties, flood risk assessment is necessary for effective flood management and mitigation of flood consequences.

This course is intended to familiarize the attendees with the basic concepts and definitions of flood risk, flood probability and hazard, depth-damage curves, etc. The methodology for flood risk assessment will be presented, including the following sections:

- Basics of hydrologic modelling,
- Estimation of flood probability and flood hazard,
- Assessment of asset value and derivation of depth-damage curves,
- Flood risk assessment,
- Flood risk classification,
- Application of GIS tools to obtain flood risk maps.

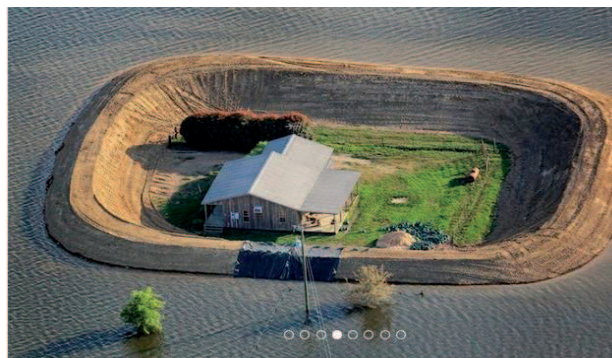


Figure 2. Flood protection of particular locations planned in GIS tools

2.6. River engineering / training, sediment processes

General subject of river engineering. Planning of river training facilities with special regard to flood management. Questions of traditional river training and non-structural measures. Dyke systems, localization systems. Sediment issues related to river training and flood management. Reservoir sedimentation. Riverbed incision of large regulated rivers. Floodplain aggradation and its possible consequences. Floodplain roughness. Principles of land-use planning. Changes of flood conveyance capacities. Highly responsible technical-economical decisions. Risk perception, acceptance and communication. Definition of participants of integrated river management. Classification of tasks (possible utilization) due to the interests.

2.7. Logistics of flood and excess water control

2. The typical logistical setup in emergency situation. Main tasks of organization of flood management. Most important logistical activities: transport, loading, storing, packing, material management, stockpiling, collection, distribution, information management. Assurance of the personal, material and functional conditions. Hierarchy of flood control measures. Tasks of authorities and water management bodies. Other intervening bodies and institutions. Communication (including cross-border communications). Involvement of the public and volunteers.

2.8. Flood forecasting

This course is in line with the project's overall objective as stipulated in the DSFP project document, which is to develop lecture notes for an international postgraduate course on flood protection and flood risk management with particular focus on the Danube River Basin (DRB). The end result should be a comprehensive flood management curriculum that offers further specialization and professional development possibilities for practicing (civil) engineers involved in flood management in the Danube River Basin.

The course will provide an overview of types and causes of floods in the Danube River Basin (illustrated with typical real-world examples from various catchments within the DRB and/or elsewhere). The course will also include following:

- Highlighting the role and the importance that flood forecasting plays in flood protection and flood risk management.
- Types of FFWS depending on catchment size, physical processes, lead time of forecast, type of service required, etc.
- Description of key components of a well-organized and competent FFWS; elaborate on relative importance of each component (illustrated with examples of real-world FFWS within the Danube river basin and/or elsewhere).
- Model types; Choice of appropriate models for real time flood forecasting; Model accuracy and reliability of forecasts; Major trends and methods/models used nowadays for operational real time flood forecasting; focus in particular on models and approaches used in Europe and the DRB (illustrated with real-world examples).
- End users (water resources and flood managers) and their requirements; Type of disseminated flood warnings; timeliness of issued warnings; role of thresholds; flood

- warning and society; media awareness; organizational aspects. Examples of flood warning systems in existence in the DRB and/or elsewhere.
- Description of EFAS, newly developed Sava FFWS, etc.
 - New trends and developments concerning flood forecasting in the DRB and/or elsewhere.

2.9. Soil mechanics of flood control structures

Dykes and other earth structures used in flood control. Special planning and investigation methods in the daily practice. Geological mapping. Soil mapping. Geotechnical investigations. Design criteria. Design consideration (e.g. consideration of the stability of the structure, avoid unstable and weak subsoil). Economic aspects. Engineering aspect: materials shall be with well-grained condition, high shearing strength, permeability of materials (high impermeability), good workability, durability against environmental variation (reiteration of wet and dry condition, it is very important to know the possibility of compressive deformation or expansion, moisture content, grain-size and fractions).

