

2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA

HRVATSKE VODE - OD JADRANA DO DUNAVA

2nd CROATIAN CONFERENCE ON WATERS
CROATIAN WATERS - FROM THE ADRIATIC TO THE DANUBE



ZBORNIK RADOVA

PROCEEDINGS

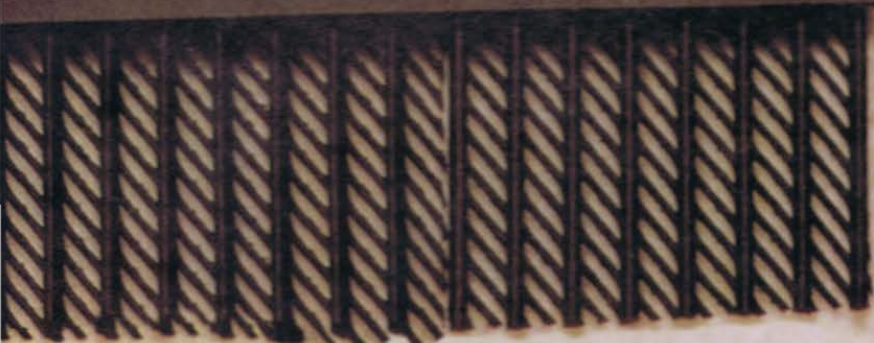
DUBROVNIK - HRVATSKA, 19. - 22. svibnja 1999.
DUBROVNIK - CROATIA, May, 19-22, 1999



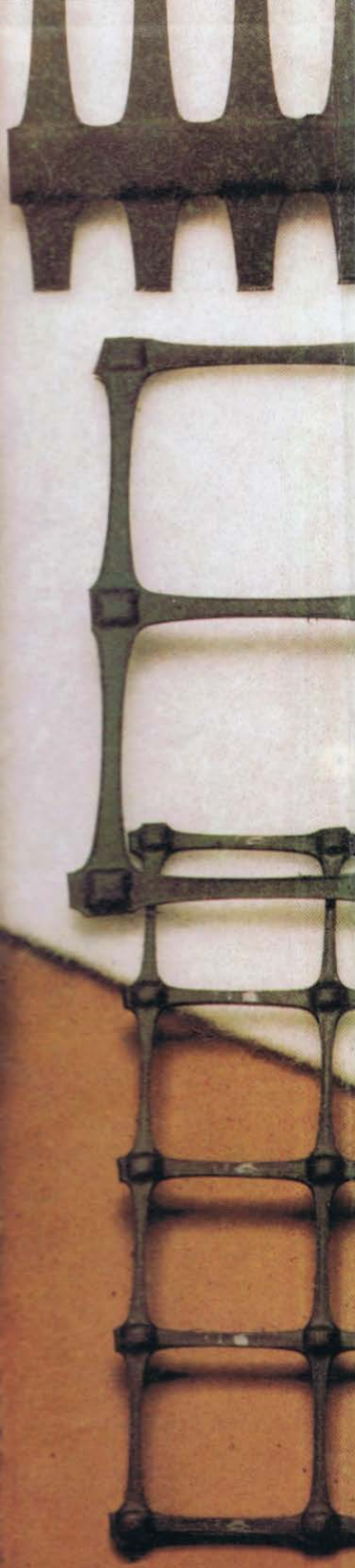
GENERALNI SPONZOR

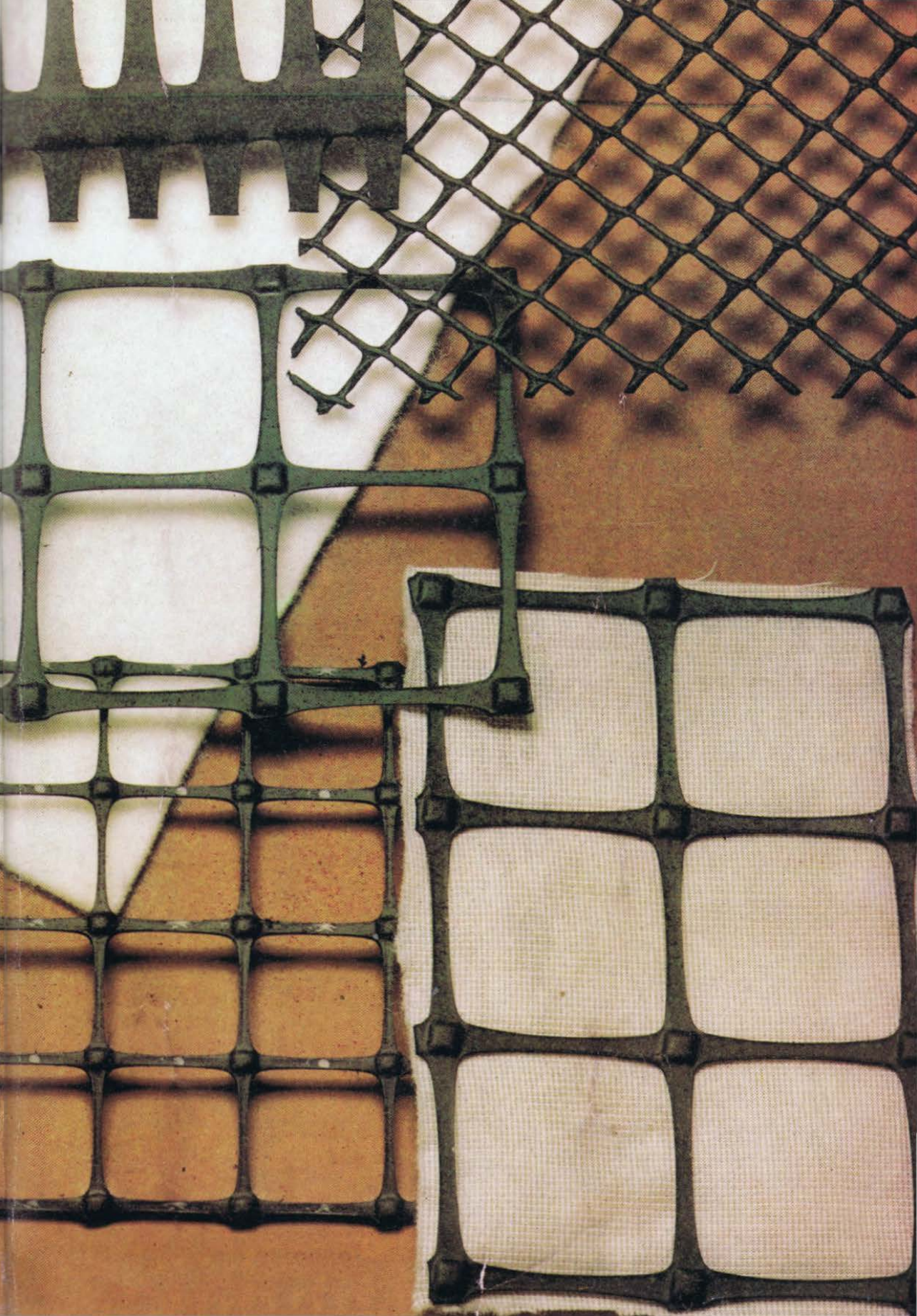
WERKOS.

*friends
of
nature*



GEOSINTETICI





ZBORNIK RADOVA 2. HRVATSKE KONFERENCIJE O VODAMA
HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

Izdavač
HRVATSKE VODE
Zagreb, Ulica grada Vukovara 220

Glavni i odgovorni urednik
Doc.dr.sc. DRAGUTIN GEREŠ

Zamjenik glavnog urednika
Prof.dr.sc. JURE MARGETA

Likovno rješenje omota
ANTUN PAUNOVIĆ

Priprema i tisak
MTG topgraf – Velika Gorica

ISBN 953-96455-4-9

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna i sveučilišna knjižnica, Zagreb

UDK 556 (497.5) (063)
628.1 (497.5) (063)

HRVATSKA konferencija o vodama (2 ; 1999 ; Dubrovnik)
Hrvatske vode od Jadrana do Dunava : zbornik radova .
(Croatian waters from the Adriatic to the Danube : proceedings /
2. Hrvatska konferencija o vodama, Dubrovnik 1999. ; <glavni
i odgovorni urednik Dragutin Gereš>. Zagreb ; Hrvatske vode,
1999. XVI, 1126 str. : ilustr. ; 24 cm

Tekst na hrv. ili engl. jeziku. -
Bibliografija uz svaki rad. - Summaries.

ISBN 953-96455-4-9

990512064

Svi radovi u Zborniku preuzeti su s disketa koje su dostavili autori. Izdavač, glavni i odgovorni urednik Zbornika i organizatori Konferencije ne snose odgovornost za mišljenja, stavove i zemljovide autora.

2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA

2nd CROATIAN CONFERENCE ON WATERS

HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

CROATIAN WATERS FROM THE ADRIATIC TO THE DANUBE

ZBORNIK RADOVA

PROCEEDINGS

DUBROVNIK, 1999.

SADRŽAJ

Predgovor	XIII
Uvod	XV

REFERATI PO POZIVU

P 01.	Josip Marušić, Zorislav Balić, Stjepan Šturlan Značenje i stupanj razvoja vodnogospodarskih djelatnosti u Hrvatskoj	3
P 02.	Josip Marušić, Zorislav Balić, Stjepan Šturlan Upravljanje vodama Hrvatske u Zakonu o vodama	15
P 03.	Berislav Tomicic Hydroinformatics and Its Applications to Marine Aquatic Systems	25
P 04.	Marko Branica Tragovi metala u prirodnim vodama	43
P 05.	Branko Grisogono Utjecaj temperature mora na buru	53

TEMA 1 – INTERAKCIJA ATMOSFERE, TLA I MORA

R 1.01.	Milan Hodžić Pomorsko meteorološka zaštita na Jadranu i motrilački sustav	63
R 1.02.	Milan Sijerković, Ksenija Zaninović Najvažniji meteorološki singulariteti na južnom Jadranu	73
R 1.03.	Milan Hodžić, Željko Šore Prostorno-vremenske razdjelnice oborina na Jadranu	79
R 1.04.	Josip Juras, Zoran Vakula Perzistencija anomalija srednjih mjesečnih temperatura zraka	91
R 1.05.	Josip Juras Ocjena anomalija višemjesečnih količina oborine	99
R 1.06.	Janja Milković Mjerenje isparavanja sa slobodne vodene površine	105
R 1.07.	Višnja Vučetić, Marko Vučetić Varijacije vodne ravnoteže u morskim parkovima	111
R 1.08.	Marko Vučetić, Višnja Vučetić Vodni režim područja spaljenog šumskim požarom	117
R 1.09.	Željka Šiljković Značenje voda u geografiji	123
R 1.10.	Nedjeljka Brzović Numeričko modeliranje olujnih vjetrova na Jadranu	129
R 1.11.	Alica Bajić Prijenos onečišćenja atmosferom na područje Dubrovnika	137
R 1.12.	Zdenko Franić, Gordana Marović Utjecaj radioaktivnih oborina na radioaktivnost Jadranskog mora	145

R 1.13.	P. Orlović Leko, Z. Kozarac, B. Čosović, L. Palinkaš Olovo i organska tvar u aerosolu i oborinama na području grada Zagreba	151
R 1.14.	Z. Milanović, M. Matasović, J. Jurković, M. Shalabi, I. Galić Procjedne vode na uređenom odlagalištu otpada »Jakuševac« – Zagreb	157
R 1.15.	Astrea Vertačnik, Stipe Lulić, Katja Džepina Koncentracije nekih elemenata u vodi i sedimentu rijeke Dunav	167
R 1.16.	Lidija Čurković, Štefica Cerjan-Stefanović, Tugomir Filipan Uklanjanje iona teških metala prirodnim zeolitom	177
R 1.17.	T. Filipan, Š. Cerjan-Stefanović, A. Farkaš, L. Čurković Primjena prirodnog zeolita u procesu uklanjanja amonijevih iona iz otpadnih voda	183
R 1.18.	Štefica Cerjan-Stefanović, Tomislav Bolanča, Lidija Čurković Ionska kromatografija u analizi voda	189
R 1.19.	Željka Šiljković Utjecaj dioxina i srodnih spojeva na vodene organizme	197
R 1.20.	Smiljana Britvić, Davor Lucić, Tvrtko Smital, Branko Kurelec Bakarski zaljev kao odabir mjesta za procjenu okolišnog rizika Jadrana	207
R 1.21.	Irella Bogut, Daniela Novoselić, Jasna Vidaković Utjecaj abiotičkih čimbenika na meiofaunu sedimenta	215
R 1.22.	Irena Ciglencečki, Damir Viličić, Marina Carić, Božena Čosović Složeni procesi obnavljanja Rogozničkog jezera	221
R 1.23.	Vesna Žic, Marko Branica Raspodjela jodida i jodata u vodi Rogozničkog jezera	227
R 1.24.	Danijela Mioković Promjene u sastavu mikrofitoplanktona sjevernog Jadrana od 1972.–1994. godine	233
R 1.25.	Katarina Caput, Anđelka Plenković-Moraj Bacillariophyceae u epifitskim zajednicama ljutka	239
R 1.26.	Anđelka Plenković-Moraj, Katarina Caput Mikrofitobentoske zajednice u hidroenergetskim sustavima rijeke Drave	245
R 1.27.	Anđelka Plenković-Moraj Bioceniotska struktura fitoplanktonske zajednice rijeke Drave	251
R 1.28.	Vladimir Patrčević, Siniša Maričić Gibanje vode u prirodi – značenje i istraživanje	257

TEMA 2 – OCEANOGRAFSKA I HIDROGRAFSKA PROBLEMATIKA JADRANSKOG MORA

R 2.01.	Josip Riđanović, Ivica Rendulić, Vjekoslav Šimunović Hrvatski Jadran u sklopu novog teritorijalnog ustroja	269
R 2.02.	Z. Burić, D. Viličić, M. Orlić, A. Smirčić, F. Kršinić, Z. Gržetić, K. Caput Termohalini odnosi i raspodjela planktona u estuariju rijeke Zrmanje (listopad 1998.)	277

R 2.03.	Senka Terzić, Nataša Tepić, Ivana Jeličić, Marijan Ahel Raspodjela ugljikohidrata u sjevernom Jadranu tijekom razdoblja ljetne stratifikacije	283
R 2.04.	Tomislav Zvonarić, Ante Barić Praćenje kvalitete obalnoga mora – projekt Vir - Konavle	291
R 2.05.	Nenad Jasprica Vertikalna raspodjela klorofila u otvorenom moru južnoga Jadrana	297
R 2.06.	Marina Carić, Damir Viličić, Nenad Jasprica Molarni omjeri hranjivih soli u estuarijima rijeka Zrmanje i Omble	305
R 2.07.	Višnja Šojat, Dunja Borovečki, Vesna Đuričić Atmosferski unos anorganskog dušika u hrvatsko priobalje	311
R 2.08.	Ivica Vilibić, Nenad Leder, Ante Smirčić Ekstremna kolebanja razine Jadranskog mora	319
R 2.09.	Mithad Kozličić Izmjere dubina istočnog Jadrana tijekom 16.–19. stoljeća	325
R 2.10.	Fani Bojanić, Nenad Leder, Ante Smirčić, Ivica Vilibić Oceanografska i hidrografska istraživanja u funkciji projektiranja podmorskih ispusta otpadnih voda	335
R 2.11.	Neven Kuspilić Određivanje spektra refleksije vala	343

TEMA 3 – ZAŠTITA I KORIŠTENJE JADRANSKOG MORA U SUSTAVU PROSTORNOG UREĐENJA NA PRINCIPIMA ODRŽIVOG RAZVITKA

R 3.01.	Vlado Cuculić, Marina Mlakar, Marko Branica Elektrokemijsko određivanje otopljenog bakra(II) u prisutnosti HEPES pufera	351
R 3.02.	J. Pavičić, M. Erk, D. Jurič, S. Kozar, N. Odžak, Ž. Kwokal, B. Raspor Primjena metalotioneina u svrhu biomonitoringa metala u priobalnom moru	357
R 3.03.	Dario Omanović, Željko Peharec, Marko Branica Voltametrijsko određivanje tragova metala u prirodnim vodama	363
R 3.04.	Dario Omanović, Željko Peharec, Marko Branica Pseudopolarografska karakterizacija tragova metala u vodenim sustavima	369
R 3.05.	Dario Omanović, Ivanka Pižeta, Željko Peharec, Marko Branica Voltametrijsko određivanje kapaciteta kompleksiranja bakra u prirodnim vodama	375
R 3.06.	Gordana Marović, Jasminka Senčar, Zdenko Franić Radiološki utjecaj odlagališta pepela i šljake na morsku vodu	381
R 3.07.	Mladen Picer, Nena Picer Razine polikloriranih bifenila u priobalnom moru Zadra i Vranskom jezeru s obzirom na zagađenost zemljišta zadarske trafostanice ovim spojevima	387
R 3.08.	Jure Margeta, Ante Barić, Bogdan Ivančić, Andrino Petković Projekt »Eko-Kaštelanski zaljev«	395
R 3.09.	Delko Barišić, Goran Kniewald, Astrea Vertačnik, Stipe Lulić Preliminarni rezultati radiometrijskih istraživanja recentnih sedimenata u Plominskom zaljevu	405

R 3.10.	S. Frančišković-Bilinski, D. Hanžel, D. Tibljaš, H. Bilinski Minerali magnezija i željeza u estuariju Krke	413
R 3.11.	D. Bogner, I. Ujević, A. Barić Udio olova u recentnom sedimentu estuarija rijeke Krke	419
R 3.12.	Tarik Kupusović, Selma Čengić, Aleksandra Hasečić Rad ureda MAP-a u Bosni i Hercegovini	425
R 3.13.	Gorjana Radulović, Dalila Nuhić, Tarik Kupusović Strategija za redukciju zagađenja Jadrana od kopnenih aktivnosti	431
R 3.14.	Višnja Hinić, Marina Medanić, Blaženka Oreč Zaštita mora od onečišćenja u prostornom planu Primorsko-goranske županije	441
R 3.15.	Vladimir Goatti, Božidar Biondić Sanacija uljnih zagađenja na Zviru II	447
R 3.16.	Željko Kwokal, Marko Branica Isplinjavanje žive iz zagađenog dijela Kaštelanskog zaljeva	453
R 3.17.	Pavle Mintas, Željko Peharec, Marko Branica Vertikalna raspodjela tragova metala estuarija Krke	459
R 3.18.	Antonieta Požar-Domac Odgovorno ribarstvo i očuvanje ekosustava Jadranskog mora	465
R 3.19.	Damir Magaš Vode malih hrvatskih otoka i principi održivog razvoja	471
R 3.20.	Vjeročka Vojvodić, Božena Čosović, Vedrana Mudnić Organska tvar i prekomjerno cvjetanje mora u sjevernom Jadranu	479
R 3.21.	Mirjana Turnšek Vode Hrvatske i Jadransko more u stratejskom planiranju	485

Tema 4. – UPRAVLJANJE VODNIM RESURSIMA U RAZLIČITIM PROSTORIMA I HIDROLOŠKIM UVJETIMA

R 4.01.	Josip Petraš, Josip Marušić Prijedlog metodološkog pristupa izradi vodnogospodarske osnove	495
R 4.02.	Snježana Knezić, Jure Margeta Model gospodarenja sustavom zaštite obalnog mora	505
R 4.03.	Jordan Stavrov, Zvonimir Vukelić Suvremen pristup upravljanju vodnim resursima i kratak prikaz rezultata fizibiliti studije "Vardarska dolina"	513
R 4.04.	Tarik Kupusović, Esena Kupusović, Sanda Midžić Plan integralnog upravljanja jadranskim slivom Bosne i Hercegovine	523
R 4.05.	Božidar Biondić, Ranko Biondić, Franjo Dukarić, Elza Hrvojić Zaštita krških vodonosnika	531
R 4.06.	Darko Ivičić, Ante Pavičić Hidrogeološka osnova zaštite vode u krškim poljima	537
R 4.07.	Mladen Kuhta, Srećko Božičević Morfološke promjene kao posljedica izgradnje podzemne akumulacije u kršu	545
R 4.08.	Andrea Bačani, Marko Šparica Hidrogeološke značajke fliša Istre na primjeru izvora Momjan	553

R 4.09.	Ante Renić, Ante Pavičić Utjecaj sedrene barijere na krški izvor	559
R 4.10.	Mirjana Švonja, Živko Barbarić Konflikt melioracijskih zahvata s korištenjem prostora Donje Neretve	565
R 4.11.	Ožanić Nevenka, Rubinić Josip Vodni resursi izvorišta Gacke	575
R 4.12.	Krešo Pandžić, Dušan Trninić Primjena prognostičkih produkata modela Aladin na slivu rijeke Kupe	585
R 4.13.	Ivan Slišković, Darko Ivičić Hidrogeologija sliva i korištenje voda rijeke Trebižat	589
R 4.14.	Rubinić Josip, Tomašić Mirko, Ožanić Nevenka, Kukuljan Igor Hidrologija akumulacije Boljunčica u Istri	597
R 4.15.	Mijo Vranješ, Petar Bilač, Vinko Jović, Damir Vidoš Rješenje izmjene vode u jezeru Birina kod Ploča	605
R 4.16.	Blagoje Milović Analiza režima voda u retenciji Kupčina	613
R 4.17.	Gorana Ćosić-Flajsig Koncesije u vodnom gospodarstvu	621
R 4.18.	Lidija Runko Luttenberger Problemi uspostave jedinstvenih preduvjeta u upravljanju vodnim resursima	629
R 4.19.	Franjo Vančina Procjena utjecaja na okoliš u sustavu građenja, prostornog uređenja i upravljanja vodama	637
R 4.20.	Goran Gjetvaj, Goran Lončar, Krešimir Plantić Utjecaj oblika loma brane na veličinu poplavnog vala	647
R 4.21.	Danko Biondić, Mladen Petrićec, Đuro Hatić Regulacijski pragovi u Savi kod TE-TO, Zagreb	653
R 4.22.	Zoran Đuroković, Darko Brnić-Levada Utjecaj izvedenih hidrotehničkih radova na vodne resurse u Kopačkom ritu	661
R 4.23.	Dario Dimter, Damir Vicković Novi sustavi zaštite od štetnog djelovanja voda	667
R 4.24.	Josip Marušić Održavanje melioracijskih kanala i vodnog režima poljoprivrednih zemljišta	673
R 4.25.	Ivan Šimunić, Frane Tomić, Zvonimir Ostojčić, Dragutin Petošić Ostaci atrazina u drenažnim vodama i tlu srednje Posavine	681
R 4.26.	Željko Vidaček, Lidija Tadić, Mario Sraka, Aleksandra Mihalić Učinak odvodnje na režim vlažnosti amfiblejnog tla	689
R 4.27.	Nada Morača Stanje odvodnje na slivnom području Karašice i Vučice	695
R 4.28.	Jadranka Pavletić, Stjepan Rušanac, Mario Lončarić Hidrotehničke građevine na slivu Karašice i Vučice	703
R 4.29.	Darko Barbalić, Anto Bagić, Josip Petraš Analiza bujičnog sliva akumulacije Botonega korištenjem GIS – a	711

R 4.30.	Berislav Glavaš i Martina Baučić Primjena GIS-a u gospodarenju vodnim građevinama	719
R 4.31.	Ivica Plišić, Vlatko Šuperina Koncepcija razvoja vodoopskrbe Primorsko-Goranske županije	725
R 4.32.	Ivica Plišić, Milan Marinac, Damir Matković Specifičnost vodoopskrbe liburnijske rivijere	733
R 4.33.	Dubravko Dragojević, Sanja Bizjak Kvaliteta vode u vodoopskrbnom sustavu grada Zagreba	739
R 4.34.	Branko Kunst, Krešimir Košutić, Lucija Kaštelan-Kunst Povećanje iskorištenja pri desalinaciji bočatih voda	747
R 4.35.	K. Košutić, M. Petrović, B Kunst, M. Kaštelan-Macan Nanofiltracija – suvremena membranska metoda uklanjanja organskih tvari iz voda za piće	755
R 4.36.	Đ. Fejzić, D. Čulibrk, Dž. Koldžo, R. Tica, B. Vučijak Neki aspekti funkcioniranja, financiranja i povrata troškova izabranih vodovoda u F BiH	763
R 4.37.	Zoran Jakelić Obnova objekata vodoopskrbe na drniškom i biogradskom području	771
R 4.38.	Zorko Kos Natapanje i održivi razvoj Županije istarske	777
R 4.39.	Dragutin Gereš, Mijo Vranješ Planiranje i razvitak sustava za navodnjavanje	787
R 4.40.	Marija Šperac, Dragutin Gereš Primjena dinamičkog programiranja na upravljanje melioracijskim sustavima	793
R 4.41.	Dragutin Gereš, Marija Šperac Optimizacija cjevovoda u sustavima za navodnjavanje	797
R 4.42.	Damir Vidoš, Mijo Vranješ, Dragutin Gereš, Davor Romić Navodnjavanje u području Donje Neretve	805
R 4.43.	Davor Romić, Frane Tomić, Josip Marušić, Željko Klačić, Mijo Vranješ Kakvoća i mogućnost upotrebe vode za navodnjavanje u dolini Neretve	813
R 4.44.	Marija Vukelić-Šutoska, Ana Vukelić Planiranje operacije sustava za navodnjavanje pomoću dinamičkog programiranja	821
R 4.45.	Ljiljana Aleksić, Mladen Petričec, Đuro Hatić Praćenje stanja voda na području HE Novo Virje	831
R 4.46.	Danko Holjević, Ivica Plišić, Luka Sopta Hydroenergetski sustav HE Senj i problem poplavlivanja grada Otočca	837
R 4.47.	Gordana Hrabak-Tumpa, Ivo Vuković, Stjepan Ivatek-Šahdan Klimatski čimbenici kao podloga projektiranja HE Podsused	845
R 4.48.	Mario Krzyk Upliv HE Vrhovo na nizvodne objekte	853
R 4.49.	Ivo Vuković, Gordana Hrabak-Tumpa, Stjepan Ivatek-Šahdan Oborinske prilike i proizvodnja električne energije u hidroelektranama Dalmacije	859

R 4.50.	Zorislav Sorić, Tomislav Kišiček Značajnije armiranobetonske građevine u sklopu kanala Dunav-Sava i luke Vukovar	865
R 4.51.	Vitomir Luketa, Marko Pršić, Goran Šarić Model osnivanja nove Vukovarske luke	873
R 4.52.	Miron Kovačić, Krešimir Jelić Mogućnosti korištenja geotermalnih voda u Republici Hrvatskoj	883
R 4.53.	Marina Mileta Mjerenje vode iz magle i njeno korištenje u svijetu	887
R 4.54.	Tatjana Vlahović, Sanja Kapelj Hidrogeokemijska obilježja izvora Bulaž u Istri	893
R 4.55.	Janislav Kapelj, Sanja Kapelj, Slobodan Miko Pristup istraživanju utjecaja poljoprivrede na krški izvor	901
R 4.56.	Željka Brkić, Ozren Larva Ugroženost kakvoće podzemne vode na crpilištu Šibice	909
R 4.57.	F. Briški, L. Sipos, N. Zuber, T. Štembal, M. Vuković Utjecaj opskrbnih voda na kakvoću voda Visovačkog jezera i Čikole	917
R 4.58.	Laszlo Sipos, Marinko Markić Strujanja vode u Visovačkom jezeru i Čikoli u NP "Krka"	923
R 4.59.	Tatjana Mijušković-Svetinović, Davor Haničar Kakvoća vode donjeg toka rijeke Drave	931
R 4.60.	Božena Čosović, Ružica Marušić, Vjeročka Vojvodić Organske tvari u rijeci Savi kod Jesenica (1979-1998)	939
R 4.61.	S. Lulić, K. Košutić, Ž. Grahek, A. Vertačnik, J. Črnugelj Utjecaj NE Krško i grada Zagreba na radioaktivnost rijeke Save	945
R 4.62.	Stjepan Nikolić, Boris Švel Sanacija smetišta Jakuševac i zaštita podzemnih voda	953
R 4.63.	Jure Margeta Izbor kanalizacijskog sustava Kaštela/Trogir	961
R 4.64.	Božena Tušar Gospodarenje otpadnim vodama naselja na Jadranskoj obali	971
R 4.65.	I. Plišić, V. Scarlata, M. Marinac, D. Matković, N. Klobučar Pročišćavanje otpadnih voda mljekarske industrije na primjeru "Sirela" Bjelovar	979
R 4.66.	Stjepan Leaković, Štefica Cerjan-Stefanović, Emil Hodžić Ionski izmjenjivači u obradi voda industrije gnojiva	985
R 4.67.	Milli Španović Fizikalno-kemijska predobrada zauljenih otpadnih materijala	993
R 4.68.	Mladen Kuhta, Srećko Božičević Pazinska jama zagađena mazutom	1001
R 4.69.	N. Koprivanac, S. Papić, A. Meteš, A. Lončarić Božić Smanjenje opterećenja otpadnih voda proizvodnje tekstilnih i grafičkih boja	1009
R 4.70.	Josip Marušić, Neven Kuspilić, Berislav Brkić, Ivan Kolovrat Stanje radova na projektu višenamjenskog kanala Dunav-Sava	1015

**Tema 5. – PRILAGODBA ZAJEDNICE IZVANREDNIM SITUACIJAMA
(SUŠE, POPLAVE, KLIZIŠTA itd.)**

R 5.01.	Nevenka Sugnetić, Željko Bajza, Tomo Sugnetić Civilna zaštita u zaštiti i spašavanju od poplava	1023
R 5.02.	Josip Petraš, Duška Kunštek, Dubravko Gajski Primjena terestričke fotogrametrije u istraživanju ekscesivnih erozijskih procesa	1029
R 5.03.	Andrija Bognar Klizišta lesnih strmih odsjeka uz Dunav i na otoku Susku	1037
R 5.04.	S. Radionov, B. Veronek, S. Mesić, F. Bašić Sanacija tla na mjestu puknuća otpremnog naftovoda Žutica-Stružec	1047
R 5.05.	Boris Veronek, Sanja Mesić, Sonja Radionov, Ivo Popović Tijek i način sanacije mjesta zagađenja nakon puknuća priključnoga plinovoda plinsko-kondenzatne bušotine Kalinovac-19	1053
R 5.06.	Lidija Cvitan Procjena odstupanja oborine testom sa slijedovima	1059

Tema 6. – SOCIJALNI, POLITIČKI I KULTUROLOŠKO-POVJESNI VIDOVI VODA

R 6.01.	Stjepan Bezak, Stanislav Tedeschi, Mladen Radujković Optimizacija projekata zaštite okoliša kroz studiju troškova i koristi	1067
R 6.02.	Tarik Kupusović, Selma Čengić Institucionalno reorganiziranje sektora voda u F BiH	1077
R 6.03.	Srećko Božičević Vodna pojava - zakonom zaštićeni spomenik prirode	1083
R 6.04.	Slavko Kulić Ekonomika nasilja, biocidne tehnologije i klimatske promjene	1089
R 6.05.	Radovan Čepelak Revitalizacija balneološke službe, put pravilnom gospodarenju termomineralnim vodama Hrvatske	1097
R 6.06.	Vladimir Muljević Vodograđevne konstrukcije Fausta Vrančića	1105
Kazalo autora		1111

PREDGOVOR

U skladu sa zaključcima 1. Hrvatske konferencije o vodama održane u Dubrovniku 1995. god. nastavljaju se aktivnosti znanstvenog i stručnog raspravljanja o najširim vidovima gospodarenja vodama u Republici Hrvatskoj. Na ovoj 2. Konferenciji želi se dati posebno težište Jadranskom moru i svim onim iskustvima koja su stječana do danas a koja daju dobru osnovu za osmišljavanje budućnosti u iskorištavanju i zaštiti mora. Pokazala se potreba da se bolje shvati i prouči duboka prožetost kopnenih i morskih voda u našoj državi, što je osnovica održivog razvoja i upravljanja njenim vodnim resursima.

Međusobni odnos vode i ljudskih djelatnosti toliko je važan da se voda može slobodno smatrati osnovnim elementom društvenog i ekonomskog razvoja. Ta međuovisnost uključuje niz egzistencijalnih, bioloških, socijalnih i ekonomskih funkcija, a također i negativnih utjecaja, među kojima su: poplave, suše, zagađenje, itd. Svi ti međusobni utjecaji oduvijek se zbivaju u prirodnoj sredini. Od samog početka razvoja čovječanstva znatan dio povijesti civilizacije vezan je uz trajnu težnju za unapređivanjem pozitivnih efekata vodnih bogatstava i za suzbijanje negativnih utjecaja.

Novija povijest posebno nas upozorava na to da je voda osnovni čimbenik društvenog i ekonomskog razvoja i mogući izvor sukoba. Smještaj većih gradova i industrija, isto tako i njihov rast najuže su povezani s mogućnošću osiguranja dovoljnih količina vode. S obzirom na povijesno značenje i na potrebu za minimalnom opskrnom vodom, u pripadajućim službama gospodarenja vodnim resursima razvoj vodnih bogatstava smatra se osnovnim mehanizom koji omogućava društvenog i ekonomski razvoj. Zbog toga programi i planovi razvoja pojedinih zemalja ili regija u znatnoj mjeri ovise o ostvarenju programa vezanih za gospodarenje vodama. Za svaku zemlju ili regiju izvanredno je važno da se razvoju vodnih bogatstava posvećuje potrebna pozornost kako on ne bi postao kočnicom prosperiteta. To je posebno izraženo u Republici Hrvatskoj jer na svojim prostorima raspolaze znatnim vodnim količinama koje su promjenljive kako u prostoru tako i u vremenu.

Činjenica je da gotovo svaki korisnik individualno razumije i interpretira upravljanje vodama i njihov održivi razvoj, što proizlazi iz razlika u izobrazbi i iskustvu, dakle iz razlika u polaznim postavkama i razlika u postavljenom cilju. Postoji ipak opći konsenzus vezan uz tumačenje i uporabu tih pojmova. Riječ je o želji i potrebi za učinkovitijom brigom o okolišu uz istodobno osiguranje ekonomskog razvoja. Pojam održivog razvoja postao je na taj način zamišljeno mjesto konačnog i neizbježnog su-sreta ekologije i ekonomije s tehničkim i političkim rješenjima. Očigledno je da je

došlo do susreta u biti duboko suprotstavljenih sfera interesa, koje bez obzira na svu dubinu jaza između njih moraju naći praktična i kompromisna rješenja. Ako se brzo i učinkovito ne nađu, budućnost naše države kao prostora za prosperitetan boravak čovjeka isto tako i za razvoj prirode u cjelini bit će upitna.

Održavanjem 2. Hrvatske konferencije o vodama nastavlja se njegovanje otvorenosti različitim idejama i ostvarenjima te posebno holistički pristup u bavljenju vodama u našoj državi.

Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci
predsjednik konferencije

UVOD

Zbornik radova sadrži 147 radova, koji su, izloženi na 2. Hrvatskoj konferenciji o vodama, održanoj od 19. do 22. svibnja 1999. godine u Dubrovniku. Konferencija je s *međunarodnim učešćem* jer osim radova autora iz Hrvatske ima pet radova iz Bosne i Hercegovine, jedan rad iz Danske, dva rada iz Makedonije, jedan rad iz Slovenije i jedan rad iz Švedske.

Druga hrvatska konferencija o vodama održava se pod općim naslovom HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA.

ORGANIZATORI KONFERENCIJE:

- Hrvatsko vijeće za suradnju s Međunarodnim hidrološkim programom i Operativnim hidrološkim programom
- Hrvatsko hidrološko društvo
- Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje
- Hrvatsko društvo za zaštitu voda
- Hrvatsko društvo za velike brane
- Hrvatsko meteorološko društvo
- Hrvatsko geološko društvo
- Hrvatsko geografsko društvo
- Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa
- EUROCOAST – hrvatska udruga
- Hrvatska udruga za promicanje skrbi o prostoru

POKROVITELJI:

- UNESCO – IHP, OHP
- Ministarstvo znanosti i tehnologije
- Državna uprava za vode
- Hrvatske vode

Predsjednik konferencije: prof.dr.sc. Ognjen Bonacci

Glavni tajnik: Ljudevit Tropan

Znanstveni Odbor:

- doc. dr .sc. Dragutin Gereš, predsjednik
- dr. sc. Ante Barić
- prof. dr. sc. Božidar Biondić
- dr. sc. Božena Ćosović
- mr .sc. Marjana Gajić-Čapka
- dr. sc. Zvonko Gržetić
- prof. dr. sc. Jure Margeta
- prof. dr. sc. Antonieta Požar-Domac
- prof. dr. sc. Marko Pršić
- dr. sc. Nenad Smodlaka

- dr. sc. Dušan Trninić
- prof. dr. sc. Damir Viličić

Organizacijski odbor:

- prof. dr. sc. Josip Marušić - predsjednik
- dr. sc. Adam Benović
- Salih Hrustić
- Dragutin Mihelčić
- mr. sc. Janja Milković
- Branko Pejaković
- Baldoslav Šundrica
- Franjo Vančina

Znanstveni odbor Konferencije prihvatio je 147 referata za prezentaciju na konferenciji i objavljivanje u Zborniku radova. Referati su podijeljeni u pozivne i u šest (6) tema:

Pozivni referati:	5 radova
Tema 1: Interakcija atmosfere, tla i mora <i>Voditelji:</i> dr.sc. Božena Čosović i mr.sc. Marjana Gajić-Čapka	28 radova
Tema 2: Oceanografske i hidrografska problematika Jadranskog mora <i>Voditelji:</i> prof.dr.sc. Damir Viličić i dr.sc. Zvonko Gržetić	11 radova
Tema 3: Zaštita i korištenje Jadranskog mora u sustavu prostornog uređenja na principima održivog razvitka <i>Voditelji:</i> prof.dr.sc. Antonieta Požar-Domac i dr.sc. Ante Barić	21 rad
Tema 4: Upravljanje vodnim resursima u različitim prostorima i hidrološkim uvjetima <i>Voditelji:</i> doc.dr.sc. Dragutin Gereš i prof.dr.sc. Božidar Biondić	70 radova
Tema 5: Prilagodba zajednice izvanrednim situacijama (suše, poplave, klizišta itd.) <i>Voditelji:</i> dr.sc. Dušan Trninić i dr.sc. Nenad Smodlaka	6 radova
Tema 6: Socijalni, politički i kulturološko-povijesni vidovi voda <i>Voditelji:</i> prof.dr.sc. Ognjen Bonacci i prof.dr.sc. Jure Margeta	6 radova

Članovi Znanstvenog odbora i voditelji tema recenzirali su pristigle radove. Voditelji tema pripremili su izvješća, koja su podnijeta na konferenciji i tiskana u znanstvenom časopisu *Hrvatske vode*, 7 (1999) 28, rujan 1999. U pripremi 147 radova sudjelovalo je 363 autora.

Organizatori 2. Hrvatske konferencije o vodama i izdavač Zbornika zahvaljuju Ministarstvu znanosti i tehnologije, Državnoj upravi za vode, UNESCO-IHP, OHP i Hrvatskim vodama što su se odazvali pozivu i bili pokrovitelji Konferencije. Organizatori zahvaljuju cijenjenim autorima, voditeljima tema, generalnom sponzoru, sponzorima i sudionicima izložbe na njihovom doprinosu uspjehu 2. Hrvatske konferencije o vodama.

doc.dr.sc. Dragutin Gereš
*glavni i odgovorni urednik i
predsjednik znanstvenog odbora*

REFERATI PO POZIVU



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

P 01.

Značenje i stupanj razvoja vodnogospodarskih djelatnosti u Hrvatskoj

Josip Marušić, Zorislav Balić, Stjepan Šturlan

SAŽETAK: Vodnogospodarske djelatnosti imaju veliko značenje kako za razvoj cjelokupnog gospodarstva tako i urbani te društveni razvoj svake države. Raspored prirodnih vodnih resursa je prostorno, vremenski i količinski u većini slučajeva različit od životnih i gospodarskih potreba. Zbog toga je od posebnog značenja provedba detaljnih terenskih snimanja i ispitivanja u cilju određivanja bilance površinskih i podzemnih voda. To je preduvjet za provedbu iznalaženja optimalnih tehničkih i financijskih rješenja vodnih građevina i vodnogospodarskih sustava.

U Hrvatskoj je poplavnim vodama rijeka ugroženo 471 730 ha, od čega je zadovoljavajuće zaštićeno 262 410 ha (55,6%). Zbog toga je potrebno stvoriti uvjete za bržu realizaciju projekata regulacije vodotoka s izgradnjom nasipa, brana, ustava, retencija, akumulacija, obaloutvrda. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u potpunosti su izgrađeni na 33,5%, a dijelom na 29% od ukupnih melioracijskih površina (1 789 070 ha). Hidromelioracijski sustavi podzemne odvodnje su izgrađeni na samo 19,6% od ukupnih potreba (822 350 ha). Erozijski procesi I., II. i III. kategorije prisutni su na 346 000 ha – što ukazuje na potrebu uređenja bujičnih vodotoka i provedbu zaštite slivnih površina od erozije.

Hrvatska raspolaže sa 41 804 000 000 m³/godišnje površinskih i 95 304 000 000 m³/godišnje, ali nejednolikog rasporeda. Vodoopskrba je riješena za 74% stanovnika. Potrebna je zamjena cjevovoda u trećini naselja – zbog velikih gubitaka u vodovodnoj mreži (od 25 do 60%) kao i zamjena dijela opreme u crnim postrojenjima. Na kanalizacijsku mrežu naselja priključene su otpadne vode samo 38% stanovnika, a uređaji za pročišćavanje otpadnih voda zadovoljavaju samo 11% otpadnih voda stanovnika. Pored osiguranja većih financijskih sredstava za izgradnju novih potrebna su odgovarajuća sredstva za dogradnju i obnovu ratnim djelovanjem oštećenih i razorenih te stalna sredstva za redovno održavanje i pogon vodnih građevina i vodnogospodarskih sustava.

KLJUČNE RIJEČI: vodnogospodarske djelatnosti, značenje, razvoj, vodni resursi, izgradnja, građevine, sustavi

Croatian Water Resources Management Significance and Development Stage

SUMMARY: Activities related to the water resources management are of particular significance both for development of entire economy and for urban and social life of any state. Generally distribution of natural water resources differs from the needs of life and economy regarding space, time and quantity aspects. For that reason, implementation of detailed field surveys and investigations aimed at determination of the balance of surface and ground water is of particular importance. It is a precondition for search for optimum technical and financial solutions for hydro structures and water resources management systems.

The river flood waters pose threat to 471,730 ha of land in Croatia, of which 262,410 ha (55.6%) is adequately protected. Therefore, it is essential to create conditions for faster realization of river training projects through construction of dikes, dams, weirs, retentions, reservoirs, revetments. Land improvement systems for surface drainage are completely built on 33.5% and partially on 29.0% of total surface of 1,789,070 ha. Land improvement systems involving underground drainage meet 19.6% of requirements (822.350 ha). Erosion processes of category I, II and III are present on 346,000 ha, which indicates the need for torrent regulation and implementation of erosion protection in catchment areas.

Availability of surface water in Croatia is 41,804,000,000 m³/an and groundwater 95,304,000,000 m³/an, but the distribution is uneven. The water supply covers 74% of population. Water pipelines in one third of populated areas need replacement because of high losses from the water supply network (25 to 60%). Parts of equipment from the pump stations also need replacement. The sewage networks receive waste water from only 38% of population, and the waste water treatment plants meet only 11% of waste water from general population. In addition to large financial resources necessary for construction of new facilities, adequate resources are needed for upgrading and reconstruction of facilities damaged and destroyed during the war, as well as permanent inflow of money for regular maintenance and operation of hydro structures and water resources management systems.

KEYWORDS: water resources management activities, importance, development, water resources, construction, structures, systems

1. Uvod

Vodnogospodarske djelatnosti imaju osobito gospodarstveno, infrastrukturno 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. Društveno-ekonomski odnosi u vodnom gospodarstvu planiraju se u trajnom procesu uzajamnog djelovanja i prilagođavanja svih čimbenika koji dolaze do izražaja u sklopu cjelokupnog razvitka svake države. Očita je tehničko-tehnološka i društveno-ekonomska povezanost vodnogospodarskih i velikog broja gospodarskih i drugih djelatnosti, a u prvom redu poljoprivrede, energetike, prometa, turizma, većine industrijskih djelatnosti te urbanog i komunalnog razvitka, sporta, rekreacije i ekologije. Povećanje potreba za vodom, povećanje broja zagađivača te povećanje broja ljudskih dobara što ih je potrebno zaštititi od štetnog djelovanja voda izazivaju sve veće teškoće zbog kojih su vodnogospodarski sustavi sve složeniji i znatniji za cjelovit gospodarski i društveni razvitak. U gospodarstvu vodama osnovni je cilj definirati postojano uspostavljanje i održavanje ravnoteže ljudskih htijenja i djelovanja s jedne i prirodnih procesa i resursa sa druge strane. Taj je cilj moguće ostvariti ocjenom kriterija razumnog ispunjavanja ljudskih potreba, htijenja i djelovanja (zadovoljenja potreba), te kriterija uspostavljanja i održavanja prihvatljivih promjena u prirodi (očuvanja prirode, kulturne baštine i ostalih stvorenih vrijednosti). Posljednjih desetljeća neprestano se povećava kompleksnost i 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. Nažalost pored problema nedovoljne izgrađenosti vodnih građevina i vodnogospodarskih sustava na njima su učinjene velike ratne štete (oštećenja, razaranja, otuđenje opreme) djelovanjem tzv. JNA-e i raznih srbočetničkih formacija – i to u najvećoj mjeri 1991. i 1992. g. Istovremeno zbog privremene okupacije dijela Hrvatske (od 1991. do 1995. g.) kao i pogoršanja financijske situacije

kako u cjelokupnom tako i vodnom gospodarstvu nije bilo potrebnih sredstava za poslove redovnog održavanja te obnove i to posebno regulacijskih i hidromelioracijskih građevina. Zbog toga je smanjena njihova funkcionalnost u odnosu na projektno-izvedbeno stanje. Od 1992. do 1998. g. najviše sredstava je uloženo u projekte obnove i izgradnje vodoopskrbnih građevina i sustava.

2. Vodnogospodarske djelatnosti

Radi pravilnog vrednovanja gospodarskog i infrastrukturnog značenja bitno je imati na umu i razmotriti vodnogospodarske djelatnosti kako slijedi:

1. Zaštita od štetnog djelovanja voda

- 1.1. Regulacija i uređenje vodotoka s izgradnjom nasipa za obranu od poplava
- 1.2. Izgradnja retencija i akumulacija za obranu od poplava ili kao višenamjenskih vodnogospodarskih objekata (hidroenergetskih za zaštitu od poplava, za iskorištavanje voda)
- 1.3. Uređenje bujičnih vodotoka i zaštita od štetnog djelovanja erozije
- 1.4. Odvodnja površinskih i podzemnih voda kao sastavni dio hidrotehničkih melioracija
- 1.5. Odvodnja otpadnih voda naselja i gospodarskih djelatnosti – kanalizacija naselja
- 1.6. Uređenje vodotoka za plovidbu (i eksploatacija šljunka).

2. Iskorištavanje voda

- 2.1. Iskorištavanje voda za potrebe stanovništva – vodoopskrba naselja
- 2.2. Iskorištavanje voda za potrebe gospodarskih djelatnosti
- 2.3. Iskorištavanje voda za navodnjavanje poljoprivrednih i ostalih zemljišta i za ribogojstvo, kao sastavni dio hidrotehničkih melioracija
- 2.4. Iskorištavanje voda za proizvodnju električne energije
- 2.5. Iskorištavanje voda za potrebe sporta i za rekreaciju.

3. Zaštita voda

- 3.1. Preventivna zaštita voda od zagađivanja – s katastrofom zagađivača voda na slivnim područjima pojedinih vodotoka, jezera, akumulacija i retencija
- 3.2. Preventivna zaštita od zagađivanja Jadranskog mora – s katastrofom zagađivača voda
- 3.3. Pročišćavanje otpadnih voda naselja i gospodarstva
- 3.4. Oplemenjivanje malih voda vodotoka, retencija i akumulacija
- 3.5. Ekološko značenje zaštite voda (vodotoka, mora, jezera, retencija, akumulacija, prostora, okoliša).

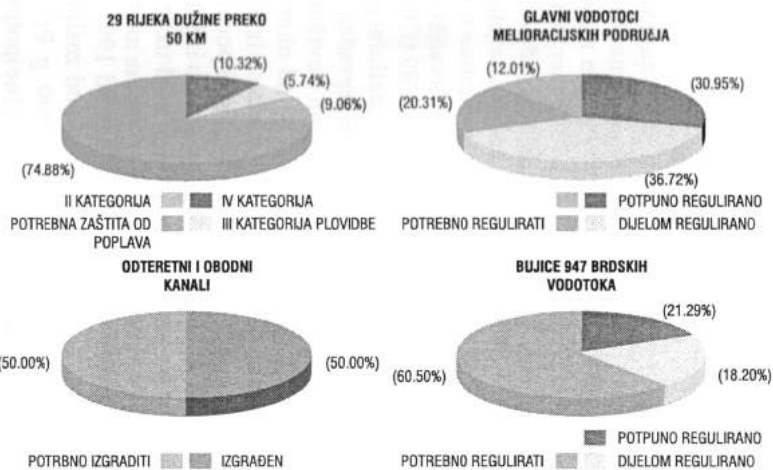
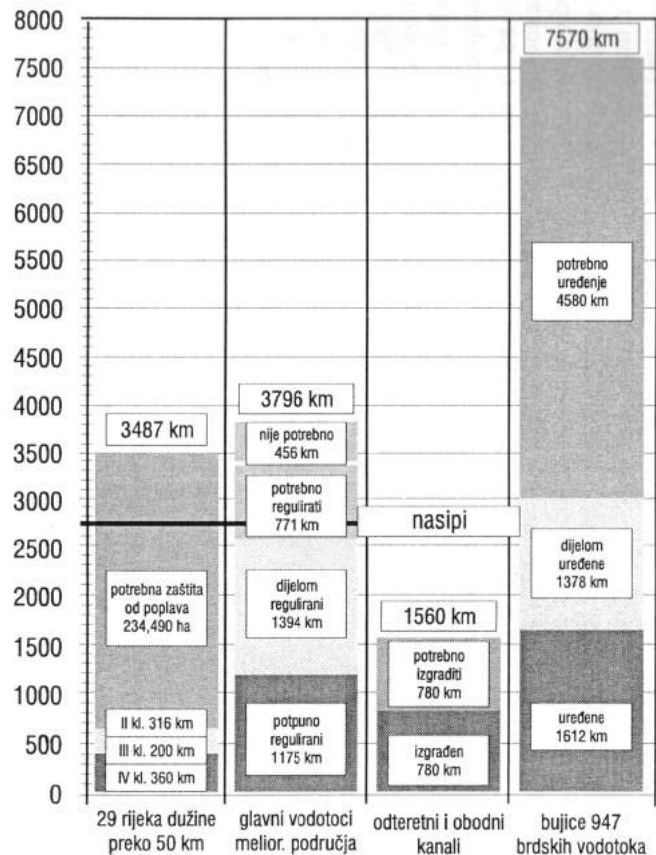
Iz navedenog opisa kako glavnih tako i ostalih vodnogospodarskih djelatnosti vidljivo je i njihovo značenje za cjelokupni gospodarski, infrastrukturni i društveni razvoj svake pa tako i naše države.