2.10. Policies and regulative (such as directives, planning, design)

The purpose of this chapter is to provide options for communities that want to implement during flood management regulations which reduce flood damage and the overall impacts of floods. These impacts include human risk, environmental damage, property damage, flood insurance claims, displacement of residents, and burden on community infrastructure and services. General introduction to EU legislation in relation to flood management and flood control. Relevant implications of the EU Water Framework Directive and its implementation. The Floods Directive and its implementation. International and inter-governmental bodies in flood management and flood risk management in the Danube river basin. International treaties and regulations, roles and responsibilities (the community role, the state role).

2.11. Flood and excess water control techniques and technologies

General subject of floodwater and excess water control. Sources of excess water (runoff and local rainfall) and the cause of its. Relation of the cause and effect. Runoff control. The management of excess water within floodplains/along the rivers. The management of excess water outside the flood protection dykes (in agricultural land etc.). Insurance against damage. Building flood protection dykes. Water retention and water detention reservoirs. Forecast. Highly responsible technical - economical decisions. Risk perception, acceptance and communication.

2.12. Flood and excess water control techniques and technologies

Floods are natural disastrous events, which can be triggered by various causes. Flood events can differ according to their properties, such as the flooding extent (the size of a flooded area) and consequent damages. Specifically, flooding of urbanized or industrial areas causes tremendous damages, while flooding of uncultivated land causes minimal damages. Hence, flood damages are one criterion for flood categorization. Probability of

flooding can seldom be decreased. Therefore, flood protection activities should also be pointed towards mitigation of flood damages.

This course is designed to include description of various flood protection measures and the need for the establishment of effective flood protection system. The flood protection system should be adjusted to provide a robust defense of urban areas and valuable assets. The course shall also highlight increasing tendencies of flood probability and vulnerability. Innovative flood protection measures will be elaborated, including the application of the “L” elements, a validated European patent. Water holding barriers and measures for reinforcement of dykes will be also presented, as well as the procedure for establishment and implementation of effective flood protection system.



Figure 3. Constructions erection aiming at high water protection

2.13. Management of navigation during floods

This course is based upon the author experience and expertise in the fields of navigation management, navigation safety improvement, and with the operational implementation of the River Information System (RIS) in the mid Danube and the Sava basins that are either within the territory of the Republic of Serbia or in the sectors managed jointly by the Republic of Serbia and neighboring countries. In addition to the improvement of the navigation safety, importance of environmental issues related to the management of the boat waste is highlighted.

Advancements of navigation safety and adequate boat waste management during flood events require additional efforts in future, and these topics represent the core of this course. Measures that improve navigation safety during high water levels are presented, and also is RIS with its features and possible extensions, including the issue of boat waste management.

2.14. Management within urban infrastructure hydraulic systems during floods

Typical tasks and situations of the preparation for flooding and in flood circumstances within urban environment. Major and minor flow. Best management practices (BMPs).

Green infrastructure (GI). Integrated urban water management (IUWM). Low impact development (LID), low impact urban design and development (LIUDD). Stormwater control measures (SCMs). Sustainable urban drainage systems (SUDS). Practices in water sensitive urban design. Problems to manage. Case studies and examples of urban flood protection measures (active and passive). Highly responsible technical-economical decisions. Risk perception, acceptance and communication. Preparation for defense. Post event tasks. Insurance against damage. Risk perception, acceptance and communication. Urban flood risk management. Urban land use.



Figure 4 . Facilities for fighting floods in urban conditions

2.15. Climate change and effects on floods

As the Earth's climate changes due to Climate Changes, floods will occur more often and will become more devastating. Based on physical reasoning, however, many studies predict that Climate change has contributed to an increase in the intensity and frequency of floods. A recent report from the European Environment Agency (EEA) echoes this, predicting increases in both river and coastal flooding in the Europe.

The question is how to quantify those statements and calculate how much flood frequency and magnitude will increase? It's pretty difficult to assess the effect climate change has on flooding. While in theory warmer temperatures may lead to more rain, the climate system is pretty complicated in practice. Studies that quantified climate change impacts on flood are quite rare. They are based on predicted precipitation increase with some frequency or empirical based on flood samples observed in the past. Basic reports about climate change and floods from the Danube region I will presented including my own research on the Sava river. Different climate change scenarios will be discus also. Several methodologies and case studies of climate change impact on floods I will present and discuss.