3. Stupanj izgrađenosti vodnih građevina u Hrvatskoj

3.1. Regulacijske i zaštitne vodne građevine

Za potrebe zaštite prirodnih i ljudskih dobara neophodna je izgradnja vodnih građevina za zaštitu od štetnog djelovanja voda i to kako nizinskih rijeka tako i brdskih odnosno bujičnih vodotoka. Na žalost, unatoč velikim štetama od poplava na slivu rijeke Save (1964., 1970., 1974., 1976., 1981., 1988., 1992.), Drave i Dunava (1965., 1978., 1986.), te kratkotrajnih, ali češćih poplava na slivu Mure, Kupe, Mirne, Raše, Like, Neretve, Orpljave kao i većeg broja manjih rijeka Hrvatske – još uvijek nisu izgrađene vodne građevine potrebnog stupnja sigurnosti za zaštitu kako dijela naselja tako i prometnica te gospodarskih i ostalih objekata. Sastavni dio toga je potreba zaštite poljoprivrednih zemljišta kao i prirodnih dobara. Na osnovu topografskih i hidroloških podloga u Hrvatskoj je ukupno 471 730 ha poplavnih površina, a od toga:

- na slivu: Save 285 000 ha (60,4%), Drave i Dunava 144 280 ha (30,6%), slivovima Istre, Primorja i Like 22 500 ha (4,8%) te slivovima Dalmacije 19 950 ha (4,2%). Od navedenih površina izgrađene su vodne građevine za zaštitu od poplava 262 410 ha (55,6%) na stupanj sigurnosti od 10 do 100-godišnjeg povratnog perioda velikih voda. Međutim još uvijek je 209 320 ha (44,4%) nizinskih poljoprivrednih zemljišta često izloženo djelovanju poplavnih voda rijeka. To je moguće riješiti izgradnjom regulacijskih objekata (povećanjem proticajnog profila sa građevinama za zaštitu obala i dna korita) kao i izgradnjom nasipa za viši stupanj obrane od poplavnih voda. Poseban je problem u nedovoljnom stupnju zaštite od erozije 346 000 ha površina I., II. i III. kategorije erozijskih procesa što je 12,35% od ukupnih površina izloženim procesima erozije na 2 801 000 ha (od I. do VI. kategorije). Zbog toga su prisutne štete kako na dijelu poljoprivrednih i šumskih zemljišta tako i na prometnicama i naseljima te u dijelu gospodarskih objekata u naseljima na području koje je izloženo štetnom djelovanju bujičnih vodotoka i erozijskih procesa. Dio zaštitnih vodnih građevina treba posebno vrednovati kao sastavne dijelove višenamjenskih građevina i vodnogospodarskih sustava. To se prvenstveno odnosi na građevine za energetska iskorištavanje voda, odnosno na 17 izgrađenih hidroelektrana u Hrvatskoj. Zbog toga je od posebnog značenja i potrebe uvažavanja u obzir vodnogospodarskih uvjeta u procesu planiranja, projektiranja, građenja, iskorištavanja i održavanja hidroenergetskih objekata koji su sastavni dijelovi višenamjenskog hidrotehničkog rješenja. Veliko je značenje u provedbi kako regulacijskih radova na prirodnim vodotocima tako i izgradnji sljedećih zaštitnih vodnih građevina:
- nasipi, obaloutvrde, paralelne građevine, pera, prokopi, odteretni kanali, obodni (lateralni) kanali, umjetna korita vodotoka, odvodni tuneli, brane s akumulacijama i retencijama, ustave, zahvati i ispusti vode, sifoni, preljevi, zaštita od erozije. Sastavni dio regulacije rijeka (posebno Save, Drave i Kupe) su uređenje njihovih korita za potrebe plovidbe. Za prometno povezivanje Hrvatske s međunarodnom mrežom plovnih puteva od posebnog je značenja planirana izgradnja »Višenamjenskog kanala Dunav-Sava« od Vukovara do Sl. Šamca. Na slici 1. dati su osnovni pokazatelji o zaštitnim vodnim građevinama – kako o njihovom stupnju izgrađenosti tako i potrebi izgradnje novih. Sastavni dio toga je i potreba obnove ratnim djelovanjem oštećenih i razorenih zaštitnih vodnih građevina. Također je neophodno povećanje financijskih sredstava za poslove redovnog održavanja u ci-



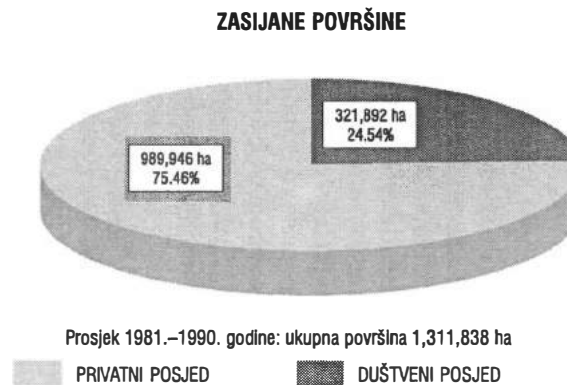
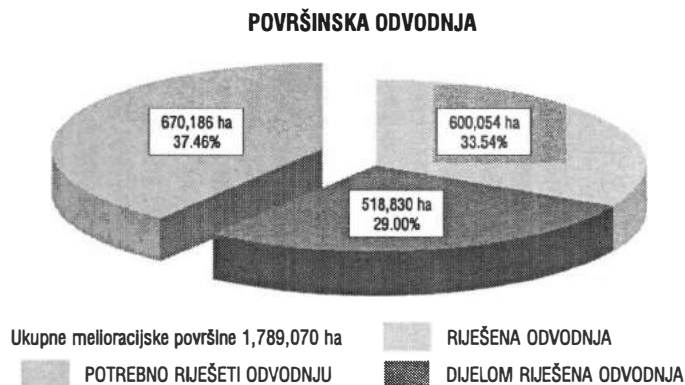
PODACI O GRAĐEVINAMA ZA ZAŠTITU OD POPLAVA I RIJEČNU PLOVIDBU 1990. godina			
I OBRANA OD POPLAVA			
– Akumulacije	28 obj./284.7 hm ³	– Retencije	36 obj./1,442.9 hm ³
– Ustave	74 obj.	– Sifoni	26 obj.
– Tuneli za vodu	7 obj.	– Čepovi	594 obj.
II RIJEČNA PLOVIDBA			
– Riječna pristaništa	21 obj. obala 8470 m	godišnji promet 8,400,000 t	
III EROZIJSKI PROCESI PO KATEGORIJAMA NA SLIVNIM PODRUČJIMA 947 BUJICA			
↓	6300 ha	0.22 %	4 849,500 ha 30.34 %
∑	43,000 ha	1.54 %	5 1,605,500 ha 57.34 %
€	295,700 ha	10.56 %	∑ 2,800,000 ha 100.00 %

Slika 1. Osnovni pokazatelji o zaštitnim vodnim građevinama u Hrvatskoj

lju funkcioniranja zaštitnih vodnih građevina na njihovom projektno-izvedbenom stupnju – za potrebe zaštite prirodnih i ljudskih dobara.

3.2. Vodne građevine za melioracijsku odvodnju

Osnovna zadaća hidromelioracijskih građevina i sustava u stvaranju i održavanju vodnog i zračnog režima zemljišta prema zahtjevima optimalnog rasta i ostvarenja stabilnih priroda biljnih kultura. S obzirom na povoljne prirodne uvjete i potrebu razvoja poljoprivrede u sklopu cjelokupnog gospodarstva Hrvatske, posebno je značenje u izgradnji novih te dogradnji i održavanju postojećih hidromelioracijskih građevina i sustava. Međutim njihovo značenje je veliko i za odvodnju suvišnih voda iz naselja te grvitirajućeg područja prometnica i gospodarskih objekata. Na osnovu analize topografskih, klimatskih, hidroloških, pedoloških i vegetacijskih podloga u Hrvatskoj je potrebna izgradnja hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje na 1 789 070 ha, od toga su potpuno izgrađeni na 33,5%, a djelomično na 29,0%. Hidromelioracijski sustavi podzemne odvodnje su potrebni na 822 350 ha, a potpuno su izgrađeni na 19,6%. Navedene podatke treba vrednovati u sklopu prosječno zasijanih površina u Hrvatskoj na 1 311 838 ha/god od 1976. do 1990. g. To je samo 73,3% od ukupnih melioracijskih površina – na kojima je moguć uzgoj biljnih kultura kada se izgrade vodne građevine i sustavi za melioracijsku odvodnju. Sastavni dio toga su i podaci o povećanim prirodima biljnih kultura od 16 do 62% na površinama s potpuno izgrađenim hidromelioracijskim građevinama i sustavima – a to je samo 33,5% od ukupnih melioracijskih površina. Ne postoje pouzdani podaci o zasijanim površinama na područjima koja su bila privremeno okupirana, ali treba imati na umu da je od 1991. do 1996. g. na slobodnom području Hrvatske bilo u prosjeku 935 467 ha/god zasijanih površina. To je samo 70,1% prosječno zasijanih površina od 1976. do 1990. g. Privremeno je bilo okupirano 296 500 ha što je 26,5% od ukupnih površina sa (ne)potpuno izgrađenim hidromelioracijskim građevinama i sustavima na 1 118 893 ha (62,5% od ukupnih melioracijskih površina Hrvatske – 1 789 070 ha). Još veći je problem u nedovoljnom stupnju održavanja hidromelioracijskih odvodnih građevina i sustava i to kako na privremeno okupiranom području tako i na većini ostalih melioracijskih područja Hrvatske. I pored važećih odredbi Zakona o vodama i Zakona o financiranju vodnog gospodarstva sredstva slivne vodne naknade su iznosila od 18 do 54% od ukupnih minimalnih potreba za poslove redovnog održavanja gravitacijskih hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje – od 1991. do 1998. g. Posljedice toga su vidljive na terenu u sve nižem stupnju funkcioniranja odvodnje u odnosu na projektno-izvedbene elemente vodnih građevina površinske i podzemne odvodnje. Zbog toga su povećani troškovi pripreme zemljišta za sjetvu i smanjeni prirodni biljnih kultura, odnosno povećani troškovi poljoprivredne proizvodnje. Poseban problem je u potrebi brže obnove oštećenih i razorenih vodnih građevina za melioracijsku odvodnju. Ratnim djelovanjem oštećeno je ukupno 18 crpnih stanica kapaciteta 96,9 m³/s. Najveće ratne štete su na crpnoj stanici Dvor (Q = 20,0 m³/s) za odvodnju 20 000 ha poljoprivrednih površina na slivu Vuke, koja je potpuno razorena u listopadu 1991. g. U jesen 1998. g. obnovljen je jedan agregat kapaciteta 5,0 m³/s. Također treba naglasiti da je na području Istočne Slavonije i Baranje bio najviši stupanj izgrađenosti vodnih građevina i sustava za melioracijsku odvodnju i da su na tim površinama bili najviši prirodni biljnih kultura. Istovremeno je na tom području i najveći broj ratnim djelovanjem oštećenih i razorenih zaštitnih i odvodnih građevina. Na području Srednje Posavine obnovljen je veći broj tih objekata, ali je potreban viši stupanj održava-



VRSTE I BROJ HIDROMELIORACIJSKIH GRAĐEVINA ZA ODVODNJU 1990. godina			
1	Dužina glavnih vodotoka	6620	km
2	Dužina melioracijskih kanala III i IV reda (SK i DK)	26357	km
3	Betonski cijevni propusti promjera 50–200 cm	21659	objekata
4	Betonski pločasti propusti otvora 200–1000 cm	1486	objekata
5	Betonske kamene stepenice visine 80–120 cm	1085	objekata
6	Poluautomatski cijevni čepovi promjera 50–200 cm	506	objekata
7	Ostali hidromelioracijski objekti	1466	objekata
8	Crpna stanice na 18 slivnih-melioracijskih područja	broj	78 objekta
		ukupna snaga	21438 kW
		kapacitet	326.44 m ³ /s

Slika 2. Osnovni pokazatelji o hidromelioracijskim građevinama i sustavima za odvodnju

nja – kao i u cijeloj Hrvatskoj. Na slici 2. dati su osnovni pokazatelji o hidromelioracijskim odvodnim građevinama i sustavima kao i o zasijanim površinama u Hrvatskoj, pa nisu potrebna posebna objašnjenja.

3.3. Korištenje voda

Pored količine vode za razne potrebe korištenja bitno je njeno porijeklo (površinska i podzemna) i kakvoća. Zbog toga je veliko značenje u korektnom određivanju bilance površinskih i podzemnih voda. Prosječni modul otjecanja površinskih voda u Hrvatskoj je $23,4 \text{ l/s/km}^2$. Na slivnom području Save, Drave i Dunava iznosi $29,7$ a na slivnom području Jadranskog mora modul površinskog otjecanja je $14,1 \text{ l/s/km}^2$. Temeljem tih podataka ukupno raspoloživa površinska voda po stanovniku Hrvatske ($4\,784\,000$ st.) iznosi $8\,738 \text{ m}^3/\text{godišnje}$. Međutim površinske vode nisu jednako raspoređene u vremenu i prostoru u odnosu na potrebe. To uvjetuje probleme i odgovarajuće troškove u procesu njihovog korištenja. Ukupne prosječne površinske vode s teritorija Hrvatske iznose $41\,804\,000\,000 \text{ m}^3/\text{godišnje}$, a tranzitne $127\,279\,000\,000 \text{ m}^3/\text{godišnje}$. Obnovljive zalihe podzemne vode u Hrvatskoj iznose od minimalnih $178,07$ do maksimalnih $959,0 \text{ m}^3/\text{s}$ odnosno od $5\,615\,600\,000$ do $30\,251\,000\,000 \text{ m}^3/\text{godišnje}$. Stalne zalihe podzemnih voda su od $3\,022,0 \text{ m}^3/\text{s}$ odnosno $95\,304\,000\,000 \text{ m}^3/\text{godišnje}$. Međutim također je nejednolik raspored i kakvoća kako obnovljivih tako i stalnih zaliha podzemne vode u Hrvatskoj. Bez izvora vode raspoložive podzemne vode u Hrvatskoj su od $3\,030\,000\,000$ do $15\,800\,000\,000 \text{ m}^3/\text{godišnje}$. Za sadašnji stupanj (74%) vodoopskrbe stanovnika koristi se 86% podzemnih i 14% površinskih voda – prema podacima za 1998. godinu. Za osiguranje vode u vodoopskrbi stanovništva i industrije najznačajnije su obnovljive zalihe podzemnih voda koje se mogu trajno eksploatirati. Od 1985. do 1996. g. prisutno je smanjenje godišnje potrošnje vode i to kako za domaće stanovništvo i turiste (od $368\,000\,000$ na $296\,000\,000 \text{ m}^3$) tako i za industriju (od 129×10^6 na 56×10^6) i ostale potrošače (od 390×10^6 na $287 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{godišnje}$). Obnovljive zalihe podzemnih voda iznose od minimalnih $5\,134\,000\,000$ do maksimalnih $26\,661\,000\,000 \text{ m}^3/\text{godišnje}$. Potrebe vode za vodoopskrbu procjenjuju se na $1\,000\,000\,000$ u 2015. g. i na $1\,525\,000\,000 \text{ m}^3$ u 2050. godini. Posebno treba vrednovati raspoložive i potrebne količine vode za navodnjavanje poljoprivrednih zemljišta, ribogojstvo i proizvodnju električne energije. To ovisi o programu daljnjeg razvoja suvremene poljoprivrede i programu korištenja domaćih resursa u razvoju energetike. U sklopu korištenja voda potrebno je imati na umu potrebu izgradnje niza vodnih građevina: vodozahvati površinskih voda (vodotoci, jezera, akumulacije sa branama, ustavama, sifonima) i podzemnih voda (bušeni i kopani zdenci), crpna postrojenja, vodospreme, objekti s uređajima i opremom za pročišćavanje vode odnosno za proizvodnju pitke vode, magistralni i lokalni cjevovodi, kućni i ostali priključci. Nabrojene vodne građevine, nužne su za osiguranje dovoljnih količina pitke vode za potrebe stanovnika, ali i tehnološke vode za potrebe niza industrijskih djelatnosti. Posebno značenje imaju za urbani razvitak naselja te za potrebe turizma kao jedne od naših glavnih gospodarskih djelatnosti. Vodne građevine za vodoopskrbu su neophodne i za potrebe ribogojstva te za potrebe rekreacije kao i za odgovarajuće sportove na vodi. U 1990. g. je 63% stanovnika imalo riješeno vodoopskrbu po standardima pitke vode. Nažalost i veliki broj vodnih građevina i sustava vodoopskrbe je također oštećen ili razoren ratnim djelovanjem i to u najvećoj mjeri 1991. i 1992. g. Od 1993. g. uslijedile su veće aktivnosti kako na obnovi oštećenih tako i izgradnji novih vodnih građevina i sustava za vodoopskrbu naselja i to prvenstveno na područjima Zadra,

Osijeka, Slavonskog Broda, Dubrovnika, Gospića, Siska, Našica, Ogulina, a od 1996. g. i na područjima oslobođenim vojno-redarstvenom akcijom »Bljesak« i »Oluja«. Istovremeno se radilo na zamjeni cjevovoda magistralnih vodoopskrbnih sustava s velikim gubicima (od 35 do 55%) od kvalitetnijeg i dugotrajnijeg materijala (ductil-nodularni lijev) te izgradnji većeg broja vodosprema i crpnih postrojenja. Projekti obnove oštećenih i izgradnje novih vodnih građevina i magistralnih vodoopskrbnih sustava financiraju se iz sredstava naknade za korištenje voda, sredstava državnog proračuna te kredita domaćih i inozemnih banaka kao i proizvođača cijevi, uređaja i opreme za potrebe proizvodnje pitke vode. Realizacijom tih projekata omogućena je brža izgradnja mjesne vodoopskrbne mreže s odgovarajućim objektima tako da je u 1998. g. stupanj 74% stanovnika Hrvatske imalo riješeno pitku vodu.

3.4. Zaštita voda i odvodnja otpadnih voda

Zaštita voda, odnosno očuvanje kakvoće voda za višenamjensku uporabu, u našoj se zemlji posljednjih godina počelo rješavati suvremenim pristupom prema cjelokupnom upravljanju i gospodarenju vodama. S obzirom na složenost problema, u zaštiti voda sudjeluju znanstvenici i stručnjaci različitih znanstvenih grana iz područja tehničkih, prirodnih i društvenih znanosti. U procesu rješavanja zadataka za zaštitu voda bitno je poznavanje ekosustava, svojstava vode te fizikalnih, kemijskih i bioloških pokazatelja kakvoće vode. Promjena kakvoće vode nastaje zbog raznih izvora onečišćenja u procesu korištenja voda za potrebe kućanstva, industrije, poljoprivrede, energetike, rudarstva, prometa, turizma, naselja. Čišćenje voda provodi se različitim načinima i to prethodnim odnosno prvim stupnjem te biološkim, fizikalnim i kemijskim, postupcima drugog i trećeg stupnja kao i alternativnim postupcima. Sastavni dio toga je obrada mulja s deponiranjem ili korištenjem. Posebno je značenje u primjeni važećih i to kako normi za ispuštene vode tako i normi o kakvoći vode prijemnika (vodotok, jezero, more). Za rješavanje problema i odvodnje otpadnih voda potrebna je izgradnja većeg broja građevina s odgovarajućim uređajima i opremom. To se prvenstveno odnosi na:

- kanalizacijske kolektore različitih vrsta tipova i oblika i karakteristika,
- kanalizacijsku cijevnu mrežu naselja – s odgovarajućim priključcima
- opremu sa revizijskim i prekidnim oknima (zbog pada), mjerni uređaji, ispirajući mreža, uređaji za zatvaranje, zaštitni uređaji, objekti za skupljanje površinskih voda s prometnica i drugih površina
- objekti kanalizacijskog sustava su rasteretne građevine, crpke i bazeni za oborinsku vodu, ispusti. Rješavanje problema čišćenja i odvodnje otpadnih voda je od posebnog značenja za očuvanje prirodnih vodnih resursa – i to kako površinskih tako i podzemnih voda. Zaštita voda od onečišćavanja provodi se radi očuvanja života i zdravlja ljudi i zaštite okoliša, te omogućavanja neškodljivog i nesmetanog korištenja voda za različite namjene. Zaštita voda ostvaruje se nadzorom nad stanjem kakvoće voda i izvorima onečišćavanja, sprječavanjem, ograničavanjem i zabranjivanjem radnji i ponašanja koja mogu utjecati na onečišćenje voda i stanja okoliša. Klasifikacijom voda određuju se vrste voda koje odgovaraju uvjetima kakvoće voda u smislu njihove opće ekološke funkcije, kao i uvjetima korištenja voda za određene namjene. Klasifikacija voda određuje se na temelju graničnih vrijednosti pojedinih tvari i drugih svojstava vode dopštenim za određenu vrstu vode. Djelatnost odvodnje otpadnih voda čine poslovi skupljanja otpadnih voda, njihova

dovođenja do uređaja za pročišćavanje, pročišćavanja i ispuštanja u prijemnik, obrade mulja koji nastaje u procesu njihova pročišćavanja i poslovi odvodnje oborinskih voda iz naselja putem sustava javne odvodnje. Zaštita voda provodi se u skladu s Državnim planom za zaštitu voda i županijskim planovima za zaštitu voda. Plan građenja objekata za pročišćavanje otpadnih voda u Državnom planu za zaštitu voda obuhvaća objekte i uređaje za pročišćavanje otpadnih voda od najmanje 50 000 ekvivalentnih stanovnika. I pored velikog značenja pročišćavanja otpadnih voda do potrebnog stupnja prije njihovog upuštanja u vodoprijemnike, a u sklopu toga zaštite prirodnih vodnih resursa kao i okoliša, u Hrvatskoj je nezadovoljavajuću stupanj njihovog rješenja. Do sada se otpadne vode samo 38% stanovnika Hrvatske odvede putem mjesne mreže u kanalizacijske kolektore. Još lošije stanje je s objektima i uređajima za pročišćavanje otpadnih voda naselja – samo 11% otpadnih voda stanovnika. Također ne zadovoljava stupanj rješenja otpadnih voda u industrijskim djelatnostima, poljoprivredi i turizmu. Realizaciju zadataka i projekata zaštite voda i odvodnje otpadnih voda treba vrednovati kao sastavni dio cjelokupnog programa gospodarenja vodama.

4. Provedba organizacije i nadzora u vodnom gospodarstvu

Za obavljanje poslova organizacije upravljanja u vodnom gospodarstvu po Zakonu o vodama zadužena je odgovorna tvrtka »Hrvatske vode« (HV-e) – pravna osoba za upravljanje vodama. Zadaća je HV-a u trajnom i nesmetanom obavljanju javnih službi i drugih poslova kojima se ostvaruje upravljanje vodama u opsegu utvrđenom planovima i u skladu sa sredstvima koja se na temelju Zakona o vodama i Zakona o financiranju vodnog gospodarstva osiguravaju za takve namjene. U vezi s obavljanjem javnih službi »Hrvatske vode« imaju po Zakonu o vodama propisane javne ovlasti u okviru kojih donose upravne i druge akte, te odlučuju o pitanjima značajnim za upravljanje vodama. Organ upravljanja »Hrvatskim vodama« je Upravno vijeće čije članove imenuje i razrješava Vlada Republike Hrvatske, a koji su nositelji javnih funkcija i stručnjaka s područja upravljanja vodama, gospodarstva i javnih funkcija. Unutarnje ustrojstvo »Hrvatskih voda« utvrđuje se posebnim općim aktom (Statutom) kojeg donosi Upravno vijeće uz suglasnost ravnatelja Državne uprave za vode. Statutom »Hrvatskih voda« utvrđuju se: ovlasti i način odlučivanja pojedinih tijela i direktora, osnove za donošenje planova, osnove unutarnjeg ustrojstva, način i uvjeti raspolaganja sredstvima, način ostvarivanja odnosa s jedinicama lokalne samouprave u pitanjima upravljanja vodama i način ostvarivanja javnosti rada. Upravni nadzor nad provedbom programa vodnogospodarskih djelatnosti kao i upravni nadzor nad »Hrvatskim vodama« u obavljanju poslova po Zakonu o vodama obavlja Državna uprava za vode. Sastavni dio toga je i provedba inspeksijskog nadzora. Vodopravna inspekcija posebno nadzire: stanje vodotoka, drugih voda, tehničku ispravnost i namjensko korištenje vodnih građevina i uređaja, korištenje voda i vodnog dobra u skladu sa Zakonom o vodama, vodopravnim aktima i ugovorom o koncesiji, stanje onečišćenosti, odnosno zagađenje voda i provođenje mjera za zaštitu voda i izvršavanje uvjeta određenih vodopravnim aktima, pripremu i provođenje mjera za obranu od poplava i drugih mjera zaštite od štetnog djelovanja voda. Nacionalno vijeće za vode razmatra i daje mišljenje s prijedlozima Zakona o vodama i drugih propisa kojima se uređuju pitanja u vezi s upravljanjem vodama, razmatra provođenje Zakona o vodama i propisa o upravljanju vodama, razmatra prijedloge Vodnogospodarske osnove Hrvatske i planove

upravljanja vodama koji se donose na državnoj razini, razmatra sustav financiranja upravljanja vodama i način korištenja osiguranih sredstava, razmatra potrebe koje se putem vodnog sustava ostvaruju u različitim djelatnostima i područjima života: uređenje naselja, poljoprivrede, energetike, turizma, plovidbe, industrije i druge poslove potrebne za rad Nacionalnog vijeća za vode obavlja Državna uprava za vode. Provedba Zakona o vodama i Zakona o financiranju vodnog gospodarstva je neophodna za ostvarenje projekata iz područja vodnog gospodarstva. Sastavni dio toga je i dosljedna primjena odgovarajućih propisa (odluka, uredbi, pravilnika) u vodnom gospodarstvu. Navedeno treba vrednovati kao preduvjet cjelokupnog gospodarskog, urbanog i društvenog razvoja Hrvatske.

Literatura

- Marušić, J.: Vodoprivreda – zanemareni društveni interes, Hrvatsko gospodarstvo, Zagreb, I/19, 1992. str. 26-28.
- Marušić, J., Gereš, D., Kolovrat, I.: Ratne štete u vodoprivredi Republike Hrvatske, Građevinar, 44, Zagreb, 1999. str. 731-739.
- Marušić, J.: Značenje vodoprivrednih djelatnosti za obnovu i razvoj Hrvatske, Hrvatske vode, 1, 1, Zagreb, str. 1-12.
- Marušić, J.: Gospodarenje i upravljanje vodama Hrvatske, Agricultural Sector Review, program FAO, Zagreb, 1994.
- Kolovrat, I., Marušić, J., Šturlan, S.: Značenje, ratne štete i obnova vodoprivrednih objekata, Prva hrvatska konferencija o vodama, Dubrovnik, 1995., knjiga 1, str. 59-74.
- Zakon o vodama i Zakon o financiranju vodnog gospodarstva, Narodne novine, 107, Zagreb, 1995. str. 2910-2936-2943.
- Bačić, Z., Petraš, J., Marušić, J.: Vodne građevine za zaštitu od poplava i melioracijsku odvodnju, Sabor hrvatskih graditelja '96, Cavtat, 1996. str. 893-912.
- Marušić, J., Šturlan, S.: Značenje i uloga vodnogospodarskih djelatnosti i Hrvatskih voda u razvitku Republike Hrvatske, Hrvatska vodoprivreda, posebno izdanje, Zagreb, 1997. str.22-29.
- Tedeschi, S.: Zaštita voda, udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb, 1997. str. 1-287.
- Marušić, J.: Organisation, financing and Implementation of Water management plans in the Republic of Croatia, International Symposium on Water Management and hydraulic engineering, Dubrovnik, 1998, p 119-130.
- Gereš, D.: Gospodarska bilanca voda u Republici Hrvatskoj, Građevni godišnjak, HSGI Zagreb, str. 221-271.
- Margeta, J.: Kanalizacija naselja, udžbenik, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu i Osijeku.

Autori

- Prof. dr. sc. Josip Marušić, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Kačićeva 26
tel. (01)4828-054, fax (01)4561-238
- Zorislav Balić, ravnatelj Državne uprave za vode, Zagreb, Grada Vukovara 220/I
tel. (01)6151-820, fax (01)6151-821
- Stjepan Šturlan, generalni direktor Hrvatskih voda, Zagreb, Grada Vukovara 220
tel. (01)6155-820, fax (01)6151-910

WERKOS[®]

*friends
of
nature*



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

P 02.

Upravljanje vodama Hrvatske u Zakonu o vodama

Josip Marušić, Zorislav Balić, Stjepan Šturlan

SAŽETAK: U Zakonu o vodama (N. N. 107/1995. g. od članka 5. do članka 118.) određeni su uvjeti upravljanja vodama. U sklopu toga je posebno značenje u definiranju elemenata i pokazatelja vodnih građevina. U svrhu upravljanja vodama područje Republike Hrvatske je podijeljeno na 4 vodna i 34 slivna područja. Po ustrojstvu HRVATSKIH VODA – pravne osobe za upravljanje državnim i lokalnim vodama, stručne službe vodnogospodarskih odjela (5) i vodnogospodarskih ispostava (34) izvršavaju odgovarajuće poslove upravljanja vodama na vodnim i slivnim područjima. U Direkciji Hrvatskih voda izvršavaju se poslovi pripreme i izrade plana upravljanja vodama za godišnja i petogodišnja razdoblja. Odluke u svezi njihove provedbe na prijedlog Stručnog kolegija donosi Upravno vijeće Hrvatskih voda. Državna uprava za vode obavlja upravne i pripadajuće stručne poslove u sklopu provedbe plana upravljanja vodama.

Vodnogospodarska osnova Hrvatske je dugoročni planski dokument kojim se utvrđuju osnove za upravljanje vodama, bilanca voda i poboljšanje vodnog sustava na temelju kojeg se osigurava cjelovit i usklađen vodni režim u Republici Hrvatskoj i na svakom vodnom području. Na osnovu toga izvršavaju se poslovi ostvarenja planova za: korištenje voda, zaštitu voda te uređenje vodotoka i zaštite od štetnog djelovanja voda. Sastavni dio toga su mjerodavni elementi vodnog dobra i način njegova korištenja kao i vođenje vodne dokumentacije. Za upravljanje vodama bitna su i ograničenja prava vlasnika i korisnika zemljišta te provedba posebnih mjera radi održavanja vodnog režima.

KLJUČNE RIJEČI: upravljanje, vodama, korištenje, zaštita, vodni režim, područje

Water Resources Management in Croatia – The Waters Act

SUMMARY: The Waters Act (Official Gazette 107/1995, Articles 5-118) stipulates water management requirements. Determination of water structure elements and indicators is specially highlighted. For the purpose of water resources management, the territory of the Republic of Croatia has been subdivided into four water and 34 catchment areas. Under the organization of the CROATIAN WATERS, the authority managing state and local waters, professional services in water management departments (5) and water management branch offices (34) perform necessary water management operations in water and catchment areas. The Croatian Waters Directorate performs all the preparatory and planning activities for annual and five-year periods. Decisions on their implementation are proposed by the Board of Experts and brought by the Management Board of the Croatian Waters. The State Directorate for Waters conducts administrative and professional works within the framework of implementation of the water resources management plan.

The Croatian Water Resources Management Scheme is a long-term planning document which sets up the basis for water management, water balance and improvements in water system, used as the basis for integrated and harmonized water regime in the Republic of Croatia and all water areas. It is the starting point for realization of plans for water use, water protection and river training, and protection against adverse impact of water. The integral part are rele-

vant elements of water capital and methods of its use, as well as maintenance of water-related documentation. In water resources management, the right-of-way and implementation of special water regime conservation measures are of particular importance.

KEYWORDS: water resources management, water use, protection, water regime, water area

1. Uvod

U Zakonu o vodama (ZOV-a, N. N. 107/1995. g.) određen je status voda i vodnog dobra, način i uvjeti upravljanja vodama, način organiziranja i obavljanja poslova i zadataka kojima se ostvaruje upravljanje vodama. U sklopu toga definirani su uvjeti za obavljanje djelatnosti vodnog gospodarstva, ovlasti i dužnosti tijela državne uprave i drugih državnih tijela, jedinica lokalne samouprave i drugih pravnih subjekata, te druga pitanja značajna za upravljanje vodama. Odredbe ZOV-a odnose se na površinske i podzemne vode uključujući ušća rijeka koje se ulijevaju u more i kanala spojenih s morem. Vode su opće dobro koje zbog svojih prirodnih svojstava ne mogu biti ni u čijem vlasništvu.

Upravljanje vodama čini skup aktivnosti, odluka i mjera čija je svrha održavanje, poboljšanje i ostvarivanje jedinstva vodnog režima na određenom području. To se ostvaruje osiguranjem potrebnih količina vode odgovarajuće kakvoće za različite namjene, zaštitom voda od onečišćenja, uređenjem vodotoka i zaštitom od štetnog djelovanja voda. Upravljanje vodama zasniva se na sljedećim načelima: – voda je nezamjenljiv uvjet života i rada, – vodama se upravlja prema načelu jedinstva vodnog sustava i načelu održivog razvoja, – teritorijalne jedinice za upravljanje vodama jesu vodna i slivna područja kao hidrografske i gospodarske cjeline, – planovi upravljanja vodama se provode u sklopu cjelovite zaštite okoliša i ostvarivanje općeg i gospodarskog razvoja Republike Hrvatske.

Vodni režim se utvrđuje na osnovi dugoročnog praćenja prostornog rasporeda količine, kakvoće i drugih osobina voda i izgrađenosti vodnog sustava. Zakonom o financiranju vodnog gospodarstva utvrđuju se izvori sredstava za financiranje poslova i namjena kojima se u skladu sa ZOV-a ostvaruje upravljanje vodama.

2. Vodne građevine

Vodne građevine su građevinski objekti ili skupovi takvih objekata zajedno s pripadajućim uređajima koji čine tehničku odnosno tehnološku cjelinu, a služe za uređenje vodotoka i drugih voda, zaštitu od štetnog djelovanja voda, zahvaćanje voda radi njihova namjenskog korištenja i za zaštitu voda.

S obzirom na namjenu vodne građevine su:

1. Regulacijske i zaštitne vodne građevine

Građenje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina, tehničko i gospodarsko održavanje vodotoka, vodnog dobra i vodnih građevina provodi se u skladu s planom upravljanja vodama. Te građevine su dobra od interesa za Republiku Hrvatsku i u njenom su vlasništvu.

2. Vodne građevine za melioracijsku odvodnju

Te građevine kao i građevine za melioracijsko navodnjavanje čija se izgradnja financira sredstvima proračuna ili sredstvima posebnih naknada koje u skladu sa zakonom

plaćaju korisnici na slivnom području, su dobro od interesa za Republiku Hrvatsku i u vlasništvu su županija na čijem se području nalaze.

3. Vodne građevine za korištenje voda su za: – vodoopskrbu naselja, industrije i rudarstva, melioracijsko navodnjavanje, za proizvodnju električne energije, plovidbu – prirodnim vodotocima i umjetnim kanalima, ribogojstvo, sport, rekreaciju.

4. Vodne građevine za zaštitu voda.

3. Teritorijalne osnove za upravljanje vodama

Područje Republike Hrvatske (površine 56 530 km²) se u svrhu upravljanja vodama dijeli na vodna i slivna područja. Vodna područja obuhvaćaju područje jednog ili više slivova glavnih riječnih vodotoka ili njihovih dijelova, koji čine prirodnu hidrografsku cjelinu, a to su:

1. Vodno područje sliva Save – površine 24 283 km² (42,95%)
2. Vodno područje sliva Drave i Dunava – površine 9 657 km² (17,28%)
3. Vodno područje primorsko-istarskih slivova – površine 9 840 km² (17,40%)
4. Vodno područje dalmatinskih slivova – površine 12 758 km² (22,57%).

Slivno područje obuhvaća, u okviru vodnog područja jedan ili više slivova manjih vodotoka za koje se, zbog povezanosti vodne problematike, izgrađenog vodnog sustava i gospodarskih uvjeta osigurava jedinstveno upravljanje vodama. Slivno područje čini teritorijalnu jedinicu za upravljanje lokalnim vodama. Granicu vodnih i slivnih područja utvrđuje Vlada Republike Hrvatske.

Na slici 1. dat je prikaz i popis 4 vodna i 34 slivna područja kao i popis gradova u kojima se nalaze stručne službe vodnogospodarskih odjela (VGO-a) i vodnogospodarskih ispostava (VGI-a) – po ustrojstvu tvrtke HRVATSKIH VODA – pravne osobe za obavljanje poslova upravljanja državnim i lokalnim vodama Hrvatske.

4. Planske osnove za upravljanje vodama

Planske osnove za upravljanje vodama su Vodnogospodarska osnova Hrvatske, te vodnogospodarske osnove i vodnogospodarski planovi slivnih područja. Vodnogospodarska osnova Hrvatske (VOH) je dugoročni planski dokument kojim se utvrđuju osnove za upravljanje vodama, bilanca voda i poboljšanje vodnog sustava na temelju kojeg se osigurava cjelovit i usklađen vodni režim u Republici Hrvatskoj i na svakom vodnom području. VOH mora se zasnivati na znanstvenim istraživanjima, kontinuiranom praćenju rasporeda stanja i pojava u vezi s vodama i njihovim korištenjem, uvažavajući specifičnosti vodne problematike svakog vodnog područja i cjelovite zaštite okoliša. VOH-e donosi Sabor Hrvatske.

Vodnogospodarska osnova slivnog područja (VOSP) ili vodnogospodarski plan slivnog područja donosi se za slivna područja s osobito složenom problematikom korištenja voda, zaštite voda, uređenje vodotoka i drugih voda, te zaštite od štetnog djelovanja voda. VOSP-a utvrđuje se: raspored, zalihe i osobine voda, potrebe za vodom, odgovarajuća tehnička i gospodarska rješenja i aktivnosti za upravljanje vodama i poboljšanje stanja voda na slivnom području.

Naziv vodnih i slivnih područja

- | | | |
|------|--|----|
| 1. | VODNO PODRUČJE SAVE | |
| | VGO - Zagreb | |
| 1.1 | Slivno područje BIĐ-BOSUT | ZV |
| 1.2 | Slivno područje BRODSKA POSAVINA | ZP |
| 1.3 | Slivno područje ORLJAVA-LONDA | ZO |
| 1.4 | Slivno područje ŠUMETLICA-CRNAC | ZC |
| 1.5 | Slivno područje SUBOCKA-STRUG | ZN |
| 1.6 | Slivno područje ILOVA-PAKRA | ZI |
| 1.7 | Slivno područje ČESMA-GLOGOVICA | ZČ |
| 1.8 | Slivno područje LONJA-TREBEŽ | ZT |
| 1.9 | Slivno područje ZELINA-LONJA | ZL |
| 1.10 | Slivno područje BANOVINA | ZB |
| 1.11 | Slivno područje KUPA | ZK |
| 1.12 | Slivno područje KRAPINA-SUTLA | ZS |
| 2. | VODNO PODRUČJE SLIVOVA DRAVE I DUNAVA | |
| | VGO - Osijek | |
| 2.1 | Slivno područje VUKA | OV |
| 2.2 | Slivno područje BARANJA | OB |
| 2.3 | Slivno područje KARAŠICA-VUČICA | OK |
| 2.4 | Slivno područje ŽUPANIJSKI KANAL | OŽ |
| 2.5 | Slivno područje BISTRA | OĐ |
| 2.6 | Slivno područje PLITVICA-BEDNJA | OP |
| 2.7 | Slivno područje MEĐIMURJE | OM |
| 3. | VODNO PODRUČJE PRIMORSKO-ISTARSKIH SLIVOVA | |
| | VGO - Rijeka | |
| 3.1 | Slivno područje MIRNA-DRAGONJA | RM |
| 3.2 | Slivno područje RAŠA-BOLJUNČICA | RB |
| 3.3 | Slivno područje KVARNERSKO PRIMORJE I OTOCI | RK |
| 3.4 | Slivno područje GORSKI KOTAR | RG |
| 3.5 | Slivno područje PODVELEBITSKO PRIMORJE I OTOCI | RV |
| 3.6 | Slivno područje LIKA | RL |
| 4. | VODNO PODRUČJE DALMATINSKIH SLIVOVA | |
| | VGO - Split | |
| 4.1 | Slivno područje ZRMANJA-ZADARSKO PRIMORJE | SZ |
| 4.2 | Slivno područje KRKA-ŠIBENSKO PRIMORJE | SK |
| 4.3 | Slivno područje CETINA | SC |
| 4.4 | Slivno područje SREDNJE DALMATINSKO PRIMORJE I OTOCI | SS |
| 4.5 | Slivno područje VRLJIKA | SM |
| 4.6 | Slivno područje MATICA | SV |
| 4.7 | Slivno područje NERETVA-KORČULA | SN |
| 4.8 | Slivno područje DUBROVAČKO PRIMORJE I OTOCI | SD |
| 5. | SLIVNO PODRUČJE GRADA ZAGREBA | |
| | VGO - Zagreb | ZZ |



VOŠP-a, program zaštite okoliša, dokumenti prostornog uređenja i planski dokumenti za gospodarenje šumama na slivnim područjima, međusobno se usklađuju i moraju biti u skladu s VOŠ-e.

5. Korištenje voda

Korištenje voda se mora koristiti racionalno i ekonomično. Svaki korisnik vode dužan je koristiti vodu na način i u opsegu kojim se voda čuva od rasipanja i štetnih promjena njezinih svojstava (kakvoće) i ne onemogućuje zakonsko pravo korištenja voda drugim osobama.

- a) Korištenje voda za opskrbu stanovništva vodom za piće, sanitarne potrebe, protupožarne zaštite i potrebe obrane ima prvenstvo u odnosu na korištenje voda za ostale namjene.

Prema ZOV-a vodoopskrbnu djelatnost čine poslovi zahvaćanja i crpljenja podzemnih i površinskih voda za piće i druge potrebe i njihova pročišćavanja do stupnja zdravstvene ispravnosti, dovođenja do mjesta potrošnje i raspodjela korisnicima. Pravne osobe koje obavljaju vodoopskrbnu djelatnost dužne su osigurati stalni i sustavni pregled vode i poduzimati mjere za osiguravanje zdravstvene ispravnosti vode za piće i tehničke ispravnosti uređaja i podatke o tome dostavljati nadležnoj vodopravnoj i sanitarnoj inspekciji.

Zone sanitarne zaštite utvrđene odlukom o zaštiti izvorišta, kao i prostor rezerviran za zone sanitarne zaštite za koje nije donesena odluka moraju se uvrstiti u dokumente prostornog uređenja područja na kojima se te zone prostiru. Za donošenje odluke o zaštiti izvorišta potrebno je prethodno mišljenje »Hrvatskih voda« – pravne osobe za obavljanje poslova upravljanja vodama. Detaljnije propise o uvjetima i načinu utvrđivanja zona sanitarne zaštite i o mjerilima za utvrđivanje posebne naknade donosi ravnatelj Državne uprave za vode.

- b) Korištenje voda za melioracijsko navodnjavanje

Zahvaćanje i korištenje voda iz vodotoka i drugih prirodnih površinskih voda, crpljenje podzemnih voda i prikupljanje oborinskih voda za navodnjavanje poljoprivrednih obavlja se na način i pod uvjetima određenim vodopravnom dozvolom te ugovorom o koncesiji po odredbama ZOV-a i po odluci odnosno rješenju Državne uprave za vode. Stručni nadzor nad korištenjem voda za melioracijsko navodnjavanje obavljaju »Hrvatske vode«. Detaljnije propise o tehničkim, gospodarskim i drugim uvjetima za uređenje melioracijskog sustava za navodnjavanje, tehničkom upravljanju sustavom, obvezi izvještavanja o stanju i korištenju sustava, osnovama za utvrđivanje održavanja troškova sustava i načinu raspoređivanja tih troškova na korisnike donosi ravnatelj Državne uprave za vode.

- c) Korištenje vodnih snaga

Pravo korištenja vodnih snaga za proizvodnju električne energije i za pogon uređaja koji se pokreću snagom vode, stječe se na osnovi ugovora o koncesiji i vodopravne dozvole. Pri odlučivanju o dodjeli prava korištenja vodnih snaga polazi se od načela većeg javnog interesa i racionalnijeg korištenja vodne snage.

Vodne građevine i uređaji za korištenje vodnih snaga moraju se projektirati i izgraditi tako da omogućavaju vraćanje voda u vodotoke, ne smanjuju postojeći opseg korište-

nja voda za vodoopskrbu, navodnjavanje i druge namjene, ne smanjuju stupanj zaštite od štetnog djelovanja voda i ne otežavaju provođenje mjera takve zaštite, ne uzrokuje štete na šumama i drugoj flori i fauni ili na imovini, ne otežavaju pješački, cestovni i željeznički promet i plovidbu na unutarnjim plovnim putevima. U slučaju izgradnje akumulacija za korištenje vodnih snaga, mora se istodobno osigurati njihova višenamjenska uporaba, a osobito zaštita od poplave i osiguravanje vode za vodoopskrbu, navodnjavanje i druge namjene.

6. Vodno dobro i njegovo korištenje

Vodno dobro je skup zemljišnih čestica koji obuhvaća: – vodonosna i napuštena korita površinskih kopnenih voda, (ne)uređeni inundacijski pojas, otoke koji su nastali ili nastanu u vodonosnom koritu presušivanjem vode njenom diobom na više rukavaca, naplavlivanjem zemljišta ili ljudskim djelovanjem. Vodno dobro služi održavanju i poboljšanju vodnog režima, a osobito je namijenjeno za:

- građenje vodnih građevina i postavljanje uređaja za uređenje vodotoka i drugih voda, tehničko i gospodarsko održavanje vodotoka, obala, zaštitnih i regulacijskih vodnih građevina, tehničko održavanje unutarnjih plovnih puteva, provođenje mjera zaštite od štetnog djelovanja voda i ostale namjene utvrđene ZOV-a. Vodno dobro je dobro od interesa za RH-u pod posebnom zaštitom, a koristi se pod uvjetima ZOV-a.

Javno vodno dobro je javno dobro u općoj uporabi i u vlasništvu Republike Hrvatske, a odnose se na zemljišne čestice koje su bile upisane u zemljišnim knjigama kao javno dobro i vodno dobro, državno vlasništvo ili vlasništvo jedinica lokalne samouprave, odnosno koje su na osnovi ZOV-a postale vlasništvom Države. Javnim dobrom upravljaju »Hrvatske vode« koje su ovlaštene na zaključivanje ugovora i poduzimanje drugih radnji u vezi s ulaganjima, tehničkim i gospodarskim održavanjem, korištenjem i davanjem na korištenje toga dobra osim zaključivanju ugovora o koncesiji. Na javnom dobru ne može se steći pravo vlasništva niti drugo stvarno pravo.

Zemljišne čestice izvan sustava javnog vodnog dobra su one na kojima postoji vlasništvo drugih osoba upisano u zemljišnim knjigama, ne smatraju se dijelom javnog vodnog dobra, ali su vlasnici tih čestica, u interesu održavanja jedinstvenog vodnog režima, dužni su dopustiti njihovo korištenje za građenje i održavanje vodograđevina u cilju poboljšanja vodnog režima.

7. Zaštita voda

Zaštita voda od onečišćavanja provodi se radi očuvanja života i zdravlja ljudi i zaštite okoliša, te omogućavanja neškodljivog i nesmetanog korištenja voda za različite namjene. Onečišćenje voda je promjena kakvoće voda koja nastaje unošenjem, ispuštanjem ili odlaganjem u vode hranjivih i drugih tvari, utjecajem energije ili drugih uzročnika, u količini kojom se mijenjaju korisna svojstva voda, pogoršava stanje vodenih ekosustava i ograničuje namjenska uporaba voda. Zagađenje voda je onečišćenje većeg intenziteta koje nastaje unošenjem, ispuštanjem ili odlaganjem u vode opasnih tvari, energije ili drugih uzročnika u količinama, odnosno koncentraciji iznad dozvoljenih graničnih vrijednosti, čime se dovede u opasnost život i zdravlje ljudi i stanje okoliša ili uslijed kojeg mogu nastupiti poremećaji u gospodarstvu ili drugim

područjima. Zagađenjem vode smatra se i svaka promjena kakvoće vode kojom se pogoršava vrsta vode određena klasifikacijom voda.

Klasifikaciju voda propisuje Vlada RH-e u cilju određivanja vrste voda koje odgovaraju uvjetima kakvoće voda u smislu njihove opće ekološke funkcije, kao i uvjetima korištenja voda za određene namjene. Radi sprečavanja pogoršanja kakvoće vode i zaštite okoliša u cjelini, propisuju se granične vrijednosti opasnih i drugih tvari u otpadnim vodama prije njihova ispuštanja u sustav javne odvodnje otpadnih voda ili prirodni prijemnik.

Djelatnost odvodnje otpadnih voda čine poslovi skupljanja otpadnih voda, njihova dovođenja do uređaja za pročišćavanje, pročišćavanja i ispuštanja u prijemnik, obrade mulja koji nastaje u procesu njihova pročišćavanja i poslovi odvodnje oborinskih voda iz naselja putem sustavne javne odvodnje. Planovima za zaštitu voda utvrđuje se osobito: potrebna istraživanja i ispitivanja kakvoće voda, mjere zaštite voda uključujući i mjere za slučajeve izvanrednih i iznenadnih zagađenja voda, planovi građenja objekata za odvodnju i pročišćavanje otpadnih voda u naseljima, potrebna financijska sredstva, izvori i načini financiranja, osobe koje su dužne provoditi plan te njihova ovlaštenja i odgovornosti. Županijski plan za zaštitu voda mora biti u skladu s Državnim planom za zaštitu voda.

»Hrvatske vode« ili druga pravna osoba određena Planom za zaštitu voda dužna je neposredno po saznanju o zagađenju voda ili nastanku opasnosti od zagađenja poduzeti mjere za njihovo sprečavanje, odnosno otklanjanje. Troškove poduzetih mjera snosi pravna, odnosno fizička osoba zbog čijeg je djelovanja ili propusta došlo do zagađenja, odnosno opasnosti od zagađivanja.

8. Uređenje vodotoka i drugih voda i zaštita od štetnog djelovanja voda

8.1. Uređenje vodotoka i drugih voda

Uređenjem vodotoka i drugih voda, prema ZOV-a, smatra se: građenje, tehničko i gospodarsko održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i vodnih građevina za melioracijsku odvodnju, tehničko i gospodarsko održavanje vodotoka i vodnog dobra i drugi radovi kojima se omogućuje kontrolirani i neškodljivi protok voda i njihovo namjensko korištenje.

Radovima tehničkog i gospodarskog održavanja vodotoka, vodnog dobra i vodnih građevina smatraju se osobito:

1. održavanje prirodnih i umjetnih vodotoka
2. održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina
3. održavanje vodnih građevina za melioracijsku odvodnju.

8.2. Zaštita od štetnog djelovanja voda

Zaštita od štetnog djelovanja voda obuhvaća djelovanje i mjere za obranu od poplava, obranu od leda na vodotocima, zaštitu od erozija i bujica i za otklanjanje posljedica od takvih djelovanja.

U svrhu tehničkog i gospodarskog održavanja vodotoka i drugih voda, djelotvornog provođenja obrane od poplava i drugih oblika zaštite od štetnog djelovanja voda (zaobalne vode, bujične vode) na vodotocima i drugim ležištima voda utvrđuje se inundaacijski pojas. U tom pojasu zabranjeno je obavljati radnje kojima se može pogoršati vodni režim i povećati stupanj ugroženosti od štetnog djelovanja voda.

a) Obrana od poplava

Radi sprečavanja poplava i štetnog djelovanja poplavnih voda grade se i održavaju zaštitne vodne građevine, obavljaju zaštitni radovi i provode mjere obrane od poplava. Obrana od poplava na državnim vodama provodi se u skladu s Državnim planom obrane od poplava koji donosi vlada Republike Hrvatske. Obrana od poplava na lokalnim vodama provodi se u skladu s planom obrane od poplava za slivno područje koji donose županijske skupštine na prijedlog »Hrvatskih voda«. Plan obrane od poplava sadrži osobito: mjere koje se moraju poduzeti prije ili u slučaju opasnosti od poplave, vodostaj pri kojem na pojedinim sektorima počinje redovna, odnosno izvanredna obrana, odredbe o opremi i materijalu koji se moraju pripremiti, pravne osobe koje provode obranu od poplave i imena stručnih organizatora obrane od poplave, dužnosti, odgovornosti i ovlaštenja za poduzimanje određenih radnji u vezi s obranom i način obavješćivanja o pojavama i mjerama u tijeku obrane od poplave. Plan obrane od poplava sadrži i mjere za obranu od leda na vodotocima.

b) Obrana od leda

Ako zbog stvaranja i nagomilavanja leda nastaju pregrade koje mogu prouzročiti poplavu ili ako bi zbog stvaranja i pokretanja leda moglo doći do oštećenja regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina, mostova i drugih stalnih ili plovni objekata na vodotoku, moraju se poduzeti mjere utvrđene planom obrane od poplava.

c) Zaštita od erozija i bujica

Područjem ugroženim od erozija, prema ZOV-a smatra se područje na kojem zbog djelovanja površinskih ili podzemnih voda dolazi do ispiranja, podriivanja ili odronjavanja zemljišta i drugih sličnih štetnih pojava uslijed čega može doći do ugrožavanja života i zdravlja ljudi i njihove imovine te poremećaja u vodnom režimu. Bujični tokovi jakih erozijskih procesa koji ugrožavaju veća urbana naselja, industrijska postrojenja, magistralne i regionalne prometnice i melioracijske sustave unose se u popis državnih voda. Radi sprečavanja i otklanjanja erozija i djelovanja bujica grade se i održavaju regulacijske i zaštitne vodne građevine, izvode zaštitni radovi i provode mjere zaštite.

8.3. Melioracijska odvodnja

Sustav melioracijske odvodnje čini skup vodnih građevina i uređaja za odvodnjavanje suvišnih voda na poljoprivrednom i drugom zemljištu, kojima se neposredno i posredno omogućuje brže i pogodnije otjecanje površinskih ili podzemnih voda i osiguravaju povoljniji uvjeti korištenja i obavljanja gospodarskih i drugih djelatnosti. Vodne građevine za odvodnjavanje s obzirom na namjenu razvrstavaju se na osnovne i detaljne melioracijske objekte za odvodnju. Odluku o pristupanju uređenju melioracijskog sustava donosi županijska skupština na osnovi ocjene gospodarske opravdanosti i postojanja uvjeta za financiranje radova. Sredstva za financiranje izvođenja radova na uređenju melioracijskog sustava osiguravaju se u proračunu županije i grada, odnosno općine na čijem se području izvode radovi. Bliže propise o tehničkim, gospodarskim i drugim uvjetima za uređenje sustava za melioracijsku odvodnju, osnovama za tehničko i gospodarsko održavanje sustava donosi ravnatelj.

9. Ograničenja prava vlasnika i korisnika zemljišta radi održavanja vodnog režima

Radi očuvanja i održavanja regulacijskih i zaštitnih te drugih vodnih građevina i sprečavanja pogoršanja vodnog režima, zabranjeno je:

1. na nasipima i drugim regulacijskim i zaštitnim vodnim građevinama kopati i odlagati zemlju, pijesak, šljunak,
2. u uređenom inundacijskom pojasu orati zemlju, saditi i sjeći drveće i grmlje,
3. u uređenom inundacijskom pojasu i do udaljenosti 20 m od vanjske nožice nasipa podizati zgrade, ograde i druge građevine osim regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina,
4. na melioracijskim kanalima za odvodnjavanje kojima upravljaju »Hrvatske vode« i do udaljenosti 5 m od tih kanala potrebnoj za njihovo redovno održavanje orati i kopati zemlju,
5. u vodotoke i druge vode, akumulacije, retencije, melioracijske i druge kanale i u inundacijskom pojasu odlagati zemlju, kamen, otpadne i druge tvari, te obavljati druge radnje kojima se može utjecati na promjenu toka, vodostaja, količine ili kakvoće vode ili otežati održavanje vodnog sustava.

Ceste, putovi i prijelazi na vodnom dobru, regulacijskim i zaštitnim vodnim građevinama moraju se održavati tako da se na njima ne skuplja, odnosno ne zadržava, voda koja može smanjiti njihovu otpornost i funkcionalnu sposobnost.

10. Vodna dokumentacija

Vodnu dokumentaciju čine: vodna knjiga, vodni katastri i očevidnik koncesija na vodama i vodnom dobru. U vodnoj knjizi vode se podaci o izdanim vodopravnim uvjetima i vodopravnim dozvolama. Vodne katastre čine: katastar voda, vodnog dobra i vodnih građevina, katastar korištenja voda i katastar zaštite voda. U katastar voda, vodnog dobra i vodnih građevina unose se podaci o površinskim i podzemnim vodama, vodnom dobru, regulacijskim i zaštitnim vodnim građevinama i vodnim građevinama za melioracijsku odvodnju. U katastar korištenja voda unose se podaci o izvorima i drugim ležištima voda za piće, tehnološke i druge potrebe i o vodnim građevinama i uređajima za zahvaćanje, kondicioniranje i raspodjelu voda. U katastar zaštite voda unose se podaci o izvorima onečišćenja i zagađivanja, sustavima za odvodnju otpadnih voda i drugi odgovarajući podaci značajni za zaštitu voda. Vodnu knjigu i vodne katastre vode »Hrvatske vode«. U očevidnik koncesija na vodama i vodnom dobru upisuju se podaci o odlukama i ugovorima o koncesijama na vodama i vodnom dobru. Vodna dokumentacija vodi se i koristi prema načelu javnosti. Bliže propise o sadržaju, obliku i načinu vođenja vodne dokumentacije, iznosu i naplati troškova za izvode i korištenju podataka iz te dokumentacije donosi ravnatelj Državne uprave za vode.

Literatura

- Zakon o vodama i Zakon o financiranju vodnog gospodarstva, Narodne novine, 107, Zagreb, 1995. g., str. 2910–2936–2943.
- Marušić, J., Širac, M., Šturlan, S.: The importance, financing, planning evaluation of water management works and systems in the Republic of Croatia, CIB W 55 building economics 7 th International symposium, Zagreb, 1996, Volume II, p. 742–752.

Marušić, J.: Organisation, financing and implementation of Water management plans in the Republic of Croatia, International Symposium on Water management and Hydraulic engineering, Dubrovnik, 1998, p. 119–130.

Autori

Prof. dr. sc. Josip Marušić

Građevinski fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Kačićeva 26
tel. (01)4828-054, fax (01)4561-238

Zorislav Balić

ravnatelj Državne uprave za vode, Zagreb, Grada Vukovara 220/I
tel. (01)6151-820, fax (01)6151-821

Stjepan Šturlan

generalni direktor Hrvatskih voda, Zagreb, Grada Vukovara 220
tel. (01)6155-820, fax (01)6151-910



Hydroinformatics and Its Applications to Marine Aquatic Systems

Berislav Tomicic

SUMMARY: This article deals with hydroinformatics – its' origins, importance and the present development directions – as seen from the perspective of Danish Hydraulic Institute, a company which was and still is among leading driving forces in development of hydroinformatics software systems for practical applications.

Initially, the article defines hydroinformatics and sets it in a proper relation to computational hydraulics on one side and the information technology on the other. Next, a brief historical review is presented, followed by a reference to some present trends.

Several case studies are shortly presented, as interesting examples of hydroinformatics applied to complex problems in marine conditions. The case studies of Venice Lagoon (including the storm surge forecasting and integrated analysis of urban wastewater system) contain – not least due to the proximity of the site to Croatia – an interesting reading, illustrating the passage from initial purely computational modelling studies towards full-blooded hydroinformatics systems. The sea currents forecasting case study of the Sound Link in Denmark is of particular importance as a landmark in successful application of hybrid hydroinformatics system including the artificial intelligence (AI) and deterministic simulation models.

Hidroinformatika i njezina primjena na morske vodne sustave

SAŽETAK: Hidroinformatika kao studijsko područje povezuje brojne suvremene tehnologije vezane uz hidrologiju i hidrauliku (»hidro«) s tehnologijama koje su produkt tekuće informatičke revolucije (»informatika«). Rezultat je izuzetno moćna hibridna tehnologija. Duboko ukorijenjena u računarskoj znanosti, ova tehnologija pojavila se tek u novije vrijeme kao kohezivni element koji povezuje ranije nepovezane grane znanosti i tehnologije, potpomognuta sve bržim razvojem mogućnosti najsuvremenijih računala.

Hidroinformatika može doprinijeti boljem razumijevanju izuzetno složene probleme vodnih okoliša i ponuditi njihova rješenja putem obrade informacija iz širokog spektra područja (fizika, kemija, biologija, socio-ekonomija, itd.) relevantnih za vodni sustav.

Mora i oceani, kao vodne mase najvažnije za život na zemlji, neprekidno su izložena utjecaju ljudskog djelovanja koje može imati vrlo nepovoljne posljedice na lokalnom i globalnom planu. Za proučavanje takvih procesa hidroinformatika koristi složena sredstva, nudeći odgovore i rješenja u razumljivom i široko primjenjivom obliku. Primjeri primjene hidroinformatike na Jadranskom moru (Venecijanska laguna) i u danskim vodama (most preko tjesnaca) ilustriraju raznovrsnost problema iz svakodnevnog života na koje se hidroinformatika može primijeniti i vrste rješenja koja može ponuditi.

Introduction to Hydroinformatics

Hydroinformatics is a field of study connecting a number of contemporary technologies and scientific disciplines related to water on one side (“hydro”) with those related to the on-going informational revolution (“informatics”) on the other, into a hybrid technology of extraordinary importance (Babovic, 1998). The importance of hydroinformatics is drawn from its’ application domain, which taken in the broadest sense, comprises everything related to the flow of water and all that it transports and sustains. Only few would disagree that it is impossible to overestimate the importance of water for life on Earth, when this limited resource becomes increasingly scarce under the pressure of growing demands and pollution.

Hydroinformatics provides means to support a sustainable coexistence of mankind and nature. It bridges the gap between the inherently complex processes related to aquatic environment and their expert-encapsulation into computer-based information systems on one hand, and the average, essentially too diffused, intelligibility of the broad population of potential information consumers (decision makers, analysts, etc) on the other.

Having the deepest roots in the computational science, this discipline has emerged quite recently – in the end of 80’ – as a cohesive agent among these previously unrelated sciences and technologies. The birth and rapid growth of hydroinformatics has since been fuelled by the rapidly increasing capabilities and general availability of sophisticated computational machinery and by correspondingly accelerated advances in computational hydraulics.

A Short Hystory

Some 30 years ago, hydraulic engineers became aware that computers could provide a valuable assistance in their work. Since then until today, the developments have passed through several phases, resulting in successive generations of computational models (Abbott, 1986). The first attempts – and successes – were merely transcriptions of classical solutions into computer language, resulting in exactly the same results as manual calculations, just obtained much faster and more precisely. This was the first generation of computational models, which created the awareness of the tremendous potential, but in the same time of the need to reconsider the fundamental concepts of presenting the underlying physics to computers.

Drawing on these experiences, the second model generation utilised a number of computational techniques appropriate for the repetitive and recursive character of computer programs – methods of finite-differences, finite-elements, boundary-elements, etc. Although computationally much more efficient, these models were still rarely available due to the high costs of computers. Furthermore, these were so called “one-off” models, built to solve only one particular problem.

Appearance of the third generation of computational models coincided with the birth of personal computer and its’ crusade into offices, classrooms and laboratories. The most important distinction of this generation of computational models was the code generalisation, so that the models could be repeatedly used for a relatively wide class of problems. The problem of cost, and so the access of the wide categories of potential users to these models was overcome, but the models were still difficult to use outside the narrow group of specialists.

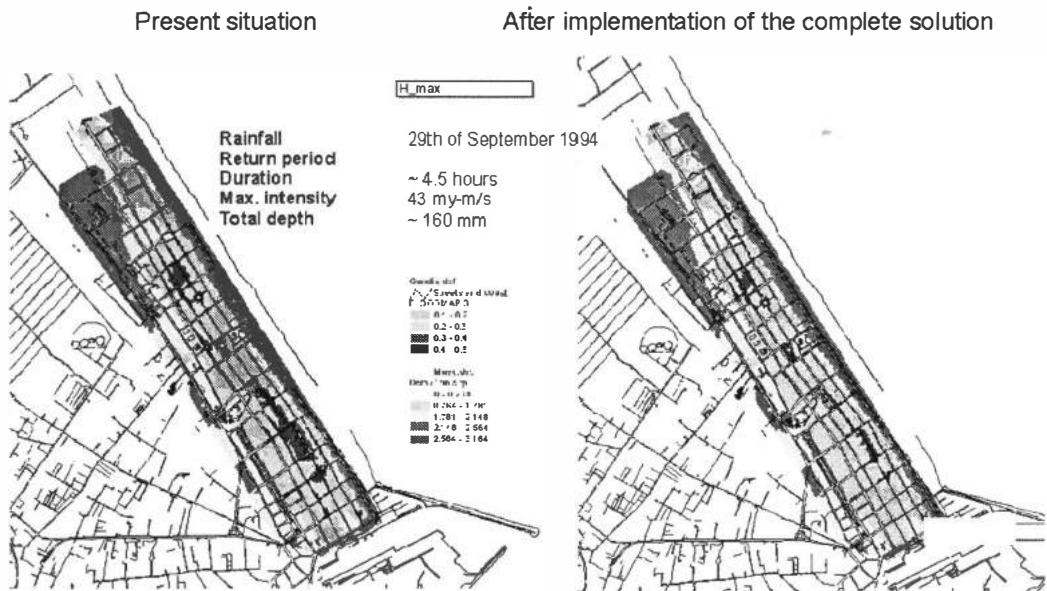


Figure 1. Maps showing the maximum extent of urban flooding caused by inadequate drainage capacity. The system is loaded by a catastrophic historical rainfall (total rain depth 160 mm, during 4,5 hours). Present situation (left) and after the implementation of the proposed alleviation scheme. (DHI, MOUSE GIS 1999).

At present, the widely applied computational models – or actually modelling systems – belong to the fourth generation. These systems typically provide user-friendly, menu-driven working environments. Gradually, computational models have become standard tools for analysis and design, and as such serve as the fundamental sources of information for decision making.

The fourth model generation is the first one to include elements of hydroinformatics through the interaction of information technology (in a sense broader than purely number crunching in hydraulic computation) and the computational hydraulics. E.g. state-of-the-art result presentation facilities enable the transformation of colossal amount of numbers generated by the computer into easily understandable graphics (Figure 1). Thus, the information generated by the model becomes instantaneously available to non-specialist decision-makers.

Further elements of hydroinformatics may include statistical post-processing of the results, information distribution systems (e.g. the Internet), as well as relevant social, legal and environmental constituents related to the decision-making process.

Present Trends

A close interaction of “hydro” and “informatics” implies integration of expertise from both areas, aimed to achieve the desired goal – the expert knowledge made available to a broad public. Due to the growing complexity, the continued advances in this direction are, however, not possible without building upon new, smart techniques, employed for a flexible encapsulation of engineering knowledge into hydroinformatics tools. Thus, emerging areas of science, closely related to information technology, like

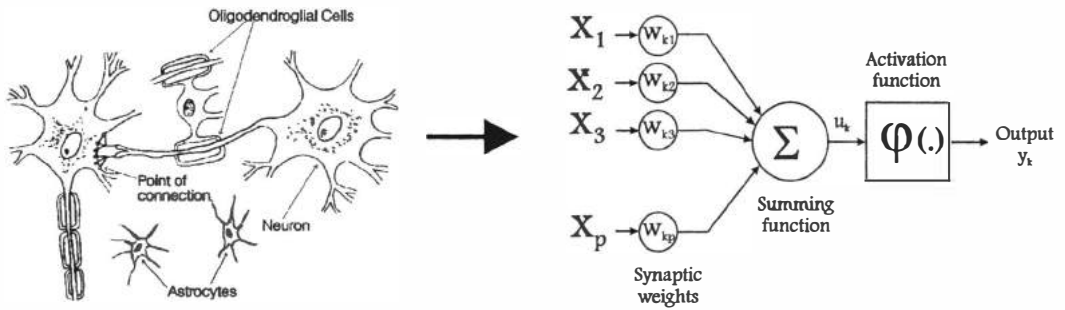


Figure 2. Artificial Neural Network (ANN), an intelligent agent in a hydroinformatics system, draws its' name from the analogy of its function with neural networks of human brain.

artificial intelligence (e.g. machine learning, evolutionary algorithms, artificial neural networks), artificial life, etc. are presently working their way into hydroinformatics. The systems including such components constitute a new – fifth – generation working environments, allowing e.g. real-time forecasting, reliable control of hydraulic and environmental systems, modelling of complex eco-systems, etc.

Hydroinformatics In Action – Case Studies

Danish Hydraulic Institute has been on the forefront of the hydroinformatics developments since its' early days, and has played an important role in the recognition of hydroinformatics as a self-standing, comprehensive technology covering the entire aquatic environment and its' socio-economic significance. The full height of this attitude was realised when DHI successfully hosted the Third International Conference on Hydroinformatics held in Copenhagen, in August 1998.

The baseline for this position of Danish Hydraulic Institute was created in previous decades when a foundation for the present superstructure was laid down through the developments of advanced numerical modelling systems' cores for different segments of aquatic environment. The continuation has been ensured by visionary investments in fundamental research and developments of practically applicable hydroinformatics tools.

The following examples are aimed at illustrating DHIs reach experiences in the application of the most advanced hydroinformatics, including the cluster of activity related to Venice Lagoon (IT) as well as the Sound Link project (DK, SE).

Venice Lagoon – The Problem Outline

The city of Venice, with its distinctive location on the islands amidst a shallow lagoon on the low north-west coast of the Adriatic sea, has always been a subject of affection of both technical and romantic souls. While in the days of Venetian height as the richest and most powerful city in the Mediterranean, the peculiar position provided safety to the city against invasion as from the sea and from the mainland, in modern times the city faces a number of serious problems related to water. The problems are mainly associated to adverse impact of intensive human activities in the city and around the

lagoon on the fragile environmental and morphological balance, threatening the City's very existence. The problems experienced are (Hedegaard et al., 1991):

- The frequent flooding of Venice (partially caused by man-induced settlement of the whole area – approximately 25 cm from the turn of the century).
- The deterioration of the lagoon morphology (bottom erosion) and ecology (eutrophication)
- The erosion of the lagoon barrier islands.

All this results in decreased socio-economic conditions in Venice.

Various human activities, particularly from the middle of 19th century onwards, have been identified as responsible for negative developments. These are:

- Diversion of rivers from the lagoon and the construction of very large inlet jetties in all three tidal inlets into the lagoon, resulting in significant erosion.
- Dredging of navigation channels.
- Industrialisation of Mestre (opposite Venice on the mainland), with corresponding pollution and increased demand for groundwater, causing accelerated subsidence.
- The massive construction of closed ponds for aquaculture (fish and shellfish production), preventing natural water circulation and adding large amounts of organic material.
- Dredging works in industrial zone, particularly the large Canale di Petroli.
- Large disposal of communal pollution (wastewater) into the lagoon.
- Intensified agriculture, adding large amounts of nutrient salts, causing eutrophication.

The current bathymetry of the Venice lagoon is presented in Figure 3.

The consequences of this mismanagement and of eustatic rise of the sea level became evident during the extreme storm surge in November 1966 with 1.2 m of water in San Marco Square and, more recently, in 1986 with almost one meter. Even without considering these extreme events, significantly increased risk of flooding was clearly pre-

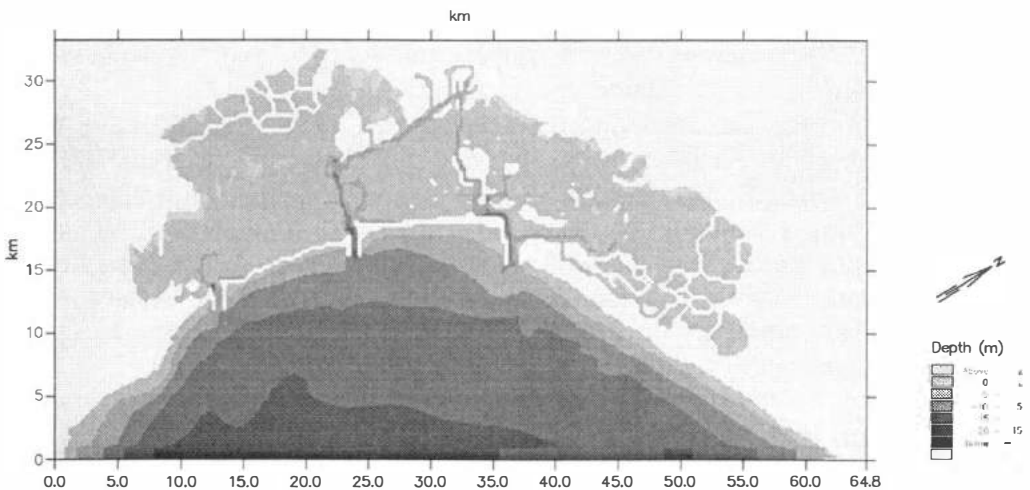


Figure 3. Digital bathymetry of Venice Lagoon – present situation.

sent, since the flooding frequency has increased six-fold since the beginning of 20th century, reaching about 40 floods a year.

Simultaneously, the lagoon is fighting an equally important battle with pollution. Particularly since the 1970, severe eutrophication has occurred in the lagoon (Bach et al, 1993), with algae blooms, anoxic conditions, kill of marine life and production of offensive odours. All this has resulted in the death of the bed vegetation, and consequently in heavy erosion of the shallow tidal flats, amounting up to 60 cm over a 20 year long period.

Venice Lagoon – Computational Hydraulics

Understanding of these problems, as well as identification of socially, economically and environmentally sound restoration measures falls far beyond traditional means of engineering analyses. Actually, the traditional engineering techniques, along with the lack of environmental awareness and responsibility, and under pressure of ambitions related to economic development, have acted as major means of destruction of the natural balance in the lagoon. Becoming aware of the mounting problems and particularly after the flood in 1966, responsible authorities initiated a broad front of activities, focussed initially on the flooding problem. The actual studies have started in early seventies. But, first after the maturing of comprehensive numerical models as viable engineering tools, scientists and engineers were able to dive into the core of the problem and provide concrete answers to complex questions.

Danish Hydraulic Institute has been involved in these activities since 1988, particularly through providing numerical modelling services to the Consorzio Venezia Nuova (CVN), an operative organisation responsible for the conduction and co-ordination of the activities related to Venice lagoon restoration.

These modelling activities have covered the following areas:

- Storm surge forecasting and safeguard solution development, involving the development of various hydrodynamic and statistical models, some of them being automatically run in real time.
- Morphological processes in the lagoon, involving the development of the model complex with advection-dispersion, waves, and cohesive sediment transport as well as benthic biological models.
- Eutrophication process, involving the development of the eutrophication model describing the phytoplankton, macroalgae and rooted macrophytes (e.g. eelgrass).

The basis for all deterministic models are hydrodynamic models built using MIKE 21, a 2-D modelling system for seas, lakes and estuaries. The models built extend over the whole Mediterranean, with the refined nested grids for the Adriatic, N. Adriatic and for the Venice Lagoon. The models are used in sequence – the coarser models providing realistic boundary conditions to the finer models. The basic data of the models built is presented in Table 1.

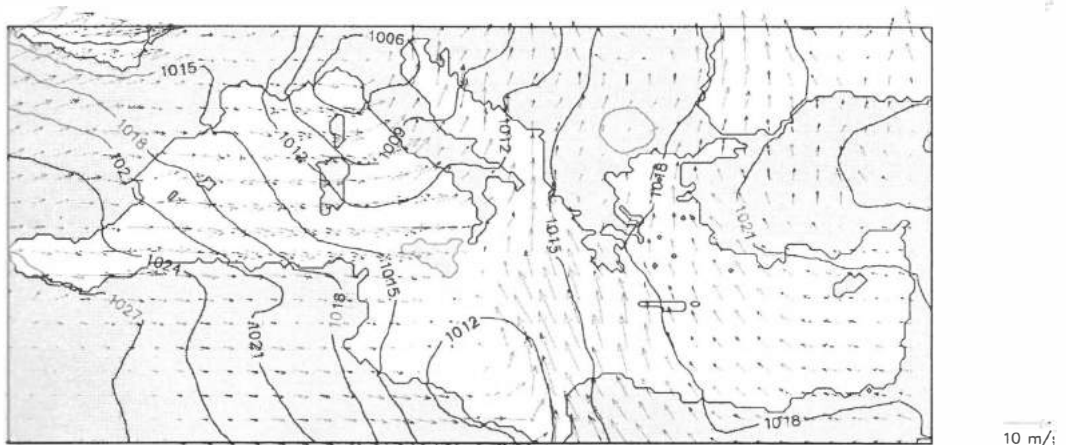
Venice Lagoon – Forecasting of Storm Surges

One of the major applications of the deterministic hydrodynamic models built for the Venice Lagoon is the real-time forecasting of storm surges. This important, but also extremely sensitive application is of vital importance for Venice.

Table 1. Basic information on the four levels of MIKE 21 mode, including Mediterranean, Adriatic, North Adriatic and Venice Lagoon nested models.

	Mediterranean	Adriatic	North Adriatic	Venice
Orientation (deg. N)	-9.01	-54.50	-58.96	-57.7
Longitude (deg.)	-3 8916 ° E	18 6874 ° E	12 5129 ° E	12 3530 ° E
Latitude (deg.)	28.13 ° N	39 1502 ° N	44 0345 ° N	45.07 ° N
Projection system	UTM-33	UTM-33	UTM-33	UTM-33
No. points in X-direction	194	142	235	214
No. points in Y-direction	92	311	121	112
Grid spacing in X direction (m)	20000	2700	900	300
Grid spacing in Y direction (m)	20000	2700	900	300

The deterministic forecasts are based on running the forecasting MIKE 21 simulations forced by the meteorological input – the pressure gradients over the Mediterranean and the resulting wind fields. The forecast of pressure gradients is issued regularly by the European Centre for medium Range Weather Forecasting (ECMWF) in



1998/01/03 00:00:00


 Danish Hydraulic Institute		Client: CENTRO PREVISIONI E SEGNALAZIONI MAREE	MIKE 21
		Project: VENICE FLOOD WARNING	
File:	Date: Wed Sep 30 1998	ITAV FORECAST FORECAST TIME: 96/11/23 12:00	Drawing no.
Scale: 1:21000000	Unit:		

Figure 4. An example of the pressure field forecasts issued by ECMWF.

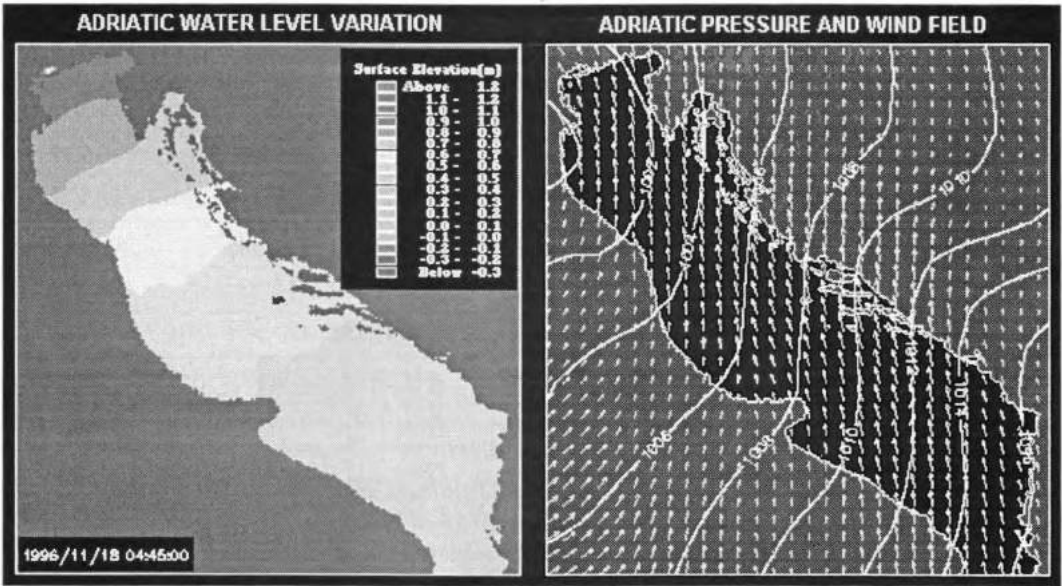


Figure 5. Example of wind and pressure fields and MIKE 21 NHD forecasted water levels for the Adriatic Sea.

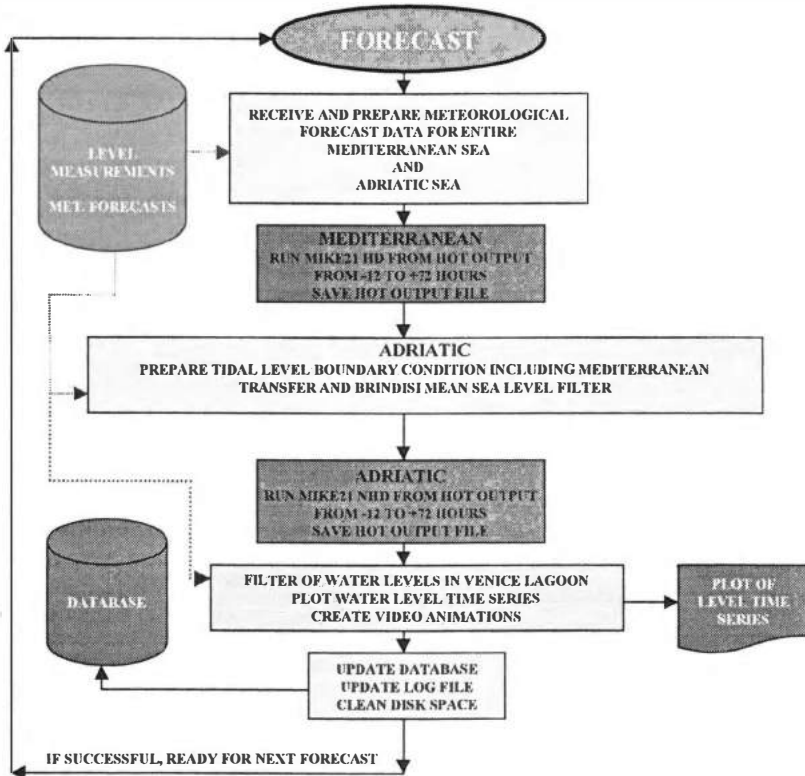


Figure 6. A simplified scheme of the storm-surge forecasting process for the Venice Lagoon.

England. These forecasts, issued every 12 hours for a 72-hour (at midnight) and 120-hour (at midday) period, are transmitted to the Flood Forecasting Centre in Venice, where they are processed and used by the models.

The flood forecasting process is repeated every 12 hours. The process involves several steps, including the sequential simulations of the nested MIKE 21 models. In Figure 5, an example is shown (one frame) of the simulation results, showing the instantaneous pressure and wind fields over the Adriatic (the right frame) and the resulting water levels (the left frame). A simplified scheme of the forecasting process is presented in Figure 6.

The forecasting results for strategic points in the lagoon (e.g. at Punta della Salute) are presented in CVN's homepage on the Internet (<http://cvn.port.venice.it>) thus allowing an unlimited access for anyone who might be interested in the generated information.

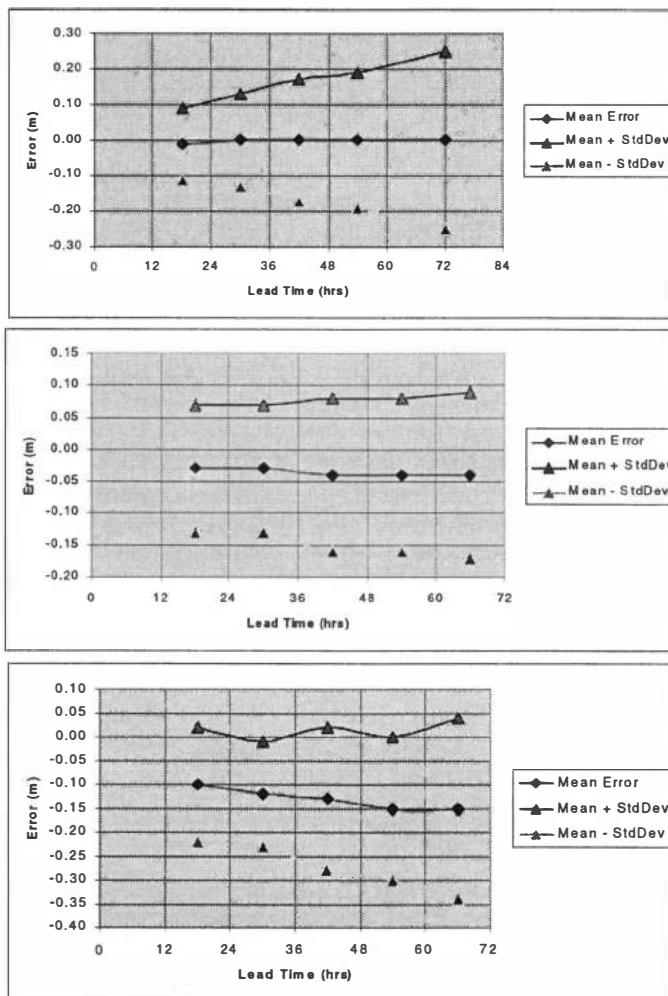


Figure 7. Uncertainties of the deterministic model using ECMWF input, for the Punta della Salute.

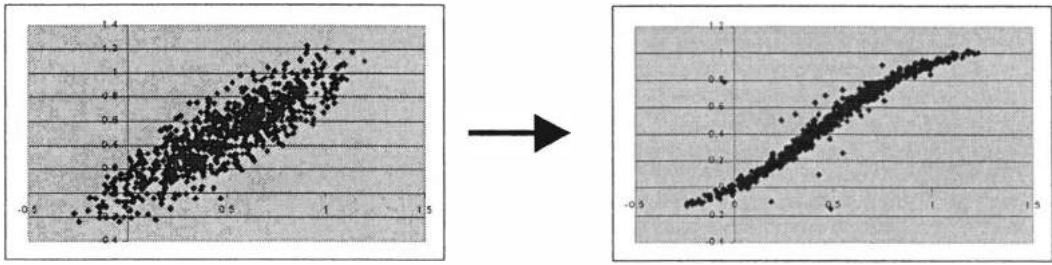


Figure 8. The forecasted water levels at Punta della Salute vs. observed levels for 1 hour lead time – deterministic model MIKE 21 alone (left), including ANN correction (right).

The real-time forecasting is associated with a number of problems, mainly related to the relative coarseness of the meteorological inputs. This is found out to be the main source of the errors in the forecasted water levels. For the system to be useful, the errors should remain within relatively low values, and the major attention is paid to potential improvements. The errors associated with a pure deterministic model are presented in Figure 7, as a mean absolute error, and standard deviation presented as a function of lead time.

The upper graph has been constructed on the basis of all surge forecasts and, naturally, the mean absolute error is equal to zero. However, the diverging standard deviations, indicate an increasing result spreading as the lead-time increases.

The graph in the centre of Figure 7 includes only the forecasted water levels higher than 80 cm above mean sea level. Here, the absolute mean error is between -5 and -10 cm, but the result spreading is not growing more significant by the extension of the lead-time. The situation in the lowest graph (only levels above 100 cm) is similar, but with the mean absolute error between -10 and -15 cm.

Although the quality of the forecasts is acceptable for the early warning purposes, any further reduction of the associated uncertainty would greatly increase the value of the system and the public confidence. Hydroinformatics provides the means for improving the forecasts, here in the form of Artificial Neural Networks (ANN), used as the active agent to correct the results of the deterministic model. The ANN is trained to correct the model results, on the basis of a large number of past forecasts, the actually observed values and the most relevant meteorological parameters. The trained ANN is then capable of correcting the model results in real-time, thus greatly enhancing the forecast. This is illustrated in Figure 8, where the spread of forecast results of the deterministic model (left) is compared with the corresponding results after correction with trained ANNs. The spread is significantly lower, thus effectively showing the increased the forecasting accuracy and its' higher confidence.

Venice Lagoon – Integrated Modelling Study of the Wastewater System in Mestre and the Industrial Zone Porto Marghera.

Following extensive investigations of the water quality and eutrophication conditions in the Venice lagoon conducted during the past decade, the focus is now shifting towards a detailed examination of the pollution sources, which are causing the unfavourable situation. In this context, DHI is currently (1999) involved in an integrated

modelling study, including the wastewater system of Mestre and the industrial zone of Porto Marghera, i.e. the urban and industrial catchment of the wastewater treatment plant Fusina. The European Commission under the INNOVATION Technology Validation Programme supports the study.

The objectives of the study include the following:

- Quantification of the continuous and intermittent pollution loads from urban/industrial wastewater system into the lagoon.
- Verification of the rehabilitation design (detention basins in the sewer network, treatment plant upgrade).
- Optimisation of the operational strategies to minimise the environmental impact on the lagoon.

The objectives are achieved through the development of dynamic, deterministic model of the urban/industrial drainage system covering approximately 1300 ha with 80,000 inhabitants and large industrial capacities (MOUSE RTC by DHI) and a deterministic model of the wastewater treatment plant Fusina (STOAT by WRc), and the integration of the two models with an existing MIKE21 model of the lagoon into integrated urban wastewater modelling system. Upon completion, the modelling system will be used for the assessment of the system's environmental impact on the lagoon waters in the present system configuration and in the phase following the implementation of the planned structural works.

The hydrological study has established the hydrological balance of the catchment. According to the results, about 1/3 of the precipitation runs off from the area as surface runoff (Figure 9). The rest is either evaporated or recharged into the groundwater basin.

Figure 10 illustrates that drainage system is heavily loaded with groundwater infiltration, which represents about 50% of the total load on the yearly basis (year 1996/97). As such, the system acts as a very efficient drainage system of the wider groundwater area. The greatest part of the remaining load is wastewater, while surface runoff amount to only 8% of the total load.

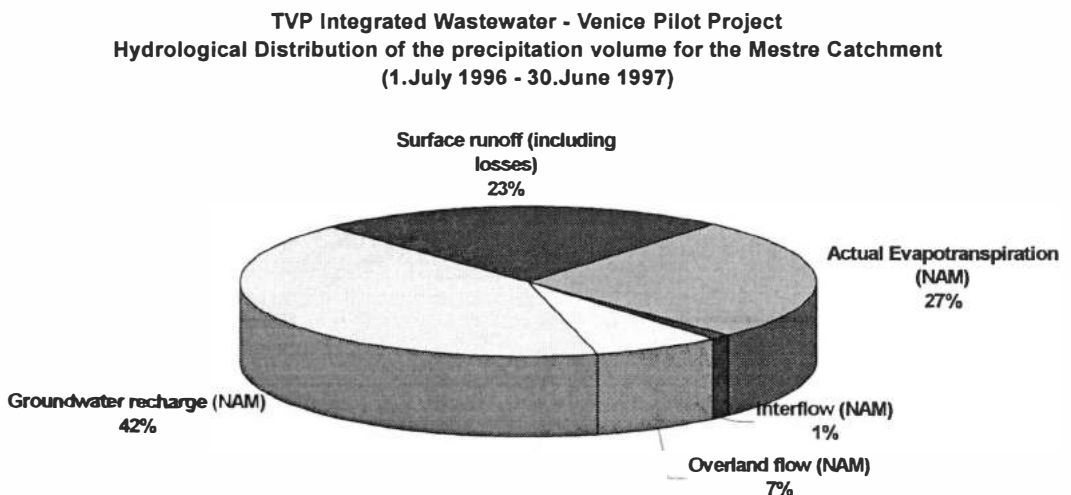


Figure 9. Hydrological distribution of the precipitation on the Fusina catchment.

TVP Integrated Wastewater - Venice Pilot Project
Sewer System Loading Distribution for the City of Mestre
(1.July 1996 - 30.June 1997)

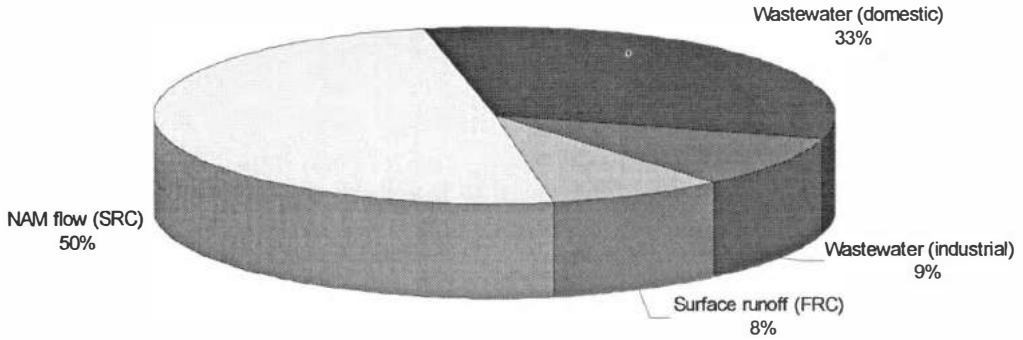


Figure 10. The drainage system loading scheme.

The hydrological, municipal and industrial loading are transferred to the MOUSE hydrodynamic model (Figure 11), where continuous simulations including pollution

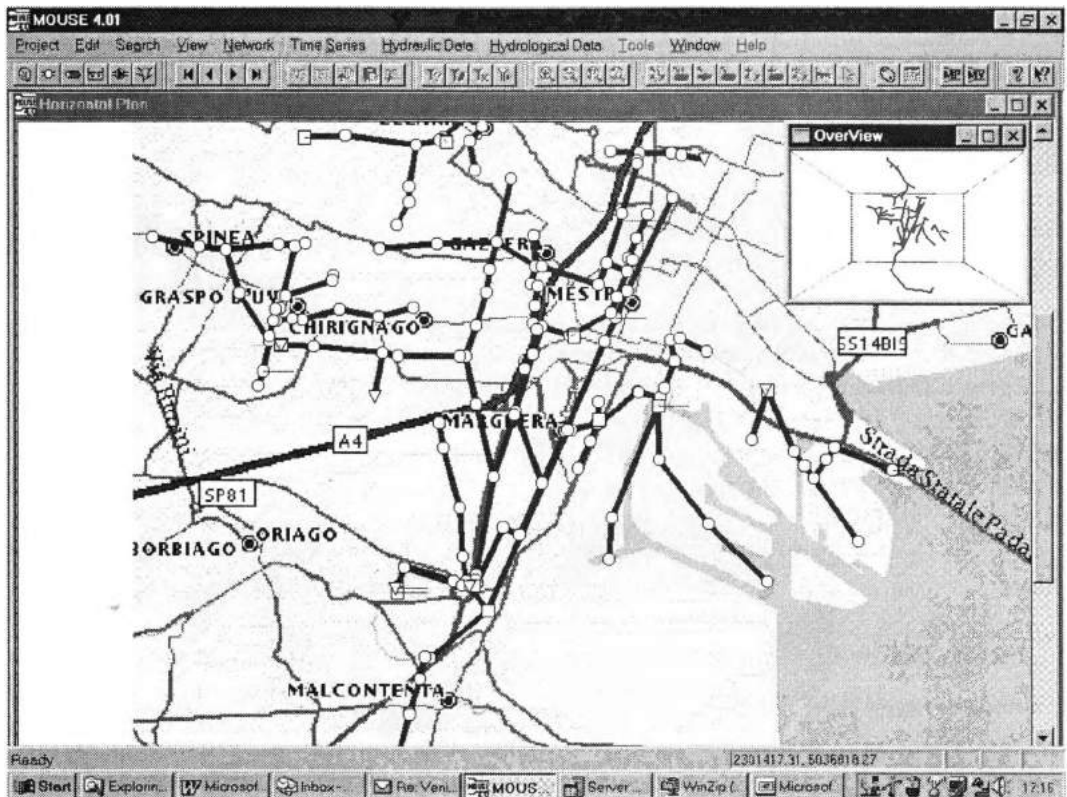


Figure 11. Horizontal plan of the MOUSE model network in Mestre.

transport, are conducted for a year-long historical period. The statistical elaboration of the results provides then foundations for the conclusion about the overall system performance, including the analysis of combined sewer overflow volumes, accumulated pollution mass, wastewater treatment plant loading, etc.

The most important aspect of the project is the integration of essentially different computational models for the sewer system, wastewater treatment plant and the receiving water (the Lagoon) within a user-friendly GIS working environment. The system for integrated catchment simulation (ICS) (Tomicic and Yde, 1998) greatly reduces the requirements for the user's expertise in the data transfer between the models – this is done automatically, bridging the conceptual differences between the models as well as the incompatible file formats. Furthermore, it is possible to simulate the whole system simultaneously, i.e. with implicitly coupled models. Along with the downstream propagation of the information flows, this simulation mode enables the feedback in upstream direction, allowing the simulation of complex hydraulic interactions between the sub-systems (e.g. backwater from the recipient into the sewer system) and the simulation of real-time control based on operational conditions in the downstream sub-system.

The study is due to be completed in October 1999, adding another important contribution to the solution of the Venice lagoon problems.

The Sound Link – Forecasting of Sea Currents for the Construction Purposes

Hydroinformatics can successfully support sensitive construction works, thus widening the opportunities for more economic and environmentally friendly solutions of capital infrastructure related to water bodies – bridges, harbour structures, tunnels, etc. The example of the Sound Link construction is a case with a heavy demand for such assistance. The forecasting of the sea currents is a good example of how the most recent scientific developments can advantageously be applied to reduce the risk associated with delicate construction operations.

The Sound Link is a combined tunnel-bridge crossing over the Sound strait between Denmark and Sweden. The crossing is currently under construction and is due to be completed in the year 2000. The very complicated layout of the crossing has resulted from very strict environmental and navigation requirements imposed by Swedish and Danish Governments. Therefore, a part of the link has been built as a sunken tunnel, where a special construction technique has been applied. The tunnel has been pre-fabricated piece-wisely at a remote location, and the individual tunnel elements (200 m long, 95,000 t) have been towed to the construction site and sunken to their final position. Due to the gigantic size of the tunnel elements, and a very difficult local situation with sea currents the towing and sinking operations appeared as a critical phase of the whole project. The operation was possible only in the conditions of sea currents below 0.75 m/s. This occurs during approx. 50% of time in August, but only 19% in February. The current conditions are subject to rapid changes, and a sudden increase of the current velocity to 1.2 m/s would mean a loss of the towed element. Therefore, a very accurate forecast of the sea currents at the construction site was required.

DHI has been intensively active in different investigation aspects in this complex project. As a result of this work, a deterministic dynamic simulation model (MIKE 21)

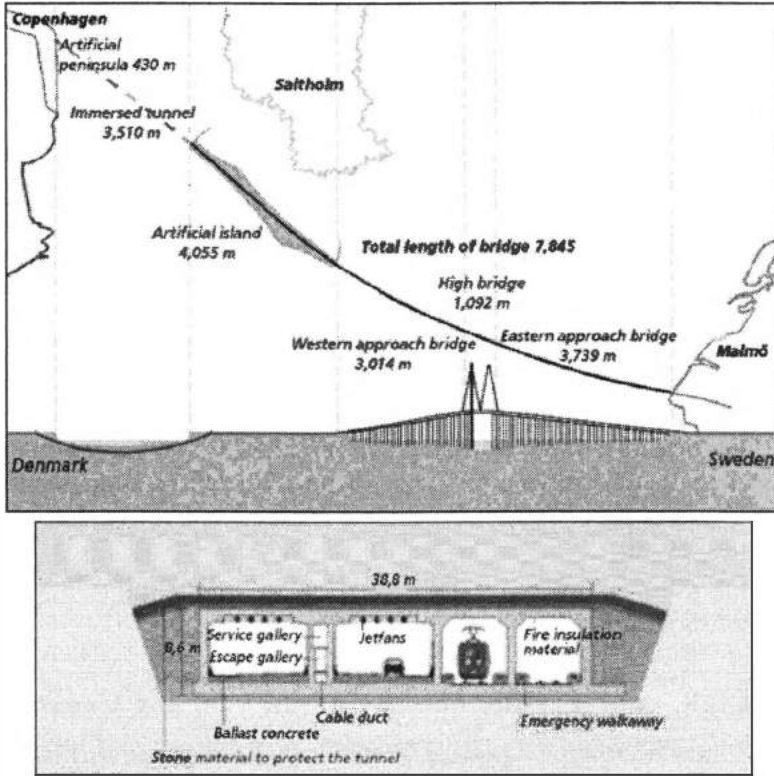


Figure 12. The layout of the Sound Link (above) and the cross-section of the sunken tunnel (below).

has been developed, and subsequently used in various studies. The model has been built as a series of nested models with grid spacing of 9, 3 and 1 nautic miles, respectively (Figure 13).

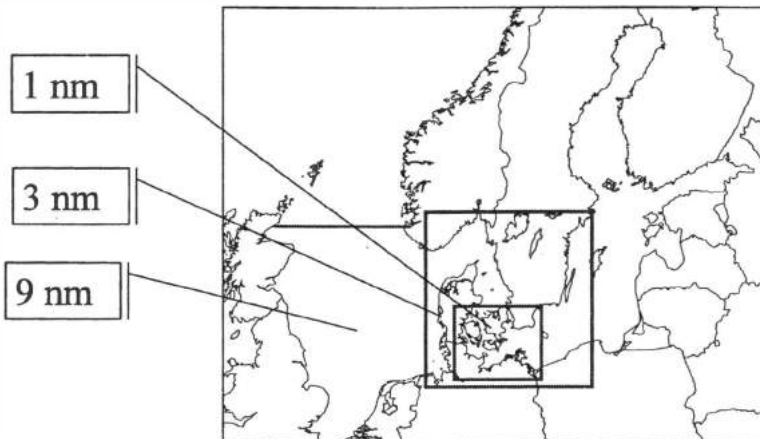


Figure13. Areas included in the MIKE 21 nested models.

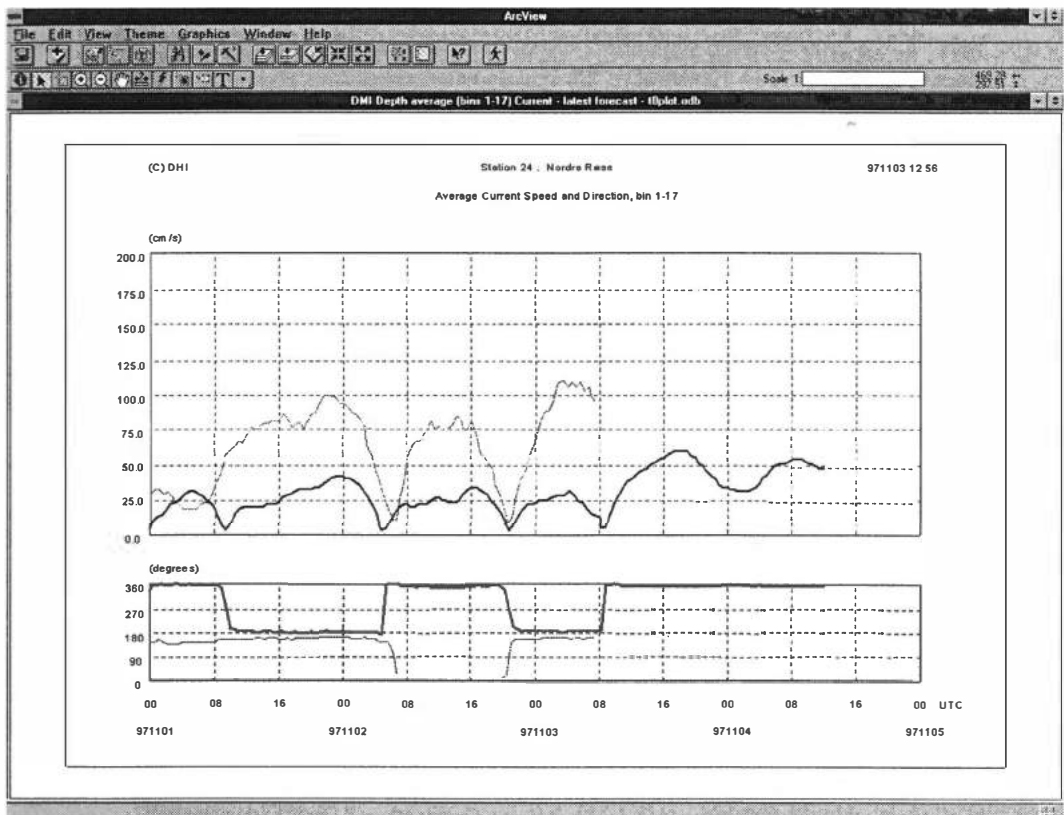


Figure 14. Comparison of the simulated and observed current velocities. Large errors make the model inadequate for real-time forecasting of the local current velocities.

However good the model was for simulating global hydraulic conditions in the Sound and the surrounding sea basins, it was proved as useless for local current forecasting, since the amplitude error of the simulated local current velocities has shown large errors in relation to actually observed velocities (Figure 14). An alternative approach to the forecasting was required.

The operational deterministic model has been enhanced by the ANN for the correction of the simulated forecasts. In the development phase, the ANN has been trained on the data sets including the simulated and measured current speed, observed wind speeds at the nearby meteorological station and time series of water levels north and south from the forecast site. In real-time, fed by the model results and with the real-time observation of the listed parameters, the ANN corrects the results of the deterministic model and thus generates an improved forecast of current speed. The general layout of the system is presented in Figure 15. The real-time observations are first subject to a rigorous quality assurance, in order to eliminate failed and incorrect data. The MIKE 21 models are run using the real-time forecasts of the meteorological conditions in the entire basin of the North Sea. The model results are, jointly with the real-time measurements, passed to the ANN, which then generates improved local current speed forecasts. As the towing process progresses, the forecasts can be up-

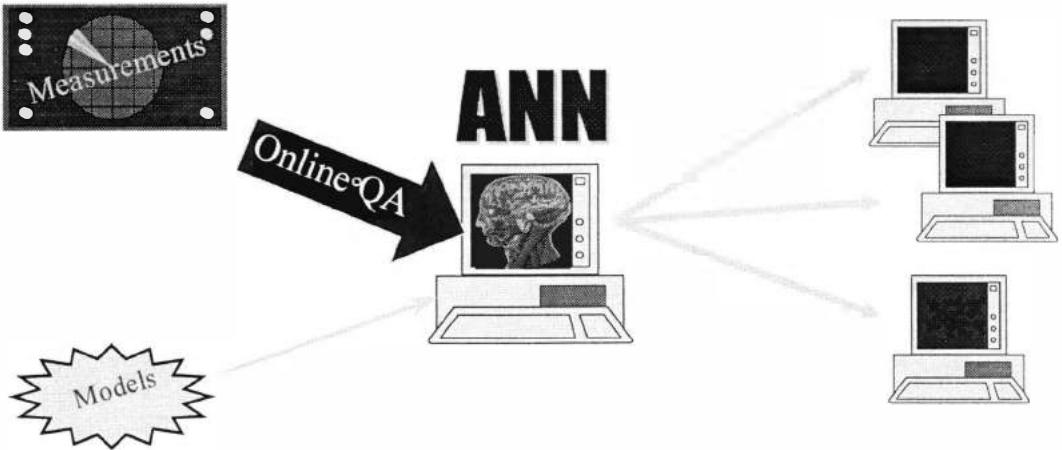


Figure 15. Schematics of the currents forecast system at the Sound Link.

dated using the most recent observations, and thus increase the forecast quality for the remaining time until the completion of the towing and sinking operation.