2.16. Environmental aspects management during floods

Effects of floods to aquatic organisms are still not properly addressed, although there are many studies. There are two general types of effects - mechanical and pollution. Floods

mechanically disturb communities, affect behavior of organisms, feeding, breeding, etc. For example, for macroinvertebrate and fish communities it was demonstrated that the abundance, density, richness, and diversity experienced statistically significant decreases following the extreme events. The other aspect, effect of mobilized pollutants on aquatic biota during floods, especially in the case of large rivers, is also an open issue. Floods play important role in the transport of pollutants associated with particulate matter. Generally, concentrations of suspended particulate matter and pollutant contents increase with increasing discharge, particularly in the early stage of floods. Based on our study on mussels, aquatic worms and two fish species, flooding had diverse effects on the level of DNA damage.

2.17. Field trips / study trips

There are two field/study trips scheduled for Belgrade and Hungary, dedicated at introducing participants to combined effects of fluvial and pluvial floods.

In Belgrade are designed several construction of bridges, highways and other ones equipped for prevention of floods, such as experimental site at the Ostruznica Bridge and the flood and pollution control facilities. The facilities are equipped with storm filters for control of accidental pollution and the system that conveys excess treated water towards the infiltration fields for recharge of the local aquifer used for water supply.

Another is the Topcider river and its flood control structures. Also is a visit to the factory that produces mobile equipment for flood defense. Visit to the right Sava River bank – learning from mistakes: the storm sewer system outlets whose operation is critical during floods, and the new Belgrade Waterfront.

A visit to the levees which were under reconstruction at the Kolubara river after the catastrophic floods in 2014.

In the second semester participants will visit measurements profiles at the river Danube Hungary, for a 3-day short introduction of measurement technologies. The subject is to be carried out according to the existing curricula of the National University of Public Service, Faculty of Water Sciences. No new course materials will be given in frame of DSPF project.

Firstly, a general introduction to the concept of different flow and sediment measurements on large rivers. Introduction to organization and preparation of measurements and equipment.

In addition, a practice of bathymetry (different technologies). Practice of discharge measurement (ADCP). Practice of sediment sampling.

Lastly, participants will receive a brief theory and practice of the evaluation of measurements and introduction to modelling theories based on field data.

CONCLUSION

The target of the project is to harmonize methodologies and foster academic mobility of engineers in training. The result is a comprehensive flood management curriculum that offers a professional development for engineers. The DSPF project will provide the possibility for common education based on EU directives, EUSDR PA5 and DFRMP needs, as well as on the extensive operative experience of lecturers.

The International Postgraduate Course on Flood management will be implemented in co-operation of the two partners, Hungarian National University of Public Service Faculty of Water Sciences, Baja, Hungary, and University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Serbia. The course will be offering an international overview for participants.

The DSPF project ended in January 2019. The start of the International Postgraduate Course on Flood management is planned for the academic year 2019/2020. The application procedure will be managed by the lead partner, so applications for student admitting will be at National University of Public Service (NUPS) Faculty of Water Sciences, Baja, Hungary.

The International Postgraduate Course on Flood management will involve postgraduate Engineers (preferably Civil engineers) with a BSc degree or higher.

Seeking of additional partner institutions is planned having in mind that number of the existing water authorities' management of floods is not enough, nor well educated.

During last floods it was obvious that governmental and private companies were not prepared. Designed education for preparation, forecast and mobility of people and knowledge is needed for flood management in the Danube River Basin.

LITERATURE

- [1] Tamas, E.A., J. Despotovic (2019): *International Postgraduate Course on Flood Management*, National University of Public Service, Faculty of Water Sciences, Baja, Hungary, University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia, *Danube Strategy Project Fund*, Vienna.
- [2] Pekarova, P. 2018: *Flood regime of rivers in the Danube River basin*, Draft, Regional Co-operation of the Danube Countries in Frame of the IHP of UNESCO and Slovak National Committee for IHP UNESCO at the Institute of Hydrology, Slovak Academy of Science, Bratislava. Slovakia.
- [3] Prohaska S., Ilić A., 2017: *A design flood estimation at the hydrological gauging stations - what that could be ?* 27th Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management - Danube Conference 2017, 26-28 September 2017, Golden Sands, Bulgaria, ISBN 978-954-90537-2-2, Publisher: Bulgarian National Committee for the International Hydrological Programme of UNESCO, CD pp.. 132-145; Abstracts - pp. 30-31.
- [4] Prohaska S., Ilić A., 2017: *Sveobuhvatni pristup određivanju hidrograma velikih voda rijeke Drave mjerodavnih za projektiranje u hidrotehnici*, Hrvatske vode, Časopis za vodno gospodarstvo, Zagreb, ISSN 1330-1144, Izdavač: Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Zagreb, vol. 25, br. 101, str. 159-168.
- [5] EU Directives (*Flood Directive 2007/60/EC*).
- [6] The Danube River Basin Management Plan, ICPDR, 2009.
- [7] Despotovic, J., S. Ploco, R. Andricevic: *A Characterisation Report for the Kolubara river basin, Project "Pilot river basin management plan for the Sava river"*, Regional CARDS Project, Safege, Delft IHE, Faculty of Civil Engineering in Belgrade, 2004-2007.

- [8] Jasna Plavsic, J. Despotovic, D. Vladikovic: *Floods in the Sava River Basin in May 2014*, Proc. Mediterranean Meeting on Monitoring, Modelling, Early Warning of Extreme Events Triggered by Heavy Rainfall, University of Calabria, Cosenza, 2014.
- [9] J. Despotovic, J.Plavšić (Eds.): *Regional Rainfall Conferences at the Balkans 2005 and 2010*, Proceedings - Extended Abstracts, papers and presentations presented on the occasion of the Regional expert meetings, University of Belgrade - Faculty of Civil Engineering, The International Research and Training Center on Urban Drainage - IRTCUD UNESCO, ISBN 978-86-7518-165-1; COBISS.SR-ID 192788492, CD, 2014.
- [10] J. Despotovic (Chief), et al.: *Southeastern Europe and Caucasus Climate Change and Catastrophic Risk Insurance facility - Implement of the Study*. Agency EUROPA Re-insurance Facility Limited (Europa RE) Zug, Switzerland. University of Belgrade - Faculty of Civil Engineering, Hydro Meteo Service of Serbia for Air Worldwide Co., www.air-worldwide.com and World Bank, (Contract No. 367-23-1/2012 as of 01.03.2012). 2013.

AUTORI

Prof. dr Enikő Anna Tamás ^a

Prof. dr Dejana Djordjevic ^b,

Prof. dr Jovan Despotović ^{b,c}

György Varga ^a

László Mrekva ^a

^a Hungary National University of Public Service – Faculty of Water Sciences, 6500 Baja, Bajcsy-Zs, utca 12-14, Hungary, tamas.eniko.anna@gmail.com

^b University of Belgrade - Faculty of Civil Engineering, Bul. Kralja Aleksandra 73, Belgrade, dejana@grf.bg.ac.rs, jdespotovic@grf.bg.ac.rs

^c CEKIBEO Ltd., Belgrade, Zahumska 26, cekibeo.doo@gmail.com



7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA
HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE

OPATIJA 30. SVIBNJA - 1. LIPNJA 2019.