Figure 16 resembles the forecasted time series, as presented to the contractor’s operational staff. The light line added to the diagram represents the actual observations. A

NN Depth average (bins 1-17) Forecast from 980623 at 00:00:00 GMT

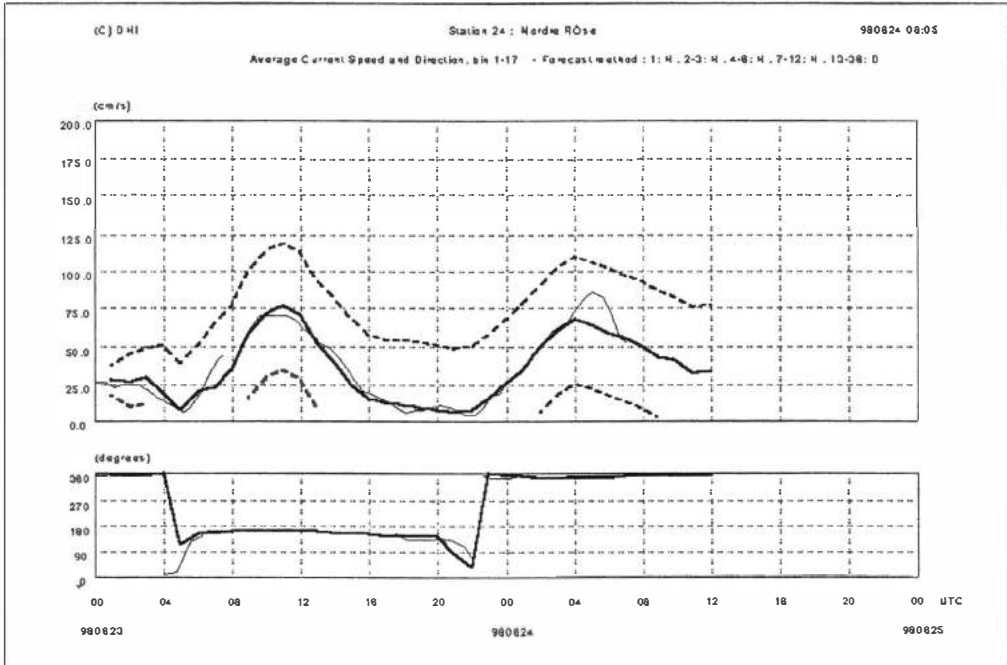


Figure 16. Display of forecasted absolute current speed (upper diagram – dark line) related to the actual observations (light line). Dotted lines below and above represent the 90% confidence intervals. The lower diagram shows the forecasted vs. observed current direction.

fascinating improvement of accuracy has been achieved (compare with Figure 14). Table 2 contains some statistical descriptors for the forecasted time series.

Table 2. Statistical descriptors for the forecast quality: lead time 1, 6 and 48 hours.

Performance	1	6	48
MSE (m/s)	0.0034	0.0311	0.0526
NMSE	0.0125	0.116	0.1955
MAE (m/s)	0.0439	0.1355	0.1718
r	0.994	0.9466	0.9026
R2	0.988	0.9002	0.8147

Conclusion

Exciting achievements of hydroinformatics in answering the water-related questions of ever-growing complexity allow for an enthusiastic optimism about future by all those dealing with this essential natural resource. Thus, along with the wide awareness about the multifaceted importance of water for life on Earth, hydroinformatics becomes widely recognised as one of the keys to the understanding and to the resolution of some major global challenges of future: shortage of fresh water due to increased demands and pollution, extreme climatological phenomena (floods, droughts, storms), eustatic sea level rise, extinction of species, etc. This key is in hands of us hydrologists, hydraulic engineers, environmentalists, oceanographers and other professionals from the associated technical and scientific disciplines. Having the key in our hands, implies the responsibility to learn how to use it and how to improve it – which can only be achieved through a systematic educational and professional work, through continuous learning and permanent links to knowledge centres.

Future generations will not forgive if we fail.

Acknowledgements

Author wants to express his appreciation to the Organising Committee and particularly Mr Ljudevit Tropan, for the kind invitation to the 2nd Croatian Conference on Waters. Furthermore, author thanks the colleagues from Danish Hydraulic Institute for their enthusiastic support in preparation of this paper and for their permission to use scientific and technical material related to their work on subjects described in the paper.

References

- ***: “Venice – Protecting a Cultural Pearl”, Danish Hydraulics No. 12, DHI, 1992.
- ***: “Hydroinformatics”, Danish Hydraulics No 18, DHI, 1998.
- Abbott, M. B.: “Review of recent developments in coastal modelling”, in Proceedings of the International Conference on Hydraulic and Environmental Modelling of Coastal, River and Estuarine Waters”, Gower, Aldershot, 1986.
- Babovic, V.: “Hydroinformatics”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, April, 1999.
- Bach, H., Jensen, O. K., Warren, R.: “Venice Lagoon Eutrophication Modelling”, MEDCOAST, Antalya, Turkey, 2–5 Nov. 1993.

- Hedegaard, I. B., Mangor, K., Cecconi, G.: "Safeguarding of Venice: Study of Impact of New Works on the Littorals", IABSE Int. Ass. For Bridge and Structural Engineering, Nyborg, 27–29 May 1991.
- Tomicic, B., Yde, L.: "Integrated Software for an Integrated Management and Planning of Urban Drainage and Wastewater Systems" in "Proceedings of the 3rd International Conference on Hydroinformatics", Balkema Publishers, Rotterdam, The Netherlands (1998).
- Vieira, J. B., Føns, J.: "Statistical and Hydrodynamic Models for the Operational Forecasting of Floods in the Venice Lagoon", Journal of Coastal Engineering, 21 (1993) p. 301–331, Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam.
- Vieira, J. B., Føns, J.: "Venice Flood Protection: Implementation of an Operational Flood Warning System", MEDCOAST, Tarragona, Spain 24–27 Oct., 1995.
- Warren, R., Jensen, O. K., Johnsen, J., Johnson, H. K.: "Modelling of the Morphological Processes in Venice Lagoon", 2nd Int. Conf. And Hydraulic and Environmental Modelling of Coastal, Estuarine and River Waters, Univ. of Bradford, 22–24 Sept. 1992.

Biography

Mr. Berislav Tomicic, Dipl. Ing. Gradj., born in Ogulin (1958), has graduated civil engineering study (structural engineering) at the Faculty of Civil Engineering of the University of Zagreb (1982). Employed at "Hrvatska Vodoprivreda, OOUR Projekt" 1983–87, ELEKTROPROJEKT 1987–1992, Danish Hydraulic Institute (Denmark) 1992-today. MSc Hydraulic Engineering degree obtained at IHE Delft (The Netherlands) 1989.

Contact Address

Berislav Tomicic, MSc, Senior Hydraulic Engineer
Danish Hydraulic Institute, Agern Allé 5, DK-2970 Hørsholm, Denmark
Phone +45 45 179 100; Fax. +45 45 179 200; e-mail: bet@dhi.dk



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

P 04.

Tragovi metala u prirodnim vodama

Marko Branica

SAŽETAK: Prirodne vode sadrže vrlo niske koncentracije ekotoksičnih metala tako da i malo antropogeno zagađenje može ozbiljno ugroziti prirodni sastav i djelovanje vodenog ekosustava. Tragovi metala nisu biorazgradivi, te se koncentriraju u sedimentu i bioti tijekom biokemijskog ciklusa. Vrste (specije) tragova metala u vodi su raspodijeljene između različitih fizičko-kemijskih oblika, npr: jednostavnim anorganskim i organskim spojevima, labilnim i postojećim (inertnim) kompleksima, te adsorbirani na čvrstim i koloidnim česticama. Promjene u kemijskom obliku (specijaciji) nekog elementa utječe na njegovu biodostupnost. Zbog toga su potrebna, osim ukupnih koncentracija tragova ekotoksičnih metala, i određivanja njihovih fizičko-kemijskih oblika. Opisani su analitički postupci kojima se mogu odrediti vrlo niske koncentracije prisutne u prirodnim vodenim sustavima (slatkovodnim, morskim i boćatim vodama) koji izbjegavaju razne artifakte i interferencije tijekom analize tragova metala, npr. onečišćenje – kontaminacija uzoraka, gubici pri adsorpciji, promjene zbog koagulacije koloida ili mikrobiološke aktivnosti, itd.

Suvremeni razvoj elektrokemijskih tehnika omogućava osjetljive, specifične i reproducibilne analize velikog broja uzoraka vode uz minimalno narušavanje kemijske ravnoteže uzorka i to na razinama znatno nižim od 10^{-9} M. Koncentracije mobilnih otopljenih oblika metala direktno se mjere u neobrađenim uzorcima prirodne vode, dok se ukupne koncentracije metala dobivaju mjerenjima zakiseljenih uzoraka vode.

Danas je moderna elektrokemijska instrumentacija kompjutorizirana, i analitički su postupci u potpunosti automatizirani. Razvoj eksperimentalnih postupaka za prirodne vode još uvijek predstavlja znanstveni i stručni izazov.

KLJUČNE RIJEČI: toksični metali, određivanje, prirodne vode, voltometrija, specijacija.

Trace Metals in the Natural Waters

SUMMARY: Natural water contain very low concentrations of ecotoxic metals and any contamination may present a severe hazard to the normal functioning of the aquatic ecosystem. They are not biodegradable and are involved in biogeochemical cycles by which they are concentrated in sediment and biota, by very high distribution coefficients.

Trace metal species in waters are distributed between different physicochemical forms (i.e. simple inorganic species, organic, labile and inert complexes and metal ions adsorbed onto a variety of solid and colloidal particles). Variation in the chemical speciation of an element will affect its bioavailability. Thus, not only total concentration, but also metal speciation measurements are required to understand and predict the role and the fate of ecotoxic trace metals in aquatic systems.

Special attention will be paid to the analytical procedure due to the complexity of the composition of the aquatic systems (fresh, saline and brackish waters), and the large number of possible artefacts in the trace metal analysis (i.e. contamination, losses by adsorption, change of speciation due to coagulation of colloids or microbial activity, etc.). Recent development of

electrochemical techniques enables analysis of a large number of water samples with minimum perturbation of the composition of the sample. This is highly needed for reliable trace metal speciation of aquatic samples. Design of appropriate probes and experimental procedure is still a challenging task.

Electrochemical analyses are very sensitive, specific and reproducible and at the same time allow simultaneous determinations of several elements even (at the levels) below 10^{-9} M. They are also capable of discriminating between mobile dissolved forms (i.e., free metal ions and labile complexes with size smaller than a few nanometers) and colloidal/particulate trace metal forms. The former can be obtained by direct measurements in raw natural water while the latter can be obtained by measuring total metal concentrations in raw acidified samples. Moreover, electrochemical instrumentation has been computerized and the analytical procedure is completed automatically. Despite all these analytical and technical capabilities, most of the development reported until now deal with on-line automatic voltammetric analyzers for laboratory and/or field measurements.

Amongst the analytical tools available, the potentiality of electrochemical techniques for trace metals analysis and with significant advantages for trace metals speciation in natural water samples will be demonstrated.

KEYWORDS: toxic metals, determination, natural waters, voltammetry, speciation

Uvod

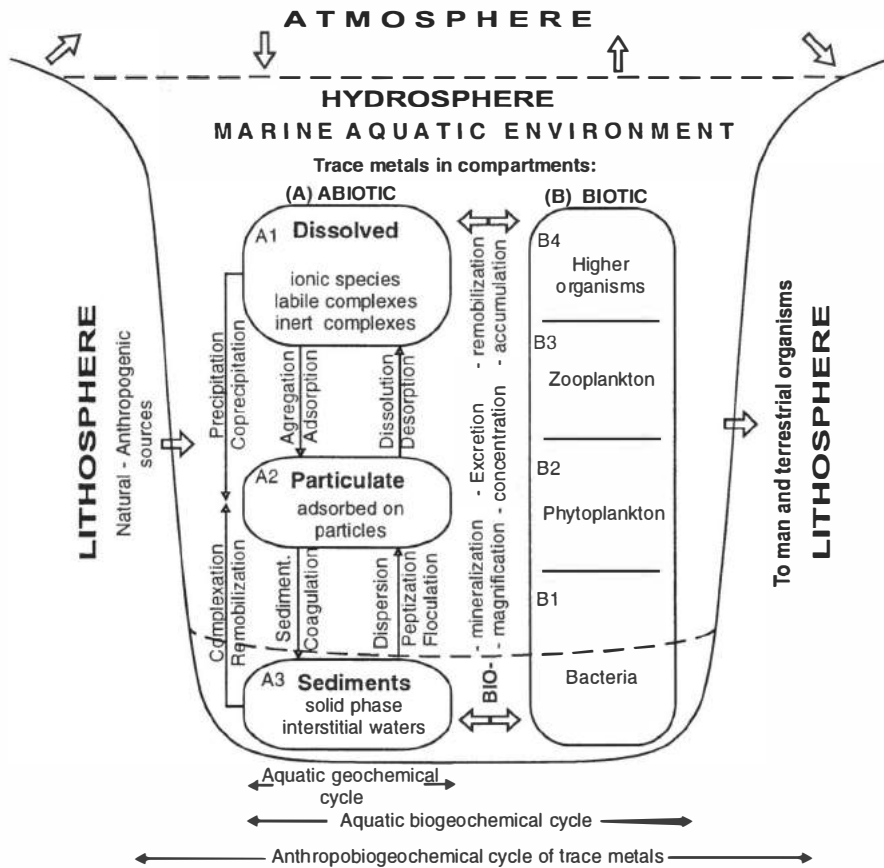
Prirodne vode sadrže praktički sve kemijske elemente u vrlo širokom koncentracijskom rasponu. Ekotoksični metali su u prirodnim vodama vrlo razrijeđeni. Tijekom proteklih desetljeća razvijeni su novi analitički postupci za određivanje u vodi kako koncentracija tako i kemijskih oblika otopljenih tragova metala.

Pojedini metali u vodenoj sredini reagiraju na sebi svojstveni način (specifično) što dovodi do širokog raspona njihovih vremena zadržavanja u otopljenom stanju u oceanima (npr. kao što su od Na^+ oko 26 milijuna godina do Al^{3+} oko 100 godina). Njihove su reakcije uglavnom povezane s predominantnom fizičko-kemijskim mehanizmom. Tragovi metala u morskoj sredini raspodijeljeni su između abiotskih i biotskih odjeljaka (odjeljci A1-A3 i B1-B4, Slika 1.). Relativna količina tragova metala u svakom odjeljku zavisi o njihovoj fizičko kemijskoj reaktivnosti, odnosno o stupnju postignutih ravnoteža (i/ili dinamičke ravnoteže) ⁽¹⁾.

Različiti antropogeni i biogeokemijski izvori utječu na sadržaj tragova metala u vodenim odjeljcima, i to: (i) izravnim unosom zagađivala koji sadrže metale; (ii) ili otpuštanje drugih reaktivnih spojeva koji utječu na preraspodjelu tragova metala unutar kemijskih oblika i odjeljaka u okolišu (npr. organski ligandi, površinski-aktivne tvari, redoks reagensi, itd.), te neizravno, kao napr. (iii) termalnim (toplotnim) zagađenjem.

Izravan unos zagađivala, (i), utječe na sadržaj tragova metala unutar cijelog morskog sustava, dok druga dva primjera (ii) i (iii) pokazuju kako je moguće značajno utjecati na preraspodjelu i količinu oblika metala između pojedinih morskih odjeljaka. Ponovna mobilizacija već odloženih toksičnih tragova metala povećava njihov opasni utjecaji na hranu čovjeka a osobito koncentriranjem u biološkim sustavima ^(2,3).

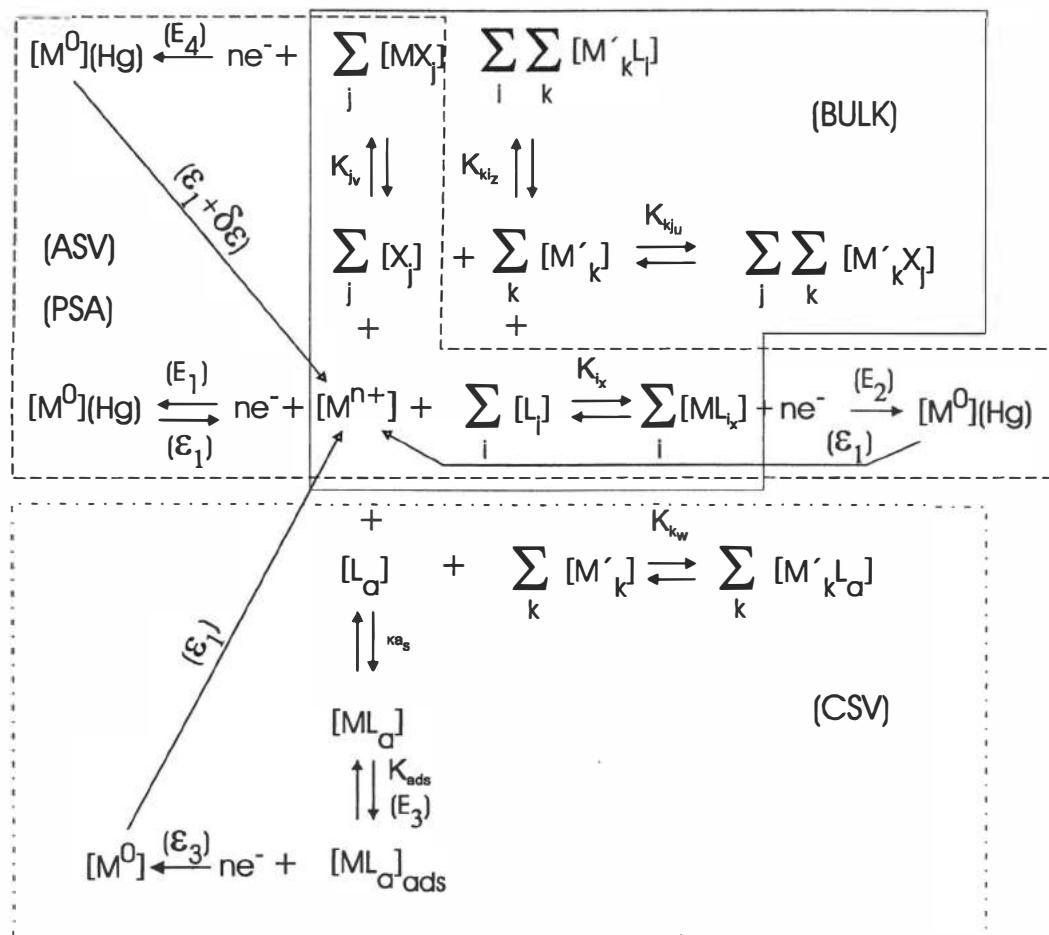
Prije početka mjerenja, modeliranja i/ili poticanja (stimulacije) kemijskih reakcija neophodnih za određivanje reaktivne i ukupne koncentracije metala, te kapaciteta kompleksiranja metala (MCC), mora se poznavati složena mreža kemijskih reakcija i elektrokemijskih ravnoteža u masi (bulk) otopine uzorka. Za rezultate dobivene elek-



Slika 1. Biogeokemijski ciklus tragova metala u prirodnim vodama

trokemijskim postupcima također treba uzeti u obzir utjecaj međufaznog sloja na mjernoj elektrodi.

Slika 2. prikazuje reakcije metala s drugim spojevima u otopini, kao i raspodjelu različitih kemijskih oblika metala. Kod mjerenja voltometrijskim anodnim otapanjem (ASV), u otopinu se postupno dodaju male količine metala M i mjere odzivi nakon uspostavljanja ravnoteže. »Titracija« s elektronima pri promjeni potencijala redukcije E_1 ili E_2 , rezultira mjerenjem koncentracija metala i njihovih slobodnih i labilnih kompleksa, ili ukupne koncentracije metala s visinom (vrhom) potencijala oksidacije (oxidation peak potential) ϵ_1 . Kod mjerenja metodom voltometrijskog katodnog otapanja (CSV), potrebno je dodati u otopinu ligand L_a koji stvara postojan metalni kompleks koji se adsorbira na površinu elektrode. Kod potencijala adsorpcije E_3 , stvoreni kompleks metala katodno se akumulira na površini radne elektrode. »Titracija« s elektronima dovodi do procesa redukcije adsorbiranog metalnog kompleksa s vrhom potencijala redukcije (reduction peak potential) ϵ_3 . Iz prikaza je vidljivo da su prividne konstante stabilnosti nastalog metalnog kompleksa zavisne i da neizravno sudjeluju u cijeloj mreži kemijskih reakcija metala. Situacije je još složenija kad se (ako to zahtijeva postupak mjerenja) u otopinu uzorka dodaju male količine metala M^{n+} . Rezultati uzastopnih mjerenja ovise o raspodjeli otopljenog metala unutar cijele mreže kemijskih reakcija i ravnoteža. Kod modeliranja oni su uključeni u uvjetovane (pri-

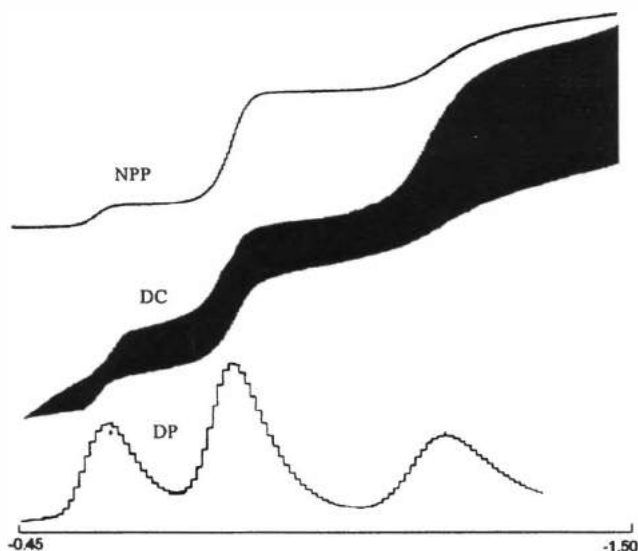


Slika 2. Mreža kemijskih ravnoteža i elektrokemijskih reakcija na elektrodama otopljenih tragova u uzorcima prirodnih voda: M – metal čija se kapacitet kompleksiranja određuje; M_k – k ostali prisutni kationi; L_i – ligandi koji formiraju inertne metalne komplekse; X_j – j ligandi koji tvore labilne komplekse metala; L_a – dodani »umjetni« ligand u uzorak; ne^- – broj elektrona u reakciji; K_{xy} – odgovarajuće konstante stabilnosti; E_1, E_2, E_4 – potencijali redukcije; E_3 – potencijal adsorpcije; $\epsilon_1, \epsilon_{1+\delta\epsilon}$ – vrh (visina) potencijala oksidacije; ϵ_1 – vrh (visina) potencijala redukcije; Punom linijom – označena površina predstavlja reakcije u masi otopine uzorka; crticom – reakcije koje sudjeluju u anodnim stripping voltametrijskim i potenciostatskim anodnim stripping (ASV i PSA) mjerenjima, a crticom-točicom – odgovara katodnim stripping voltametrijskim (CSV) mjerenjima.

vidne) konstante stabilnosti. Kao primjer mogu poslužiti različiti polarogrami kadmija dobiveni metodama DC polarografije, normalne pulsne polarografije (NPP) i diferencijalne pulsne polarografije (DPP) u morskoj vodi uz prisutnost NTA i EDTA.

U primjeru na slici 3. vide se odvojeni signali za slobodne vrste (labilne komplekse kadmija ($\epsilon \sim 0,6$ V) i inertnih kompleksa CdNTA ($\epsilon_2 -0,9$ V) i CdEDTA ($\epsilon_3 -1,2$ V)⁽⁴⁾.

Slika 4. prikazuje raspodjelu 73 elementa u prirodnoj oceanskoj vodi koji se nalaze u rasponu koncentracija između 0.6 M i 10^{-14} M. Makrokomponente morske vode (14

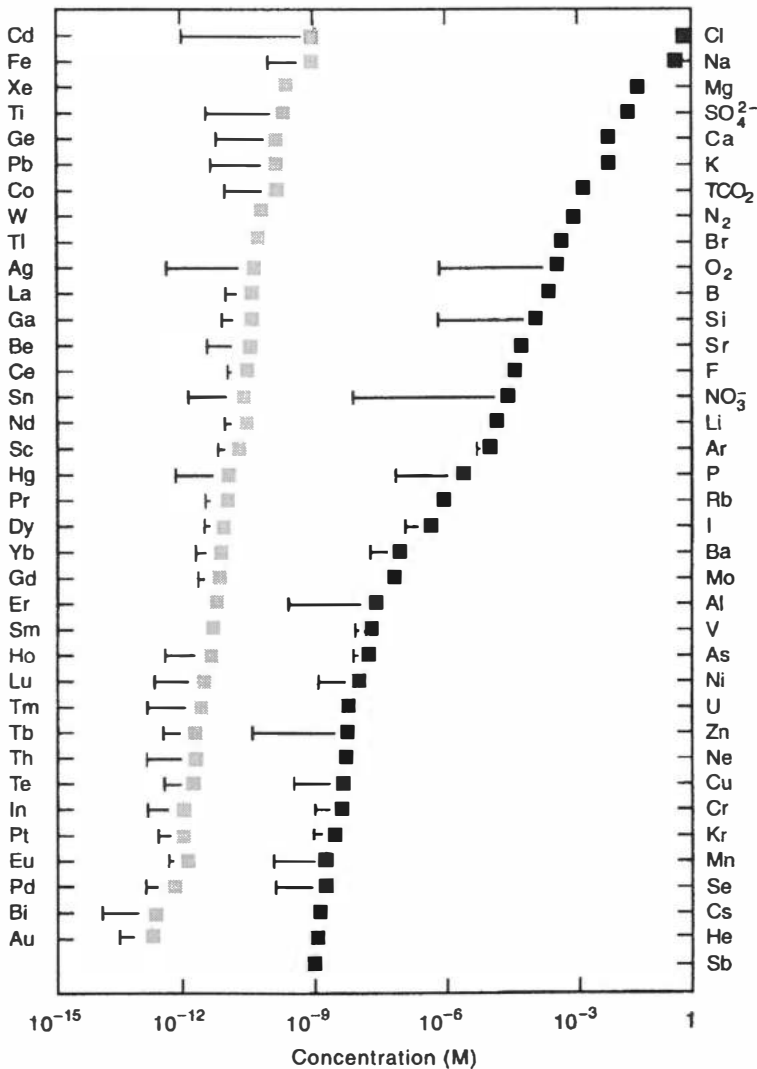


Slika 3. Polarogrami labilnih kompleksa kadmija te inertnih kompleksa kadmija s NTA i EDTA u morskoj vodi (uz dodatak kadmija, NTA i EDTA) snimljeni normalnom pulsnom (NPP), dc i diferencijalnom pulsnom polarografijom (DPP).

elemenata) su oni elementi čija je koncentracija veća od 1 mg na litru (1 ppm), svi ostali su mikrokonstituenti morske vode. Tragovi iona metala u prirodnim vodama (uglavnom niže od 10^{-8} M L⁻¹) sadrže najvažnije biološki potrebne elemente (kao što su na pr: Cu, Zn, Mn, Fe) koji također mogu biti toksičnih kod viših koncentracija, kao i »nepotrebne« elemente, koji su uglavnom toksični, to su osobito: živa, kadmij i olovo (Hg, Cd i Pb). Koncentracije metalnih iona u prirodnim vodama povisuju se antropogenim unosom iznad prirodnih vrijednosti u mnogim rijekama, jezerima i priobalju. Metali se pojavljuju u prirodnim vodama u različitim kemijskim oblicima (specijama), tj. kao slobodni vodeni ioni, kao kompleksi s anorganskim i organskim ligandima, i kao sastavni dio partikularnih čestica ili na njih adsorbirani. Različite kemijske vrste imaju različitu biogeokemijsku reaktivnost i učinke. Dostupnost (koeficijent raspodjele) otopljenih tragova metalnih iona organizmima, kao i njihovi toksični učinci, značajno ovise o njihovom kemijskom obliku (specijaciji). Često se pokazalo da su ti učinci povezani s koncentracijama otopljenih slobodnih metalnih (aqua) iona⁽⁵⁾.

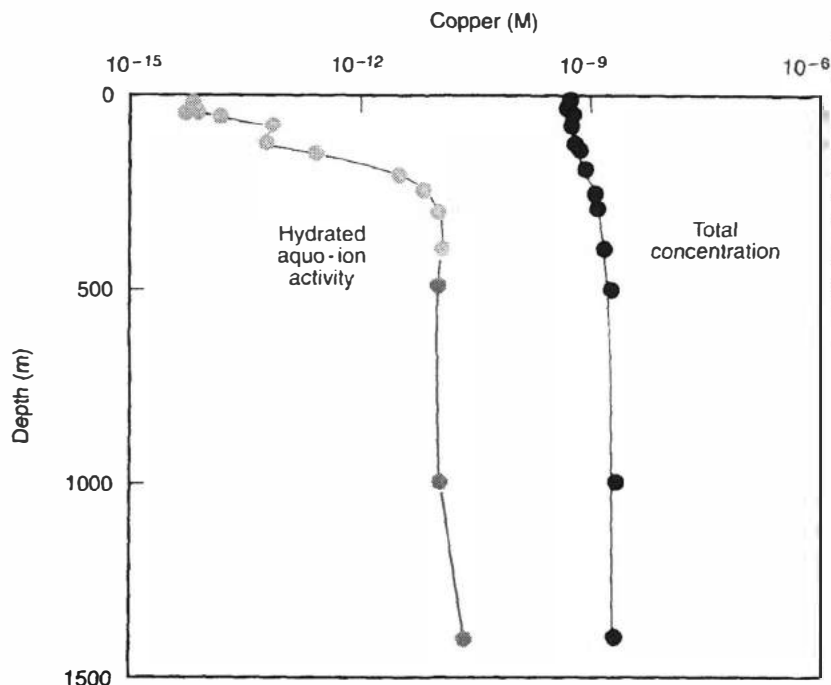
Slika 5. prikazuje primjer velike razlike između totalno otopljenog Cu(II) i njegovih hidratiziranih iona u stupcu vode sjevernog Pacifika. Dakle, važno je što uzeti u račun za koncentraciju metala kod određivanja koeficijenta raspodjele između vodene faze, krutih čestica/sedimenta i morskih organizama.

Uz glavne hranjive tvari (dušik, fosfor i silicij), pojedini tragovi metala (kao što su željezo, cink, mangan, kobalt, bakar, molibden i nikal) su neophodni za rast i metabolizam fitoplanktona. Prije su oceanografi usmjerili svoju pažnju na »klasične« hranjive tvari i pretpostavili su da samo oni koji u vodenom stupcu kontroliraju cjelokupni rast – primarnu produkciju organske tvari kao i nastale vrste zajednica morskih fitoplanktona.



Slika 4. Raspodjela 73 elementa u prirodnoj oceanskoj vodi u rasponu koncentracija od 15 redova veličine

U zadnjih desetak godina posebna pažnja je posvećena istraživanjima čiji rezultati pokazuju da željezo dodano u malim količinama može značajno stimulirati rast fitoplanktona u različitim dijelovima oceana⁽⁶⁾. Ova i druga otkrića pokazuju da tragovi metala (uglavnom njihovi aktivni kemijski oblici) imaju mnogo značajniju ulogu u regulaciji primarne produkcije i rastu morskog fitoplanktona nego što se to ranije mislilo⁽⁵⁾. Ovo je osobito vidljivo u sustavu »južnog dijela« svjetskih oceana gdje je usprkos visokog sadržaja hranjivih soli i dovoljno sunčane energije relativno mala primarna produkcija organske tvari. Tako je stvorena ideja o mogućnosti izlučivanja-eliminacije



Slika 5. Vertikalna raspodjela koncentracije totalno otopljenog bakra (desno) i aktivitet bakarnog hidratiziranog iona u Sjevernom Pacifiku

suviška CO_2 iz atmosfere povećanjem primarne produkcije tj. adsorpcije CO_2 u oceanske vode. Dodano željezo bi prema tome služio kao katalizator za ubrzanje primarne produkcije na ogromnoj površini južne hemisfere.

Povećan je broj pravnih regulativa kojima se inzistira na određivanju kemijskih vrsta tragova metala, a ne samo njihovih ukupnih sadržaja. Ovo ukazuju na želju pojačane kontrole raznih oblika toksičnih metala u okolišu. Europska zajednica (EU) je prepoznala potrebu da se kemijski oblici uključe u listu opasnih supstanci koje obavezno treba pratiti, pa su neki od njih već i uvršteni u Uputstvima EU-a, kao na pr. za vodu za piće. Tehnike koje se upotrebljavaju za određivanje metalnih oblika elemenata općenito uključuju različite analitičke postupke, kao što su ekstrakcija, separacija i detekcija. Ovi postupci se izvode tako da kemijski oblici metala (specijacija) ostanu nepromijenjeni tijekom cjelokupnog analitičkog procesa^(7,8).

Elektroanalitički postupci imaju mnoge prednosti pred drugim analizama, jer omogućuju neposredno određivanje koncentracije otopljenih tragova ekotoksičnih metala, ali isto tako i njihovih kemijskih oblika u prirodnim i zagađenim vodama.

Tijekom rada na EUREKA projektu ELANI EU 493 u laboratoriju za fizičku kemiju tragova IRB-a razvijeni su automatizirani postupci mjerenja⁽²⁾. Omogućeno je izravno određivanje koncentracija u korelaciji različitih vrsta tragova metala (prirodnog i antropogenog porijekla) i njihovih fizičko-kemijskih osobina u modelnim sustavima i u prirodnoj vodenoj sredini. Osim toga razvijena su i automatska mjerenja kapaciteta kompleksiranja metala.

Nedavno dobiveni podaci pokazuju da su u prirodnim vodama koncentracije otopljenih tragova metala značajno niže od prije objavljenih podataka, i to ne samo u otvorenom oceanu, već i u nezagađenim rijekama, zatvorenim morskim i obalnim područjima. Ovi rezultati ukazuju na potrebu revizije do sada prihvaćenih MDK-a za toksične metale u vodama. Za pouzdanu analizu naročito je važno adekvatno uzorkovanje prirodnih voda. Pažljivo treba izvršiti cjelokupan proces od uzorkovanja prirodnih voda, analitičke obrade i određivanja kao i konačno izračunavanje dobivenih podataka. Teoretski i eksperimentalni laboratorijski rad su posvećeni utvrđivanju glavnog mehanizma i utjecaja različitih parametara na protoke i promjenu oblika različitih vrsta tragova metala i zagađivala u kontinentalnim vodama i morskom okolišu. Za postizavanje ovog cilja upotrijebljavaju se odgovarajući pristupi vodenom sustavu. Kod toga su razvijeni novi i primjenjeni postojeći specifični elektroanalitički mjerni sustavi (voltometrije, potenciometrije i pseudopolarografije). Adekvatnim automatiziranim tehnikama uzorkovanja postiže se pouzdano kvalitativno i kvantitativno određivanje tragova metala s obzirom na njihovu raspodjelu, različite oblika, kao i kinetiku transformacijskih reakcija. Uz daljnje poboljšanje senzora, te analitičkih postupaka i tehnika uzorkovanja postiže se visoka razina specifičnosti, osjetljivosti, reproducibilnosti i pouzdanosti podataka. Uz terenska opažanja pratili su se »modelni« vodeni sustavi sa zagađenim vodama (kao npr. u Kaštelanskom zaljevu) i usporedili odgovarajućim uzorcima iz nezagađenog sustava kao što su vode rijeke i ušća Krke, kao i čistim vodama priobalnog i otvorenog dijela Jadranskog mora.

Postignuti rezultati rada na Projektu ELANI EU 493 mogu se sažeti kao:

- razrada metoda za neposredno određivanje reaktivne i ukupne koncentracije otopljenih tragova metala (detekcija ispod 10^{-11} M L⁻¹);
- određivanje koncentracije kapaciteta kompleksiranja metala između 10^{-6} M L⁻¹ do 10^{-9} M L⁻¹;
- utvrđivanje pouzdanih postupaka za određivanje kapaciteta kompleksiranja bakra i željeza;
- razvoj potpuno automatskog mjerenja pseudopolarografije otopljenih tragova metala modelnim elektrolitima i u prirodnim /zagađenim vodenim sustavima.

Na ovom skupu detaljno su prikazani neki od rezultata radova suradnika Laboratorija za fizikalnu kemiju tragova, Zavoda za istraživanje mora i okoliša Instituta »Ruđer Bošković« koji referiraju o pojedinim problemima kao što su:

- biogeokemijski procesi žive i njenih kemijskih oblika u zagađenom dijelu Kaštelanskog zaljeva⁽⁹⁾;
- višegodišnji redoks procesi joda u vodi Rogozničkog jezera⁽¹⁰⁾;
- vertikalna raspodjela tragova metala i kapaciteta kompleksiranja u vodenom stupcu estuarija rijeke Krke⁽¹¹⁾;
- određivanje tragova bakar(II) u različitim elektrolitima uz posebni osvrt na utjecaj »neutralnog« pufera⁽¹²⁾;
- pseudopolarografske karakterizacije različitih oblika otopljenih tragova metala u vodenim sustavima⁽¹³⁾;
- mogućnosti voltometrijskog određivanja vrlo niskih koncentracije otopljenih tragova metala⁽¹⁴⁾, te
- voltometrijsko određivanje kapaciteta kompleksiranja bakra u uzorcima prirodnih voda⁽¹⁵⁾.

Literatura

1. M. Branica, (Ed.), German-Yugoslav Cooperation in Scientific Research and Technological Development, Forschungszentrum Juelich, GmbH, Scientific Series of the International Bureau, Vol.3 (1990), 1–753, »Environmental Research in Aquatic Systems«
2. M. Branica, G. Brug, C.M.G. van den Berg, H. Emons, P. Ostapczuk, I. Pižeta and D. Omanović, Development of Electroanalytical Instrumentation (ELANI) for Physico-Chemical Characterization of Trace metals in the Marine Environment, 6th International Symposium on »Metal Compounds in Environment and Life«, Jülich, 9–12 May 1995, Book of Abstracts, H. W. Dürbeck and B. Krahl-Urban, Forschungszentrum Jülich 1995, p. 157.
 - M. Branica, Electrochemical Speciation of Trace Metals in the Marine Environment, Second MAST days and EUROMAR market, 7–10 November 1995, Marine Sciences and Technologies, M. Weydert, E. Lipiatou, R. Goi, C. Fragakis, M. Bohle-Carbonell, K. -G. Barthel, Commission of the European Communities, Brussels, Project reports Vol. 2, p. 832.
 - M. Branica, C.M.G. van den Berg, G. Brug, H. Emons, P. Ostapczuk, I. Pižeta and D. Omanović, Concentration and speciation of trace metals in the marine environment, Third European Marine Science and Technology Conference, Lisbon, 23–27 May 1998., Project Synopses, Volume IV, 1998, 1444–1456.
3. R.J.P. Williams, The natural selection of the elements, Chem. In Britain, 1996, 42–46.
4. M. Branica i G. Branica, Direct determination of metal complexation, u: C.J.M. Kramer and J.C. Duinker (Ur.), Complexation of trace metals in natural waters. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague, 1984, 117.
5. K.S. Johnson, K.H. Coale and H.W. Jannasch, Analytical Chemistry in oceanography, Analytical Chemistry, 64 (1992) 1065A–1075A.
 - L. Sigg, H. Xue, Metal speciation: concepts, analysis and effects, G. Bidoglio and W. Stumm (eds.) Chemistry of Aquatic Systems: Local and Global Perspectives, 1994, 153–181.
 - M.L. Wells, P.B. Kozelka and K.W. Bruland, The complexation of »dissolved« Cu, Zn, Cd and Pb by soluble and colloidal organic matter in Narragansett Bay, RI, Mar. Chem, 62 (1998) 203–217.
 - A.E. Witter and G.W. Luther III, Variation in Fe-organic complexation with depth in the North-western Atlantic Ocean as determined using a kinetic approach, Mar. Chem, 62 (1998) 241–258.
 - R.A.G. Jansen, H.P. van Leeuwen, R.F.M.J. Cleven and M.A.G.T. van den Hoop, Speciation and lability of Zinc(II) in river waters, Environ. Sci. Technol., 32 (1998) 3882–3886.
6. J.H. Martin, R.M. Gordon, S. Fitzwater and W.W. Broenkow, Phytoplankton/iron studies in the Gulf of Alaska, Deep-Sea Res. 36 (1989) 649
 - W.G. Sunda, Trace metals/phytoplankton interactions in the sea, G. Bidoglio and W. Stumm (eds.) Chemistry of Aquatic Systems: Local and Global Perspectives, 1994, 213–247.
 - T. Midorikawa and E. Tanoue, Molecular masses and chromophoric properties of dissolved organic ligands for copper(II) in oceanic water, Mar. Chem, 62 (1998) 219–239.
7. Ph. Ouevauviller, Certified reference materials in support to EC legislation on metallic forms of elements, 6th International H. W. Nürnberg memorial Symposium on »Metal Compounds in Environment and Life«, Juelich, 1995, Book of Abstracts, pp.8.
8. H.E. Allen, The importance of metal speciation in the establishment of environmental quality standards, 6th International H. W. Nürnberg memorial Symposium on »Metal Compounds in Environment and Life«, Juelich, 1995, Book of Abstracts, pp. 4.;
 - H.E. Allen and D.J. Hansen, The importance of trace metal speciation to water quality criteria, Water Environ. Res., 68 (1996) 42–54.

2. *Hrvatska konferencija o vodama (referati objavljeni na konferenciji):*

9. Ž. Kwokal i M. Branica, Isplinjavanje žive iz zagađenog dijela Kaštelanskog zaljeva.,

10. V. Žic i M. Branica, Raspodjela jodida i jodata u vodi Rogozničkog jezera.
11. P. Mintas, Ž. Peharec i M. Branica, Vertikalna raspodjela tragova metala estuarija Krke.
12. V. Cuculić, M. Mlakar i M. Branica, Elektrokemijsko određivanje otopljenog bakra(II) u prisutnosti HEPES pufera.
13. D. Omanović, Ž. Peharec i M. Branica, Pseudopolarografska karakterizacija tragova metala u vodenim sustavima.
14. D. Omanović, Ž. Peharec i M. Branica, Voltametrijsko određivanje tragova metala u prirodnim vodama.
15. D. Omanović, I. Pižeta, Ž. Peharec i M. Branica, Voltametrijsko određivanje kapaciteta kompleksiranja bakra u prirodnim vodama.

Autor

Prof. Dr. Sc. Marko Branica

Laboratorij za fizičku kemiju tragova, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Ruđer Bošković«, Bijenička cesta 54, PP 1016, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Tel/Fax: +385 1 4680 231, email: branica@rudjer.irb.hr



Utjecaj temperature mora na buru

Branko Grisogono

SAŽETAK: Jadransko je more postavljeno u kontekst obalne i planinske meteorologije. To znači da su u vezi morski i kopneni atmosferski granični sloj, te da kopno, more i zrak međudjeluju na mezoskali. Stoga obalna istraživanja danas u svijetu proučavaju termičke cirkulacije i orografski uzrokovana strujanja.

Kao primjer međudjelovanja atmosferskih orografskih valova i mora, prikazane su numeričke idealizirane simulacije utjecaja temperature mora na buru. Hidraulički skok, povezan s frontom bure i najjačim vjetrom neposredno iza fronte, putuje od obale preko mora kad je nad morem (odnosno u zavjetrini) relativno niži tlak. Taj niži tlak može biti efektorskog graničnog sloja (mezoskala), i/ili sinoptički uzrokovan (velika skala). Zato ne samo sinoptička situacija, već i stanje morskog graničnog sloja određuje razvoj bure. Ovo drugo pojačava ili ublažuje lomljenje orografskih valova, a ovo lomljenje stvara jaku buru, i regulira burino propagiranje nad morem.

KLJUČNE RIJEČI: atmosferski granični sloj, bura, kritični sloj

Impact of Sea Temperature on Bora

SUMMARY: The Adriatic Sea is observed within the context of coastal and mountainous meteorology. This means that the marine and mainland atmospheric boundary layers are related, and that mainland, sea and air are in interrelation on a mesoscale. For that reason, current coastal research conducted globally deals with thermal circulation and orographically caused streaming.

Numerically idealized simulations of sea temperature effect on bora are shown as an example of interrelation of atmospheric orographical waves and sea. Hydraulic jump, related with the bora front and the strongest wind coming immediately after the front, travels from the coast over the sea when the pressure over the sea is relatively lower. This lower pressure might be an effect of boundary marine layer (mesoscale) and/or synoptically caused (large scale). Therefore, not only the synoptic situation but also the boundary marine layer situation affect the development of bora. The later aggravates or alleviates breaking of orographic waves, and their breaking generates strong bora and regulates its propagation over the sea.

KEYWORDS: atmospheric boundary layer, bora, critical layer

1. Uvod

Obalna meteorologija, oceanografija, hidrologija i srodne znanosti imaju sve veću ulogu u fizici okoliša. Turizam, sve vrste prometa, kontrola zagađenja, ribarstvo, poljoprivreda, energetika, naseljavanje, itd. trebaju sve više rezultate ovih »obalnih« znanosti. Meteorološke obalne termičke cirkulacije i orografski uzrokovana obalna strujanja se proučavaju u svijetu istančanom kombinacijom vrhunskih mjerenja (avioni, meteo-tornjevi, plutače, različiti radarski sustavi, itd.) i više-dimenzionalnih nu-

meričkih modela. Za smisleni odgovor društvu o projekcijama razvoja vremena i klime u budućnosti, moramo neprestano poboljšavati naše numeričke prognostičke modele, a ovi danas još uvijek nemaju dovoljno razlučivanje i parametrizaciju obalnih procesa (Rogers i dr., 1998).

Zna se da je obalni atmosferski granični sloj daleko od prethodno zamišljenog u 60-tim i 70-tim godinama, tj. daleko je od horizontalno homogenog fluida. Trodimenzionalnost i nestacionarnost je prisutna i kod vrlo niskih obala poput jugoistočne Švedske (npr. Grisogono i dr., 1998), a kamo li kod istočnog Jadrana gdje brojni otoci generiraju interne granične slojeve i/ili uzgonske valove. Istina, u slučaju strujanja paralelno uz visoku obalu bez otoka, npr. obala Kalifornije, nestacionarnost postaje beznačajna (Rogers i dr., 1998; Tjernström i Grisogono, 1999). Osnovni dinamički parametri što određuju strukturu priobalnog strujanja su: Rossby-jev, $Ro = U/(fL)$, Froude-ovi, $Fr_1 = U/(Nh_0)$, $Fr_2 = U/(g'H)$, ... Burgers-ov, $Bu = h_0N/(fL)$ itd. brojevi (U , f , L , h_0 , N , g' i H su osnovna brzina strujanja, Coriolis-ov parametar, horizontalna i vertikalna orografska skala, uzgonska frekvencija, reducirana sila teža i debljina sloja strujanja).

Iz moštva mogućih obalnih pojava, izdvojen je idealizirani primjer jake bure i analiziran u detalje. Važnost (npr. Makjanić, 1970; Lukšić, 1975; Jurčec, 1981; Bajić, 1991; Vučetić, 1993; Poje, 1995) i relativna kompliciranost (tek prije 12–14 godina je dinamički shvaćena bura, Smith, 1985; Klemp i Durran, 1987) uvelike određuju izbor ove pojave za Konferenciju, a fizikalna opravdanost i nadasve ilustrativnost determiniraju korištenu metodu. Fokus je na strukturu donje troposfere i na propagiranje burine fronte nad morem.

2. Numerički model

Model je nelinearan, nestacionaran, nestlačiv, hidrostatski, koristi Boussinesq-ovu aproksimaciju, pri dnu mu koordinatni sustav prati orografiju a da bi pri vrhu postao horizontalan. Turbulencija je parametrizirana šemom višeg reda zatvaranja sustava osnovnih jednadžbi, a rotacija Zemlje je pojednostavljena konstantnim Coriolis-ovim parametrom (Enger, 1990.a). Advekcija i difuzija su računati šemama konačnih razlika trećeg odnosno drugog reda točnosti (Enger i Grisogono, 1998.). Vertikalne i horizontalne računске točke su ne-ekvidistantne kako bi se postiglo najbolje razlučivanje pri dnu u centru modela. Model je inicijaliziran tzv. dinamičkom inicijalizacijom (npr. Pielke, 1984.) i koristi jednostavne rubne uvjete radijacionog tipa. Zbog jednostavnosti zračenje, bilanca energije tla i oblaci nisu računati, već se zadaje analitička funkcija stanja tla i pretpostavlja se da nema kondenzacije; nadalje, korištena je idealizirana orografija u dvodimenzionalnoj ravnini (x , z). Time možemo proučavati buru (i druge pojave) kao u laboratoriji.

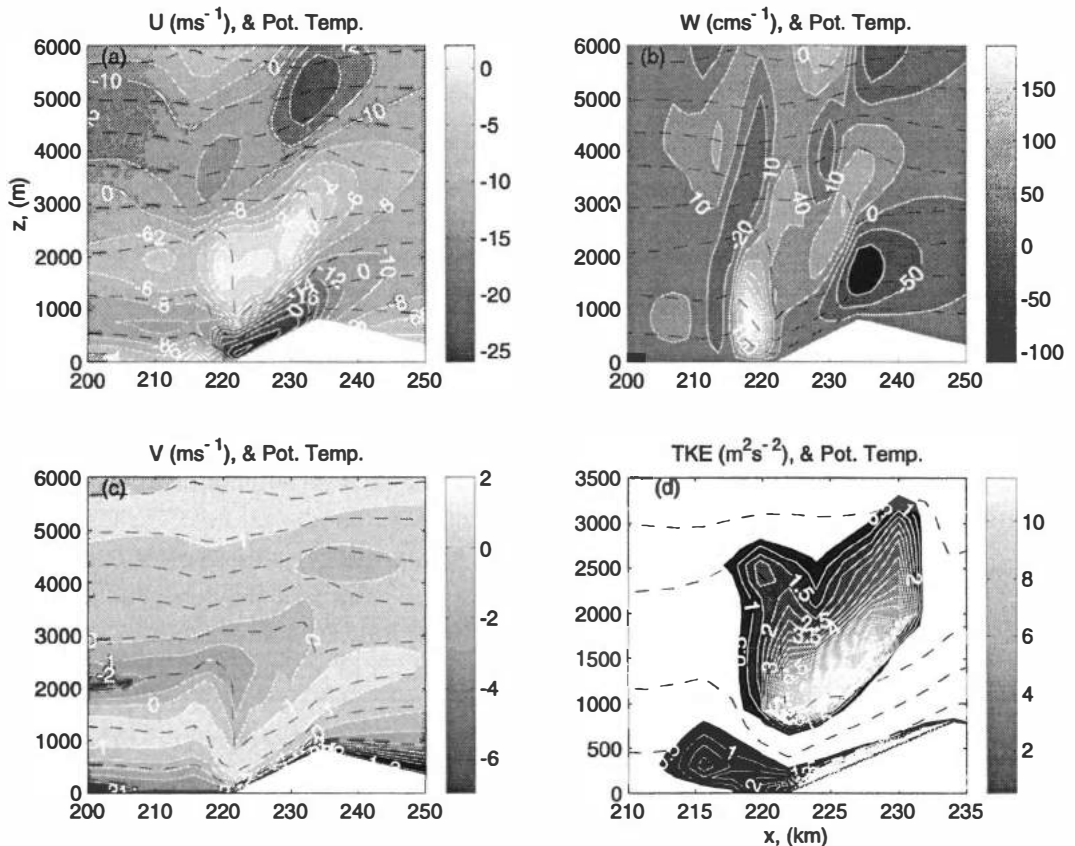
Inače, model je dokumentiran, provjeren i uspoređen s mjerenjima (npr. Enger, 1990.b; Tjernström i Grisogono, 1999.). Uz vrlo mala poboljšanja ovdje, ista se verzija modela koristi kao i u Enger i Grisogono (1998.). Domena je $460 \text{ km} \times 16 \text{ km}$ (»spužva« zauzima gornjih 4 km), razlučena sa 141×91 osnovnom točkom. Razlučivanje varira od 2 do 5,5 km donosno 4 do 200 m po horizontali odnosno vertikali a vremenski je korak 10 s. Osnovni su ulazni parametri konstantni geostrofički vjetar i stratifikacija, $U = -8 \text{ m/s}$ i $\partial \theta / \partial z = 5 \text{ K/km}$ (vjetar puše s desna odnosno istoka, a θ je potencijalna temperatura); istovremeno temperatura podloge je također držana kon-

stantnom u vremenu. Orografija je 800 m visoka, poluširine 10 km i oštro odsječena u zavjetrini (uz uvažavanje hidrostatskog zahtjeva da gradijent terena mora bit puno manji od jedinice).

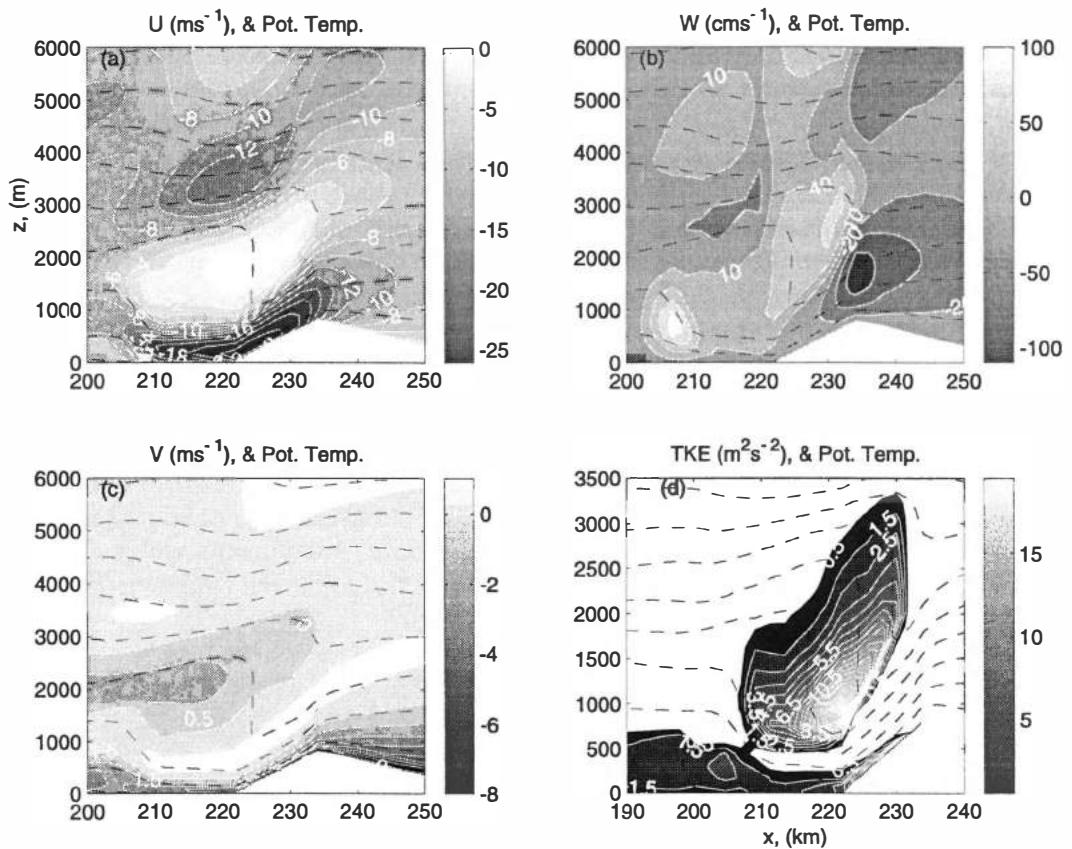
3. Rezultati i kratka diskusija idealiziranih simulacija

Kod bure je važno da je $Fr = |U/(Nh_0)|$ blizu kritičnom Fr , tj. jedinici (ovdje je ulazni $Fr = 0,75$). U radu je principalna varijabla razlika temperature između mora i kopna nulte visine, ΔST . Pokazat će se da $\Delta ST > 0$ uzrokuje dodatnu distorziju slomljenog orografskog vala velike amplitude a to znači veće područje obuhvaćeno najjačom burom, i obrnuto, $\Delta ST < 0$ ublažuje efekt lomljenja vala i smanjuje područje zahvaćeno burinim maksimumom.

Ideja jest kontrolirati ΔST koja mijenja uzgonsku frekvenciju obalnog atmosferskog graničnog sloja. Ova frekvencija može promijenit nelinearnu dinamiku orografskog vala – utjecat na prekretanje i lomljenje vala, te na strukturu bure dalje nad morem. Slika 1. pokazuje kontrolnu simulaciju nakon 35 sati; (a) komponenta vjetra okomito na obalu (U) i potencijalna temperatura (θ , crtkano – pozadina svim slikama modela),



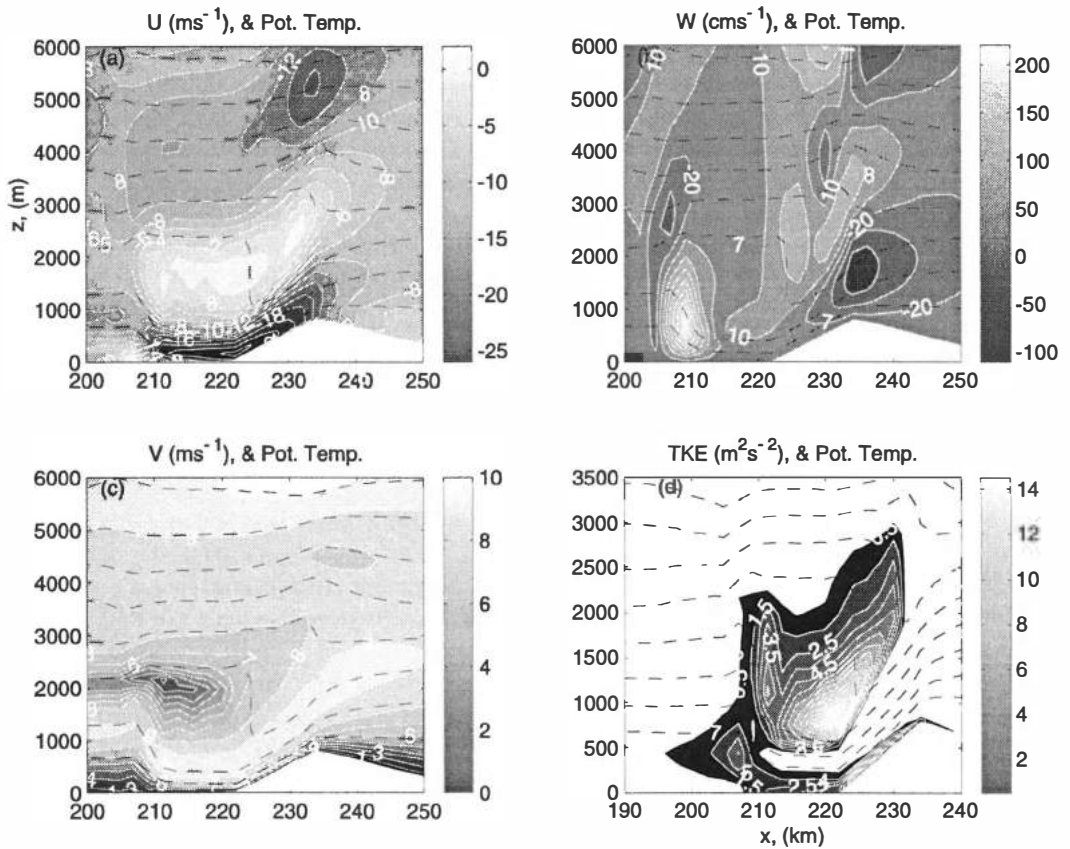
Slika 1. (a) U-komponenta vjetra okomito na obalu i potencijalna temperatura (θ , crtkano), (b) vertikalna brzina (W), (c) V-komponenta vjetra paralelna obali, (d) turbulentna kinetička energija (TKE).



Slika 2. Kao slika 1, ali temperaturna razlika more – kopno, $\Delta\text{ST} = +5\text{K}$.

(b) vertikalna brzina (W), (c) komponenta vjetra paralelna obali (V) i (d) turbulentna kinetička energija (TKE – uvijek na povećanoj rezoluciji slike!). Strujanje izvodi nagnjanje, prekretanje i konačno lomljenje orografskog vala u kritičnom sloju ($U \rightarrow 0$) zavjetrine prepreke. Najjače je strujanje, tri puta jače of geostrofičkog vjetra, pri dnu zavjetrine (Sl. 1. a), iznad tog »mlaznog« sloja je najjača turbulencija (Sl. 1. d). Hidraulički skok je situiran oko $x \approx 220$ km.

Poremetimo kontrolnu simulaciju! Slika 2. je ista kao slika 1., ali je more toplije za 5K, tj. $\Delta\text{ST} = +5\text{K}$; to kvalitativno odgovara zimskoj situaciji bure. Javlja se tzv. putujući hidraulički skok predstavljen burinom frontom koja se sad nalazi dalje nad morem ($x \approx 206$ km, oko 20 km od obale u ovaj sat) Bura je »razmazana« preko većeg područja no u kontrolnom slučaju. Uočite skoro dvostruko veću TKE (Sl. 2. d) zbog izdašnijeg lomljenja vala što direktno doprinosi mahovitosti bure (trenutna brzina $\approx U \pm (2 \cdot \text{TKE})^{1/2}$, uz nehidrostatičke lokalne efekte koji nisu ovdje uključeni). Relativno toplije more, znači relativno niži tlak nad njim, snižava uzgonsku frekvenciju N i stoga povećava lokalni Fr . Dakle, česti zraka dulje putuju superkritički u zavjetrini sve dok se ne pojavi hidraulički skok i povratak u novo »neporemećeno« potkritično strujanje (npr. Holton, 1992). Približno suprotan efekt se javlja za $\Delta\text{ST} < 0$. Druga vrsta perturbiranja kontrolne simulacije se odnosi ovdje na sinoptičku skalu, ne na mezoskalu kao u prošlom,



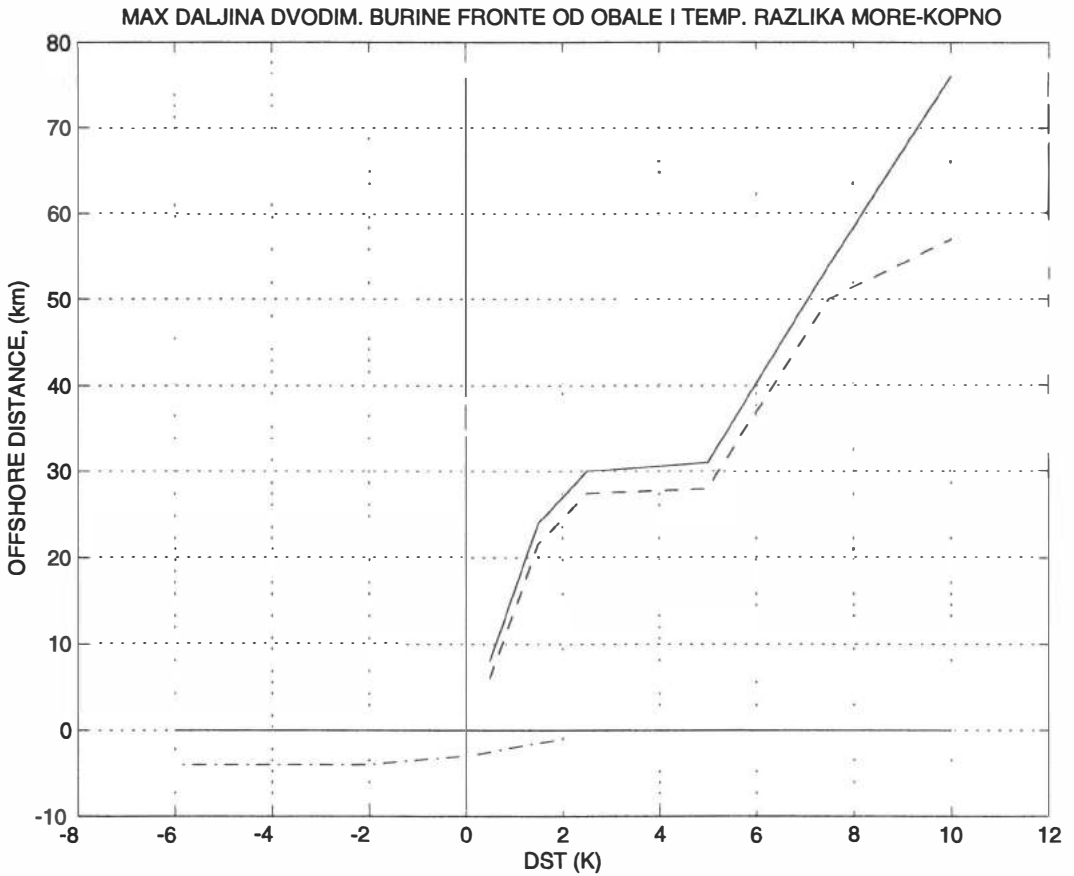
Slika 3. Kao slika 1, ali geostrofički vjetar ima i južnu komponentu, 8 m/s.

glavnom primjeru. Sad dodajmo osnovnom strujanju južnu komponentu iste jačine kao i ona preko prepreke. Dobija se približno isti učinak kao i s $\Delta ST = +5K$, usporedi Sliku 3. i 2.! Ovaj put je nad morem sinoptički uspostavljen niži tlak a taj, kao i u prošlom primjeru, podržava putujući hidraulički skok. Približno suprotan efekt se javlja sa sjevernom komponentom strujanja.

Varirajući ΔST dobija se parametarski opis propagiranja burine fronte, slika 4. Prikazani su nepropagirajuća (polucrtkana-točkasta) i propagirajuća (puna i crtkana crta) fronta; puna i crtkana crta označuju položaj fronte gdje je brzina jednaka $1.2U$ odnosno $2U$, $U = -8m/s$. Bliskost tih crta kvalitativno opisuje oštrinu burine fronte. Mali $\Delta ST > 0$ znači dva moguća stanja – treba proći 1–3 dana za pojavu propagirajućeg skoka. Prema ovim tvodimenzionalnim, hidrostatskim simulacijama, bura može da putuje i preko 60 km dalje od obale. Slika 4. sumira rezultate ovog rada. Detalji vrlo sličnih simulacija prikazanih ovdje, njihova šira analiza te kritika modela se nalaze u Enger i Grisogono (1998).

4. Zaključak

Propagiranje burine fronte, odnosno hidrauličkog skoka, može bit uzrokovano relativno nižim tlakom nad morem. Taj tlak je stvoren ili s $\Delta ST > 0$ (mezoskalni efekt), ili



Slika 4. Prodor burine fronte nad morem kao funkcija ΔST .

sinoptički (smjer geostrofičkog vjetra). Fronta ostaje uz obalu, ili bliže vrhu prepreke pri suprotnom forsiranju. Znači, ne samo sinoptička situacija, već i stanje morskog graničnog sloja određuju razvoj bure.

Ukazano je da bura nije nužno lokalni vjetar. Pored daljnjih dvodimenzionalnih analiza, očita je potreba za trodimenzionalnim simulacijama. Zatim, nužne su bolje preporuke za parametrizaciju bure u velikim prognostičkim modelima meteoroloških centara. Konačno, trebaju nam detaljna avionska i druga (radar, lidar, ...) mjerenja bure te posebno burinih valova i turbulencije.

Literatura

- Bajić, A., 1991: Application of the two-layer hydraulic theory on the severe northern Adriatic bora. *Meteorol. Rund.* **44**, 129–133.
- Enger, L., 1990a: Simulation of dispersion in moderately complex terrain – Part A. The fluid dynamics model. *Atmos. Environ.* **24A**, 2431–2446.
- Enger, L., 1990b: Simulation of dispersion in moderately complex terrain – Part C. A dispersion model for operational use. *Atmos. Environ.* **24A**, 2457–2471.
- Enger, L. and B. Grisogono, 1998: The response of bora-type flow to sea surface temperature. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* **124**, 1227–1244.

- Grisogono, B., L. Ström and M. Tjernström, 1998: Small-scale variability in the coastal atmospheric boundary layer. *Bound. – Layer Meteor.* **88**, 23–46.
- Holton, J.R., 1992: *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press, 3rd edition. 511 pp.
- Jurčec, V., 1981: On mesoscale characteristics of Bora conditions in Yugoslavia. *Pure and Appl. Geophys.* **119**, 640–657.
- Klemp, J.B. and D.R. Durran, 1987: Numerical modelling of Bora winds. *Meteorol. Atmos. Phys.* **36**, 215–227.
- Lukšić, I., 1975: Bura u Senju. *Senjski Zbornik.*, Senj, **6**, 467–494.
- Makjanić, B., 1970: On the diurnal variation of the bora wind speed. *Rad. Croatian Academy of Sciences and Arts. Zagreb*, **349**, 33–92.
- Poje, D., 1995: Bura (bora) and burin at Split. *Croat. Meteorol. J.* **30**, 1–19.
- Rogers, D.P., E.C. Dorman, K.A. Edwards, I.M. Brooks, W.K. Melville, S.D. Burk, W.T. Thompson, T. Holt, L.M. Strom, M. Tjernstrom, B. Grisogono, J.M. Bane, W.A. Nuss, B.M. Morley and A.J. Schanot, 1998: Highlights of coastal waves 1996. *Bul. Am. Meteorol. Soc.* **79**, 1307–1326.
- Tjernström, M. and B. Grisogono, 1996: Thermal mesoscale circulations on the Baltic coast. Part I: a numerical case study. *J. Geophys. Res.* **101**, 18979–18997.
- Tjernström, M. and B. Grisogono, 1999: Simulations of super-critical flow around points and capes in a coastal atmosphere. *J. Atmos. Sci.* *Prihvaćeno za tisak*.
- Vučetić, V., 1993: Severe bora on the mid-Adriatic. *Croat. Meteorol. J.* **28**, 19–36.

Autor

Dr. doc. Branko Grisogono

Dept. of Meteorology, Stockholm Univ., S-10691 Stockholm, Sweden¹.

branko@misu.su.se; [http //www.misu.su.se](http://www.misu.su.se); tel: +46 (0)8 16 23 98; fax: + ... 15 71 85.

Tema 1.

**INTERAKCIJE ATMOSFERE,
TLA I MORA**

Voditelji teme:

dr.sc. BOŽENA ČOSOVIĆ i mr.sc. MARJANA GAJIĆ-ČAPKA



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.01.

Pomorsko meteorološka zaštita na Jadranu i motrilački sustav

Milan Hodžić

SAŽETAK: Pomorska meteorološka služba na Jadranu uspostavljena je sredinom prošlog stoljeća i od tada je nosilac pomorske meteorološke zaštite na hrvatskom dijelu Jadrana. Ona se danas nalazi u okviru Državnog hidrometeorološkog zavoda, dok se središte službe nalazi u Pomorskom meteorološkom centru u Splitu od 1947. godine. Njen glavni zadatak je izvršavanje obveza koje proizlaze iz međunarodnih konvencija, u prvom redu iz naputaka Svjetske meteorološke organizacije i Svjetske komisije za pomorsku meteorologiju, a u svezi s meteorološkom sigurnošću ljudskih života, plovidbe, brodarstva i drugih raznovrsnih pomorskih aktivnosti na oceanima, morima, pa tako i na Jadranu. Jedna od glavnih djelatnosti službe je osiguranje meteorološkog permanentnog bdjenja (na glavnim pomorsko meteorološkim postajama i svjetionicima) uz uvođenje i planiranje novih automatskih meteoroloških postaja na svjetionicima i plutačama, izrada vremenskih upozorenja o nailasku opasnih vremenskih pojava i prognoza za potrebe pomorskog brodarstva, plovidbe, luka, marina, ribarstva, nautičkog turizma i drugo.

KLJUČNE RIJEČI: Pomorska meteorološka služba, pomorska meteorološka postaja, meteorološke plutače

Maritime Meteorological Protection in the Adriatic An Overview of Monitoring System

SUMMARY: The maritime meteorological service for the Adriatic was set up in mid-nineteenth century and it has since been the carrier of the maritime meteorological protection and safety in the Croatian part of the Adriatic. Currently, it is the part of the State Meteorological and Hydrological Service, seated at the Maritime Meteorological Center in Split since 1947. Its basic task is to fulfill the obligations resulting from international conventions, primarily those imposed through the guidelines of the World Meteorological Organization and the World Commission of Maritime Meteorology regarding safety of human lives, navigation, ship industry and numerous other maritime activities related to oceans and seas, including the Adriatic. One of the major activities of the service is permanent meteorological monitoring (in the major maritime meteorological stations and lighthouses), and introduction and planning of new automatic meteorological stations placed in the lighthouses and buoys, preparation of weather warnings with regard of oncoming dangers, and forecasts required in maritime navigation, for harbors, marinas, fishing, nautical tourism, and the like.

KEYWORDS: maritime meteorological service, m.m. stations, meteorological buoys

1. Uvod

U mnogim područjima pomorske aktivnosti, uključujući plovidbu, ribolov, istraživanje nalazišta plina i nafte, nautičkog turizma i drugo, pravovremena dostupnost prog-

noze vjetra i valova, prognoza o nailasku oluja i nevera, može biti odlučna za sigurnost života i ekonomičnost izvođenja gospodarsko tehničkih djelatnosti na Jadranu.

Bez obzira na razvoj numeričkog prognostičkog modeliranja prognoza vjetra i valova za morska otvorena prostranstva su često, u najbolju ruku okvirna, zbog nedostatka pouzdanih i nedovoljnih meteoroloških podataka. Premda je postignut ogroman napredak u kompjuterskoj tehnologiji, opravdano je pitati je li postignut i odgovarajući napredak u točnosti naših prognoza.

Jednodnevne prognoze točnije su od onih za duži vremenski rok, i točnost im pada s dužinom roka. Kada točnost prognoze padne ispod 60%, prognoze više nisu upotrebljive.

Danas su sedmodnevne prognoze iz Europskog centra za srednjoročnu vremensku prognozu u Readingu jednako točne kao trodnevne prognoze 1972. i jednako točne kao petodnevne prognoze 1979/80. Sadašnje petodnevne prognoze koje su točne u više od 80% slučajeva, točnije su od dvodnevni prognoza 1972. godine.

Očekuje se da ćemo u budućnosti postići daljnji značajan napredak u točnosti prognoze, tako da se primijene aktualna istraživanja izmjerenih podataka i njihovo brojčano uvećanje za stvaranje inicijalnih polja na osnovu kojih se izrađuju prognoze.

Pozitivna povratna sprega je nezamisliva bez nužne veze između kvalitetnih i brojnijih meteoroloških podataka i prognoze vremena. Tako je, također, nezamisliva i sprega između aktivnosti na moru i kvalitetne prognoze, u prvom redu, vjetra i valova.

Jadran je, kao vodeno prostranstvo Hrvatske, izvanredno nacionalno blago, ali i nedovoljno iskoristivo bogastvo. Ono u budućnosti mora imati veću upotrebnu vrijednost kako u plovidbeno-brodarskim, ribarskim, transportnim, turističkim tako i u drugim gospodarsko-rekreativnim djelatnostima, kao izvanredna prirodna sredina iz koje je u snazi prirode izronio i sam život.

2. Organizacija rada pomorsko meteorološke službe u Hrvatskoj



Za kvalitetnu i permanentnu meteorološku sigurnost i zaštitu na Jadranu zadužena je Pomorsko meteorološka služba. Ona je utemeljena 1860. godine osnutkom Hidrografskog zavoda u Trstu, u Autrougarskoj monarhiji. Već od 1874. godine svakodnevno je izrađivala meteorološke izvještaje za cijeli Jadran, a od 1878. godine primali su se meteorološki podaci iz Europe, te su se crtale sinoptičke karte i izdavale prognoze za pomorce.

Prva meteorološka postaja na Jadranu počela je s radom 1851. godine u Dubrovniku, dok je početak rada meteorološke postaje na Hvaru bio 1857. kada je uvrštena u europsku meteorološku mrežu, te se ta godina uzela kao početak meteorološke službe na Jadranu.


Danas se središte Pomorske meteorološke službe nalazi u Pomorskom meteorološkom centru (PMC) u Splitu od 1947. godine u okviru nacionalne meteorološke institucije: Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ).

Republika Hrvatska je danas punopravna članica Svjetske meteorološke organizacije (WMO) od 1992. godine. WMO je osnovana 1950. godine kao posebna tehnička organizacija Ujedinjenih naroda sa sjedištem u Genevi sa 180 država članica.

PMC je odgovoran za pomorsku meteorološku sigurnost ljudskih života i plovidbe na Jadranu prema državnim zakonima i međunarodnim konvencijama. Sastoji se od dva odjela važna za plovidbu i pomorstvo na Jadranu. Jedan je pomorsko-klimatološki odsjekom za brodsku meteorologiju i drugi pomorsko-meteorološki prognostički. Pomorsko-meteorološki prognostički odjel izrađuje i distribuira: pomorsko meteorološke biltene (slika 1.), izvještaje, prognoze i upozorenja za brodove duge plovidbe,


REPUBLIKA HRVATSKA ♦ **DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD** ♦ Pomorska meteorološka služba ♦ 

POMORSKI METEOROLOŠKI CENTAR - SPLIT **Meteorološko izvješće** u
 ZA:




STANJE MORA (VISINA VJEDROVA U m)

1 - (0,0 - 0,1) 3 - (0,5 - 1,25) 5 - (2,5 - 4,0) 7 - (6,0 - 9,0)
 2 - (0,1 - 0,5) 4 - (1,25 - 2,5) 6 - (4,0 - 6,0)

UPOZORENJE:

OPĆA VREMENSKA SITUACIJA:

Proгноza za 24 sata



VRIJEME NA JADRANU U 04 SATI:

PROGNOZA VREMENA ZA JADRAN ZA 24 SATA:

RAZVOJ VREMENA ZA JADRAN DO :

VRIJEME NA JADRANU U 05 SATI

Mjesto	Vrijeme	Vjetar Cv	Stanje mora	Vidljivost km	Tlak zraka hPa	Temperatura °C		Oborina mm
						Zraka	Mora	
ROVINJ								
RJEKA								
RAB								
MALI LOŠINJ								
SENJ								
ZADAR								
KORNATI								
ŠIBENIK								
SPLIT								
HVAR								
KOMIŽA								
PALAGRUŽA								
PLOČE								
DUBROVNIK								

PROGNOZA VREMENA ZA PODRUČJE

UPOZORENJE:

PROGNOZA VREMENA ZA 24 SATA:

PROGNOZA VREMENA ZA SLJEDE

IZL.AZO

ZALAZO

IZL.AZO

ZALAZO

IZRADIO:

Slika 1. Bilten Pomorske meteorološke službe – Pomorsko meteorološkog centra u Splitu

obalne i plovidbe na otvorenom moru; biltene za brodove male obalne plovidbe; pomorsko-meteorološke biltene i upozorenja za sidrišta i luke; biltene, prognoze i upozorenja za nautički turizam i marine; preglede vremena i meteorološke konzultacije; meteorološke obavijesti za potragu i spašavanje; meteorološke obavijesti za brodogradilišta i pomorske konstrukcije; izvještaje kod prevoženja opasnih tereta, teglenja i prijevoza posebnih tereta; izvještaje za pomorske radove, istraživanja i iskorištavanje mora i podmorja; izvještaje za elektroprivredu, ceste, pomorsku građevinsku operativu; izvještaje i upozorenja za javne medije (radija, televiziju i tisak) i drugo.

Sve pomorsko meteorološke prognoze i bilteni koji nastaju u PMC za Jadran sadrže: upozorenja, stanje vremena na Jadranu po pojedinim mjestima, prognoze vremena za 12+12 sati, te idućih 48, 72 i 96 sati. U tablici 1. prikazane su meteorološke prognoze koje PMC izrađuje za potrebe sigurnosti plovidbe na Jadranu u cjelini i po područjima za sjeverni, srednji i južni Jadran.

Za izradu prognoza za Jadransko more PMC koristi podatke WMO iz sustava Svjetskog meteorološkog bdjenja (SMB), produkte Europskog centra za srednjoročnu prognozu vremena u Readingu (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), Meteorološkog centra u Bracknelu (Meteorological Office, Bracknell) u Velikoj Britaniji, prognostičkog centra iz Toulouse (Meteo- France, Toulouse), nacionalnog središta iz Zagreba (Državni hidrometeorološki zavod), Njemačke meteorološke službe u Offenbachu (Deutscher Wetterdienst, Offenbach i Središnjeg zavoda za meteorologiju i geodinamiku u Beču Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik). Naravno, PMC koristi vlastite podatke s pomorsko-meteoroloških postaja i svjetionika na Jadranu. Na slici 2. prikazani su položaji glavnih meteoroloških postaja, meteorološke postaje na svjetionicima i na platformi.

Kako je vidljivo na slici 2. samo manji dio svjetionika (slika 3.) uključen je u sustav meteorološkog motrenja u odnosu na broj postojećih svjetionika s posadom i bez posade. U sustav meteorološke sigurnosti na Jadranu uključene su također i Lučke kapetanije s pripadnim ispostavama i obalne radio stanice, kako je prikazano na slici 4. Vremenska prognoza je bazirana najprije na meteorološkim mjerenjima i motrenjima, numeričkim – prognostičkim modelima atmosfere i interpretaciji prognostičkih meteoroloških polja i pojedinačnih vrijednosti meteoroloških elemenata i pojava.

Predvidljivost prognoza vremena je ograničena s više faktora, a jedan od njih je valjanost i brojnost početnih podataka. Početni podaci za numerički model sastoji se od prognostičkog polja prilagođenog na osnovi stvarnih podataka meteoroloških motrenja.

Postoje dvije vrste podataka motrenja, oni iz prizemne motrilačke mreže (sinoptička iz kopnenih postaja, brodova, plutača), zrakoplovstva i oni iz svemirske motrilačke mreže (sateliti). Jedna mreža nadopunjuje drugu. Očekuje se da će glavni razvoj u budućnosti u prognozi vremena ovisiti o razvoju numeričkih modela, i o razvoju na području daljinskih mjerenja kao što su podaci iz mreže satelita i radara i automatskih meteoroloških postaja. Što se tiče potreba u razvoju opažačkog sustava na Jadranu, nužno je djelotvorno razvijati sustav automatskih meteoroloških postaja na svjetionicima i na plutačama na otvorenom moru u svrhu postizanja veće pomorske meteorološke sigurnosti.

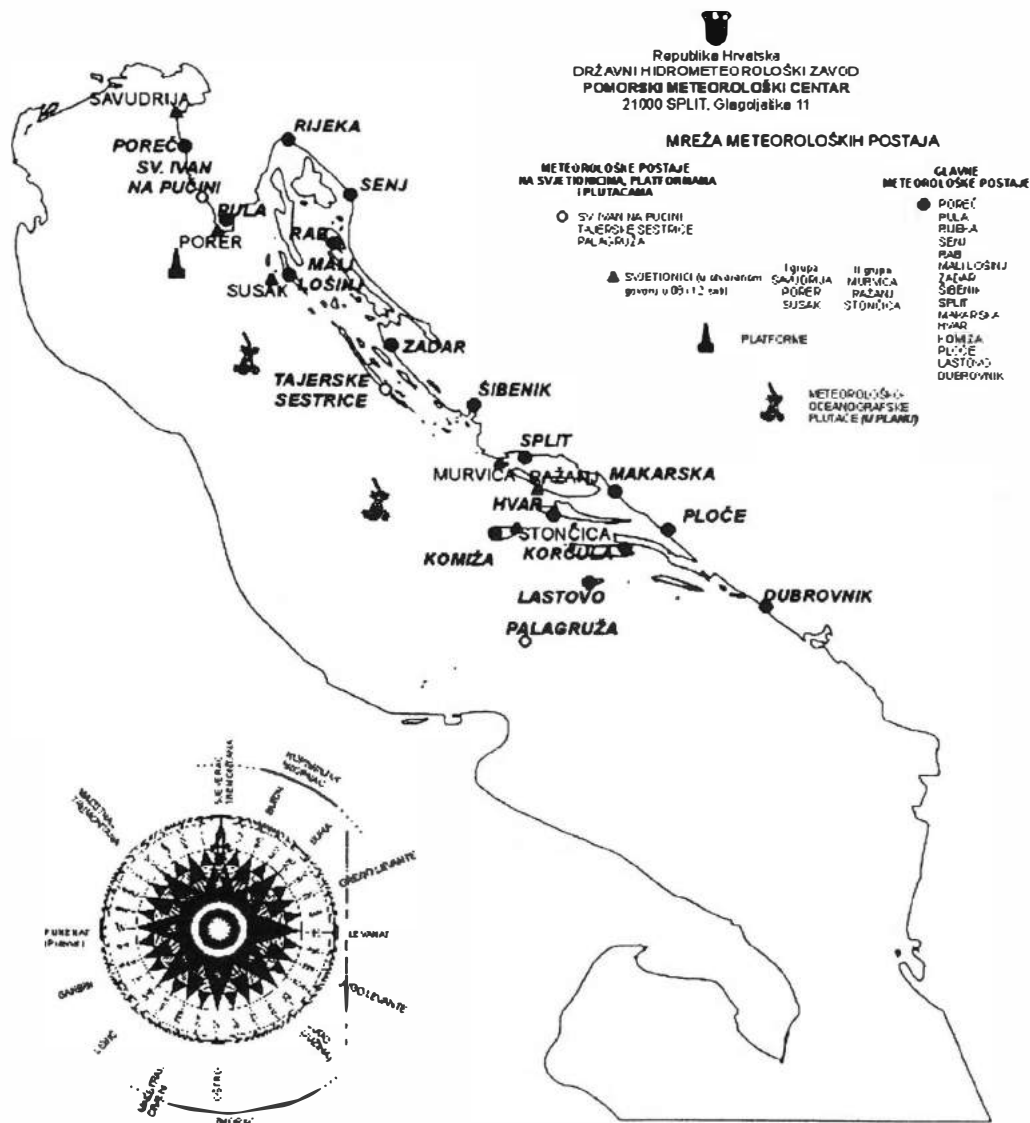
Iz slike 2. vidljivo je da je na istočnoj obali Jadrana najveći broj meteoroloških postaja smješten uz obalu koje najčešće ne zadovoljavaju potrebe pomorske plovidbene sigurnosti. Manji broj postaja smješten je na rubu vanjskih otoka što je nedovoljno i ne zadovoljava minimum potreba, dok na otvorenom moru osim postaje Palagruža nema ni jedne meteorološke postaje što je iz sigurnosnih razloga nedopustivo. To je veliki

Tablica 1. Meteorološke prognoze PMC-a za korisnike na Jadranu po područjima 12+12, +24+48, te +72 sata unaprijed

R.B.	KORISNIK	VRIJEME SLANJA	JEZIK	PODRUČJE
1	CENTAR ZA OBAVJ. ROVINJ	08.00	HRV,ENG, +24+72	ISTRA
2	LUČKA KAPETANIJA	08.00	HRV,ENG, +24+72	
3	TEHNOMONT MARINA VERUDA	08.00,	HRV,NJEM,ENG, +24+72	
4	ACI MARINA PULA	08.00, 14.00	HRV,ENG, +24+72	
5	ACI MARINA POMER	08.00, 14.00	HRV,ENG, +24+72	
6	ACI MARINA POMAG	08.00, 14.00	HRV,ENG, +24+72	
7	ACI MARINA ROVINJ	08.00, 14.00	HRV,ENG, +24+72	
8	RADIO PULA	15.00	HRV, +24	
9	RADIO KOPER	08.00, 12.00	HRV, 12+12	
10	LUČKA KAPET: PULA (kanal 73)**	07.00, 13.00, 19.00*	H,E,T I NJ, 12+12	
1	PMU RIJEKA	08.00, 14.00	HRV, +24+72	KVARNER KVARNERIĆ
2	GOVORNI AUTOMAT HPT	08.00, 15.00	HRV, 12+12	
3	NOVI LIST (tisak)	15.00	HRV, +24+48	
4	LIBURNIJA HOTELI	08.00	HRV,NJEM, +24+72	
5	LUČKA KAPETANIJA	08.00	HRV,ENG, +24+72	
6	OBALNA RIJEKA	08.00, 12.00, 18.00	HRV,ENG, +24+72	
7	MARINA "PUNAT"	Petak 08.00	HRV,NJEM,ENG,	
8	ACI MARINA IČIĆI	08.00, 14.00	HRV,ENG, +24+72	
9	ACI MARINA RAB	08.00, 14.00	HRV,ENG, +24+72	
10	ACI SUPETARSKA DRAGA	08.00, 14.00	HRV,ENG, +24+72	
11	CENTAR ZA OBAVJ. PAG	08.00, 14.00	HRV, +24+72	
12	RADIO OPATIJA	08.00, 14.00	HRV, 12+12	
13	RADIO RIJEKA	08.00, 14.00	HRV, 12+12	
14	LUČKA KAP. RIJEKA (kanal 69)**	07.00, 13.00, 19.00*	H,E,T I NJ, 12+12	
1	HRT ZADAR	08.00, 14.00	HRV,	ZADAR
2	LUČKA KAPETANIJA	08.00	HRV,ENG, +24+72	
3	MARINA ZADAR	08.00	HRV,ENG,NJEM, +24+72	
4	RADIO ZADAR	11.00	HRV, +24	
1	LUČKA KAPETANIJA	08.00	HRV,ENG, +24+72	ŠIBENIK
2	MARINA KREMİK	08.00	HRV,ENG, +24+72	
3	ACI MARINA JEZERA	08.00, 14.00	NJEMAČKI+24+72	
4	ACI MARINA VODICE	08.00, 14.00	HRV,ENG,NJEM, +24+72	
5	ACI MARINA SKRADIN	08.00, 14.00	HRV,ENG, +24+72	
6	RADIO ŠIBENIK	12.00	HRV, +24	
1	OBALNA SPLIT	08.00, 12.00, 18.00	HRV, +24+72	SPLIT
2	GOVORNI AUTOMAT HPT	08.00, 15.00	HRV, 12+12	
3	CENTAR ZA OBAVJEŠĆIVANJE	08.00	HRV, +24+72	
4	SLOBODNA DALMACIJA (tisak)	15.00	HRV, +24+48	
5	NAUTIC RADIO VIS	08.00, 14.00	HRV, +24+72	
6	LUČICA SPINUT	08.00, 14.00 srijeda	HRV, +24+72	
7	LUČKA KAPETANIJA	08.00, 14.00, 18.00	HRV,ENG, +24+72	
8	ACI MARINA SPLIT	08.00, 14.00	HRV,ENG, +24+72	
9	ACI MARINA TROGIR	08.00, 14.00	HRV,ENG,NJEM, +24+72	
10	ACI MARINA MILNA	08.00, 14.00	HRV,ENG,NJEM, +24+72	
11	ACI MARINA VRBOSKA	08.00, 14.00	HRV,ENG, +24+72	
12	RADIO SPLIT	06.00, 13.30	HRV, 12+12	
13	LUČKA KAP. SPLIT (kanal 67)**	07.00, 13.00, 19.00*	H,E,T I NJ, 12+12	
1	LUČKA KAPETANIJA	08.00	HRV,ENG, +24+72	DUBROVNIK
2	ACI MARINA MOKOŠICA	08.00, 14.00	HRV,ENG, +24+72	
3	OBALNA DUBROVNIK	08.00, 12.00, 18.00	HRV,ENG, 12+12	
4	RADIO DUBROVNIK	11.00	HRV, +24	
5	LUČKA KAP. DUBROVNIK k. 73**	07.00, 13.00, 19.00*	H,E,T I NJ, 12+12	
1	RADIO ZAGREB	06.00, 07.00, 08.00, 15.30, 17.00, 19.00, 20.00, 22.00	HRV, 12+12 HRV, 12+12 HRV, 12+12	JADRAN

* Izvještaj u 19 sati nema prijevod na njemački

** 24 sata dnevno s pauzama od 3 minuta nakon svakog izvještaja, svakodnevno, nedjeljom i praznikom

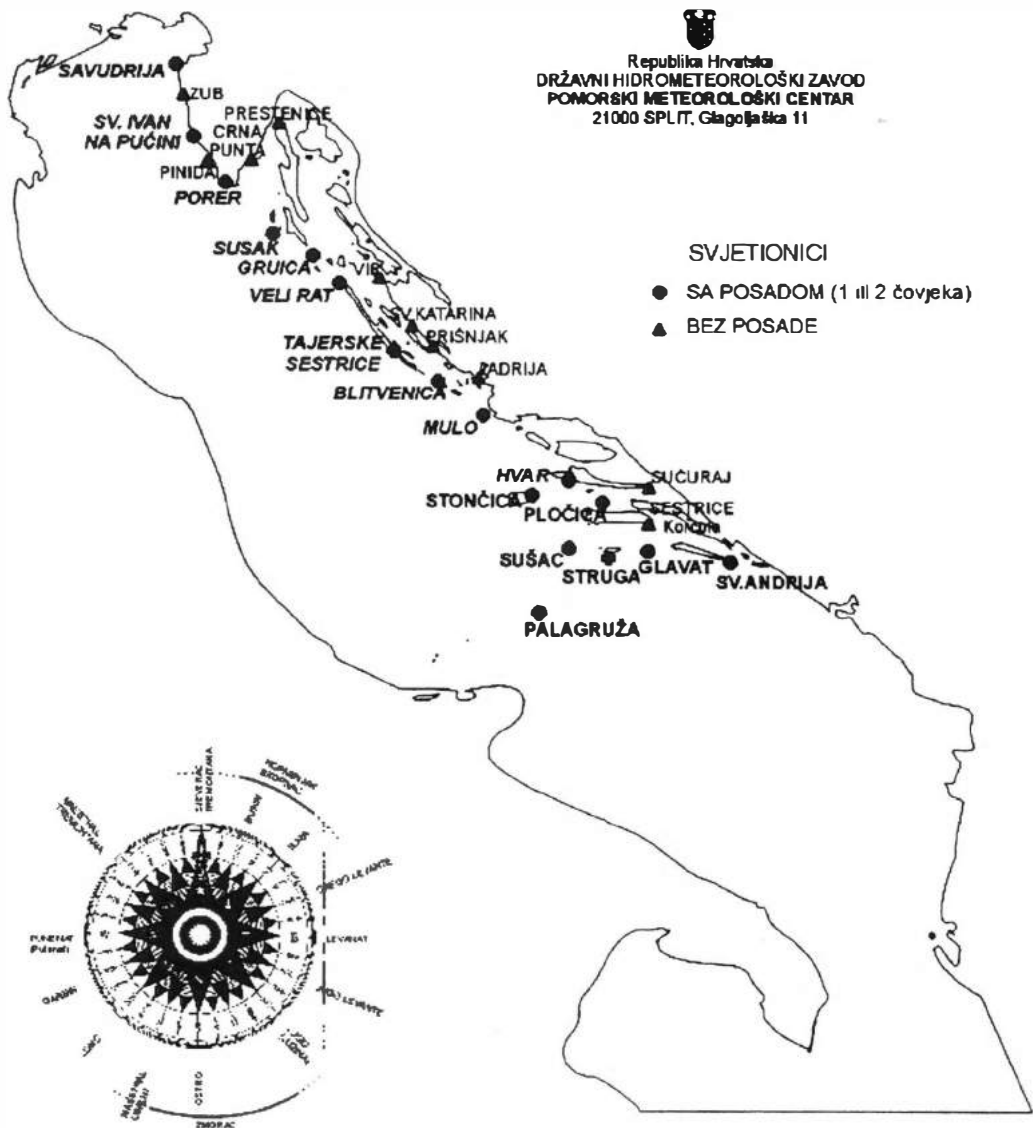


Slika 2. Mreža meteoroloških postaja na Jadranu s prijedlogom za pozicije plutača

nedostatak u meteorološkom motrenju na Jadranu i kod analize stvarnog stanja vjetera i valova na otvorenom moru i kod izrade prognoza vremena, posebno kod kratkoročnih i vrlo kratkoročnih prognoza. Također treba ovdje naglasiti veliki propust u analizi i prognozi vremena na Jadranu i šire zbog nedostatka radio-sondažne postaje na sredini istočne jadranske obale u Splitu gdje je nekada uspješno radila. Zato je važno ponovno tu radio-sondažnu postaju učinkovito i brzo uspostaviti.

Također je iz slike 3. vidljivo da su svjetionoci na Jadranu s posadom i bez posade dobro razmješteni na otvorenoj liniji vanjskih otoka, međutim samo manji dio je uključen u meteorološka motrenja i to sa skraćenim programom.

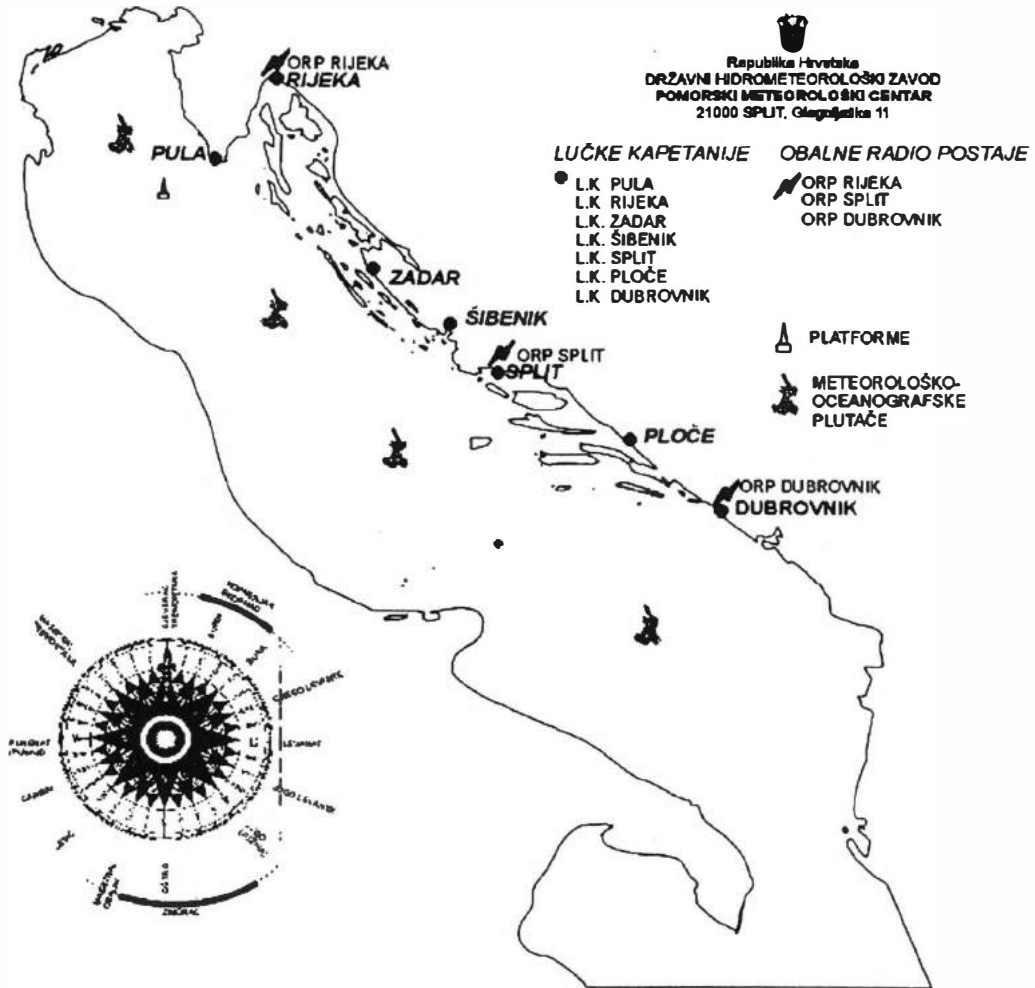
Sve to ukazuje da se meteorološka sigurnost na Jadranu može i dalje usavršavati na zadovoljstvo svih uključenih u pomorske aktivnosti.



Slika 3. Naziv i položaj svjetionika na Jadranu

Zbog toga treba nastojati učiniti sve da se što više otočnih svjetionika modernizira uvođenjem automatskih meteoroloških postaja i planira također postavljene usidrenih meteorološko-oceanografskih plutača na otvorenom moru sjevernog, srednjeg i južnog Jadrana kako je predloženo na slici 2., u skladu sa potrebama i zahtjevima srodnih institucija i znanstvenih instituta vezanih uz more i istraživanje mora. Svaka-ko treba naglasiti da je takav zahtjev opravdan i za buduće potrebe kvalitetnijeg istraživanja oborinskog režima na Jadranu.

Optimalno bi bilo postaviti najmanje četiri plutače s motrenjem na otvorenom moru. Naravno, sve nove meteorološke postaje moraju biti povezane u logički digitalni sigurnosni sustav meteorološkog motrenja s Pomorskim meteorološkim centrom u



Slika 4. Položaj lučkih kapetanija i obalnih radio postaja na Jadranu

Splitu. To bi tada zadovoljilo narasle potrebe za pomorsko-meteorološkim obavijestima i prognozama. U tablici 2. prikazani su parametri koje bi automatski instrumenti mjerili na plutačama u okviru zadane točnosti, opsega rezolucije i perioda skeniranja.

Naravno, uz povećanje tehnološke razine pomorsko-meteorološke sigurnosti na Jadranu, važno je akolovati i povećati broj pomorskih meteorologa u PMC u Splitu, kako bi pripravno i sigurnije uplovili u novo tisućljeće u uvijek promjenljivo i često na Jadranu opasno, ali predvidljivo meteorološko vrijeme.

Poboljšavanje pomorsko-meteorološkog motrenja na Jadranu jača sigurnost plovidbe kao i druge pomorske aktivnosti. Pojedinih valovi na otvorenom moru mogu doseći visinu višu od 10 metara i za vrijeme juga i za vrijeme sjeverozapadnog vjetrova. Uvjeti na Jadranu ato se tiče valova i vjetrova mogu biti vrlo teški. To je postavljanje pomorsko-meteoroloških plutača za mjerenje vremenskih parametara, u prvom redu vjetrova i valova, od prvorazredne važnosti. Ne treba posebno naglašavati da će pomorsko-meteorološki podaci sakupljeni pomoću postaja na vanjskim svjetionicima i

Tablica 2. Meteorološki parametri, posebno točnost, rezolucija i period skeniranja instrumenata na plutači za različite parametre

PARAMETAR	OPSEG	TOČNOST	REZOLUCIJA	PERIOD SKENIRANJA
TEMPERATURA ZRAKA	-40° +60° C (-35° +45° C)	±0,2° (1° C)	0,1° (0,5° C)	30 sek
TEMPERATURA MORA	-10° +30° C (-5° +30° C)	±0,2° (0,5° C)	0,1° (0,2° C)	60 sek
VJETAR SMJER	0-360°	±5° C (15° C)	2	1 sek
VJETAR BRZINA	0-60 m/sek	±0,2 m/sek	0,1	1 sek
MAX. UDAR VJETRA	60 m/sek	±0,2 m/sek (1,5 m/sek)	0,1	1 sek
OBORINE	0-250 mm	0,1	0,1	1 sek
RELATIVNA VLAŽNOST	5-100%	1° C	0,5	30 sek
TLAK ZRAKA	900-1000 hPa	±0,1 (±0,3)		60 sek
ZRAČENJE	0-500 Jm ⁻²	±0,1	0,1	30 sek
VISINA VALOVA	0-15 m	±0,1 m	0,01 m	1 sek

U zagradi su podaci za instrumente sa plutače VASALA

plutačama povećati sigurnost plovidbe, te poboljšati lokalne i regionalne vremenske prognoze.

Postavljanje motrilačkih plutača koje mjere temperaturu i tlak zraka, smjer i brzinu vjetra, temperaturu mora, valove i struje i njihova integracija s automatskim postajama na svjetionicima u sustavu Pomorske meteorološke službe važna je i za prognostičku službu, ali i za oceanografe, ihtiologe, hidrologe i druge.

Pozornost prema daljinskim motrenjima kao što su sateliti, usidrene i neusidrene plutače, danas uvelike koriste meteorolozi i oceanografi diljem svijeta. Ta su sredstva razvijena u zadnjim desetljećima. Bez njih uglavnom ne bi bilo podataka s prostranih morskih i oceanskih područja koje rijetko posjećuju brodovi. Ona su omogućila mnoga unapređenja u pomorskim znanostima i vremenskoj prognozi, a time i u zaštiti na moru koja su postignuta u zadnjim desetljećima. Tako dobiveni izvještaji koriste se često u meteorološkim i oceanografskim znanstvenim projektima i programima za razumijevanje sustava atmosfera -more. Najviše se koriste u operativne svrhe na pr. uključujući praćenje povrainskog i ispod površinskog kretanja zagađenja (kao ato su naftne mrlje) i kao podraka pomorskim meteorološkim službama. Na primjer, barometarski tlak te brzina i smjer vjetra su od najveće važnosti za analizu i prognozu vremena, i oni su komplementarni jedan drugome. Temperatura morske površine je također važna za analizu i prognozu vremena, a iznimno je važna za ribarstvo, određivanje temperaturnih profila mjerenja, klimatska istraživanja itd. Temperatura zraka je važ-

na za programe u vezi s klimom i međudjelovanje zrak/more. Motrenja valova važna su za sve vrste pomorskih korisnika.

3. Zaključak

Važnost pomorskih meteoroloških prognoza i uloga prognostičara u interpretaciji iskazanih rezultata prognostičkih modela i dalje će biti značajan element u sustavu meteorološke sigurnosti na Jadranu. Razvoj u motrenju i izvještavanju, dostupnost meteoroloških podataka, daljnji napredak u numeričkom modeliranju te edukacija novih pomorskih meteorologa osigurat će da pomorska meteorologija nastavi preuzeti značajan i rastući doprinos sigurnosti i dobrobiti zajednice na Jadranu, kako bi se morska vodna bogatstva i prednost plovidbenih morskih puteva još bolje iskoristili u budućnosti. To je izuzetno važno i u ribarstvu, marikulturi, nautičkom turizmu i drugim djelatnostima.

Lakše je, možda, riješiti tehničke probleme oko motrenja i dugoročnog prognoziranja, a teže one koji spadaju u područje ekonomske politike i financiranje zapošljavanja novih pomorskih meteorologa.

Nadam se da će PMC u okviru DHMZ i s naputcima WMO i CMM uspješno rješavati kako probleme motrenja na Jadranu tako i valjanost prognoza za kraći, ali i za dulji period kroz svjetski prognostički i klimatološki program.