KAZALO AUTORA

Broj rad	autor	stranica	Broj rad	autor	stranica
A					
1	R 2.25. Andabaka Željko	843	28	P. 01. Biondić Danko	23
2	R 1.35. Antolić Jasmina	391	29	R 2.01. Biondić Danko	595
3	R 2.27. Antolić Jasmina	861	30	R 2.02. Biondić Danko	605
4	R 3.11. Amoffi Michelle	1129	31	R 4.04. Biondić Danko	1169
B					
5	R 2.29. Bagarić Mario	879	32	R 1.40. Biondić Ranko	437
6	R 2.20. Bakić Begić Helena	783	33	R 2.09. Bišćan Matko	673
7	R 2.13. Barač Branimir	713	34	R 2.29. Blagus Marko	879
8	R 3.07. Barač Branimir	1091	35	R 1.11. Blažević Dunja	163
9	R 1.03. Barbalić Darko	85	36	R 1.48. Boljat Ivana	513
10	R 2.01. Barbalić Darko	595	37	R 1.16. Bošnjak Tomislava	211
11	R 2.02. Barbalić Darko	605	38	R 1.37. Brilly Mitja	407
12	R 4.04. Barbalić Darko	1169	39	R 1.11. Brleković Tamara	163
13	R 4.04. Barbalić Marina	116	40	R 2.23. Brleković Tamara	825
14	R 2.01. Barbalić Sanja	595	41	R 1.15. Brozinčević Andrijana	201
15	R 1.14. Bartolić Ivana	191	42	R 2.20. Bubalo Kovačić Marina	783
16	R 1.21. Bartolić Ivana	261	43	R 2.25. Bubalo Kovačić Marina	843
17	R 1.25. Bartoš Divac Vladislava	293	44	R 2.39. Bujak Damjan	985
18	R 3.02. Bašić Ivana	1031	45	R 2.41. Bujak Damjan	1005
19	R 1.08. Bašić Klaudija	133	46	R 1.35. Bujas Neven	391
20	R 2.16. Bašić Žana	745	47	R 1.08. Bunić Danijel	133
21	R 1.08. Bekić Damir	133	48	R 1.26. Bušelić Gordana	301
22	R 1.19. Bekić Damir	241	49	R 2.09. Bušić Perica	673
23	R 1.20. Bekić Damir	251	50	R 1.28. Buzjak Nenad	321
24	R 2.40. Bekić Damir	995	C		
25	R 1.52. Bergant Matic	555	51	R 2.41. Carević Dalibor	1005
26	R 1.37. Bezac Nejc	407	52	R 2.36. Carević Toni	955
27	R 3.11. Biondi Stefano	1129	53	R 1.03. Čibilić Alan	85
			54	R 1.24. Ciglencečki Irena	287
			55	R 1.53. Ciglencečki Irena	565
			56	R 4.03. Ciglencečki Irena	1161

57	R 2.30. Cikojević Antonija	891	88	R 1.31. Dragičević Paula	351
58	R 2.38. Cikojević Antonija	975	89	R 1.31. Dragun Zrinka	351
59	R 1.02. Cindrić Kalin Ksenija	75	90	R 2.34. Družeta Siniša	933
60	R 1.05. Cindrić Kalin Ksenija	101	91	R 3.09. Družeta Siniša	1113
61	R 1.07. Cindrić Kalin Ksenija	121	92	R 1.41. Duić Željko	447
62	R 2.34. Crnković Bojan	933	93	R 3.07. Dundović Igor	1091
63	R 1.50. Curk Miha	537	94	R 1.22. Duplić Aljoša	269
			95	R 2.04. Duplić Aljoša	625

Č

64	R 2.27. Čaić Janković Ana	861
65	R 4.03. Čanković Milan	1161
66	R 1.28. Čanjevac Ivan	321
67	R 1.49. Čupić Daria	523

Ć

68	R 1.22. Ćaleta Marko	269
69	R 4.05. Ćosić - Flajsig Gorana	1179
70	R 4.06. Ćosić - Flajsig Gorana	1189
71	R 1.53. Ćosović Božena	565
72	R 1.26. Ćuže Denona Maja	301

D

73	R 2.18. Dabro Mate	763
74	R 2.19. Dabro Mate	773
75	R 2.31. Dadić Miroslav	901
76	R 1.24. Dautović Jelena	287
77	R 1.53. Dautović Jelena	565
78	R 4.06. Deak Doroteja	1189
79	R 3.11. Despotović Jovan	1129
80	R 4.08. Despotović Jovan	1207
81	R 3.11. Djukić Aleksandar	1129
82	R 1.47. Dogančić Dragana	503
83	R 1.41. Domitrović Dubravko	447
84	R 1.30. Dorić Valentina	341
85	R 1.41. Dragičević Ivan	447
86	R 2.06. Dragičević Nevena	641
87	R 4.07. Dragičević Nevena	1199