Jednog će dana, možda, satelitski sustav za daljinska motrenja riješiti glavne probleme oko motrenih podataka. Do tada nužno je poboljšati prizemni pomorski meteorološki sustav motrenja na Jadranu uvođenjem automatskih postaja na svjetionicima, plutačama i na neautomatiziranim pomorsko-meteorološkim postajama. Time bi se u okviru djelatnosti vezanih za osnovne sustave motrenja i pomorska meteorologija učinkovitije razvijala pomorsko meteorološki sustav sigurnosti i zaštite nakon više od 140 godina uspješnog rasta i djelovanja u području vremenske sigurnosti na moru i istraživanja klimatskih obilježja važnih za život ljudi.

Literatura

- Dadić V. i drugi: Automatska meteorološko-oceanografska stanica (AMOS), Vijesti-Pomorsko meteorološkog centra, God. XXXIII, 1987, Split.
- ESA: Wind and Wave Forecasting, BR-128/I, Nordwijk, 1995, Nizozemska.
- Hodžić M.: Meteorologija u službi pomorstva, Jadranska meteorologija, Br. 1., PMC, 1997, Split.
- Hodžić M.: Pomorska meteorološka služba i Pomorski meteorološki centar -Split, Jadranska meteorologija, Br. 2. PMC, 1998, Split.
- Hodžić M.: Pomorska meteorološka služba na Jadranu, 50. godina Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ), 1988. Zagreb.
- Dekka Jaru: Three in-One Transmitter for PTU Measurements, Vaisala News 148: 1998. Helsinki.
- Walker J. M.: Compedium of lecture notes in Marine Meteorology for class III and IV personer, WMO-No 434, 1991. Geneve.
- WMO: Prccedings – WMO technical conference on automation of marine observations and data collection, report No. 7, 1981, Geneve.
- WMO: Observing and Words Enviroment: Weather, Climate and Water, 1994., Geneve.

Autor

Dr. sc. Milan Hodžić

Pomorski meteorološki centar, Državni hidrometeorološki zavod, Glagoljaška II, Split

e-mail: hodzic@cirus.dhz.hr



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.–22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.02.

Najvažniji meteorološki singulariteti na južnom Jadranu

Milan Sijerković, Ksenija Zaninović

SAŽETAK: U radu su razmatrana posebna obilježja godišnjeg hoda ponajvažnijih klimatskih elemenata temperature zraka i količine oborine na južnom Jadranu. Analiza se zasniva na podacima vremenskih opažanja na meteorološkoj postaji u Dubrovniku u razdoblju 1980.–1995. godine. Obilježja godišnjeg hoda određena su prema prosjecima srednje dnevne temperature zraka i dnevne količine oborine u petodnevним razdobljima. Uočena je prisutnost otprilike dvadesetak prepoznatljivih poremećaja u godišnjem hodu koji se mogu smatrati klimatskim događajima. Oni očituju činjenicu da se oko pojedinih nadnevaka zamjećuju, češće ili izrazitije nego kod drugih, karakteristične vrste ili promjene vremena, što se nazivaju meteorološkim singularitetima. Prisutnost takvih klimatskih događaja može se povezati s karakteristikama opće atmosferske cirkulacije na južnom Jadranu. Na njih upozoravaju i brojne izreke iskustvene, pučke meteorologije.

KLJUČNE RIJEČI: klima, meteorološki singulariteti, temperatura zraka, južni Jadran

Major Annual Climatic Events in the Southern Adriatic

SUMMARY: The paper discusses special characteristics of the annual trends in the most important climatic features, i. e. the air temperature and precipitation amount in the Southern Adriatic. The analysis is based on the weather monitoring data acquired at the Dubrovnik Station during the period 1980-1995. Annual trend characteristics are determined from the mean daily air temperature averages and daily precipitation amounts for a five-day periods. Some twenty distinct deviations are detected in the annual trend which might be considered as climatic events. They show that some dates have attributed to them more frequent and pronounced weather types and changes called meteorological singularities. Presence of such climatic events may be related to the characteristics of the general atmospheric circulation in the Southern Adriatic. They are often vividly reflected in numerous proverbs of empirical folk meteorology.

KEYWORDS: climate, meteorological singularities, air temperature, Southern Adriatic

1. Uvod

Atmosferski procesi zauzimaju važno mjesto u procesu kruženja vode u prirodi. Stoga su vrijeme i klima, koji su posljedica interakcije atmosfere s litosferom, hidrosferom, kriosferom i biosferom, višeznačno povezani s hidrologijom i različitim oblicima gospodarenja vodama. U tome smislu i istraživanje vremena i klime na Jadranu pridonosi razumijevanju brojnih procesa međudjelovanja između atmosfere i Jadranskog mora.

Istraživanja klime južnog Jadrana prilično su oskudna. Iz pojedinih dosadašnjih radova (Škreb i suradnici, 1942.; Makjanić i Volarić, 1989.) može se zaključiti da to područje ima suho, vedro i vrlo toplo ljeto, te blagu i kišnu zimu. Prema poznatoj Köppe-

novoj klasifikaciji klime, koja se zasniva na karakteristikama godišnje raspodjele temperature i oborine, to je etezijski ili sredozemni tip klime, koji se prema raslinstvu označava i "klimom masline".

Analiza klimatoloških podataka u vremenskim jedinicama kraćim od uobičajenih mjesec dana, kao što su to desetodnevlje, petodnevlje ili samo jedan dan, proširuje naša saznanja o klimatskim obilježjima. Tako se otkriva prisutnost "poremećaja" u naizgled pravilnom godišnjem hodu, koji se zamjećuju oko pojedinih nadnevaka u godini. Takvi se klimatski događaji nazivaju "meteorološki singulariteti".

Meteorološki singulariteti u nas rijetko su istraživani. Prvi temeljitiji rad o tome potječe iz 1952. (Vernić). Dosad su istraženi singulariteti i u pojedinim dijelovima hrvatskog primorja, prema vremenskim opažanjima u Hvaru (Vujević, 1948.), Puli (Juras, 1965.), na otoku Mljetu (Sijerković i Milković, 1995.), na Kornatima (Sijerković i Zaninović, 1997.) i u Rijeci (Sijerković i Zaninović, 1998.). Na prisutnost singulariteta upozoravaju i brojne izreke u pučkoj meteorologiji (Sijerković, 1996.).

U ovome radu pozornost je posvećena petodnevni singularitetima ponajvažnijih klimatskih elemenata temperature i oborine. Njih je jednostavnije i pouzdanije identificirati nego pojedinačne (dnevne), pa je zato i njihova praktična uporabivost veća.

2. Podaci i metoda istraživanja

Za istraživanje meteoroloških singulariteta na južnom Jadranu upotrijebljeni su podaci vremenskih opažanja, i to temperature i tlaka zraka te količine oborine, na meteorološkoj postaji u Dubrovniku.

Istraživanje se zasnivaju na podacima u 16-godišnjem razdoblju 1980.–1995. koji su bili na raspolaganju za odgovarajuće statističke obrade. Podaci se temelje na mjerenjima u tzv. klimatološkim terminima, u 7, 14 i 21 sat prema srednjem mjesnom vremenu.

Na osnovi takvih mjerenja izračunane su srednje dnevne vrijednosti temperature i tlaka zraka za svaki dan u naznačenom razdoblju, kao i njihovi višegodišnji prosjeci, uključujući i one za dnevne količine oborine. Iz takvih dnevnih prosjeka za svaki dan u godini izračunani su srednjaci temperature i tlaka odnosno ukupna količina oborine u petodnevni razdobljima. Izabrana su uzastopna razdoblja koja se ne preklapaju: 1.–5.; 6.–10.; 11.–15.; 16.–20.; 21.–25. u svakome mjesecu, dok je zadnje razdoblje bilo nejednake duljine, ovisno o duljini mjeseca.

Pozornost je usmjerena na istraživanje temperaturnih singulariteta, jer su oni karakteristični i vrlo zorni pokazatelji najvažnijih vrsta vremena i vremenskih promjena tijekom godine. Oborina je smatrana dopunskim obilježjem, potrebnim radi dobivanja cjelovitije predodžbe. Petodnevni srednjaci tlaka upotrijebljeni su pri tumačenju naravi i uzroka singulariteta, kao najjednostavniji pokazatelji karakteristika opće atmosfere cirkulacije.

Mjerila za određivanje petodnevni temperaturnih singulariteta bila su prilično jednostavna. Temperaturnim singularitetom smatrano je: (1) sniženje temperature (zahladnjenje) ili (2) izostanak temperaturne promjene (zaustavljeno zatopljenje) u razdoblju općeg porasta temperature, odnosno (3) porast temperature (zatopljenje) ili (4) izostanak promjene (zaustavljeno zahladnjenje) u razdoblju općeg sniženja temperature. Promjene temperature određivane su kao razlika uzastopni petodnevni srednjaka. Razdoblje općeg porasta (sniženja) temperature određeno je prema razmjerno pravil-

nom hodu mjesečnih srednjaka temperature, od njegova minimuma (u siječnju) do maksimuma (u kolovozu) i obratno. Valja istaknuti da se položaj maksimuma u promatranom nizu razlikuje od onoga u prijašnjim klimatološkim istraživanjima (Škreb i suradnici, 1942.; Makjanić i Volarić, 1989.), kada je bio u srpnju. Početak razdoblja porasta temperature računat je od najhladnijeg petodnevlja u najhladnijem mjesecu, a početak razdoblja sniženja od najtoplijeg petodnevlja u najtoplijem mjesecu.

3. Rezultati i rasprava

Svi petodnevni poremećaji u godišnjem hodu temperature zraka u Dubrovniku, a kojima su prema naznačenim mjerilima pridijeljena obilježja singulariteta, prikazani su u tab. 1. Petodnevne količine oborine i srednjaci tlaka naznačeni su u tab. 2. i tab. 3.

U godini je prisutno ukupno 19 petodnevnih temperaturnih singulariteta. To znači da je prosječno svako četvrto petodnevlje specifično, odnosno da odstupa od pravilnog godišnjeg hoda temperature.

Siječanjski singulariteti zahladnjenja u drugom, četvrtom i šestom petodnevlju posljedica su prodora hladnog zraka iz sjevernijih krajeva Europe i pojačanog noćnog radijacijskog ohladnjivanja u uvjetima anticiklonalnog vremena. Drugo petodnevlje, koje je najhladnije u siječnju, sadrži i pojedinačni singularitet najhladnijeg siječanskog dana 8. siječnja (srednja dnevna temperatura 7,8 °C). Taj je singularitet prisutan i u drugim krajevima primorja (i to kao najhladniji dan u godini). U puku ga povezuju s hladnim vremenom i jakom burom o blagdanu Sveta tri kralja (6. siječnja). Ta je klimatska obavijest sadržana u izrekama: "Tri kralja, prvo bez mesa nego bez bure", "Vodokršće, i pop dršće".

I u veljači se zamjećuju tri petodnevna singulariteta. Slabo zahladnjenje početkom mjeseca povezano je s anticiklonalnim vremenom i radijacijskim ohladnjivanjem. Najvažniji singularitet je zamjetno zahladnjenje u trećem petodnevlju. Posljedica je veće čestote i aktivnosti razvijenih ciklona koje se tada premještaju Jadranom (Čatlak i Penzar, 1975.; Šinik, 1970.), što potiču advekciju hladnog zraka iz sjevernijih krajeva Europe (Lončar i Bajić, 1994.). Tada je u Dubrovniku najmanji pentadni srednjak tlaka u zimi, a zamjećuje se i povećanje količine oborine. Zahladnjenje se nastavlja, premda manje intenzivno, i u sljedećem, četvrtom petodnevlju, koje je najhladnije petodnevlje u godini. Njemu pripada i pojedinačni singularitet najhladnijeg dana u godini (16. veljače, srednja dnevna temperatura 7,7 °C). Povratak zime u veljači zamjećuje se i u drugim jadranskim područjima.

U ožujku su prisutna dva singulariteta. Prvi je zaustavljeno zatopljenje u drugome petodnevlju. Povezan je s advekcijom hladnog zraka i porastom tlaka nakon ciklonalne aktivnosti u prvom petodnevlju. Drugi je singularitet malo zahladnjenje u zadnjem petodnevlju. Povezan je s povećanom količinom oborine i s ciklonalnom aktivnosti (najniži pentadni tlak u ožujku), osobito početkom petodnevlja, kada je (27. ožujka) pojedinačni singularitet najnižeg tlaka u godini. Ta dva singulariteta mogu se prepoznati u pučkom vjerovanju o "tri marćane bure" (obično se naznačuju 7., 17. i 27.). Ne zamjećuju se drugdje u primorju, odnosno samo se naslućuju prema usporenom zatopljenju.

Singularitet zahladnjenja u trećem travanjskom petodnevlju povezan je s najmanjim desetodnevnim srednjakom tlaka u godini (drugo desetodnevlje) i maksimalnom vjerojatnošću utjecaja ciklona (Šinik, 1970.). S obzirom na to, ali i na prikladni položaj

anticiklona, povećana je advekcija hladnog zraka, uz tzv. vjetrovni režim vremena (Lončar i Bajić, 1994.).

Singulariteti malih zahladnjenja u četvrtom lipanjskom i trećem srpanjskom petodnevlju, kao i umjereno zahladnjenje u zadnjem srpanjskom petodnevlju posljedica su "europskog ljetnog monsuna", odnosno prodora vlažnog i svježeg zraka s Atlantskog oceana nakon prolaza hladnih fronta. Lipanjski se singularitet donekle zamjećuje i povećanom količinom oborine.

Prvo petodnevlje u kolovozu najtoplije je u godini, a njemu pripadaju i pojedinačni singulariteti najtoplijih dana u godini (3. i 4. kolovoza, sa srednjom dnevnom temperaturom 26,5 °C). Karakterističan je i singularitet zatopljenja u trećem petodnevlju, premda bi on mogao pripadati skupini tzv. posrednih singulariteta, jer je dijelom posljedica zahladnjenja u proteklom petodnevlju. Ipak, naznačena razdoblja topline u prvoj polovici kolovoza (najtoplijih 15 dana u godini) mogu se protumačiti kao posljedica prevladavanja tzv. radijacijskog režima (Lončar i Bajić, 1994.) u uvjetima bezgradijentnog polja visokog tlaka. To omogućuje posebice izrazit utjecaj topline mora (njegova je temperatura najviša u kolovozu) na temperaturu zraka. Tome pripomaže i odsutnost izrazitih prodora oceanskog zraka u tome dijelu kolovoza (Vernić, 1952.).

Malo zatopljenje u trećem rujanskom petodnevlju povezano je s razdobljem sunčanog anticiklonalnog vremena. Djelomice je posljedica prevelikog zahladnjenja potkraj prethodnog petodnevlja, kada se zamjećuje prvo izrazito rujansko pogoršanje vremena; prema pučkom iskustvu: o Maloj Gospi (8. rujna), što navješćuje svršetak kasnog ljeta i početak rane jeseni.

U studenom se zamjećuju dva petodnevna temperaturna singulariteta: zaustavljena zahladnjenja u trećem i petom petodnevlju. Povezana su s kratkotrajnim razdobljima sunčanog anticiklonalnog vremena ("martinjsko ljeto", Sv. Martin, 11. studenoga), kombiniranih s pritjecanjem toplijeg zraka pri približavanju sredozemne ciklone. U puku je bolje zapamćeno zamjetno pogoršanje vremena u zadnjem petodnevlju studenoga, koje se povezuje s blagdanom sv. Katarine, 25. studenoga: "Sveta Kata, snig na vrata", "Sveta Kate prigna k ognju gnate".

U prosincu su prisutna dva singulariteta: zatopljenja u drugom i četvrtom petodnevlju. Prvi je singularitet slabije izražen, a posljedica je pritjecanja toplijeg zraka, okvirom "južnog vremena", uz jako jugo, kakvo se obično događa na prednjoj strani sredozemnih ili jadranskih ciklona. U puku se takvo toplo, olujno jugo obično pridjeljuje Sv. Šimunu (8. prosinca): "Sv. Šimun lomi timun", "Sv. Šime štracavela, koji dere jedra vela". Izrazitije je i važnije zatopljenje u razdoblju 16.–20. prosinca. Ono je prisutno u svima primorskim područjima. Povezano je s pojedinačnim singularitetom najtoplijeg dana u prosincu, 18. prosinca (srednja dnevna temperatura 11,3 °C). Posljedica je pritjecanja toplog zraka s juga zajedničkim djelovanjem anticiklone sa središtem u jugoistočnoj Europi i sredozemne ciklone.

4. Zaključak

Istraživanje klime na južnom Jadranu na osnovi podataka u vremenskim jedinicama kraćim od mjesec dana, u razdoblju 1980.–1995., očitovale je sljedeće rezultate:

1. Uočeni su "poremećaji", nepravilnosti u godišnjem hodu temperature zraka u usporedbi s pravilnim hodom koji se zasniva na mjesečnim vrijednostima. Većina

takvih poremećaja može se smatrati posebnom vrstom klimatskih obilježja, tzv. temperaturnim singularitetima.

2. U godišnjem hodu petodnevnih temperaturnih srednjaka zamijećeno je, sukladno definiranim mjerilima, 19 singulariteta.
Uz najhladnije petodnevlje u godini, od 16. do 20. veljače, i najtoplije, od 1. do 5. kolovoza, ističu se sljedeći petodnevni singulariteti: (1) najhladnije siječanjsko petodnevlje od 6. do 10. siječnja (nastup zime); (2) zamjetno zahladnjenje u trećem petodnevlju veljače (kasna zima); (3) zahladnjenje u trećem travanjskom petodnevlju (nestabilno rano proljeće); (4) zahladnjenje u četvrtom lipanjskom petodnevlju (početak "europskog ljetnog monsuna"); (5) zahladnjenje u zadnjem srpanjskom petodnevlju (vrhunac "europskog ljetnog monsuna"); (6) zatopljenje u četvrtom prosinačkom petodnevlju (prosinačke ciklone).
3. Uočeni temperaturni singulariteti povezani su s promjenama drugih klimatskih elemenata, kao što su to tlak zraka i količina oborine, što upozorava na prisutnost kompleksa elemenata koji čine cjeloviti klimatski događaj.
4. Prisutnost naznačenih klimatskih događaja može se povezati s obilježjima opće atmosferske cirkulacije na području južnog Jadrana. To se ponajvećma odnosi na prisutnost ciklona i anticiklona, a ljeti na utjecaj hladnih fronta pri prodorima svježeg i vlažnog oceanskog zraka.
5. Zamijećena je vremenska podudarnost većine uočenih petodnevnih singulariteta s onima što su prije istraženi u primorju, posebice u Dalmaciji. Na njihovu prisutnost upozoravaju i iskustvene pučke izreke koje kolaju južnom Hrvatskom.

Literatura

- Čatlak, M. i Penzar, B., 1975: Prilog poznavanju ciklona koje putuju Jadranom. Hidrografski godišnjak, 67–87
- Juras, J., 1965: Da li i ljeto ima svoja doba? Vijesti HMS SRH, XV, 7–8, 37–40
- Lončar, E. i Šinik, N., 1993: Neke osobine godišnjeg hoda tlaka zraka u Hrvatskoj. Hrvatski meteorološki časopis, 28, 81–88
- Lončar, E. i Bajić, A., 1994: Tipovi vremena u Hrvatskoj. Hrvatski meteorološki časopis, 29, 31–41
- Makjanić, B. i Volarić, B., 1989: Neke osobine klime Lokruma i šire okolice. Zbornik radova sa simpozija "Otok Lokrum", Dubrovnik 8–11.9 1987., Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb, 27–59
- Penzar, B., 1967: Neke osobine tipova vremena na Jadranu. Hidrografski godišnjak, 99–124
- Sijerković, M. i Milković, J., 1995: Obilježja atmosferske cirkulacije i prosječnog vremena tijekom godine na otoku Mljetu. Simpozij: "Prirodne značajke i društvena valorizacija otoka Mljeta", Pomena, otok Mljet, 4.–10. rujna 1995, 181–191
- Sijerković, M., 1996: Pučko vremenoslavlje. Otvoreno sveučilište, Zagreb, 207 str.
- Sijerković, M., Zaninović, K., 1997: Meteorološki singulariteti kao obilježja klime Kornatskog otočja. Simpozij: "Nacionalni park Kornati – Prirodna podloga, zaštita, društveno i gospodarsko valoriziranje", Murter, Tisno, Kornati, Šibenik, 2.–7. listopada 1995., Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb, 121–131
- Sijerković, M., Zaninović, K., 1998: Meteorološki singulariteti u godišnjem hodu temperature zraka u riječkom području. Znanstveni skup "Prirodoslovna istraživanja Riječkog područja", Rijeka 23.–24.10 1996., Prirodoslovni muzej Rijeka, Rijeka, 171–179
- Šinik, N., 1970: Spektralna analiza čestine prevladavajućih vremenskih tipova na središnjem dijelu istočne obale Jadrana. Hidrografski godišnjak, 89–104

Škreb, S. i suradnici, 1942: Klima Hrvatske. Geofizički zavod u Zagrebu, Zagreb, 138 str. Vernić, R., 1952: Termodinamičke karakteristike zračnih masa. JAZU, Rasprave I, 3, 1–79. Vujević, P., 1948: Meteorologija. Univerzitet u Beogradu, Beograd, 476 str.

Autori

Mr. sc. Milan Sijerković, Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, 10000 Zagreb

Mr. sc. Ksenija Zaninović, Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, 10000 Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.03.

Prostorno-vremenske razdjelnice oborina na Jadranu

Milan Hodžić, Željko Šore

SAŽETAK: Prostorno-vremenska razdioba oborina na istočnoj obali i otocima Jadrana istražena je u ovom radu na osnovi statističkih slika dobivenih KRIGING metodom interpolacije a prema podacima pomorsko-meteoroloških postaja i određenog broja postaja u zagorju Dinariada. Postaje pripadaju maritimnom režimu oborina. Rezultati su pokazali ovisnost količina oborina o orografskim karakteristikama i ciklonalnoj aktivnosti na Jadranu. Cilj ovog rada bio je utvrditi i grafički prikazati razdiobu i prostorne razdjelnice oborina na Jadranu od Savudrije do Dubrovnika.

KLJUČNE RIJEČI: oborina, putanje ciklona, klima Jadrana

Spatial and Time Divides of Precipitations in the Adriatic

SUMMARY: Space- and time-related distribution of precipitations on the Eastern coast and in the islands of the Adriatic has been analyzed in this paper using the statistical input from the maritime meteorological stations and a number of stations in the Dinarics belonging to the maritime precipitations regime. The results have shown existence of an interrelation of the precipitation amount and its spatial distribution with orographic characteristics and cyclonal activities in the Adriatic within the Adriatic synoptic climatology. The spatial divide of the precipitations in the region between the Trieste Bay and Boka Kotorska bay have been determined and graphically presented.

KEYWORDS: precipitation, cyclonal orbit, climate in Adriatic

1. Uvod

Jadransko more nalazi se u području Sredozemnog mora, u području umjerenih geografskih širina, gdje ljeti djeluje utjecaj subtropskog područja visokog tlaka (Azorska anticiklona) uvjetujući suha i topla ljeta. Zimi se Jadran nalazi pod utjecajem mediteranskih ciklona i kopnene europske anticiklone. Takav položaj u odnosu na položaje glavnih akcionih atmosferekih središta uzrokuje i razdiobu oborina. Naravno, za pojedine lokalitete količina oborina ovisi i o udaljenosti od obalne linije, udaljenosti od najbliže planine, visini nad morem.

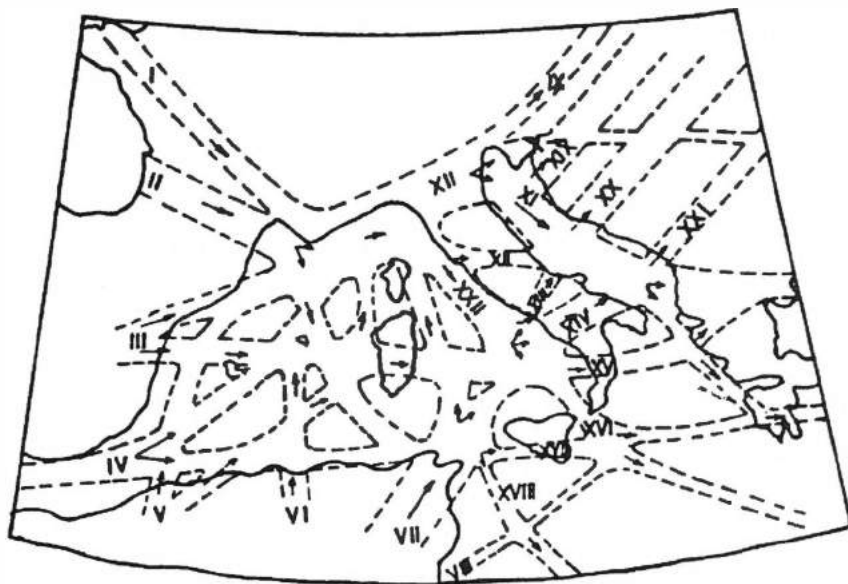
Ciklonalna aktivnost nad zapadnim i srednjim Sredozemljem omogućava prodor vlažnog i toplijeg zraka s juga na prednjoj strani ciklona, kada s juga, jugoistoka i jugozapada u jesensko-zimskom periodu donosi teške kišne oblake s velikim količinama oborina. Mediteranske ciklone su glavne donositeljice vlažne maritimne zračne mase. Glavne promjene zračnih masa na Jadranu događaju se pretežno od jeseni do proljeća.

Ljeti je vrijeme sunčano i stalnije, što je posljedica utjecaja subtropskog zraka, te Alpa i Dinarida koji djeluju kao zaštitni kišobran od vremenskih poremećaja koji u to doba godine prolaze sjevernijim stazama.

U jadranskom oborinskom sustavu maksimalne količine oborina vezane su također uz jesensko-zimske sredozemne ciklone, kada maksimum oborina pada u listopadu, studenom i prosincu. Što je maritimni utjecaj veći to se maksimum pomiče od listopada na prosinac i obrnuto. Naime, idući prema manjim geografskim širinama premješta se maksimum prema kraju godine. Sporedni maksimum oborine na Jadranu javlja se najčešće u travnju i svibnju. Minimum oborina pada u ljetnim mjesecima, u srpnju i kolovozu. Događa se da ponekad u srpnju i kolovozu ili čak u rujnu ne padne ni jedna kap kiše. Tome se pripisuju velike ljetne suše i nestašica vode u primorju, a još više na otocima.

Ukratko, oborine na Jadranu uglavnom nastaju prilikom prolaza mediteranskih ciklona preko i duž Jadrana (staze XII, X, XI, XIX, XX i XXI na Radinović-Hodžić shemi) prema slici 1. ili pak nastaju na Jadranu (ciklogeneza) s pripadnim frontalnim sustavima ili bez njih, prodorom frontalnih poremećaja u sustavu baričkih dolina ili bez njih (djeluju na vremenska zbivanja kroz cijelu godinu, a naročito zimi), te nestabilnostima koje nastaju prodorom hladnijeg polarno-arktičkog zraka prema Mediteranu u višim slojevima atmosfere. Tada može doći do odsjecanja hladne jezgre i formiranja visinskog ciklonalnog vrloga i uz oborine nastupaju grmljavine i nevere na Jadranu.

Značajan utjecaj na razdiobu oborina na Jadranu imaju Alpe, Apenini i Dinaridi koji svojom orografijom utječu na atmosfersko strujanje i kanaliziranje atmosferskih poremećaja u sjevernom i srednjem mediteranskom području. Ta gorja utječu na formiranje stacionarnih zavjetrinskih valova koji se sastoje i od dolina i brijegova pa time utječu na razdiobu oborina. Naime u prednjem dijelu stacionarnog vala nastaje isparavanje i manja vjerojatnost za kišu. Upravo takvi valovi mogu biti odgovorni za položaj vlažnijih i suhljih oborinskih razdjelnica na Jadranu. Količina oborina na Jadr-



Slika 1. Shema putanja ciklona na Sredozemlju i Jadranu.

nu u toplom dijelu godine znatno je manja od količine u zimskom razdoblju i tada je maritimnost veća. I na otvorenom moru zimska količina oborina je relativno mala, jer na otvorenom moru nema uzvišenja i dizanja, naime kondenzacije zraka, te su veći dijelovi tog područja naravno potpuno maritimni.

Na skali manjih razmjera (otoci, kanali između otoka i slično) za razdiobu količine oborina važne su i najmanje izbočine iznad mora i kopna, kao i njihov položaj prema planinama. Treba naglasiti i utjecaj mora u toj razdiobi jer ono svojim toplinskim kapacitetom i horizontalnom raspostranjenosti između otoka, otoka i obale kanalizira vjetrove koji značajno utječu na razdiobu oborina. More najviše djeluje kao izvor vlage za atmosferu i kao površina koja ne pruža veliki otpor atmosferskom strujanju.

2. Podaci o oborini upotrijebljeni u radu

Za istraživanje razdiobe oborina na Jadranu poslužili smo se podacima 48 klimatoloških i kišomjernih postaja (tablica 1.) s Jadrana i kopnenih postaja smještenih neposredno u zaleđu planina koje se pružaju duž obale. Za takvo istraživanje oborina, odlučili smo se za razdiobljje od 1981. do 1995. godine, jer smo samo za to razdoblje mogli dobiti potpuni niz podataka (godišnje, mjesečne i dnevne vrijednosti) za sve odabrane postaje. Svi su podaci kontrolirani i nalaze se u banci podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda prema napatku Svjetske meteorološke organizacije.

Tablica 1. Naziv i položaj meteorološke postaje i srednja količina oborina za razdoblje od 1981. do 1995. godine

Postaja	Nadmorska visina H (m)	Geografska		Godišnja oborina (mm)
		širina φ	dužina λ	
Biograd na moru	8	43 56	15 27	814,1
Bol	65	43 16	16 39	790,5
Cres	5	44 57	14 25	1044,0
Crikvenica	2	45 10	14 42	1247,0
Dubrovnik	52	42 39	18 05	959,4
Dubrovnik-aerodrom	164	42 34	18 16	1164,0
Govedari	30	42 47	17 22	774,1
Gospić	564	44 33	15 22	1338,8
Hvar	20	43 10	16 27	651,8
Imotski	435	43 27	17 13	1108,0
Jelsa	3	43 10	16 42	887,7
Knin	234	44 02	16 12	954,8
Komiža	6	43 03	16 42	629,1
Korčula	15	42 58	17 09	974,2
Kuna	357	42 58	17 21	1134,4
Lastovo	186	42 46	16 54	631,9

Postaja	Nadmorska visina H (m)	Geografska		Godišnja oborina (mm)
		širina φ	dužina λ	
Makarska	52	43 17	17 01	1014,4
Mali Lošinj	53	44 32	14 28	889,6
Malinska	1	45 07	14 32	1327,8
Ogulin	328	45 16	15 14	1470,6
Opuzen	2	43 01	17 34	1190,1
Orebić	6	42 58	17 10	999,5
Pag	3	44 27	15 04	942,0
Palagruža	98	42 24	16 16	222,2
Pazin	291	45 14	13 56	988,7
Ploče	2	43 02	17 25	1029,4
Poreč	15	45 14	13 36	825,2
Pula-aerodrom	63	44 54	13 55	771,8
Rab	24	44 45	14 46	1063,3
Rijeka	120	45 20	14 27	1518,8
Rijeka-aerodrom	85	45 13	14 35	1152,4
Rovinj	20	45 07	13 38	773,7
Senj	26	45 00	14 54	1160,5
Sestrice Vele	35	43 51	15 12	591,2
Silba	20	44 22	14 42	832,5
Sinj	308	43 43	16 40	1125,6
Split-aerodrom	21	43 32	16 18	842,7
Split-Marjan	122	43 31	16 26	714,3
Ston	2	42 50	17 42	1152,7
Sutivan	6	43 23	16 29	653,8
Sv. Ivan na Pučini	8	45 03	13 37	664,2
Šestanovac	240	43 29	16 55	1244,3
Šibenik	77	43 54	15 55	702,4
Vela Luka	10	42 17	16 43	749,6
Veli Lošinj	50	44 31	14 31	902,1
Vrgorac	347	43 12	17 22	1559,2
Zadar	5	44 08	15 13	837,5
Zadar-aerodrom	82	44 06	15 22	802,7

3. Metoda za grafičko prikazivanje razdiobe oborina na Jadranu

U stvarnom svijetu, nemoguće je dobiti iscrpne vrijednosti podataka oborina na svakoj željenoj točki zbog rijetke i neadekvatne mreže meteoroloških postaja. Zato je važna učinkovita interpolacija za dijagramsko dvodimenzionalno prikazivanje, analiziranje i razumijevanje podataka. U ovom radu prostorna razdioba oborina izrađene je pomoću interpolacijske KRIGING metode rešetke, korištenjem iz software-skog paketa SURFER (Surfer for Windows, Colorado, USA, 1997.). Ta se metoda pokazala vrlo korisnom u mnogim područjima, posebno u analizi polja oborine. Ona izrađuje vizualizirana polja u dvije dimenzije iz nepravilno razmještenih podataka. Kriging metoda teži izraziti tokove linija koje sugeriraju stvarni podaci. Tako na pr. visoke točke mogu biti povezane uzduž grebena, planina i otoka kao što je slučaj na istočnom dijelu Jadrana.

Riječ KRIGING je sinonim za riječi »optimalno predviđanje«. To je metoda interpolacije koja predviđa nepoznate vrijednosti iz podataka dobivenih iz poznatih lokacija. Ova metoda koristi variograme za prikazivanje varijacija i drugih izvedenih polja oborine u prostoru. Primjenom te metode u radu su prikazana prostorna polja srednjih godišnjih količina oborine, srednjeg broja oborinskih dana, srednjeg dnevnog intenziteta, vjerojatnosti i koeficijenta varijacije oborine. Dobivene vrijednosti, metoda svodi na najmanju moguću pogrešku uz pomoć prostorne raspodjele predviđenih vrijednosti. U programu KRIGING unosi se određeni broj ulaznih podataka oborine, uz procjenu niza i njegove rezolucije, koji izrađuje variograme na osnovu minimalnih vrijednosti varijacije uz uključivanje kovarijance između procijenjene vrijednosti u točki mreže i drugih točaka unutar promatranog prostora. Detaljni opis metode može se naći u radovima Langa (1993.), Olivera (1990.) i u programskog paketa Surfer (1997.).

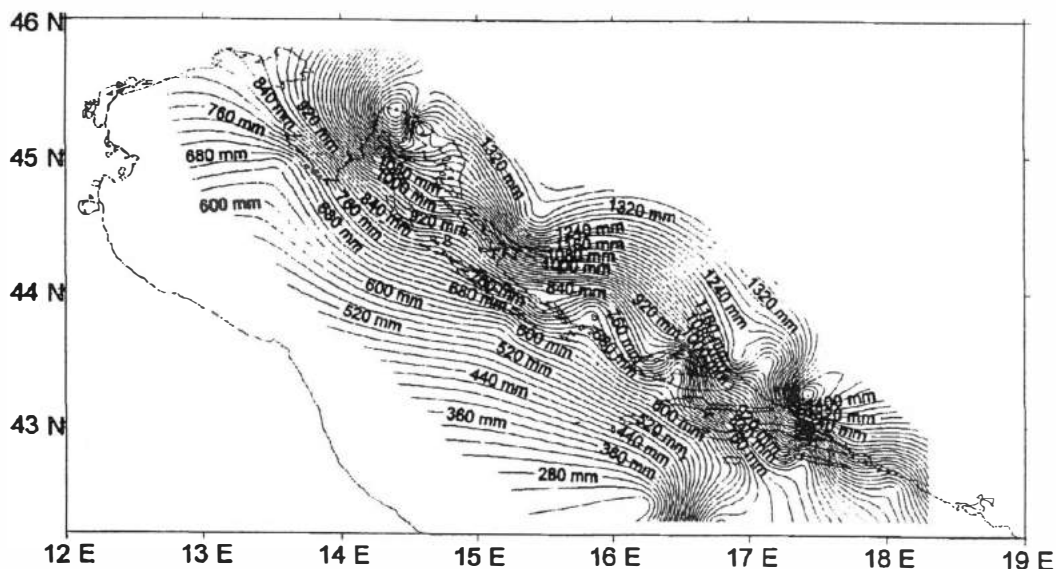
4. Rezultati

U ovom radu prikazat ćemo i analizirati prostornu raspodjelu srednjih godišnjih količina oborina, srednjeg broja oborinskih dana, srednjih dnevnih intenziteta, vjerojatnost i koeficijente varijacije, koji su dobiveni interpolacijskom KRIGING metodom.

Količine oborina najčešće se daju u prikazu godišnjih, mjesečnih i dnevnih vrijednosti. U ovom radu koristit ćemo godišnje i dnevne količine oborina.

Godišnji hod oborine daje raspored i slijed oborine kroz godinu. Na slici 2. prikazana je razdioba godišnjih količina oborine na Jadranu. Uočavaju se četiri kišnija i četiri sušnija područja; gdje su gradijenti veći (linije gušće) područje s oborinama je izraženije, a gdje su gradijenti manji, naime linije rjeđe, nalaze se područja s manje oborina.

Najveći gradijenti uočavaju se u području istočnog i sjeveroistočnog dijela Istre i Kvarnerskog zaljeva u područje utjecaja Učke, Čičarije i Gorskog Kotara te na području južno od Velebita. Treće i četvrto područje s izrazitim gradijentima nalazi se u području Mosora i Biokova. Područje s najmanjim gradijentima na Jadranu uočava se na otvorenom moru od sjevera prema jugu, na zapadnoj obali Istre. Greben s manjim gradijentom ili sušnija područje proteže se na područje od otoka Molata, Silbe i Paga prema Krku i Vinodolskom kanalu. Drugi sušni izraženiji greben širi se od otvorenog mora srednjeg Jadrana prema šibensko-rogozničkom području i rijeci Krki i jedan njegov odvojak ide zapadnim dijelom srednjodalmatinskih otoka preko Šolte do Marjana. Također se uočava i treći greben između Mosora i Biokova prema dolini Cetine, a četvrti se nazire od otvorenog mora južnog Jadrana prema području južno od Pelješca prema Dubrovniku. Na taj smo način dijagnosticirali četiri kišnija i četiri relativno

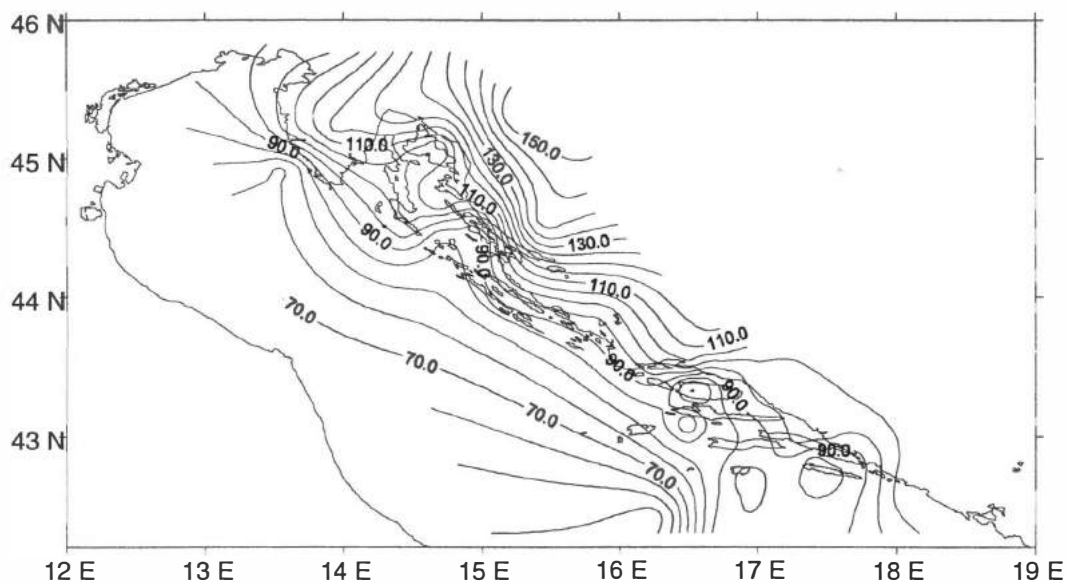


Slika 2. Srednje godišnje izohijete na Jadranu u mm za razdoblje 1981–1995.

sušnija područja. To govori o realnoj postavi o postojanju prostornih oborinskih razdjelnica na Jadranu. One vlažnije su, kako se vidi, povezane u prvom redu s položajem orografskih prepreka na strujanja u atmosferi, a koja su povezana naročito s kretanjem sredozemnih ciklona. Ipak, najizrazitija sušna linija ili greben uočava se od otvorenog mora prema šibenskom-rogozničkoj ploči (RT Ploče) jer na tom području nema izrazitih orografskih prepreka na strujanje zraka.

Položaj izraženijeg gradijenta nad sjeveroistočnim dijelom Istre i Kvarnersko-Riječkim zaljevom vezana je s jedne strane s blizinom Alpa, a s drugom blizinom Čičarije, Učke i Velebita koji djeluju kao modifikatori i generatori vjetrova te na zračna strujanja, koja znači zbog orografskih efekata utječu na razdiobu oborina koja se povećava i zbog dizanja zračni masa i njihove kondezacije uz ispuštanje oborina. Drugi je razlog što tu prolaze ciklone na stazi IX, X i XI upravo i zbog takve konfiguracije uglavnom u proljeće i jesen na putu sa Ligurskog mora preko sjeverne Italije prema srednjoj Europi. Zimi se ciklone više gibaju južnije i duž Jadrana, a ljeti sjevernije od našeg područja.

Čestina oborinskih dana pripada važnim pokazateljima klime jednog kraja i prikazana je na slici 3. Uočava se kako se čestina dana s oborinom smanjuju od sjeverozapada prema jugoistoku, i od sjevera prema jugu. Moguće je da se u istom smjeru količina povećava za pojedine djelove otoka bliže obali i planinama jer se i intezitet oborina u istočnom dijelu (na pr. srednjodalmatinskih otoka) zbog toga povećava. Veća količina oborina u tom slučaju nastaje zbog blizine planinske barijere i pojačanog dizanja i kondezacije vlažnog zraka u blizini Mosora i Biokova. Oborina je zbog istaknute orografije duž Jadrana vrlo varijabilni element i godišnje količine mogu varirati iz godine u godinu u širokim granicama. Najveći broj dana s oborinom imaju područja u Riječkom zaljevu, istočnom i sjevernom dijelu Istre, južno od Velebita i u području Mosora i Biokova te sjevernije, u kopnenom području od obalne linije.



Slika 3. Izohijete oborinskih dana na Jadranu za razdoblje 1981–1995.

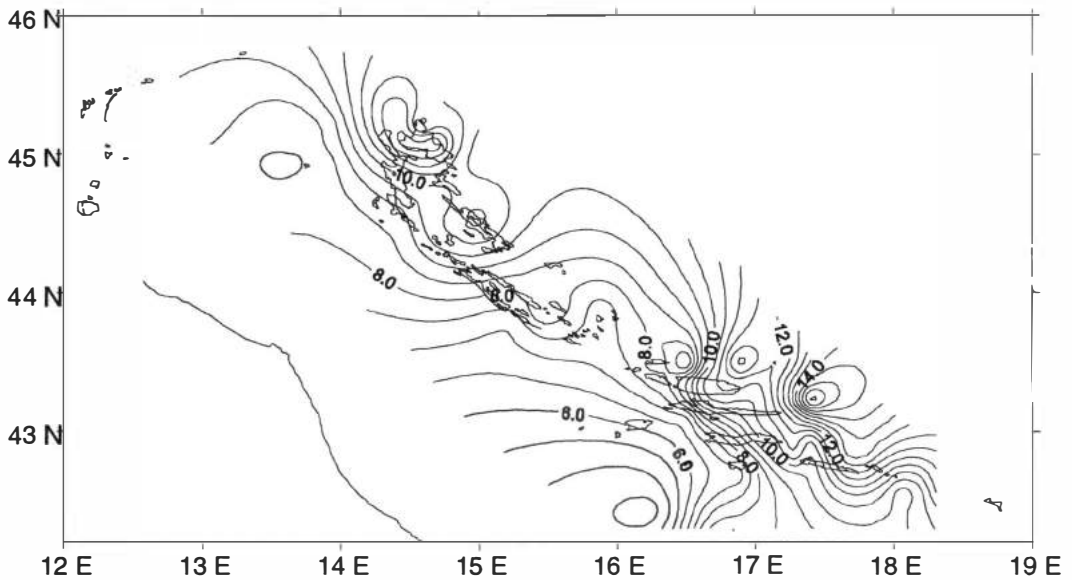
Grafička razdioba srednjeg dnevnog inteziteta u području sredozemnog režima slijedi uglavnom krivulje godišnjeg hoda količine i čestine oborina.

Najveći srednji dnevni intezitet oborine imaju jesenski mjeseci, a najmanji proljetno-ljetni mjeseci osim gorskih predjela gdje su znatno veći. Najmanje intezitete imaju vanjski otoci, otvoreno more i područje rogozničkog platoa. (slika 4.). Općenito se može reći da srednji dnevni intezitet oborine opada idući u smjeru unutrašnjosti kopna (kontinentalni utjecaj). Na slici je vidljivo da se najveći inteziteti uočavaju u području Riječkog zaljeva i istočnog dijela Istre, Velebitskog područja i Mosorsko-Biokovskog područja. Najmanji se bilježe od otvorenog mora srednjeg Jadrana prema šibensko-rogozničkom području. U godišnjoj razdiobi inteziteta oborine na Jadranu uočava se pravilnost u razdiobi od manjih prema višim iznosima u skladu sa geografskom širinom i blizinom orografije.

Na slici 5. prikazana su polja izohijeta maksimalnih dnevnih količina oborina. Na njoj se uočavaju tri izrazita područja sa zatvorenim izohijetama, gdje se pojavljuju maksimalne količine oborina na Jadranu. Središte jednog nalazi se u Riječkom zaljevu, drugo u području južnije i neposredno uz Velebit i treće u području Biokova. Sva tri područja vezana su uz glavne orografske prepreke: Učka i Čičarija, Velebit i Biokovo. Manje količine nalaze u područjima bez izrazitih planinskih prepreka: zapadna obala Istre, južniji Kvarnerski otoci, otvoreno more oko Palagruže i prema Rogozničkom platou i u području južno od Lastova prema Dubrovniku.

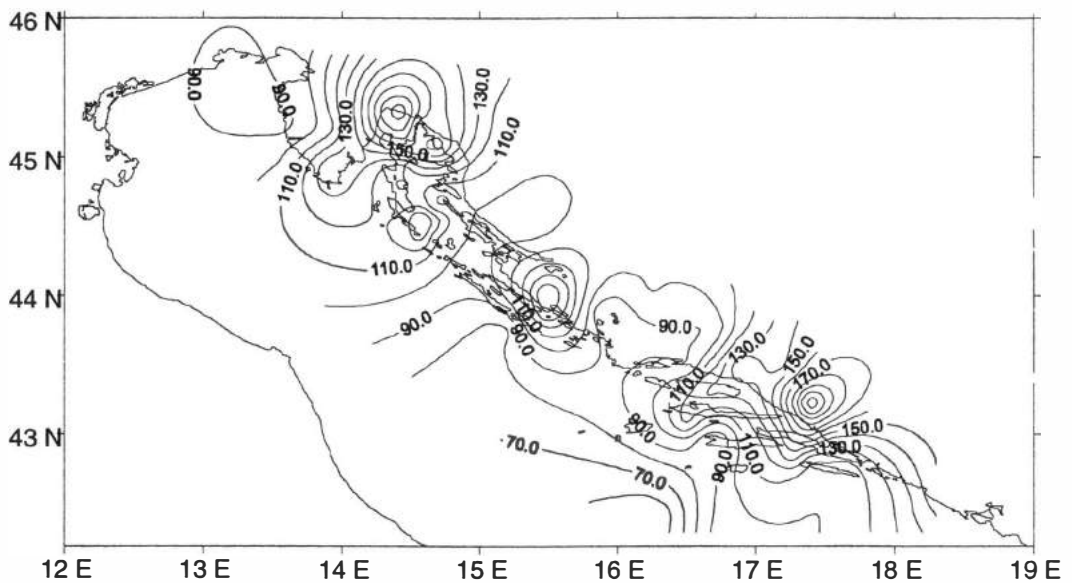
Navedimo da su maksimalne dnevne količine na Jadranu zabilježene od 300–400 mm i najčeće se javljaju u mjesecima oko maksimuma mjesečne količine oborina i u područjima maksimalnih iznosa kao što se vidi na slici 5.

Koeficijent varijacije (omjer standardne devijacije i srednje vrijednosti) je zorna mjera za promjenljivost količina oborine. Krajevi s relativno rijetkom pojavom oborine imaju obično i relativno veće vrijednosti koeficijenta varijacije i obrnuto, kao što se

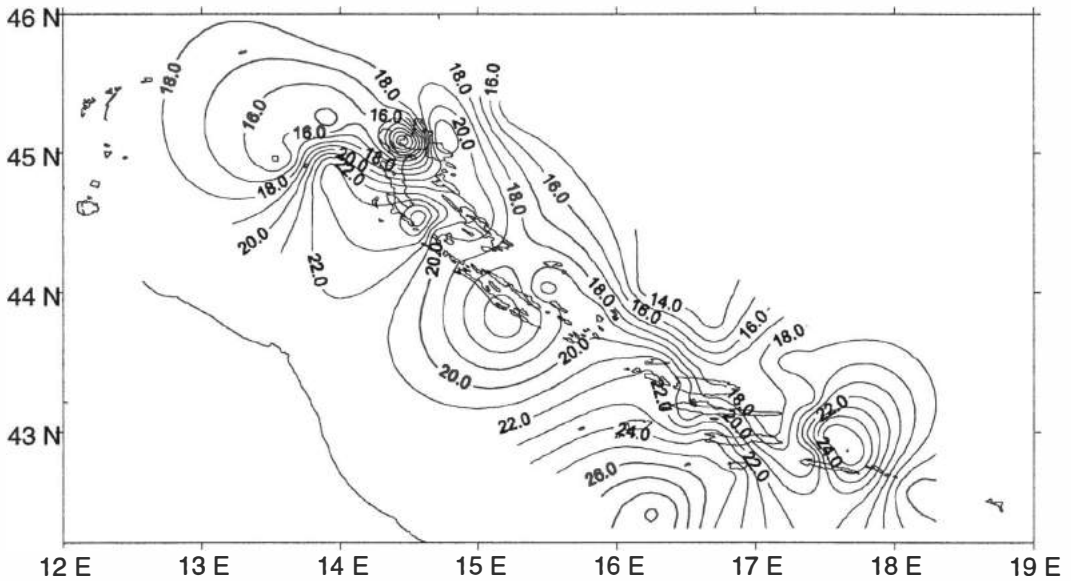


Slika 4. Srednji dnevni intenzitet oborina na Jadranu u mm za razdoblje 1981–1995.

vidi na slici 6. Najveći koeficijenti uočavaju se na otvorenom moru srednjeg Jadrana u tzv. sušnom grebenu koji se širi prema šibensko-rogozničkoj okolici sa zamjetljivim krakom prema srednjo-dalmatinskim kanalima i pripadnim zapadnim djelovima pojedinih otoka. To smanjenje količine oborine povezano je područjima bez orografskih prepreka i najvjerojatnije sa stacionarnom visinskom dolinom u kojoj dolazi do isparavanja oblaka. Bez kišne zone ili zone s manjim količinama zamjećuju se u kanalima



Slika 5. Izohijete maksimalnih dnevnih oborina na Jadranu za razdoblje 1981–1995.



Slika 6. Koeficijenti varijacije godišnjih količina na Jadranu za razdoblje 1981–1995.

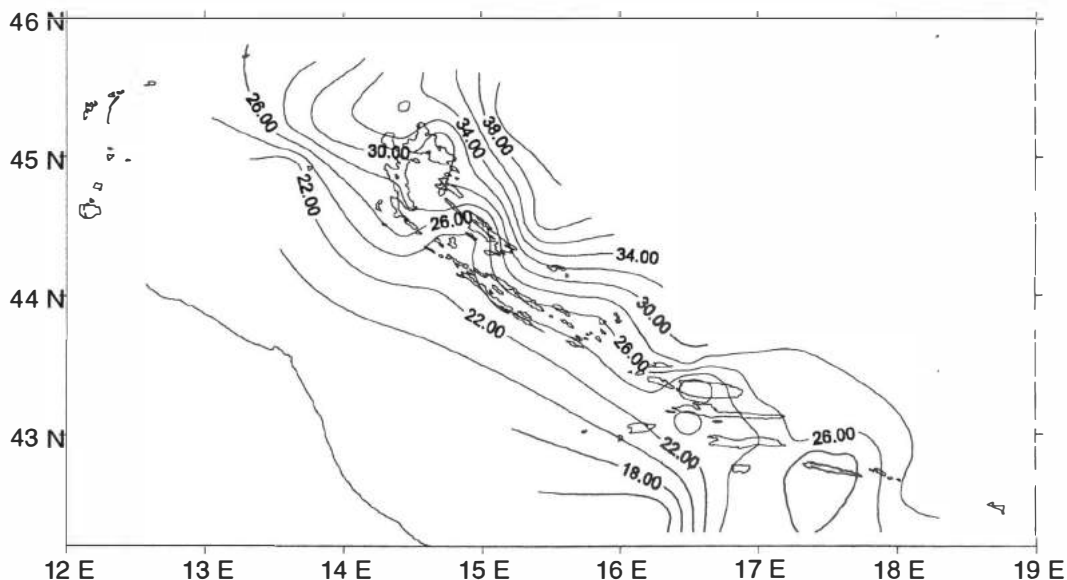
i na sjevernim stranama otoka koje su udaljene od planinskih prepreka. Najmanje brojčane vrijednosti koeficijenta varijacije zabilježeni su u području sjeverno od Pelješca prema Biokovu, kornatskom otočju, Riječkom zaljevu i na istočnom dijelu Istre, te prema unutrašnjosti kopna što je sukladno s položajem maskimalnih količina oborina. Najveće gradijente zapažamo na području istočni Pelješac-Biokovo-Dubrovnik, Riječki zaljev – jugoistočna Istra te područje Braća prema Mosoru i Svilaji što opet upućuje na položaj razdjelnica na Jadranu.

Jadran ne leži u tijeku cijele godine u istom pojasu atmosferske cirkulacije, veći dio godine nalazi se u pojasu umjerenih širina. Ljeti se cirkulaciononi pojas pomiče prema sjeveru, te tako veći dio Jadrana ulazi u južniji suprotroski pojas. To je područje stalnog tlaka bez atmosferskih poremećaja što uzrokuje suha razdoblja bez kiše veliki (koeficijent varijacija).

Planine Učka, Čičarija, Velebit, Mosor, Svilaja, Dinara, Kamešnica i Biokovo, Lovćen i Orjen i ostale planine na prijelazu iz obalnog pojasa u unutrašnjost kopna značajno utječu na razdiobu oborine, a tako i na oblikovanje klime Jadrana.

Klima Jadrana posebno njegov južniji dio obiluje vrućim, vedrim i suhim ljetom s izrazitim maksimumom oborina (mali koeficijent varijacije) na prijelazu iz jeseni u zimu. To je značajka mediteranske ili toplo umjerene klime s blagom zimom jer se Jadran nalazi u oceanskoj varijanti sredozemne klime.

Položaj Jadranskog mora, planine u blizini, položaj otoka i kanala, njihova orijentacija u prostoru, sve to utječe na klimu pojedinih lokaliteta naime na količinu i intezitet oborine. Zbog toga se na Jadranu izmjenjuju sušniji i kišovitije razdjelnice od sjevera prema jugu i od otvorenog mora preko otoka i kanala kao i po njihovoj dužoj osi. U primorskom uskom pojasu raspodjela oborine je znatno manja nego porastom visine u obalnim planinama. Takvo smanjenje količina oborina proteže se dublje u kopno dolinom rijeke Krke i Neretve gdje se izrazito osjeća maritimni utjecaj.



Slika 7. Vjerojatnosti oborina za godinu na Jadranu za razdoblje 1981–1995.

Promatranjem profila oborina (slika 7.) pomoću vjerojatnosti godišnjih količina u%, vidi se da sušnost naših otoka opada od otvorenog mora prema obali i da raste od sjevera prema jugu. Najmanja vjerojatnost uočava se na otvorenom moru, izraženije na srednjem Jadranu. S toga područja širi se sušna dolina prema zapadnim dijelovima srednjodalmatinskih otoka i prema šibensko-rogozničkom kraju. Drugo područje s manjim vjerojatnostima nalazi se od otvorenog mora sjevernog Jadrana prema trokutu Silba, Dugi Otok i otok Pag i treće područje s nižim vrijednostima nalazi se u dolini koja s juga širi prema zapadnoj obali Istre. Najveće vjerojatnosti nalaze se u skladu s dosadašnjim slikama oborina i izvedenih polja u području Riječkog zaljeva, istočnog dijela Istre, Velebitskog područja, Mosorsko-Biokovskog područja i naravno prema kopnenom zaleđu.

5. Zaključak

Za klimatske oborinske osobine Jadrana bitan je okolni reljef. Visoke planine Dinariidi, Alpe i Apenini koje okružuju Jadransko more utječu na povećanje oborina. One rastu od sredine Jadrana prema našoj obali, a što se uočava na svim grafičkim prikazima izvedenih numeričkih polja oborina na Jadranu. Prikazana polja dobivena su pomoću interpolacijske metode KRIGING. Razmatranjem geografskih profila sjever-jug ili zapad-istok uočavaju se prostorne razdjelnice oborina na Jadranu, po kojima se uočava da maksimalna količina oborina pada na područjima uz i blizu planina. Naša obala, na pr. uz područje Biokova i Učke ima manju sušu od ostalog dijela. Naši južni otoci imaju veću sušu od sjevernih. Broj kišnih dana opada od sjevera prema jugu. Pada u oči veći broj kišnih dana na Kvarnerskim otocima, a što je u vezi s čestim ciklonama koje tamo prolaze, ali i zbog povoljne orografije. Zbog toga južnji dio Jadrana i otoci imaju izrazitiju mediteransku klimu od otoka na sjeveru.

Položaj Jadrana i utjecaj i blizina planina, posebno duž obalnih planina od Učke i Čičarije, Velebita preko Mosora i Biokova, djelotvornost ciklonalne mediteranske aktivnosti, položaj otoka i kanala te njihova udaljenost od obale i otvorenog mora imaju presudnu ulogu u smještanju oborinskih razdjelnica na Jadranu.

Prema grafičkim prikazima izvedenih oborinskih parametara u numeričkim poljima: godišnji hod oborine, čestina oborinskoh dana, srednji dnevni intezitet, maksimalne dnevne količine, vjerojatnost oborina i koeficijent varijacije. Njihovim analizama utvrđene su i definirane oborinske razdjelnice na Jadranu kako vlažnijih tako i sušnijih područja što je bio cilj istraživanja u ovom radu.

Određeni su položaji mokrih oborinskih razdjelnica; jedna se proteže duž istočnog dijela Istre i Riječkog zaljeva, druga u području istočnog Velebita i južno od Velebita, treća se nalazi na području Mosora i Biokova koja se uvjetno može podijeliti u dvije odvojene, pa bi tada ukupno bilo četiri mokre razdjelnice.

S obzirom na sušna područja na Jadranu detektirane su dvije glavne sušne razdjelnice, prva i glavna ide u obliku sušnog grebena od otvorenog mora srednjeg Jadrana prema šibensko-rogozničkom području, druga razdjelnica pruža se od otvorenog mora sjevernog Jadrana prema otocima Premudi i Silbi i dalje prema zapadnom dijelu otoka Paga i prema Rabu te Vinodolskom kanalu. Također su prepoznate i tri slabije sušne razdjelnice, jedna se nalazi južno od Neretve prema Dubrovniku i druga između planina Mosora i Biokova i treća prolazi zapadnim dijelom Istre.

Na kraju treba naglasiti da bi slika razdjelnica bila potpunija kada bi se, u buduću, u istraživanja uvrstili razmatranja i podaci sa zapadne obale Jadrana (Italija), crnogorskog i albanskog primorja, jer smo u ovom radu razmatrali radjelnice isključivo na istočnom dijelu Jadrana od portoroškog zaljeva do Dubrovnika.

Literatura

- Hodžić M., 1988: Dugi težinski valovi uzrokovani ciklonama i slobodne zaljevske oscilacije (seše) na Jadranu, Hidrografski godišnjak, Split.
- Hodžić M., 1988: Ciklone, hladne fronte i dugi težinski valovi na Jadranu, Pomorski zbornik, 26/1988., Rijeka.
- Juras J., 1955: Metode za procjenu vremenske promjenljivosti količine oborine, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, PMF, Zagreb.
- Lang C., 1993: Kriging Interpolation, Department of Computer Science, Cornell University.
- Makjanić B. i B. Volarić, 1979: Prilog poznavanju klime otoka Hvara, Rad JAZU, Knj 383, str 273-344, Zagreb.
- Oliver M. A., Webster R., 1990: Kriging: a Method of Interpolation for Geographical Information Systems, Int. J. Geographic Information Systems, Vol 4, No. 3.
- Penzar B. i B. Makjanić, 1980: Osnovna statistička obrada podataka u klimatologiji, Sveučilište u Zagrebu, PMF, Zagreb.
- Radinović Đ. i D. Lalić, 1959: Ciklonalna aktivnost nad zapadnim Mediteranom, Savezni hidrometeorološki zavod, Rasprave i studije br.7, Beograd. Surfer for Windows, User s Guide, 1997: Golden Software, Inc, Colorado, USA.
- Škreb S. i suradnici, 1942: Klima Hrvatske, Geofizički zavod u Zagrebu, Zagreb.

Autori

Dr. sc. Milan Hodžić i Željko Šore kap.

Pomorski meteorološki centar - Državni hidrometeorološki zavod, Glagoljaška II, 21000 Split

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.04.

Perzistencija anomalija srednjih mjesečnih temperatura zraka

Josip Juras, Zoran Vakula

SAŽETAK: Iako u slijedu pozitivnih i negativnih anomalija srednjih mjesečnih temperatura zraka nema veće pravilnosti, može se uočiti da u pojedinim krajevima Hrvatske postoji tendencija pojave istih predznaka anomalija srednjih mjesečnih temperatura u susjednim mjesecima. Ta pojava uočljiva je diljem Hrvatske početkom jeseni, te posebice zimi i sredinom ljeta u unutrašnjosti Hrvatske, a tijekom proljeća i potkraj ljeta u priobalnom području. Postavljena je hipoteza da uzrok valja tražiti ne samo u anomalijama cirkulacije, već i u anomalijama pokrivenosti područja sa snježnim pokrivačem, anomalijama sadržaja vode u tlu i anomalijama temperature mora. U radu se daje pregled vrijednosti koeficijenata autokorelacije srednjih mjesečnih temperatura zraka za niz postaja u Hrvatskoj.

KLJUČNE RIJEČI: temperatura zraka, temperatura mora, anomalije, perzistencija, Hrvatska

Persistency of Mean Monthly Temperature Anomalies

SUMMARY: Tendency of appearing the same signs of mean monthly air temperature anomalies in neighbour months can be seen, although series of positive and negative mean monthly temperature is accidental. It is obvious at the beginning of autumn and especially during winter throughout Croatia, and in the middle of summer in the continental part, during spring and at the end of summer on the Adriatic. It is supposed that the causes are not only in circulation anomalies, but also in anomalies of snow cover, anomalies of soil water content, and sea temperature anomalies. Autocorrelation coefficients of mean monthly air temperature are presented in this work for several stations of Croatia.

KEYWORDS: air temperature, sea temperature, anomalies, persistency, Croatia

1. Uvod

Predviđanje anomalija temperature zraka na dulji rok statističkim metodama bio je dugo vremena jedini mogući pristup problemu dugoročne prognoze vremena. Spomenut ćemo ovdje neke radove koji obrađuju taj problem za područja Europe i Hrvatske. Kao klasičan primjer statističkog pristupa dugoročnoj prognozi srednjih mjesečnih temperatura zraka može poslužiti rad Cradocka i Warda (1962.) u kojem su dane tablice kontingencija temperatura zraka susjednih mjeseci za veliki broj mjesta u Europi, a među njima i za Osijek. Van den Dool i Nap (1981.) analizirali su srednje mjesečne temperature u Nizozemskoj i ističu da je postojanost anomalija tim veća što je mjesto bliže moru. Analizu persistencije anomalija temperatura u SAD istraživali su van den Dool i dr. (1986.). U našoj literaturi autokorelaciju srednjih mjesečnih temperatura mora istraživali su Nađ i Cividini (1980.), a temperatura zraka Pandžić

(1986.). U ovome radu želimo iznijeti neke naše rezultate i moguće hipoteze koje mogu poslužiti kao osnova za daljnja istraživanja.

2. Autokorelacija srednjih mjesečnih temperatura zraka

Na osnovi podataka većeg broja postaja u Hrvatskoj pokazalo se da u pojedinim razdobljima godine u uzastopnim mjesecima postoji značajna tendencija češćeg javljanja anomalija istog negoli suprotnog predznaka. Ova pojava nije jednako izražena tijekom cijele godine, a očite razlike postoje i glede geografskog područja. U tablici 1. navedene su vrijednosti koeficijenata korelacije između srednjih mjesečnih temperatura (SMT) zraka uzastopnih mjeseci. Vidljiva je najznačajnija postojanost anomalija SMT zraka u kontinentalnom području tijekom zime, sredinom ljeta i početkom jeseni, dok se u priobalnom području značajni koeficijenti autokorelacije javljaju uglavnom tijekom proljeća, potkraj ljeta i početkom jeseni. Ove razlike upućuju na raznovrsnost uzroka postojanosti anomalija temperatura. Prije negoli iznesemo naše hipoteze o mogućim uzrocima njihovih postojanosti potrebno je nabrojiti neke od važnijih, već poznatih.

Jedan od čimbenika koji utječe na postojanost anomalija SMT zraka je opća pojava kod svih meteoroloških veličina da njihov vremenski slijed nije slučajan, već postoji slabije ili jače izražena tendencija zadržavanja odstupanja od prosječnih vrijednosti (anomalija) kroz dulje vrijeme. Ova pojava je kod temperature zraka dosta izražena pa bi se moglo zaključiti da je i persistencija anomalija SMT zraka ponajprije uvjetovana ovom činjenicom. Prirodno je da nakon relativno hladnog (toplog) mjeseca i slijedeći mjesec bude hladan (topao) jer su toplotne osobine zračne mase na prijelazu iz jednog mjeseca u drugi utjecale na njihova obilježja. Argumenti za ovu pretpostavku mogu se naći u činjenici da su u Zagrebu koeficijenti autokorelacije srednjih dnevnih temperatura zadnjeg dana u mjesecu i SMT zraka slijedećeg mjeseca čak i nešto veći od onih između SMT zraka susjednih mjeseci (tablica 2.). Međutim, ako bi to bio glavni uzrok, tada bi to bilo primjetno kod svih postaja i tijekom cijele godine podjednako.

Drugi uzrok dobro je poznata postojanost određenih tipova makrocirkulacije atmosfere koji također pokazuju tendenciju zadržavanja ili ponavljanja u osnovnom obliku kroz dulje vrijeme, što se odražava i na vrijeme povezano s tim tipovima. Podaci u tablici 2. pokazuju relativno malu postojanost anomalija srednjih mjesečnih vrijednosti temperature i geopotencijala na visini od 700 hPa. Negativne vrijednosti koeficijenta korelacije između pojedinih mjeseci (studeni/prosinac) upućuju na učestalu pojavu promjene predznaka anomalija osnovnih parametara makrocirkulacije iznad naših krajeva na prijelazu između tih mjeseci u promatranom razdoblju. To se jasno odražavalo i na anomalije SMT zraka (tablica 1.). Negativne vrijednosti koeficijenta korelacije između SMT zraka u studenome i prosincu ponajprije se mogu pripisati velikom broju slučajeva (1963., 1968., 1969. i 1970.) u kojima se oblik makrocirkulacije u ova dva mjeseca bitno razlikovao. Diljem Hrvatske anomalije SMT zraka u spomenutim godinama bile su velike, ali suprotnih predznaka. Stoga je i pripadajući koeficijent korelacije negativan. Ovakvi pojedinačni slučajevi mogu znatno utjecati na značajnost vrijednosti koeficijenta korelacije u statističkom smislu, pri čemu je prognostička vrijednost zanemariva jer ne nalazi potvrdu u dugogodišnjim vremenskim nizovima, što je vidljivo iz podataka Zagreb Griča za razdoblje 1862.–1960. (1. redak tablice 2.).

Tablica 1. Koeficijenti korelacije srednjih mjesečnih temperatura zraka (1961.–1990.) susjednih mjeseci. (**Jače otisnuti** – značajni su na razini **.05**, a **podcrtani** – na razini **.01**)

mjesec (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Osijek	.34	.48	-.08	.21	-.02	.05	.11	-.04	.34	.16	-.44	.10
Sl. Brod	.29	.38	-.02	.25	-.03	.12	.27	.06	.45	.22	-.37	.48
Požega	.26	.36	-.04	.06	.14	.19	.15	.24	.36	-.07	-.42	.56
Daruvar	.15	.34	-.06	.24	-.17	-.01	.17	-.03	.32	-.01	-.48	.55
Bjelovar	.25	.45	-.12	.17	-.00	-.05	.29	-.10	.27	.00	-.41	.15
Varaždin	.21	.47	-.07	.20	-.07	.09	.24	-.00	.32	.02	-.43	.29
Zagreb Grič	.19	.49	-.06	.16	-.05	-.02	.21	.03	.24	-.07	-.44	.28
Zagreb Maksimir	.25	.46	-.09	.13	-.05	.05	.27	-.01	.29	.03	-.41	.25
Karlovac	.26	.49	-.07	.22	.02	.08	.25	.01	.30	-.05	-.39	.21
Ogulin	.14	.43	-.01	.23	-.08	.11	.20	-.02	.24	-.03	-.50	.28
Gospić	.22	.42	.01	.24	-.07	-.04	.26	.13	.16	-.07	-.43	.18
Knin	.07	.40	.05	.22	.09	-.05	.33	.33	.24	-.01	-.37	.04
Puntijarka	.12	.35	.09	.21	-.06	-.03	.21	.08	.24	-.05	-.26	.18
Parg	.19	.45	.01	.17	.06	.05	.13	.11	.14	.02	-.40	.24
Zavižan	.19	.37	.06	.34	-.01	-.10	.19	.23	.16	-.07	-.24	.34
Pazin	.15	.28	-.01	.21	.17	.07	.41	.37	.31	-.18	-.26	.18
Crikvenica	.30	.44	.14	.21	.40	.07	.26	.27	.24	.07	-.26	.21
Rijeka	.19	.44	-.01	.23	.33	.00	.28	.31	.25	-.01	-.33	.22
Mali Lošinj	.20	.38	.26	.32	.31	-.05	.21	.32	.42	.06	-.09	.19
Zadar	.20	.27	.09	.34	.23	.07	.18	.39	.34	-.02	-.27	.25
Šibenik	.10	.32	.12	.25	.18	-.11	.33	.30	.30	.05	-.30	.10
Split Marjan	.04	.32	.12	.32	.25	-.13	.32	.37	.34	.23	-.07	.02
Hvar	.05	.28	.17	.42	.26	.14	.25	.38	.39	.29	.05	-.06
Dubrovnik	-.05	.12	.15	.40	.23	.05	.24	.45	.47	.32	.23	.00
Lastovo	.05	.27	.08	.41	.26	-.05	.24	.31	.44	.31	.04	.02

Treći uzrok koji može dovesti do naoko visokih vrijednosti koeficijenata korelacije mjesečnih anomalija temperature je sasvim formalne prirode. Naime, ako postoji sekularni trend porasta SMT zraka (kao što je to primjerice slučaj u Zagrebu u zimskim mjesecima), tada je jedan dio postojanosti anomalija SMT zraka posljedica jednostavne činjenice da su u razdoblju hladnijih zima (u 19. stoljeću) bili česti slučajevi nega-

Tablica 2. Koeficijenti autokorelacije srednjih mjesečnih temperatura zraka ($t_{m, m+1}$), temperature zadnjeg dana mjeseca i srednje mjesečne temperature slijedećeg mjeseca ($t_{zm, m+1}$) na postaji Zagreb Grič u razdoblju 1862.–1960., te temperature ($t_{m, m+1}$) i geopotencijala ($H_{m, m+1}$) na plohi 700 hPa prema podacima postaje Zagreb Maksimir u razdoblju 1956.–1986.

mjesec (m)	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
$t_{m, m+1}$	.37	.37	.15	.06	.12	.13	.32	.29	.14	.22	.14	.01
$t_{zm, m+1}$	.36	.41	.39	.24	.16	.16	.40	.31	.25	.15	.30	.21
$t_{m, m+1}$	-.27	.32	.16	-.23	-.32	.12	-.02	.08	.14	.18	-.05	.45
$H_{m, m+1}$	.19	.35	.08	-.24	-.02	-.18	.02	.21	.03	-.24	.03	.12

tivnih anomalija uzastopnih mjeseci dok su, primjerice u godinama toplih zima s kraja ovog stoljeća, česti slučajevi uzastopnih relativno toplih mjeseci.

Uz navedene čimbenike, koji utječu na pojavu autokorelacije u slijedu SMT zraka, postoji cijeli niz naoko manje važnih, koji uzrokuju da ta pojava nije u svim mjestima i u svim mjesecima jednako izražena, kao što to pokazuju podaci iz tablice 1. Među te, nazovimo ih uvjetno »drugorazredne« čimbenike ubrojili bi grupu pojava koje se mogu svesti pod zajedničko ime – anomalno stanje podloge. Opće je poznata činjenica da vrsta podloge utječe na klimatske osobine nekog mjesta. Stoga je prihvatljivo da će se i odstupanja od prosječnog stanja podloge u užem i širem okolišu nekog mjesta odraziti u određenoj mjeri i na meteorološke veličine. Osobine podloge se relativno sporije mijenjaju s vremenom negoli osobine zraka iznad te podloge. Upravo ta velika inercija stanja podloge može poslužiti kao mehanizam kojim se može pokušati objasniti postojanost anomalija temperature zraka. Potencijalni utjecaj prostranih anomalija temperatura oceanskih mora na anomalna stanja globalne atmosfere danas je u središtu istraživanja znanstvenika (Ropelewski; Halpert, 1987., 1989.). Rezultati nesumnjivo pokazuju da značajne anomalije površine mora imaju utjecaja na stanje atmosfere i to ne samo u područjima gdje su se takve anomalije pojavile, već se taj utjecaj zbog izazvanih anomalija u cirkulaciji atmosfere prenosi i u udaljenija područja. To međutim ne umanjuje značenje izučavanja načina odražavanja anomalija stanja podloge s mezo i mikroskale na stanje atmosfere. Pod stanjem podloge ovdje ponajprije mislimo na toplinska svojstva površinskog sloja mora i tla, sadržaj vode u tlu i pokrivenost tla snježnim pokrivačem. S ovih nekoliko potencijalnih čimbenika koji mogu utjecati na anomalije temperature zraka pokušat ćemo objasniti veliku prostornu i vremensku raznolikost u vrijednostima koeficijenata korelacije SMT zraka prikazanih u tablici 1. Naša kvalitativna objašnjenja predstavljaju više radne hipoteze za daljnja istraživanja negoli definitivne zaključke.

U postajama s kontinentalnom klimom primjetne su relativno visoke vrijednosti koeficijenta korelacije SMT zraka susjednih mjeseci tijekom cijele zime, s najvećim vrijednostima početkom (prosinac/siječanj) i osobito krajem (veljača/ožujak). I veličine uvjetovane makrocirkulacijom (geopotencijal i temperatura) u tim mjesecima imaju značajne vrijednosti koeficijenta autokorelacije. Može se pretpostaviti i određeni utjecaj snježnog pokrivača jer je upravo to razdoblje kada u prosječnoj godini dolazi do njegovog stvaranja, odnosno topljenja. Hladna (topla) veljača obično je praćena obil-

nim (oskudnim) snježnim pokrivačem što ima za posljedicu prosječno hladniji (topliji) prizemni sloj zraka zbog povećanog (smanjenog) utroška topline na topljenje snijega. Pri tome se ne smije zanemariti ni toplotno stanje površinskog sloja tla koje, iako relativno malog toplinskog kapaciteta, u slučajevima ekstremno hladnih (ili toplih) zima također može biti medij koji pohranjuje i prenosi anomalije iz proteklog razdoblja u slijedeće. Mehanizam kojim se prenose temperaturne anomalije s kraja zime na početak proljeća ne mora biti neposredno vezan samo uz stanje podloge. Potrebno je ispitati i posredni utjecaj relativno hladne podloge na povećanje količine niske naoblake i smanjenje insolacije na početku proljeća, što može dodatno utjecati na niže vrijednosti temperature zraka.

U podacima većine postaja primjetan je i maksimum vrijednosti koeficijenta korelacije između anomalija SMT zraka između srpnja i kolovoza, kao i između rujna i listopada. U našim krajevima su topli (hladni) ljetni mjeseci najčešće i sušni (kišni). Stoga nam se nameće pretpostavka da uzrok koji utječe na prijenos predznaka anomalije SMT zraka sa srpnja na kolovoz valja tražiti u anomalijama sadržaja vode u tlu krajem srpnja (Karl, 1986.). Topli srpanj obično prate male zalihe vode u tlu u tom razdoblju. Pri prosječnim stanjima ostalih atmosferskih veličina u kolovozu, manjak vode u tlu odražava se na smanjenoj evaporaciji i većoj raspoloživoj količini senzibilne topline za zagrijavanje zraka. Zbog lokalnog manjka vlage u tlu smanjene su i mogućnosti razvoja oblaka vertikalnog razvoja i oborine iz njih, što pogoduje održavanju suše i relativno visokoj temperaturi. Ostaje otvoreno pitanje zašto se izloženi mehanizmi ne očituju i u ostalim ljetnim mjesecima (svibanj–lipanj, lipanj–srpanj).

Postojanost u slijedu anomalija tijekom zime i sredinom ljeta primjetna je i kod nekih primorskih postaja i to uglavnom onih na sjevernom Jadranu. Međutim, za postaje na većem dijelu Jadrana karakteristična je postojanost anomalija temperatura zraka krajem ljeta i početkom jeseni (rujan/listopad), a u manjoj mjeri tijekom proljeća (travanj/svibanj). Jedan od mehanizama koji na to utječe, zasigurno valja tražiti u postojanosti anomalija temperatura mora. Međutim, postavlja se opravdano pitanje zašto bi anomalije temperature mora imale utjecaja na anomalije temperatura zraka samo u jednom malom dijelu godine, a ne, kao što bi bilo za očekivati, tijekom cijele godine. Ovdje ćemo iznijeti neke od podataka kojima smo pokušali dati odgovor na to pitanje. U tablici 3. dani su neki osnovni statistički podaci o temperaturama površine mora mjerenih u Hvaru, u razdoblju 1961.–1990. Podaci pokazuju da je godišnji hod vrijednosti koeficijenta autokorelacije SMT mora sličan godišnjem hodu vrijednosti koeficijenta autokorelacije za SMT zraka. Vrijednosti koeficijenta korelacije između SMT zraka i SMT mora, kao što se to i moglo očekivati, vrlo su velike, što upućuje na gotovo usporedno smjenjivanje anomalija temperatura u ova dva medija. Uzajamno djelovanje između zraka i mora uzrokuje da prizemni sloj zraka i površinski sloj mora relativno brzo poprimaju ravnotežnu temperaturu. Kako je promjenljivost temperatura zraka daleko veća, može se govoriti o prilagođavanju temperatura zraka temperaturi mora, ali isto tako, da su međudnevne (i međumjesečne) promjene temperature mora pod snažnim utjecajem međudnevnih (i međumjesečnih) promjena temperatura zraka. U zimskim mjesecima SMT mora su više od SMT zraka, i anomalije temperature mora nemaju jači utjecaj na anomalije temperature zraka. Tada se tokovi topline brže prostiru u visoke slojeve atmosfere, te se anomalije tih tokova vrlo slabo odražavaju na anomalije prizemnih temperatura zraka. Vrijednosti koeficijenta korelacije između temperatura mora i zraka najmanje su u prosincu i siječnju kada je razlika između

Tablica 3. Godišnji hod srednjih mjesečnih temperatura mora i zraka, te njihovih razlika, na Hvaru (1961–1990.). Koeficijenti korelacije između temperatura zraka i mora ($r_{Z,M}$) u istom mjesecu, te između temperatura mora ($r_{3M,M+1}$) i temperatura zraka ($r_{Z,Z+1}$) susjednih mjeseci.

mjesec	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
temperatura mora	13.3	12.5	12.7	14.4	17.3	20.7	22.8	23.2	22.3	20.5	18.0	15.3
temperatura zraka	8.8	9.2	11.0	14.1	18.3	22.0	24.8	24.5	21.6	17.7	13.6	10.3
razlika ($t_M - t_Z$)	4.5	3.3	1.7	.3	-1.0	-1.3	-2.0	-1.3	.7	2.8	4.4	5.0
$r_{Z,M}$	<u>.37</u>	<u>.56</u>	<u>.76</u>	<u>.77</u>	<u>.77</u>	<u>.69</u>	<u>.75</u>	<u>.68</u>	<u>.79</u>	<u>.74</u>	<u>.58</u>	.33
$r_{M,M+1}$	<u>.57</u>	.34	<u>.64</u>	<u>.59</u>	<u>.55</u>	.35	<u>.43</u>	.30	<u>.68</u>	<u>.85</u>	<u>.71</u>	<u>.59</u>
$r_{Z,Z+1}$	.05	.28	.17	<u>.42</u>	.26	.14	.25	<u>.38</u>	<u>.39</u>	.29	.05	-.06

đu temperatura mora i zraka najveća. Tijekom proljeća (travnja) dolazi do izjednačavanja temperatura. To je ujedno razdoblje formiranja termokline (Zore-Armanda, 1969.). Ako je do stvaranja termokline došlo relativno rano (kasno), anomalije temperature mora, pa i zraka, u slijedećem mjesecu (svibnju) bit će više (niže) od prosječnih. Tijekom ljeta SMT zraka i mora ponovno pokazuju slabiju povezanost. Glavni utjecaj na temperaturu zraka ima insolacija. Na prijelazu ljeta i jeseni povećava se utjecaj temperature mora, što se odražava na povećanim vrijednostima koeficijenta korelacije između temperature površine mora i zraka. Tada su i koeficijenti autokorelacije SMT mora najveći jer je sloj termokline najjače izražen. Prema tome, postojanost anomalija temperatura zraka tijekom jeseni posljedica je velike postojanosti anomalija temperatura mora i visoke korelacije između temperatura zraka i mora. Može se reći da anomalije temperatura mora imaju utjecaja na anomalije temperatura zraka uglavnom u razdobljima kada postoji izražena inercija temperatura mora tj. u razdoblju stvaranja i narušavanja termokline, a tada su i razlike temperatura mora i zraka najmanje.

3. Zaključak

Predznak i iznos anomalija temperatura zraka ponajprije su posljedica anomalija u atmosferskoj cirkulaciji. Zbog kaotične prirode atmosferskih gibanja njihova predvidivost na dulji rok za sada je još vrlo mala, ali se može očekivati značajniji napredak u slijedećim godinama. Pored atmosferske cirkulacije, na anomalije SMT zraka utječe i stanje podloga u bližoj i široj okolini postaje, koje se zbog njihove velike postojanosti može lakše predvidjeti. Utjecaj stanja podloge očituje se i u vrijednostima autokorelacije SMT zraka. Iznosene pretpostavke da persistencija anomalija SMT zraka ima svoje uzroke u anomalijama stanja podloge u užem ili širem okolišu postaje, tek je potrebno potvrditi. Za potvrdu postavljenih hipoteza potrebno je da se pomoću anomalija stanja podloge (snježni pokrivač, vlažnost tla, temperatura mora) procijene buduće vrijednosti anomalija SMT zraka s većom točnošću negoli se to može postići

pomoću anomalija temperatura zraka poznatih u trenutku izdavanja prognoze. Rezultati izneseni u ovom radu predstavljaju najnižu razinu koju bi buduće metode dugoročnih prognoza morale nadvisiti kako bi se mogle smatrati opravdane.

Literatura

- Craddock, J. M.; R. Ward, 1962: Some statistical relationships between the temperature anomalies in neighbouring months in Europe and western Siberia. Meteorological Office London. Scientific Paper N. 12, pp 31.
- Karl, T. R., 1986: The relationship of soil moisture parametrizations to subsequent seasonal and monthly mean temperature in the United States. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 675–562.
- Nađ, M.; B. Cividini, 1980: Odnos između temperature mora i zraka (Rt Marjan, Split), Hidrografski godišnjak 1976–1977, 57–68.
- Pandžić, K., 1986: Linearni parametarski modeli stohastičkih procesa i mogućnost njihove primjene u meteorologiji. *Magistarski rad*. PMF, Sveučilište u Zagrebu, pp 75.
- Ropelewski, D. F.; M. S. Halpert, 1987: Global and regional scale patterns associated with El Niño/Southern oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1606–1626.
- Ropelewski, D. F.; M. S. Halpert, 1989: Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation, *J. of Climate*, 2, 268–284.
- van den Dool, H. M.; J. L. Nap, 1981: An explanation of persistence in monthly mean temperatures in the Netherlands, *Tellus*, 33, 123–131.
- van den Dool, W. H. Klein; J. E. Walsh, 1986: The geographical distribution and seasonality of persistence in monthly mean air temperatures over the United States. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 546–560.
- Zore-Armanda, M., 1969: Temperature relations in the Adriatic sea. *Acta Adriatica*, Vol. 13 (5)

Autori

Dr. sc. Josip Juras

Geofizički zavod »Andrija Mohorovičić«, Prirodoslovno-matematički fakultet, 10 000 Zagreb, Horvatovac bb

tel. + 385 1 46 05 925, fax. + 385 1 46 80 331, e-mail: juras@rudjer.irb.hr

Zoran Vakula, dipl. ing., Državni hidrometeorološki zavod, 10 000 Zagreb, Grič 3

tel. + 385 1 45 65 603, fax. + 385 1 43 10 26, e-mail: vakula@cirus.dhz.hr

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.05.

Ocjena anomalija višemjesečnih količina oborine

Josip Juras

SAŽETAK: Zbog velike važnosti oborine za živi svijet one se mjere u gustoj mreži postaja. Izmjerene vrijednosti pomno se analiziraju kako bi se uočila područja u kojima postoji osjetan manjak (ili višak) količina oborine u odnosu na uobičajene količine. Jedan je od nedostataka današnjih metoda praćenja anomalija količina oborine da se analize odnose na razdoblja čije su granice određene kalendarskim mjesecima. U slučajevima kada se analize provode neprekidno iz dana u dan, one se zasnivaju samo na usporedbama s prosječnim vrijednostima, iz čega se obično ne može dobiti predodžba o tome jesu li izmjerene vrijednosti za to područje uobičajena ili izuzetno rijetka pojava. U radu se daje kratak pregled sadašnjeg stanja praćenja anomalija količina oborine u svijetu i kod nas. Izlaže se metoda koja omogućava ocjenu inteziteta anomalija za bilo koje vremensko razdoblje dulje od mjesec dana na osnovi relativno malog broja osnovnih klimatoloških podataka.

KLJUČNE RIJEČI: količine oborine, promjenljivost, ocjena anomalija, praćenje anomalija

Evaluation of Monthly and Seasonal Precipitation Anomaly

SUMMARY: Due to a great importance of precipitation for the living world it is measured in the dense network. Measured values are carefully analysed to identify regions with considerable departures from long term means. A shortcoming of the present methods of monitoring anomalies of rainfall is that they are restricted to the periods defined by the calendar month. In most cases measured rainfall is compared only with the average values. From a such comparison it is not possible to obtain conclusion whether the considered value is common or it is exceptionally rare event for the region. The paper outlines the state of art in the monitoring of rainfall in Croatia and in the world. This paper describes the method which makes possible evaluation of severity of anomalies for any time interval longer than a month on the basis of few basic climatological data.

KEYWORDS: rainfall amounts, variability, evaluation of anomaly, monitoring of anomaly

1. Uvod

U različitim područjima ljudske aktivnosti postoji potreba ocjene iznosa količina oborine pale u nekom mjestu ili području tijekom određenog razdoblja. Naoko mali manjak količina oborine u relativno kratkom razdoblju od nekoliko tjedana, ali koje se podudara s osjetljivom fazom razvoja žitarica, može prouzročiti osjetno manje prinose od uobičajenih. Relativno mali manjkovi u mjesečnim količinama oborine, ali koji su se javili kroz nekoliko uzastopnih mjeseci, mogu dovesti do poremećaja u potrebama za vodom ne samo kod biljaka, već se mogu odraziti i u protocima rijeka. Manjak oborine tijekom još duljih razdoblja, od oko godine dana, utjecat će i na druge sastavnice zaliha voda kao što su površinska spremišta, podzemne vode ili manja jezera. Isto tako, naoko mali postotak viška oborine, ali kroz dulje vremensko razdoblje mo-

že izazvati niz neželjenih posljedica kao što je primjerice aktiviranje klizišta. Iz toga slijedi da postoji potreba da u svakom trenutku raspolažemo podacima o ukupnim količinama oborine unutar razdoblja različitih duljina. Zbog velike prostorne promjenljivosti oborine, ona se mjeri u relativno gustoj mreži točaka. Analiza tako velikog broja podataka vrlo je zahtjevan posao.

Pri ocjeni mogućih posljedica manjka (ili viška) oborine, najčešće ih uspoređujemo s prosječnim vrijednostima za pojedino mjesto. Uobičajeno iskazivanje anomalija pomoću razlika ili postotka u odnosu na normalne vrijednosti, nije uvijek najpodesnije. Manjak oborine od 30%, ako se on pojavi kod mjesečnih količina, može proći bez većih posljedica. Međutim, isti takav manjak iskazan u postocima, ali za razdoblje od godine dana sigurno će izazvati niz neželjenih posljedica. Manjak (ili višak) količina oborine iskazan u apsolutnim iznosima pogotovo nije jednostavno interpretirati. Zbog toga je najpodesnije pri ocjeni pojedine količine oborine promotriti je u sklopu svih do tada istovrsnih količina koje su izmjerene u tom mjestu i u tom dijelu godine. Ukoliko je razmatrana količina između nekoliko najviših ili najnižih vrijednosti u dugogodišnjem nizu opažanja, to nas upućuje na mogućnost ozbiljnijih negativnih posljedica koje može izazvati takva ekstremna količina oborine. Kako u većini slučajeva ne raspolažemo dugogodišnjim podacima o dnevnim količinama nužno je osloniti se na približne procjene na osnovi statističkih razdioba. Pomoću teorijskih razdioba moguće je svakoj vrijednosti količina oborine pridružiti vrijednost percentile, koja označava redni broj (ili rang), koji bi ta vrijednost imala u jednom zamišljenom skupu izmjerenih količina tijekom razdoblja od sto godina. Visoke vrijednosti percentila (>90) upućuju da je to razdoblje s relativno obilnom oborinom. Isto tako, niske vrijednosti percentila (<10) upućuju na izrazito sušno razdoblje. Glavna prednost percentila je da na jednoj jedinstvenoj ljestvici (od 0 do 100) možemo ocijeniti anomalije količina oborine koje su pale unutar različitih vremenskih intervala, u različitim dijelovima godine i u različitim područjima. Danas je ovakav sustav praćenja anomalija količina oborine opće prihvaćen u svijetu i kod nas i može se naći u redovnim mjesečnim publikacijama *Climate Diagnostic Bulletin* (<http://nic.fb4.noaa.gov>), te u *Biltenu* Državnog hidrometeorološkog zavoda (<http://www.tel.hr/dhmz>).

2. Određivanje parametara teorijske razdiobe količina oborine

Pogodnost pojedinih teorijskih razdioba za prikaz razdioba količina oborine u razdobljima duljim od mjesec dana razmatrana je u radu Juras i dr. (1995.). Ovdje ćemo primijeniti gama razdiobu kao najpogodniju jer je sadržana u većini statističkih paketa za osobna računala. Njezin nedostatak je da nam ne daje procjene vjerojatnosti slučajeva bez oborine. Međutim, takvi su slučajevi kod višemjesečnih količina oborine u našim krajevima vrlo rijetki. Za procjenu parametara gama razdiobe količina oborine nužno je raspolagati srednjom vrijednošću i standardnom devijacijom. Podaci o srednjim vrijednostima mogu se naći u većini stručnih publikacija i klimatoloških atlasa. Podaci o standardnim devijacijama (odnosno o koeficijentima varijacija) daleko su rjeđe dostupni. Ako se pri praćenju anomalija količina oborine ne želimo ograničiti samo na čvrsto određena kalendarska razdoblja već postupak primijeniti za bilo koju duljinu razdoblja, to je određivanje temeljnih statistika količina oborine, a time i odgovarajućih teorijskih razdioba složenije. Neekonomično je za svaki pojedini dan u godini i za bilo koju duljinu razdoblja određivati posebne parametre razdiobe. Do procjena srednjih vrijednosti za bilo koje razdoblje može se lako doći iz srednjih mjeseč-

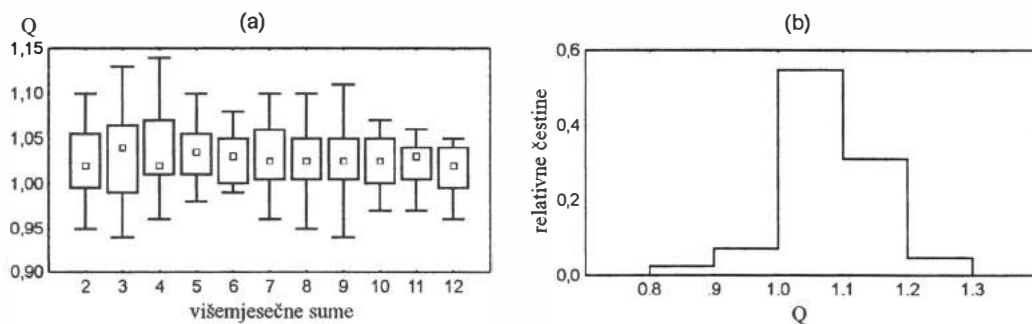
nih količina oborine na taj način da se na osnovi broja dana tog razdoblja koji pripadaju pojedinom kalendarskom mjesecu odredi i pripadni udio srednjih mjesečnih količina srednjoj vrijednosti za to razdoblje. Pokazalo se da se ovakav postupak može primijeniti i za varijancu razdioba količina oborine ako se radi o razdobljima duljim od mjesec dana (Juras, 1994). Na sl. 1. (a) prikazano je u kojim granicama se kreću omjeri (Q) između standardnih devijacija višemjesečnih količina oborine u Zagrebu, koji su određeni neposredno iz višemjesečnih količina (za razdoblja od 2 do 12 mjeseci) i standardnih devijacija koje su procijenjene na osnovi standardnih devijacija mjesečnih količina oborine. Medijan je tih razdioba vrlo bliz jedinici. Čak i kod najvećih razlika približne procjene ne razlikuju se za više od 15% od točnih. Na sl. 1. b prikazane su čestine vrijednosti omjera Q između standardnih devijacija godišnjih količina oborine i drugog korijena iz zbroja varijanci mjesečnih količina. Ti omjeri izračunati su na osnovi podataka za 42 postaje u priobalnom dijelu Hrvatske publiciranih u radu Milković (1998). Kod više od 50% postaja taj omjer je u granicama od 1 do 1.1. Ti podaci upućuju na zadovoljavajuću točnost približnih procjena, ali i na djelomično podcjenjivanje stvarne promjenljivosti višemjesečnih količina.

Na osnovi toga, za bilo koji dan u godini i bilo koji interval vremena dulji od mjesec dana, računajući od tog dana unatrag, moguće je odrediti pripadnu srednju količinu oborine i varijancu s^2 . Na osnovi tih statistika izračunavaju se metodom momenata pripadni parametri gama razdiobe prema relacijama

$$\alpha = \langle x \rangle^2 / s^2, \quad \beta = s^2 / \langle x \rangle$$

Na osnovi tako određene teorijske razdiobe moguće je svakoj izmjerenoj vrijednosti količina oborine pridružiti odgovarajuću teorijsku kumulativnu čestinu (percentilu P) koja ako je $P < 0.1$ ili $P > 0.9$ upućuje na to da se radi o dosta rijetkoj pojavi čiji je povratni period za to mjesto i za to razdoblje veći od 10 godina.

Zbog toga što su procjene varijanci za pojedina razdoblja određene približno iz vrijednosti varijanci mjesečnih količina postavlja se pitanje u kojoj mjeri se to odražava na točnost procjena percentila. Kao što je već istaknuto, stvarne standardne devijacije obično su nešto veće od približnih procjena (sl. 1.), te će i približne procjene visokih (niskih) percentila obično biti nešto manje (veće) od točnih procjena. Tako, na pri-

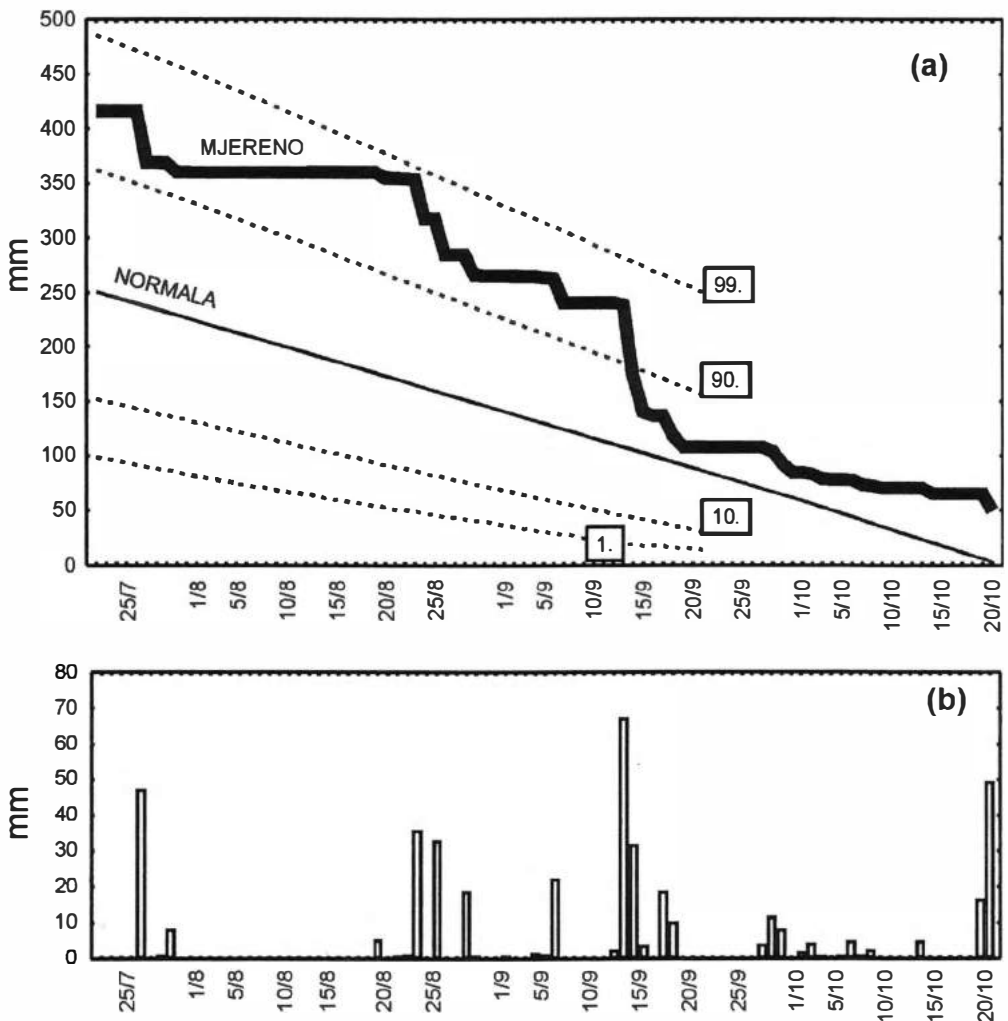


Slika 1. (a) Razdiobe omjera (Q) između standardnih devijacija višemjesečnih količina oborine i približnih procjena na osnovi standardnih devijacija mjesečnih količina. Mali pravokutnik označava medijan, a gornja i donja stranica većeg pravokutnika kvartile razdiobe. (Prema podacima za Zagreb Grič, u razdoblju 1862.–1997.)

(b) Razdioba omjera standardnih devijacija godišnjih količina oborine i približnih procjena, za 42 postaje na Jadranu.

mjer, za dvomjesečno razdoblje veljača-ožujak u Zagrebu je stvarna standardna devijacija 10% veća od procjene. To ima za posljedicu da su približne procjene 90. i 99. percentile, koje iznose 150 mm, odnosno 228 mm, nešto manje od točnih procjena koje iznose 165 mm, odnosno 242 mm.

Na sl. 2. prikazane su dnevne i akumulirane količine oborine u Zagrebu, u razdoblju od 90 dana koje završava s nadnevkom 20.10 1998. Iz slike se može dobiti dobra predodžba o nekoliko kišnih epizoda s vrlo obilnim količinama oborine potkraj ljeta i početkom jeseni 1998. Te količine oborine imale su za posljedicu niz štetnih posljedica na zagrebačkom području u obliku bujica, poplava i pojave klizišta. Uz krivulju koja prikazuje akumulirane količine oborine od odabranog datuma za razdoblje od 90 dana unatrag, prikazana je i pripadna krivulja srednjih vrijednosti te krivulje 1., 10., 90. i 99. percentile gama razdiobe, ali samo za razdoblja duljine od 30 do 90 dana.



Slika 2. (a) Akumulirane količine oborine u Zagrebu tijekom razdoblja različitih duljina koja završavaju 20.10 1998. (puna linija) u usporedbi s prosječnim vrijednostima (tanka linija) i rubnim percentilama razdioba (crtkano).

(b) Dnevne količine oborine u Zagrebu u razdoblju od 22.7. do 20.10 1998.

Naime, izloženi postupak približnih procjena standardnih devijacija samo na osnovi standardnih devijacija mjesečnih količina nije primjenljiv za razdoblja kraća od mjesec dana. Pomoću krivulja ekstremnih percentila može se dobiti dobra predodžba koliko su izmjerene količine oborine u rujnu i listopadu 1998. izuzetno rijetka pojava u Zagrebu. Dvodnevna količina oborine od 65,4 mm, koja je pala 19. i 20. listopada, najveća je izmjerena vrijednost u 137-godišnjem razdoblju mjerenja za ta dva nadneva. Treba istaknuti da najveća količina oborine tijekom bilo koja dva uzastopna dana u listopadu iznosi 92,7 mm. Dvodnevna količina oborine od 98,5 mm koja je pala 13. i 14. rujna 1998., također je vrlo bliza do sada najvećoj dvodnevnoj količini u rujnu (101,2 mm). Krivulja akumuliranih količina oborine pokazuje da je u razdoblju od 30 dana, računajući od 20.10.1998, ukupna količina bila svega neznatno veća od prosječnih vrijednosti. Međutim, za sva razdoblja dulja od 35 dana krivulja ukupnih količina je iznad krivulje 90. percentile što upućuje da su ovako obilne oborine krajem ljeta i početkom jeseni neuobičajene u Zagrebu.

3. Zaključak

Za sad su nam poznati samo kvalitativni odnosi između anomalija količina oborine na različitim vremenskim skalama i pojedinih sastavnica bio-ekološkog sustava. Pri kvantitativnim analizama tih odnosa, izražavanje anomalija količina oborine u obliku percentila izgleda nam primjerenije negoli uobičajena praksa da se one daju u obliku apsolutnih ili relativnih odstupanja od prosječnih vrijednosti.

Ispitivanje tih veza nije jednostavno, pa je pri tome potreban stanoviti oprez. Primjerice, suša izvan vegetacijskog razdoblja nema iste posljedice kao i tijekom njega. Višak oborine unutar razdoblja koje je u pojedinim krajevima sušni dio godine, može imati ukupno uzevši čak i pozitivne posljedice, dok će višak u kišovitom dijelu godine najčešće imati niz nepovoljnih posljedica. Prema tome posljedice anomalija količina oborine na neke grane ljudske djelatnosti ne ovise samo o iznosu percentile već i o klimatskom području, dijelu godine i vremenskom intervalu koji se promatra.

Praćenje količina oborine izuzetno je složen proces zbog njihove velike prostorne i vremenske promjenljivosti. Zbog toga se njihovo neprekidno praćenje mora osnivati na podacima iz guste mreže točaka mjerenja i obuhvaćati sve vremenske skale od trenutnih inteziteta do vjekovnih promjena.

Literatura

- Juras, J., 1994: Vremenska promjenljivost sezonskih količina oborine. Znanstveni skup »Poljoprivreda i gospodarenje vodama«. Bizovačke toplice, studeni 1994., Priopćenja 463–468.
- Juras, J., V. Juras, K. Zaninović, 1995: Praćenje anomalija količina oborine. 1. hrvatska konferencija o vodama. Dubrovnik, 1995. Zbornik radova, Hrvatska vodoprivreda, Zagreb, 1995. Knjiga 1, 521–528.
- Milković, J., 1998: Oborina na otocima i obali. Okrugli stol »Voda na hrvatskim otocima«, Hvar, 1998, Zbornik radova, 83–98.

Autor

Dr. sc. Josip Juras
Geofizički zavod »Andrija Mohorovičić«, Prirodoslovno-matematički fakultet, 10 000 Zagreb, Horvatovac bb
tel. + 385 1 46 05 925, fax. + 385 1 46 80 331, e-mail: juras@rudjer.irb.hr

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.06.