DŽ

96	R 1.06. Džaja Marko	111
----	---------------------	-----

Đ

97	R 4.08. Đorđević Dejana	1207
98	P. 01. Đuroković Zoran	23

E

99	R 1.51. Erdelez Anita	545
100	R 1.31. Erk Marijana	351

F

101	R 1.20. Ferenčak Filip	251
102	R 1.18. Filipan Sanja	231
103	R 2.25. Filipović Lana	843
104	R 2.25. Filipović Vilić	843
105	R 2.33. Filipović Vilić	923
106	R 1.31. Filipović Marijić Vlatka	351
107	R 3.07. Fremec Matej	1091
108	R 1.22. Fuller C. Ian	269
109	R 1.51. Furdek Martina	545
110	R 1.52. Furdek Turk Martina	555

G

111	R 2.26. Galić Marija	853
112	R 2.29. Galiot Marinko	879
113	R 1.55. Gavrilović Ana	585
114	R 1.50. Glavan Matjaž	537
115	R 2.35. Glavaš Berislav	943
116	R 2.12. Gilja Gordon	701
117	R 2.30. Gilja Gordon	891
118	R 2.38. Gilja Gordon	975
119	R 2.39. Gilja Gordon	985
120	R 1.46. Gjetvaj Goran	493
121	R 1.30. Gottstein Sanja	341
122	R 3.09. Grbčić Luka	1113
123	R 1.01. Guttler Ivan	67
124	R 1.05. Guttler Ivan	101

H

125	R 2.27. Halamić Josip	861
126	R 2.32. Heček Nenad	915
127	R 1.55. Hengl Brigita	585
128	R 2.17. Holjević Danko	755
129	R 2.22. Holjević Danko	809
130	R 2.29. Holjević Danko	879
131	R 2.34. Holjević Danko	933
132	R 2.17. Holjević Ena	755
133	R 2.17. Holjević Tatjana	755
134	R 3.05. Holjević Toni	1071
135	R 2.28. Husnjak Stjepan	869

I

136	R 1.09. Ilić Aleksandra	143
137	R 1.25. Ilić Aleksandra	293
138	R 1.52. Ivanić Maja	555
139	R 2.27. Ivanišević Danijel	861
140	R 1.21. Ivanković Ivana	261
141	R 1.31. Ivanković Dušica	351

142	R 1.18. Ivezić Vedran	231
143	R 1.19. Ivezić Vedran	241
144	R 1.20. Ivezić Vedran	251

J

145	R 2.29. Jakelić Zoran	879
146	R 2.35. Jakelić Zoran	943
147	R 2.31. Jambrović Antun	901
148	R 4.03. Janeković Ivica	1161
149	R 1.13. Jelenić Matej	183
150	R 2.12. Jelić Dora	701
151	R 2.38. Jelić Dušan	975
152	R 1.25. Jelovac Milena	293
153	R 2.31. Josipović Marko	901
154	R 1.55. Jug - Dujkaković Jura	585

K

155	R 1.18. Kadić Vlatko	231
156	R 1.07. Kalin Lovro	121
157	R 1.14. Kalinić Filip	191
158	R 1.21. Kalinić Filip	261
159	R 1.47. Kapelj Sanja	503
160	R 1.55. Kapetanović Damir	585
161	R 1.46. Kardum Marko	493
162	R 1.03. Karleuša Barbara	85
163	R 2.06. Karleuša Barbara	641
164	R 4.07. Karleuša Barbara	1199
165	R 4.05. Karleuša Barbara	1179
166	R 3.03. Kartelo Robert	1043
167	R 1.55. Kazazić Snježana	585
168	R 1.30. Kerovec Mladen	341
169	R 1.15. Klemar Željka	201
170	R 1.55. Knežević Dražen	585
171	R 2.07. Kolarić Buconjić Sanda	651
172	R 2.15. Kolarić Buconjić Sanda	735
173	R 2.14. Kolarić Dario	723
174	R 2.15. Kolarić Dario	735
175	R 1.55. Kolda Anamarija	585

176	R 3.04. Konosić Luka	1057
177	R 3.10. Koški Željko	1121
178	R 2.09. Kotaran Munda Marijana	673
179	R 1.39. Kovač Zoran	427
180	R 2.27. Kovačević Aleksandra	861
181	R 4.06. Kovačević Dejan	1189
182	R 1.38. Kovčić Omer	417
183	R 2.25. Kranjčec Filip	843
184	R 3.09. Kranjčević Lado	1113
185	R 1.31. Krasnići Nesrete	351
186	R 2.25. Krevh Vedran	843
187	R 3.07. Kristić Ante	1091
188	R 1.03. Krvavica Nino	85
189	R 1.04. Krvavica Nino	93
190	R 1.05. Krvavica Nino	101
191	R 1.27. Krvavica Nino	311
192	R 1.32. Krvavica Nino	361
193	R 1.08. Kulić Tin	133
194	R 2.40. Kulić Tin	995
195	R 2.12. Kuspilić Neven	701
196	R 2.30. Kuspilić Neven	891
197	R 1.54. Kušpilić Grozdan	573
198	R 1.37. Kryžanowski Andrej	407
199	R 2.03. Kryžanowski Andrej	615

L

200	R 1.31. Lajtner Jasna	351
201	R 1.49. Larva Ozren	523
202	R 2.24. Leko - Kos Marija	835
203	R 1.11. Leninger Ivan	163
204	R 1.40. Leskovar Karlo	437
205	R 1.40. Loborec Jelena	437
206	R 1.47. Loborec Jelena	503
207	R 1.46. Lončar Goran	493
208	R 2.41. Lončar Goran	1005
209	R 1.48. Lukač Reberski Jasmina	513
210	R 2.04. Lunko Petra	625
211	R 2.29. Lustig Rene	879

M

212	R 1.06. Macek Kornelija	111
213	R 2.25. Maletić Edi	843
214	R 2.06. Marasović Ines	641
215	R 3.08. Margeta Jure	1103
216	R 4.03. Marguš Marija	1161
217	R 2.39. Marić Matea	985
218	R 1.10. Maričić Siniša	153
219	R 1.07. Marinović Ivana	121
220	R 1.15. Markić Nikola	201
221	2.09. Marković Berislav	673
222	R 2.09. Marković Kruna	673
223	R 2.31. Marković Monika	901
224	R 2.07. Marković Zoran	651
225	R 3.02. Marojević Berislav	1031
226	R 2.13. Marojević Želimir	713
227	R 2.08. Martinez Goran	667
228	R 1.28. Martinić Ivan	321
229	R 2.22. Marušić Josip	809
230	R 4.02. Marušić Josip	1149
231	R 1.07. Matjačić Blaženka	121
232	R 1.22. Matoš Bojan	269
233	R 2.25. Maurović Nada	843
234	R 2.33. Maurović Nada	923
235	R 1.40. Meaški Hrvoje	437
236	R 1.35. Medić Đorđa	391
237	R 2.27. Medić Đorđa	861
238	R 4.04. Medić Đorđa	1169
239	R 2.40. Meheš Nikola	995
240	R 2.26. Mesić Milan	853
241	R 1.29. Mihaljević Zlatko	331
242	R 1.30. Mihaljević Zlatko	341
243	R 1.33. Mihaljević Zlatko	371
244	R 3.05. Mihelčić Danko	1071
245	R 1.44. Mihelčić Nataša	473
246	R 1.52. Mikac Nevenka	555
247	R 1.31. Mijošek Tatjana	351
248	R 1.13. Mijušković - Svetinović Tatjana	183
249	R 3.01. Milaković Goran	1017

250	R 1.06. Milin Marin	111	280	R 1.07. Pelajić Izidor	121
251	R 2.27. Mišur Ivan	861	281	R 2.26. Perčin Aleksandra	853
252	R 4.08. Mrekva László	1207	282	R 2.03. Pergar Petra	615
253	R 2.33. Mustać Ivan	923	283	R 1.55. Perić Lorena	585

N

254	R 1.39. Nakić Zoran	427	284	R 1.39. Perković Dario	427
255	R 3.05. Nemeć Damjan	1071	285	R 3.02. Peroš Petar	1031
256	R 1.02. Nimac Irena	75	286	R 3.04. Petković Ivona	1057
257	R 2.05. Novosel Tomislav	631	287	R 2.33. Petošić Dragutin	923

O

258	R 2.15. Obarčanin Enes	735	291	R 1.50. Pintar Marina	537
259	R 2.16. Obarčanin Enes	745	292	R 2.31. Plavšić Hrvoje	901
260	R 3.10. Obradović Dino	1121	293	R 3.11. Plavšić Jasna	1129
261	R 2.30. Ocvirk Eva	891	294	R 1.09. Pokorni Boris	143
262	R 2.38. Ocvirk Eva	975	295	R 3.11. Prodanović Dušan	1129
263	R 2.39. Ocvirk Eva	985	296	R 1.09. Prohaska Stevan	143
264	R 1.24. Orlović - Leko Palma	287	297	R 1.25. Prohaska Stevan	293
265	R 2.20. Ondrašek Gabrijel	783	298	R 1.30. Pozojević Ivana	341
266	R 2.25. Ondrašek Gabrijel	843	299	R 1.30. Previšić Ana	341
267	R 1.06. Oskoruš Dijana	111			
268	R 1.12. Oskoruš Dijana	173			
269	R 1.32. Oskoruš Dijana	361			
270	R 1.42. Oštrić Maja	457			
271	R 1.44. Oštrić Maja	473			
272	R 1.27. Ožanić Nevenka	311			
273	R 1.45. Ožanić Nevenka	483			
274	R 4.07. Ožanić Nevenka	1199			

P

275	R 1.39. Parlov Jelena	427			
276	R 1.46. Patrk Hrvoje	493			
277	R 1.41. Pavičić Ivica	447			
278	R 1.51. Peharda Melita	545			
279	R 1.42. Pekaš Želimir	457			

R

300	R 1.42. Radeljak Helena	457			
301	R 2.18. Radić Čedo	763			
302	R 2.19. Radić Čedo	773			
303	R 1.05. Radišić Maja	101			
304	R 1.15. Radišić Maja	201			
305	R 1.26. Radišić Maja	301			
306	R 2.28. Rastija Domagoj	869			
307	R 1.41. Ravnjak Ilija	447			
308	R 1.31. Redžović Zuzana	351			
309	R 1.36. Repec Siniša	39			
310	R 1.23. Repec Siniša	279			
311	R 3.05. Rex Ninoslav	1071			
312	R 2.20. Romić Davor	783			
313	R 2.25. Romić Davor	843			
314	R 2.20. Romić Marija	783			
315	R 3.06. Rozić Željko	1079			

395	R 1.17. Turčinov Mikulec Ana	221	417	R 2.21. Vranješ Mijo	793
396	R 2.14. Tusić Željko	723	418	R 1.28. Vučković Ivan	321
397	R 2.16. Tusić Željko	745	419	R 4.05. Vučković Ivan	1179
398	R 2.15. Tusić Željko	735	420	R 1.30. Vučković Natalija	341

U

399	R 1.33. Urbanić Gorazd	371	421	R 1.55. Vukić Lušić Darija	585
400	R 1.41. Urumović Kosta	447	422	R 2.02. Vukmanić Luka	605
			423	R 1.53. Vojvodić Vjeročka	565
			424	R 1.41. Vlahović Tatjana	447
			425	R 1.06. Vujnović Tatjana	111

V

401	R 1.28. Valozić Luka	321
402	R 1.55. Vardić Smrzlić Irena	585
403	R 4.08. Varga György	1207
404	R 1.22. Velić Josipa	269
405	R 1.54. Veža Jere	573
406	R 2.27. Vićanović Jelena	861
407	R 1.12. Vidaković Šutić Renata	173
408	R 2.09. Vidaković Šutić Renata	673
409	R 2.10. Vidaković Šutić Renata	683
410	R 1.37. Vidmar Andrej	407
411	R 2.03. Vidmar Andrej	615
412	R 1.30. Vilenica Marina	341
413	R 1.49. Vlašić Alena	523
414	R 1.27. Volf Goran	311
415	R 1.34. Volf Goran	381
416	R 3.04. Vouk Dražen	1057

Z

426	R 2.03. Zabret Katarina	615
427	P. 02. Zeljko Dragan	53
428	R 3.07. Zima Jasna	1091
429	R 2.26. Zgorelec Željka	853
430	R 2.20. Zovko Monika	783
431	R 2.25. Zovko Monika	843

Ž

432	R 1.27. Žic Elvis	311
433	R 1.45. Žic Elvis	483
434	R 2.37. Žic Elvis	965
435	R 1.17. Žugaj Ranko	221
436	R 1.55. Žunić Jakov	585
437	R 1.51. Župan Ivan	545

ISBN 978-953-7672-19-5



9 789537 672195