Mjerenje isparavanja sa slobodne vodene površine

Janja Milković

SAŽETAK: Jedan od procesa u ciklusu kruženja vode u atmosferi je i isparavanje. Taj dio problema rješava meteorologija. Količina isparene vode može se određivati različitim mjernim instrumentima – ispariteljima – ili računati iz drugih meteoroloških elemenata. Standardni instrument za mjerenje isparavanja sa slobodne vodene površine u meteorološkoj mreži postaja u Hrvatskoj je isparitelj klase A. Mjerenje isparavanja počinje u Hrvatskoj šezdesetih godina tako da danas imamo desetak postaja sa tridesetgodišnjim nizovima kontinuiranih mjerenja. Analizirana je postojeća mreža postaja za mjerenje isparavanja kao i dobre i loše osobine službenog instrumenta za mjerenje – isparitelja klase A. Analiza pokazuje da postojeća mreža postaja ne pokriva na zadovoljavajući način cijelu Hrvatsku. Nedostaju postaje u cijelom priobalnom dijelu te na otocima, a nezadovoljavajući je i broj isparitelja u gorskom dijelu zemlje. Predloženo je povećanje broja isparitelja, kao i provedba usporedbe mjerenja ispariteljima klase A i termički izoliranim ispariteljem GGI 3000 TM, koja bi dala pouzdanije koeficijente za naš službeni instrument i naše područje.

KLJUČNE RIJEČI: isparavanje, mjerenje isparavanja, isparitelji

Unconfined Water Surface Evaporation Measurements

SUMMARY: Evaporation is one of the processes developing in the atmospheric water cycle. This is an issue dealt with by meteorology. Quantity of evaporated water is determined using different metering instruments – evaporimeters – or calculated from other meteorological elements. Standard instrument used for measurement of evaporation from unconfined water surfaces by the Croatian weather stations network is Class A evaporimeter. Evaporation measurements in Croatia started during the sixties so currently some ten stations are in existence with thirty-year series of continuous measurements available. The existing network of evaporation measurement stations is analyzed, along with advantages and disadvantages of the official instrument – class A evaporimeter. The analysis has revealed that the existing network does not ensure satisfactory coverage of the entire Croatian territory. The stations are missing in the entire coastal region and on islands, and the quantity of evaporimeters in the mountain regions is insufficient. Increase in number of instruments is proposed, and comparison of results obtained by class A evaporimeters and the ones obtained by a thermally insulated GGI 3000 TM evaporimeter which would give more reliable coefficients for the official instrument and the subject region.

KEYWORDS: evaporation, evaporation measurement, evaporimeter

Uvod

O potrebi poznavanja veličine isparavanja gotovo da ne treba ništa reći, jer uz meteorologiju i drugim su strukama potrebni ti podaci – recimo hidrologija – izrada bilanca voda) kao i pojedinim granama gospodarstva, koje sve teže mogu bez podataka o ovom kompleksnom meteorološkom elementu. To naročito dolazi do izražaja kod du-

goročnijih i većih projekata (planiranje, dizajniranje i održavanje raznih vodenih akumulacija, njihov utjecaj na okoliš, poljoprivreda i drenažni sustavi i sl.), gdje je isparavanje važan klimatski element.

Isparavanje je važan dio ciklusa kruženja vode u atmosferi o kojem se relativno malo zna, i svojevrsni je izazov i za meteorologiju. Sustavna mjerenja instrumentima – ispariteljima, počela su relativno kasno, a i mreža postaja na kojima se isparavanje mjeri prilično je rijetka, kako u Hrvatskoj tako i u svijetu. Situaciju dodatno kompliciraju različiti tipovi instrumenta za mjerenje isparavanja koji se koriste u pojedinim zemljama širom svijeta (WMO, 1966.; 1973.).

Na svakoj graničnoj plohi između vode u tekućem ili čvrstom stanju (ili nekog drugog vlažnog tijela, tla, biljaka, snježnog pokrivača) i zraka, molekule vode odlaze u zrak kao para, a druge se pak vraćaju iz zraka. Ako je molekula koje odlaze u zrak više, govorimo o isparavanju (Penzar i sur. 1996). Isparavanje prvenstveno ovisi o energiji sunčevog zračenja, brzini vjetra i količini raspoložive vlage u prizemnom sloju zraka. Ovdje će biti riječi samo o isparavanju sa slobodne vodene površine, dok se isparavanje s vlažnog tla i iz pora biljaka (evapotranspiracija), s biljaka (transpiracija), vlažnog tla ili drugih vlažnih tijela neće razmatrati.

Veličina isparavanja sa slobodne vodene površine može se određivati na dva načina: mjerenjem instrumentima ispariteljima različitih tipova, i/ili računanjem iz drugih meteoroloških elemenata. Analizirati će se samo dobivanje podataka mjerenjem ispariteljima.

Princip rada najčešće korištenih isparitelja je slijedeći: to su posude različitih dimenzija, napunjene vodom, koje mogu biti postavljene na drvenom postolju na površini zemlje, biti ukopane u zemlju ili postavljene na plutajuću splav na nekoj vodenoj površini. Svaki spomenuti tip isparitelja ima dobre i loše osobine, različite verzije i izvedbe koje se koriste u pojedinim zemljama, a to naravno dodatno komplicira usporedbu, analizu i daljnje korištenje prikupljenih podataka. Najčešći tipovi isparitelja u upotrebi su GGI 3000 (ukopan u zemlju), bazen površine 20 m² (također ukopan u zemlju) i isparitelj klase A koji je postavljen na drveno postolje na površini zemlje (WMO, 1966.; 1973.). Do sada je provedeno nekoliko usporedbi podataka dobivenih različitim tipovima isparitelja širom svijeta (WMO 1973; 1976). Usporedbe su pokazale da se najbolji rezultati dobiju mjerenjima u velikom bazenu površine 20 m² ukopanom u zemlju (slika 1.). Te vrijednosti su najbliže onima sa slobodne vodene površine većih akumulacija, no to je ujedno i najskuplji i najteži način mjerenja isparavanja. Dosta dobre rezultate daju i mjerenja ispariteljem GGI 3000, a naročito njegovom poboljšanom verzijom sa termoizolacijom posude isparitelja (GGI 3000 TM), a znatno su jeftiniji za postavljanje i održavanje (WMO, 1995.).

Posljednjih godina ponovo se javila potreba za usporedbom podataka mjerenih različitim tipovima isparitelja u pojedinim zemljama, pa je Svjetska meteorološka organizacija (SMO), odnosno njezina Komisija za instrumente i metode mjerenja, organizirala sastanak stručnjaka na kojem je dogovoreno kako bi tu usporedbu trebalo provesti, koji bi tipovi isparitelja poslužili kao etaloni za usporedbu te koliko bi ona trajala (WMO, 1995.). Na tom sastanku predloženo je da uz veliki bazen kao etalon za usporedbu posluži i termički izolirani isparitelj GGI 3000 TM. Nakon tog sastanka zemlje članice SMO anketirane su o tome žele li sudjelovati u toj usporedbi. Službeni odgovor naše meteorološke službe bio je potvrđan, no nakon toga ništa se više nije



Slika 1. Veliki bazen površine 20 m²

dogodilo. Treba se nadati da se od ideje nije odustalo, već da je to samo zastoj u organizaciji spomenute međunarodne usporedbe.

U radu je analizirana postojeća mreža postaja za mjerenje isparavanja kao i dobre i loše strane službenog tipa isparitelja u Hrvatskoj. Mrežom postaja nije pokriveno cijelo područje Hrvatske jer u priobalnom dijelu, na otocima i južnije od Sinja nema mjerenja isparavanja. Trebalo bi postaviti barem još četiri isparitelja (tri na otocima i jedan u najjužnijem dijelu zemlje). Isparitelj klase A ima svoje prednosti. Relativno je jeftin, jednostavan je za postavljanje i održavanje, lako je vidljivo ako posuda isparitelja curi i može se brzo i lako pokrpati. Ima i nedostatke. Daje povećane vrijednosti isparavanja, pa dobivene podatke za korištenje u daljnjim proračunima treba smanjiti, odnosno množiti s faktorom 0,70 (WMO, 1966.; 1973.).

Postojeća mreža postaja, razdoblje mjerenja i podaci

Mjerenje isparavanja u Hrvatskoj počinje šezdesetih godina, kad je postavljena većina instrumenata za mjerenje isparavanja – isparitelja – uglavnom na glavnim meteorološkim postajama. Danas postoji desetak postaja s nizom mjerenja duljim od trideset godina (slika 2., broj ispod imena postaje je godina postavljanja isparitelja, a ako je navedeno razdoblje mjerenja znači da je postaja prestala sa radom). Na nekim postajama bilo je prekida u radu za vrijeme rata, a neke su prestale sa radom i do sada nisu obnovljena mjerenja (Gračac, Slavonski Brod).

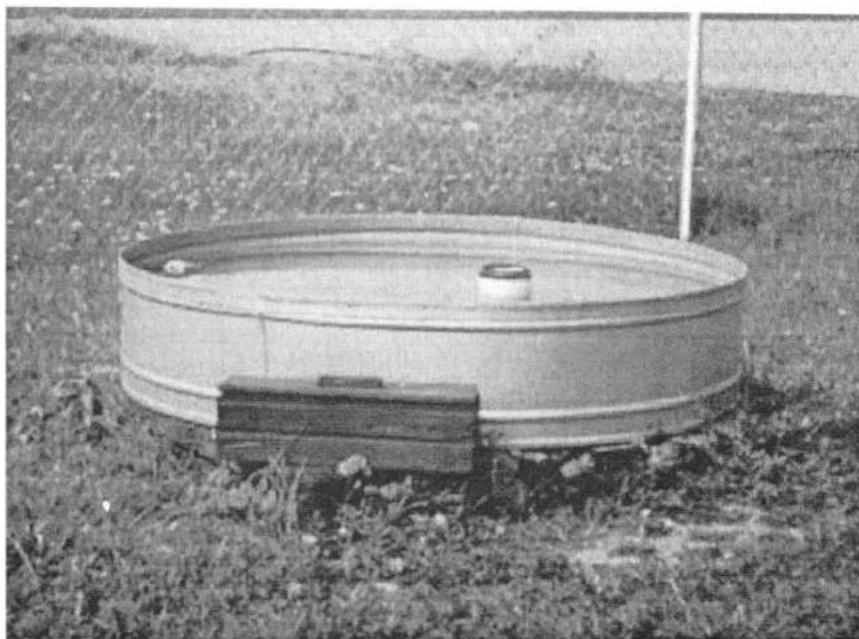
Kako je vidljivo iz slike 2 postaje ne pokrivaju cijelo područje Hrvatske. Na cijelom priobalnom dijelu i području južnije od Sinja nema ni jednog isparitelja, a na otocima mjerilo se samo na Cresu i to od 1997. do kolovoza 1998. kad je došlo do prekida mjerenja. Gorski dio također nije pokriven zadovoljavajućim brojem postaja koje mje-



Slika 2. Mreža postaja za mjerenje isparavanja

re isparavanje, pogotovo uzimajući u obzir komplicirani utjecaj reljefa, odnosno nadmorske visine na sve meteorološke elemente, pa tako i na isparavanje.

Službeni instrument za mjerenje količine isparene vode sa slobodne vodene površine u mreži meteoroloških postaja u Hrvatskoj je, od samih početaka mjerenja, isparitelj klase A (slika 3.). Mjerenje isparavanja obavlja se dva puta dnevno u 07 i 19 sati svakog dana od travnja do listopada ili studenog, kad se prestaje s mjerenjima zbog mogućnosti zamrzavanja vode u isparitelju i pucanja isparitelja. Isparitelj klase A je okrugla posuda, promjera 120 cm, duboka 25 cm, obično izrađena od pocinčanog lima, i postavljena na ravnu podlogu – drveno postolje. U isparitelju se nalazi komora za umirenje, koju čini valjkasta posuda, visine 20 cm i promjera 9 cm, koja stoji na trokutastom postolju na tri vijka koji omogućavaju postavljenje komore u vodoravan položaj. Prilikom mjerenja, u posudu komore, stavlja se mikrometerski vijak koji mjeri količinu isparene vode iz isparitelja (u mm), između dva uzastopna mjerenja. Uz to mjeri se i količina oborine, temperatura vode u isparitelju, običnim termometrom za



Slika 3. Isparitelj klase A

vodu, te brzina vjetra (obično anemometrom koji bilježi prijedeni put uz isparitelj na visini od 2 m iznad tla).

Isparitelj klase A, kao i svi isparitelji postavljeni na površini zemlje, zbog relativno male količine vode u posudi isparitelja čije stijenke nisu termički izolirane, daje povećene vrijednosti isparavanja. Međutim, kako je on često korišten tip isparitelja u različitim klimatskim područjima, na različitim geografskim širinama i nadmorskim visinama, te su njegovi podaci bili komparirani s podacima mjerenim u velikim bazenima i drugim tipovima isparitelja, bilo je moguće odrediti koeficijent korekcije za preračunavanje u vrijednosti isparavanja sa većih vodenih akumulacija. Koeficijent 0,70 primjenjuje se u umjerenim geografskim područjima gdje se i mi nalazimo. Poznato je da se vrijednost koeficijenta mijenja tijekom sezone mjerenja, te je navedena vrijednost (0,70) srednja vrijednost iz cijele sezone za višegodišnji niz mjerenja.

Zaključne napomene

Analiza postojeće mreža postaja za mjerenje isparavanja pokazuje da ona ne pokriva cijelo područje Hrvatske, jer u priobalnom dijelu, na otocima i južnije od Sinja nema niti jedne postaje koja mjeri isparavanje. Trebalo bi postaviti barem još četiri isparitelja (tri na otocima tako da bude pokriven sjeverni, srednji i južni dio te jedan u najjužnijem kopnenom dijelu). Tu je također i gorski dio koji nije zadovoljavajuće pokriven postajama za mjerenje isparavanja. Poznato je da na isparavanje, kao uostalom i na sve druge meteorološke elemente, utječe reljef, odnosno nadmorska visina postaje. Utjecaj nadmorske visine na isparavanje još nije dovoljno istražen da bi se mogla utvrditi zakonitost promjene s visinom. Razlog tome je ato se meteorološki elementi koji prvenstveno utječu na isparavanje različito ponašaju s porastom nadmorske visi-

ne. Dok temperatura zraka u principu opada s visinom, brzina vjetara se povećava. Općenito je prihvaćeno, kao rezultanta svih utjecaja, da se isparavanje smanjuje s porastom nadmorske visine.

Isparitelj klase A ima svoje prednosti. Jednostavan je za postavljanje i održavanje, lako je vidljivo ako posuda isparitelja curi i može se brzo i lako pokrpati. Ima i nedostatke, kao i svi isparitelji postavljeni na površini zemlje, daje povećane vrijednosti isparavanja, pa podatke za korištenje u daljnjim proračunima za primjenu treba smanjiti za 30% odnosno množiti ih s faktorom s faktorom 0,70.

Iako postoje podaci za desetak postaja s nizom mjerenja dužim od 30 godina, do sada nije bilo cjelovite analize mjerenih podataka isparavanja za cijalu Hrvatsku. Jedna takva analiza neophodna je i treba ju što prije napraviti. Rađene su samo pojedinačne studije i elaborati za pojedine investitore i druge korisnike naših usluga.

Bez obzira hoće li biti međunarodne usporedbe mjerenja isparavanja različitim tipovima instrumenata ili ne, trebalo bi provesti usporedbu mjerenja ispariteljem klase A i termički izoliranog isparitelja GGI 3000 TM. To ne bi bio preveliki financijski izdatak, a za nekoliko godina dobili bismo pouzdanije koeficijente kojima bismo množili podatke dobivene ispariteljem klase A, odnosno pouzdanije podatke za daljnje proračune za druge potrebe.

Literatura

- Penzar, B. i suradnici, 1996: Meteorologija za korisnike. Školska knjiga i Hrvatsko meteorološko društvo, str. 274, Zagreb.
- WMO, 1966: Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Technical Note No. 83, WMO No. 201, TP 105, pp. 121, Geneva.
- WMO, 1973: Comparison between pan and lake evaporation. Technical Note No. 126, WMO No. 354, pp 52, Geneva.
- WMO, 1976: The CIMO International evaporimeter comparison. WMO No. 449, pp 38, Geneva.
- WMO, 1995: CIMO (Expert meeting for the preparation of an intercomparison of instruments and procedures for measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Male Vozokany, Slovak Republic.

Autor

Mr. sc. Janja Milković

Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, 10000 Zagreb, Tel. 45 65 605

Fax 431 026



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.07.

Varijacije vodne ravnoteže u morskim parkovima

Višnja Vučetić, Marko Vučetić

SAŽETAK: U sklopu projekta *Očuvanje bioraznolikosti u Jadranskom moru*, kojim je predviđeno osnivanje posebno zaštićenih područja duž jadranske obale, analizirani su klimatski uvjeti i varijacije na širem području budućih lokacija morskih parkova na sjevernom Jadranu u razdoblju 1951.–1995. Analiza se zasniva na podacima najbližih meteoroloških postaja u Rovinju za budućj morski park Vrsarski otoci, Puli za Medulinsko vanjsko otočje, Cresu za otoke Veli i Mali Čutin te Rabu za otoke Goli, Prvić i Grgur. Budući da su količina oborine, isparavanja i vlage u tlu međusobno povezani i znatno djeluju na otočku floru, izračunate su i srednje godišnje vrijednosti komponenata vodne ravnoteže (potencijalna i stvarna evapotranspiracija te gubitak vode iz tla) po Palmerovoj metodi. Prema analizi linearnog trenda i neparametarskog Mann-Kendallovog testa utvrđeno je posljednjih 45 godina postojanje signifikantnog trenda potencijalne evapotranspiracije (kronološko povećanje) i relativne vlažnosti zraka (kronološko smanjenje) na svim postajama osim u Cresu. Primijećene su i tendencije smanjenja količine oborine na promatranim lokacijama, ali linearni trendovi nisu signifikantni na razini 0,05.

KLJUČNE RIJEČI: klimatske varijacije, Palmerova metoda, sjeverni Jadran

Water Balance Variations in Marine Parks

SUMMARY: Within the framework of the project Adriatic Sea Biodiversity Preservation the climate conditions and variations were analyzed in the wider area of the future marine parks in the Northern Adriatic (period 1951–1995). The analysis is based on the data acquired at the nearest meteorological stations in Rovinj (future Vrsarski Otoci Marine Park), Pula (Medulinsko Vanjsko Otočje Park), Cres (islands of Veli and Mali Čutin) and Rab (islands of Goli, Prvić, and Grgur). Since the amount of precipitation, evaporation and soil moisture content are interrelated and have considerable effect on the island flora, the mean annual values were calculated for the water balance components (potential and actual evapotranspiration, soil water loss) after the Palmer method. According to the linear trend analysis and non-parametrial Mann-Kendall test, a significant trend of potential evapotranspiration (chronological increase) and relative air humidity (chronological decrease) was determined for the last 45 years in all stations, with exception of the Cres station. The precipitation amount decrease trends were noticed at the observed locations, while the linear trends are not significant at the level of 0.05.

KEYWORDS: climatic variations, Palmer method, Northern Adriatic

1. Uvod

Isparavanje vode s površine, kondenziranje ili sublimiranje vodene pare u atmosferi i stvaranje oblaka iz kojih pada oborina i stvara vodene tokove na kopnu ukazuju na stalno kruženje vode na Zemlji i međusobnu povezanost mora, kopna i atmosfere. Zajednički naziv za isparavanje vode s tla i s bilja jest evapotranspiracija. Budući da se taj meteorološki element mjeri vrlo rijetko, najčešće se različitim metodama procijeljuje iz meteoroloških podataka koji se svakodnevno mjere kao što su temperatura

zraka, količina oborine i relativna vlažnost zraka. Jedna od metoda, koja uključuje sve komponente vodne ravnoteže (potencijalnu i stvarna evapotranspiraciju, gubitka vode iz tla, zalihe vode u tlu i otjecanje), jest Palmerova metoda (Palmer, 1965.). Ta metoda primijenjena je na meteorološke podatke za postaje: Rovinj za budući morski park Vrsarski otoci, Pula za Medulinsko vanjsko otočje, Cres za Veli i Mali Čutin te Rab za Goli, Prvič i Grgur u razdoblju 1951.–1995. Cilj rada je bio ocijeniti klimatske varijacije u termičkom i oborinskom režimu te režimu evapotranspiracije i gubitka vode iz tla na budućim lokacijama morskih parkova u sjevernom Jadranu. Prva takva analiza u sklopu projekta *Očuvanje bioraznolikosti u Jadranskom moru* napravljena je za morski park Silba koja je pokazala signifikantno smanjenje potencijalne evapotranspiracije i povećanje relativne vlažnosti zraka u razdoblju 1964.–1993. (V. Vučetić i M. Vučetić, 1997.). Tendencija smanjenja količine oborine i stvarne evapotranspiracije također je ustanovljena na Silbi, ali nije bila statistički signifikantna.

2. Trendovi ulaznih i izlaznih varijabli Palmerove metode

Penzar (1976.) i Pandžić (1985.) prvi su primijenili Palmerovu metodu na meteorološke podatke Zagreba i jadranskog područja. M. Vučetić i V. Vučetić (1993., 1994., 1996.) te V. Vučetić i M. Vučetić (1993., 1996., 1997.) primijenili su tu metodu na različita područja Hrvatske. Gajić-Čapka i Zaninović (1998) pokazale su da evapotranspiracija u Crikvenici nije imala sekularni trend usprkos porastu temperature zraka i padu relativne vlažnosti u protekle 93 godine.

Koristeći klimatološke podatke srednje mjesečne temperature zraka i relativne vlažnosti zraka, mjesečnu količinu oborine kao i pedološke podatke kapacitet tla moguće je odrediti stvarnu evapotranspiraciju. Potencijalna evapotranspiracija određuje se pomoću Eaglemanove relacije (Eagleman, 1967., Pandžić, 1985., V. Vučetić i M. Vučetić, 1996.). Palmer pretpostavlja da se tlo sastoji od dva sloja. Gornji sloj je površinski sloj i njegova dubina odgovara dubini oranja (približne dubine 20 cm). To je sloj koji prima kišu te iz kojeg se održava evapotranspiracija dok se god sva raspoloživa voda ne potroši u tom procesu. U donjem sloju – zoni korijena (približne dubine od 20 cm do 100 cm) – ne stvara se zaliha vode dok se god gornji sloj ne popuni.

Godišnji hodovi oborine na promaranim postajama pokazuju maritimni tip s minimumom količine oborine u srpnju i maksimumom u studenom na svim promatranim postajama (tablica 1.). Ukupna godišnja količina oborine prostorno se razlikuje od lokacije do lokacije. U Rovinju i Puli padne oko 200 mm manje oborine nego na Cresu i Rabu. Godišnji hodovi prosječnih mjesečnih temperatura pokazuju pravilne promjene u obliku jednostrukog vala s karakterističnim porastom od minimuma u siječnju do maksimuma u srpnju. Srednja godišnja temperatura zraka je najveća na Rabu, a najmanja u Rovinju. Suprotan godišnji hod temperaturi zraka ima relativna vlažnost zraka. U prosjeku maksimum relativne vlažnosti nastupa u studenom i prosincu, a minimum u srpnju. Takav godišnji hod relativne vlažnosti karakterističan je za maritimnu klimu gdje su razlike između maksimalnih i minimalnih vrijednosti srednje mjesečne relativne vlažnosti zraka male. Srednje godišnje vrijednosti relativne vlažnosti su od 67% u Puli do 78% u Rovinju što pokazuje da je zrak relativno bogat vlagom na području sjevernog Jadrana.

Godišnji hodovi stvarne i potencijalne evapotranspiracije slični su u hladnom dijelu godine (tablica 2.). Najveće razlike među njima pojavljuju se u srpnju i kolovozu (oko 40 mm u Rovinju do približno 80 mm na Rabu). Najveći srednji mjesečni gubitak

Tablica 1. Mjesečne i godišnje količine oborine P [mm], srednje mjesečne i godišnje temperature zraka t [C] i relativne vlažnosti zraka RV [%] za Rovinj, Pulu, Cres i Rab u razdoblju 1951.–1995.

	mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	god
ROVINJ	P	66,6	59,6	59,5	60,3	58,4	63,9	53,7	70,2	82,2	97,9	103,3	75,5	851,0
	t	5,0	5,3	7,8	11,6	16,2	20,1	22,6	22,1	18,6	14,2	9,9	6,5	13,3
	RV	82	80	78	77	77	74	72	73	78	80	82	81	78
PULA	P	71,1	64,0	64,0	64,8	56,9	58,5	43,6	68,9	77,7	88,3	100,1	79,5	837,4
	t	5,5	5,9	8,3	12,0	16,6	20,6	23,4	22,9	19,2	14,7	10,2	7,0	13,8
	RV	76	74	74	72	72	71	66	68	73	75	77	77	73
CRES	P	93,4	88,3	87,2	74,2	68,7	71,7	54,8	74,1	106,1	121,1	137,3	113,4	1090,2
	t	6,1	6,6	9,1	12,8	17,4	21,2	24,1	23,6	19,8	15,2	10,8	7,5	14,5
	RV	73	71	69	69	68	66	62	64	70	73	75	75	70
RAB	P	86,9	81,1	77,5	73,9	65,9	64,3	47,7	74,3	115,8	127,7	154,7	111,5	1081,2
	t	7,4	7,7	9,7	13,1	17,6	21,3	24,2	23,7	20,2	16,0	11,8	8,8	15,1
	RV	68	67	66	66	67	66	60	62	68	69	71	71	67

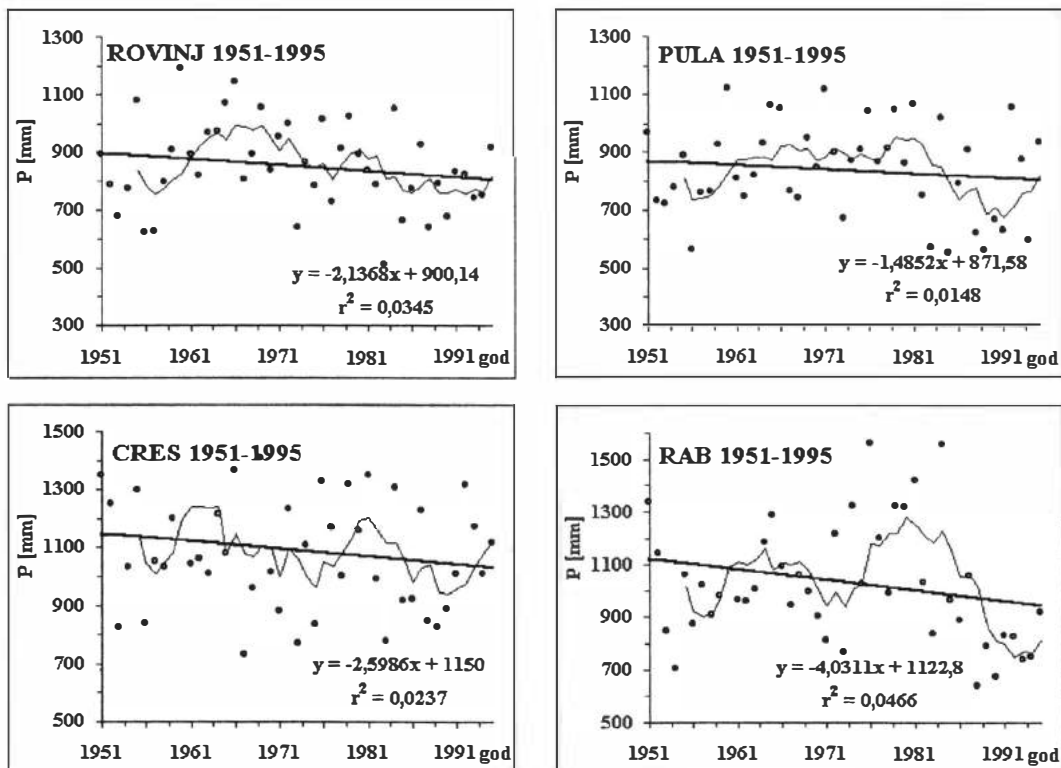
vode iz tla (46–49 mm) zabilježen je u srpnju. Nakon toga, se gubitak vode iz tla naglo smanjuje zbog male zalihe vode u tlu.

Da bi se ustanovilo da li postoje klimatske varijacije na promatranim lokacijama, analizirani su linearni trendovi ulaznih i izlaznih varijabli Palmerove metode. Vrijednosti linearnog trenda, koje su svedene na 10 godina, prikazane su u tablici 3. Jedna od metoda koja omogućuje ocjenu postojanja linearnog trenda je neparametarski Mann-Kendallov rang test (Mitchell i dr, 1966.). Definiran je s dva parametra: Kendallovim koeficijentom τ i razinom signifikantnosti α . Što su vrijednosti τ bliže nuli, to je veći α odnosno vrijednosti se kronološki ne smanjuju niti povećavaju.

Dva topla razdoblja zapažena su početkom šesdesetih i devedesetih godina, a najhladnije na prijelazu iz sedamdesetih godina u osamdesete. Najtoplija godina bila je 1994. kada je odstupanje srednje godišnje temperature zraka od višegodišnjeg prosjeka po-

Tablica 2. Mjesečne i godišnje vrijednosti potencijalne PET [mm] i stvarne evapotranspiracije ET [mm] te gubitka vode iz tla L [mm] za Rovinj, Pulu, Cres i Rab u razdoblju 1951.–1995.

	mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	god
ROVINJ	PET	22,2	24,0	32,5	47,9	71,3	105,5	131,7	124,2	85,7	55,8	36,0	25,8	762,6
	ET	21,6	23,6	32,3	47,2	67,3	93,4	96,2	78,2	65,8	51,0	35,2	25,6	637,4
	L	2,1	2,2	6,2	6,7	18,6	32,8	46,4	15,6	4,6	6,0	0,6	0,3	142,1
PULA	PET	26,7	28,9	37,2	54,0	81,9	117,5	151,8	142,7	99,6	66,1	41,7	30,6	878,7
	ET	25,8	28,0	36,5	53,1	75,4	97,9	92,2	73,6	60,8	53,9	40,4	30,0	667,6
	L	2,3	3,0	6,5	9,2	25,3	42,8	48,7	9,0	2,8	5,8	0,5	0,2	156,1
CRES	PET	30,4	32,7	43,3	61,7	95,2	131,5	168,7	158,2	111,0	71,6	45,5	33,6	983,4
	ET	30,2	32,4	43,1	60,8	88,7	111,2	102,6	81,0	75,4	63,8	44,9	33,6	767,7
	L	2,6	2,3	5,9	10,3	29,6	44,4	49,2	9,8	1,6	5,9	0,0	0,0	161,9
RAB	PET	37,3	39,5	48,2	66,7	97,2	132,0	171,9	164,3	118,7	82,8	54,8	54,8	41,3
	ET	36,9	38,6	47,0	65,1	87,7	106,8	94,8	79,0	79,4	67,7	52,9	2,9	41,2
	L	2,9	4,9	8,5	9,7	30,6	41,9	47,9	5,5	1,8	6,9	0,2	0,2	1,8



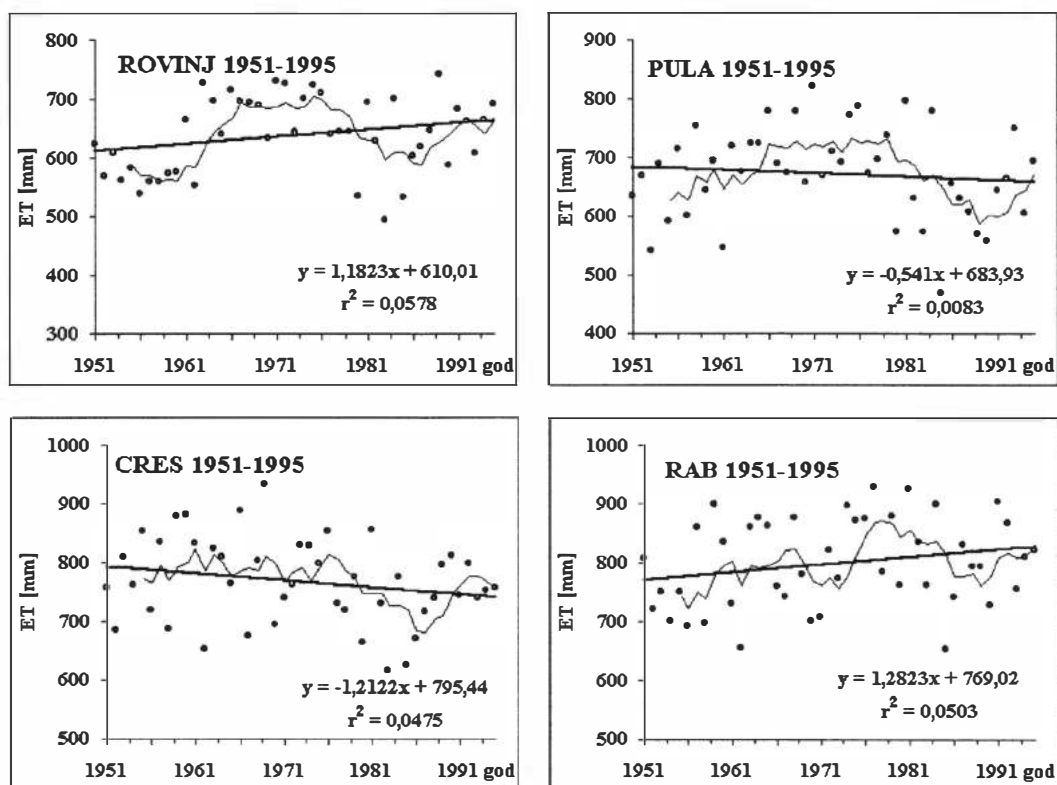
Slika 1. Vremenski nizovi (točke) godišnje količine oborine P [mm], nizovi 5-godišnjih kliznih srednjaka i linearni trendovi za Rovinj, Pulu, Cres i Rab u razdoblju 1951.–1995. x je broj godina (1,245).

stiglo najveću vrijednost od 1,1 °C na Cresu do 1,4 °C u Rovinju i Rabu. Osobito velike količine oborine primijećene su na Cresu i Rabu na prijelazu iz sedamdesetih u osamdesete godine, a manjak oborine početkom devedesetih godina.

Najveća vjerojatnost da ne postoji linearni trend je kod vremenskih nizova temperature zraka i gubitka vode iz tla (tablica 3.). Signifikantni linearni trend na razini 0,05 pojavio se u vremenskim nizovima relativne vlažnosti (kronološko smanjenje) i potencijalne evapotranspiracije (kronološko povećanje) osim na Cresu. Međutim, velika vjerojatnost za linearni trend također se zapaža kod količine oborine i stvarne evapotranspiracije na promatranim lokacijama s izuzetkom u Puli. Tendencija smanjenja godišnje količine oborine (od –14,5 mm/10 godina u Puli do –39,4 mm/10 godina na Rabu) i povećanje stvarne evapotranspiracije (11,6 mm/10 godina u Rovinju i 12,5 mm/10 godina na Rabu) može imati negativan učinak na opskrbu vodom, osobito otoka.

Zaključak

Analize, koje omogućuju dobro poznavanje klimatskih prilika i njezinih varijacija u novostvorenim uvjetima kontinuiranog onečišćenja okoliša i globalnog zagrijavanja atmosfere, neophodne su kao osnovni preduvjet racionalnog gospodarenja prirodnim dobrima pa tako i vodnim resursima. S tim ciljem istraživali su se klimatski uvjeti i varijabilnosti oborine, temperature zraka, relativne vlažnosti zraka, evapotranspiracije i gubitka vode iz tla na širem području budućih morskih parkova na sjevernom Ja-



Slika 2. Vremenski nizovi (točke) stvarne ET [mm] evapotranspiracije, nizovi 5-godišnjih kliznih srednjaka i linearni trendovi za Rovinj, Pulu, Cres i Rab u razdoblju 1951.–1995. x je broj godina (1,245).

dranu u razdoblju 1951–1995. Analizirani su klimatski podaci najbližih meteoroloških postaja: Rovinj za budući morski park Vrsarski otoci, Pula za Medulinsko vanjsko otočje, Cres za Veli i Mali Čutin te Senju i Rab za otoke Goli, Prvić i Grgur. Analiza linearnog trenda pokazala je signifikantno povećanje godišnje potencijalne evapotranspiracije i smanjenje srednje godišnje relativne vlažnosti zraka na svim promatranim lokacijama izuzev na Cresu. Tendencija smanjenja godišnje količine oborine također je ustanovljena, ali nije statistički signifikantna. Daljnje smanjenje godišnje količine oborine negativno bi utjecalo na vodoopskrbu promatranih područja, osobito otoka, što bi moglo imati katastrofalne posljedice na život čovjeka i kopneno-otočku floru i faunu.

Literatura

- Eagleman J. R., 1967: Pan evaporation, potential and actual evapotranspiration. *J. Appl. Meteorol.*, 6, 482–488.
- Gajić-Čapka, M. i K. Zaninović, 1998: Sekularne varijacije nekih komponenti vodne ravnoteže u Primorju, Zbornik radova sa znanstvenog skupa »Prilagodba poljoprivrede i šumarstva klimi i njenim promjenama, 19–20 svibnja, 1998, Zagreb, 53–60.
- Mitchell J. M. Jr., Dzerdzeevskii B., Flohn H., Hofmeyr W. L., Lamb H. H., Rao K. H. i C. C. Wallen: 1996: *Climatic Change*, WMO Tech. Note 79, Geneva, 58–75.
- Palmer C. W., 1965: *Meteorological drought*. U. S. Department of commerce, Research paper, No. 45, Washington, 58 str.

Tablica 3. Linearni trendovi [mm, °C ili % /10 god], Kendallovi koeficijenti (τ) i odgovarajuće razine signifikantnosti (α) za vremenske nizove srednje godišnje temperature zraka [t, °C], relativne vlažnosti RV [%], količine oborine P [mm], potencijalne PET [mm] i stvarne [ET, mm] evapotranspiracije te gubitka vode iz tla L [mm] za Rovinj, Pulu, Cres i Rab u razdoblju 1951-1995.

ROVINJ				PULA		
	trend	τ	α	trend	τ	α
P	-20,89	0,12	0,25	-14,52	0,04	0,70
t	0,01	0,01	0,96	-0,001	-0,004	0,97
RV	-1,85	0,36	0,00	-1,90	0,57	0,00
PET	39,32	0,39	0,00	37,92	0,44	0,00
ET	11,56	0,14	0,18	-5,29	0,05	0,67
L	2,90	0,12	0,25	-5,10	0,06	0,54
CRES				RAB		
P	-25,41	0,91	0,38	-39,42	0,18	0,09
t	-0,12	0,18	0,08	0,02	0,46	0,66
RV	0,19	0,10	0,34	-0,81	0,28	0,01
PET	-14,57	-0,02	0,08	19,11	0,27	0,01
ET	-11,85	0,14	0,18	12,54	0,16	0,12
L	0,57	0,02	0,84	2,44	0,67	0,51

- Pandžić K., 1985: Bilanca vode na istočnom primorju Jadrana, Rasprave, 20, 21–29.
- Penzar B., 1976: Drought severity index for Zagreb and its statistical forecast, Rasprave, 13, 1–58.
- Vučetić M. i V. Vučetić, 1993: Evapotranspiracija tijekom vegetacijskog razdoblja 1992, Izvanredne meteorološke i hidrološke prilike 1992 u Hrvatskoj, 16, 61–64.
- Vučetić M. i V. Vučetić, 1994: Istraživanje evapotranspiracije u nizinskom dijelu Hrvatske, Zbornik radova znanstvenog skupa »Poljoprivreda i gospodarenje vodama«, Bizovačke Toplice, 17–19. studeni 1994, 477–486.
- Vučetić M. i V. Vučetić, 1996: Evapotranspiration in the mountain area of Croatia, Zbornik radova 24. međunarodne konferencije za alpsku meteorologiju, Bled, 9–13 rujna 1996, 401–408.
- Vučetić V. i M. Vučetić, 1993: Analiza sušnog razdoblja u ljeti 1992. godine, Poljoprivredne aktualnosti, Vol. 29, Sveska 5–6, 663–669.
- Vučetić V. i M. Vučetić, 1996: Determination of evapotranspiration in Croatia, Biometeorology 14, 141–148.
- Vučetić V. i M. Vučetić, 1997: Climatic condition in the marine park of Silba, Hrvatski meteorološki časopis, 32, Zagreb, 27–36.

Autori

mr. sc. Višnja Vučetić

Državni hidrometeorološki zavod, Centar za meteorološka istraživanja, Grič 3, 10000 Zagreb

Marko Vučetić, dipl. ing.

Državni hidrometeorološki zavod, Agrometeorološki sektor, Grič 3, 10000 Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.08.

Vodni režim područja spaljenog šumskim požarom

Marko Vučetić, Višnja Vučetić

SAŽETAK: U ljeto 1997. godine veliki šumski požari spalili su oko 2000 ha površine otoka Hvara. Nedugo nako toga započela su opsežna meteorološko-biološka mjerenja i motrenja na tom području. U radu su prikazani preliminarni rezultati mjerenja oborine na eksperimentalnim kišomjernim postajama u razdoblju od veljače do prosinca 1998. godine, te usporedba s mjerenja na postajama iz mreže meteoroloških postaja na tom području. Prema Palmerovoj metodi određene su komponente vodne ravnoteže za sekularni niz 1859.–1998. Usporedba ukazuje na izuzetno kišne mjesece svibanj i kolovoz te sušno razdoblje siječanj–ožujak i listopad, ali i manjak oborine u lipnju i srpnju u 1998. godini.

KLJUČNE RIJEČI: količina oborine, šumski požar, otok Hvar

Water Regime in Forest Fire Scorched Area

SUMMARY: In summer 1997, massive forest fires scorched about 2000 ha of surface area at the Island of Hvar. Soon after the fires, comprehensive meteorological and biological measurements and monitoring was initiated in the same area. The paper discusses only the preliminary monitoring results for precipitations obtained at the experimental rain gauging stations for the period from February to December 1998, and comparison of the results obtained at the stations included in the weather stations network for the region. The Palmer method was used for determination of water balance components for the 1859-1998 series for the Island of Hvar. Comparison reveals exceptionally rainy months of May and August, and dry January-March and October periods, while insufficient precipitations were recorded for June and July 1998.

KEYWORDS: precipitation amount, forest fire, Island of Hvar

1. Uvod

Razne definicije svrstavaju šumski požar u skupinu elementarnih nepogoda, što je ispravno, ali njegov nastanak se vezuje uz drugu elementarnu nepogodu, sušu. Time učinak jedne elementarne nepogode uzrokuje drugu, ali se time krug ne zatvara. Naime, šumski požar uzrokuje velike promjene na području koje je zahvaćeno vatrom. Najveće promjene nastaju na biljnom pokrovu koji biva uništen požarom. Drastične i velike promjene u biljnom pokrovu izazivaju i one nastale erozijom. Već sami učinak vatre dovodi i do kemijsko-fizikalnih promjena u sastavu tla. Sve te nagle i velike promjene na određenom području uzrokuju promjene u biljnom pokrovu prije i nakon šumskog požara. Time se pokazuje međudjelovanje procesa koji se odvijaju u atmosferi i onih u tlu.

U većini slučajeva potrebno je dulje razdoblje da se uspostavi prvobitna prirodna ravnoteža. Ponekad dolazi do takvih promjena koje ne dozvoljavaju povratak na staro. U tom slučaju potrebna je intervencija čovjeka da bi se prirodnim zakonitostima »pomoglo« vratiti početno stanje. Međutim, svako uplitanje čovjeka i s najboljim namjerama,

ne znači da će rezultat biti željeni cilj. Štoviše, i mali propusti ili krive procjene mogu dovesti do novih elementarnih nepogoda koje će zahvatiti i puno veće površine i s puno gorim posljedicama od početne suše odnosno šumskog požara.

Cilj pokusnih meteoroloških mjerenja i motrenja, ali i fenoloških motrenja i pedoloških analiza, na području spaljenom u požaru jest baš upoznavanje prirodnih zakonitosti koje mogu imati odlučujuću ulogu pri eventualnoj čovjekovoj intervenciji u pokušaju planske zaštite područja od budućih požara. U ovome radu težište je dano analizi mjesečne količine oborine na četiri odabrane lokacije na spaljenom području na otoku Hvaru kao i usporedba s mjerenjima meteoroloških postaja iz osnovne mreže postaja. Poznavanje količine oborine nakom požara na nekom području je od bitnog značaja jer pod utjecajem oborine dolazi do fizikalno-kemijske promjene sastava tla (erozija, kisele kiše i sl.), ali istodobno oborina (voda) je i bitan čimbenik stvaranja, doslovno iz pepela, novog živog svijeta. Prirast određenih biljaka prikazan je u radu M. Vučetić i V. Vučetić (1998.), a daljnja mjerenja poslužiti će u slijedećim analizama utjecaja količine oborine i dinamike prirasta biljaka.

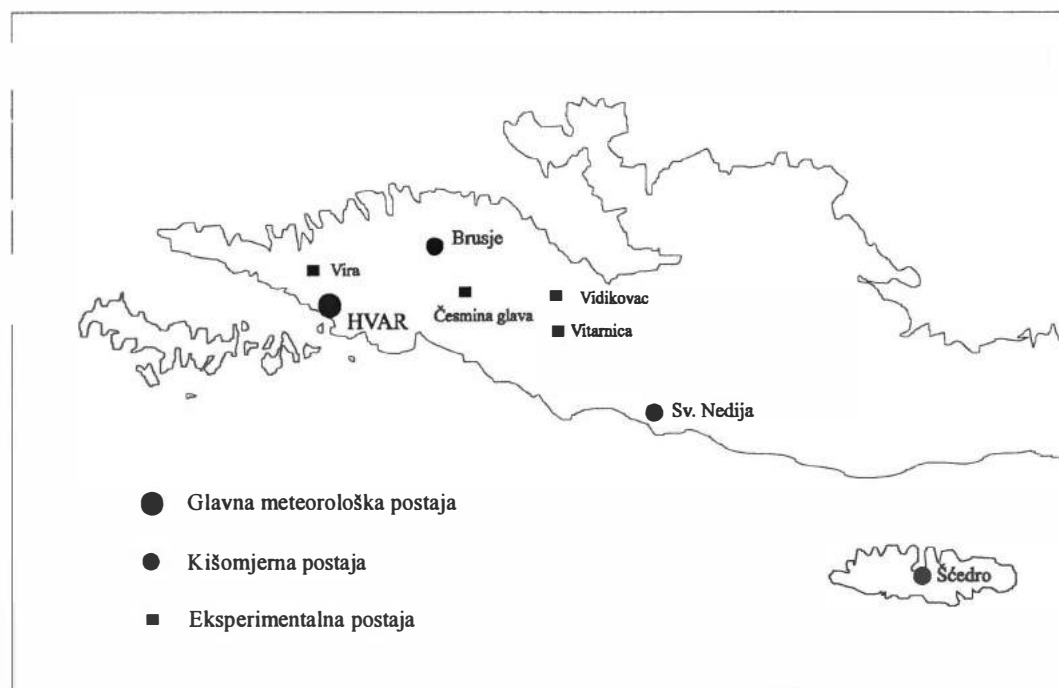
Pokusna mjerenja mjesečne količine oborine, prirasta određenih biljnih vrsta i sastava tla obavljaju se od 1. veljače 1998. godine na području otoka Hvara koje je spaljeno u velikim požarima tijekom ljeta 1997. godine. Na tom području postavljena su četiri mjesečna kišomjera-totalizatora za mjerenje mjesečne količine oborine. Također, na ovome području ili neposredno uz njega, u mreži postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda, postoje glavna meteorološka postaja Hvar te više kišomjernih postaja od kojih su u ovome radu upotrijebljeni podaci kišomjernih postaja Brusje, Sveta Nedija i Šćedro.

Četiri mjesečna kišomjera-totalizatora postavljeni su na pozicije (slika 1.) nazvane Vira (na nadmorskoj visini 85 m), Česmina glava (355 m), Vidikovac (340 m) i Vitarica (390 m). Nadmorska visina glavne meteorološke postaje Hvar je 20 m, a kišomjernih Brusja 300 m i Svete Nedije 150 m te Šćedra 10 m.

2. Analiza količine oborine i evapotranspiracije

Kao što je već prije spomenuto na eksperimentalnim postajama mjerenja su započela 1. veljače 1998. godine. Stoga je za sve postaje dana ukupna količina oborine za 11 mjeseci, a za meteorološke postaje iz mreže postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda i ukupne godišnje količine. Međusobna usporedba analizirana je u razdoblju veljača–prosinac 1998. godine u kojima su se mjerenja obavljala istodobno na svim postajama.

Najveća količina oborine u promatranom razdoblju zabilježena je na kišomjernoj postaji Brusje (710,5 mm, tablica 1.). Za tom postajom slijede količine oborine na eksperimentalnim postajama Vitarica (692,7 mm) i Vidikovac (681,2 mm). Najmanja količina oborine izmjerena je u Svetoj Nediji (611,2 mm) iako je prijašnjim analizama (Makjanić i Volarić, 1978.) pokazano da se godišnja količina oborine smanjuje prema zapadnom dijelu otoka i prema otvorenom moru. Ovu pretpostavku narušuju količine oborine zabilježene na najzapadnijoj postaji Vira od 641,7 mm što je osjetnije više nego na postaji Hvar (612,1 mm) ili Svetoj Nediji. Također, ni količine oborine izmjerene na kišomjernoj postaji Šćedro (666,0 mm) ne uklapaju se u opće očekivanu prostornu raspodjelu količina oborine. Dakako, iz ovoga kratkoga razdoblja mjerenja (čak i nepotpuna godina) nemoguće je izvesti decidirani zaključak o lokalnim utjecajima (reljef tla, oblik terena, biljni pokrov ili neki drugi) na prostornu raspodjelu količina oborine.



Slika 1. Položaj meteoroloških postaja na otoku Hvaru.

U tablici 1. dani su mjesečni hodovi količina oborine pojedinih postaja. Vidljivo je dobro poklapanje hodova količine oborine na eksperimentalnim postajama i na glavnoj postaji Hvar. Također, isti zaključak vrijedi i za kišomjerne postaje Brusje, Sveta Nedija i eksperimentalnu postaju Vitarnica. Na slici 3. i tablici 2. prikazana su odstupanja količine oborine na eksperimentalnim postajama s količinom oborine zabilježene na glavnoj postaji Hvar. Treba uočiti razdoblje lipanj–rujan koje je i inače kritično s obzirom na tada povoljne vremenske uvjete koji doprinose izbijanju i širenju šumskih požara. Naime, eksperimentalne postaje Česmina glava i Vidikovac u tom razdoblju imaju manje količine oborine od glavne postaje Hvar. Razlike druge dvije eksperimentalne postaje, Vira (krajnje zapadna) i Vitarnica (krajnje istočna) pokazuju suprotan hod u rujnu i listopadu što bi se moglo pripisati kasnoj i ranojesenskoj promjeni tipova vremena. Nedostajući podatak za siječanj sada se pokazuje kao bitan podatak da se ustanovi njihov mogući sinkroni hod tijekom cijele zime. Sve eksperimentalne postaje imaju veću količinu oborine od glavne postaje Hvar u svibnju i studenome.

Budući da su količina oborine, isparavanja i vlage u tlu međusobno povezani i znatno djeluju na otočku vegetaciju, izračunate su i srednje godišnje vrijednosti komponenta vodne ravnoteže (potencijalna i stvarna evapotranspiracija te gubitak vode iz tla) po Palmerovoj metodi (Palmer, 1965.; Penzar, 1976.; Pandžić, 1985.; Štambuk i Vučetić, 1994. te V. Vučetić i M. Vučetić, 1996., 1997.) za postaju Hvar za 1998. godinu i uspoređeno s dugogodišnjim nizom 1859–1998.

Na slici 2. prema dugogodišnjem nizu oborine uočava se da minimum količine oborine nastupa u srpnju (26,0 mm), a maksimum u studenom (103,4 mm). Ljeti dolazi do najvećih razlika između potencijalne i stvarne evapotranspiracije (oko 120 mm) i go-

Tablica 1. Srednje mjesečne i godišnje količine oborine za postaje na otoku Hvaru za 1998.

Postaje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Zbroj	God
Hvar	47.7	19.8	4.1	52.8	100.0	23.6	11.9	79.5	70.1	33.0	115.7	101.6	612.1	659.8
Vira		18.5	0.9	45.3	121.3	27.1	12.0	73.3	76.3	25.4	133.1	108.5	641.7	
Brusje	81.2	33.6	14.5	70.0	115.2	23.7	9.6	67.4	66.1	53.3	120.6	136.5	710.5	791.7
Česmina g		25.0	5.9	56.3	125.0	11.1	2.1	59.8	58.0	43.2	119.8	148.0	654.2	
Vidikovac		18.5	12.8	56.8	142.2	17.2	4.9	63.0	52.2	65.7	126.7	121.2	681.2	
Vitarnica		26.6	12.8	49.1	154.8	16.0	4.5	70.3	42.4	53.4	149.2	113.6	692.7	
Sv. Nedija	46.9	22.3	21.5	30.3	143.2	7.3	4.0	53.3	42.3	41.5	129.1	116.4	611.2	658.1
Šćedro	68.1	31.4	25.5	44.2	120.4	16.2	5.1	58.0	114.8	43.9	107.2	99.3	666.0	734.1

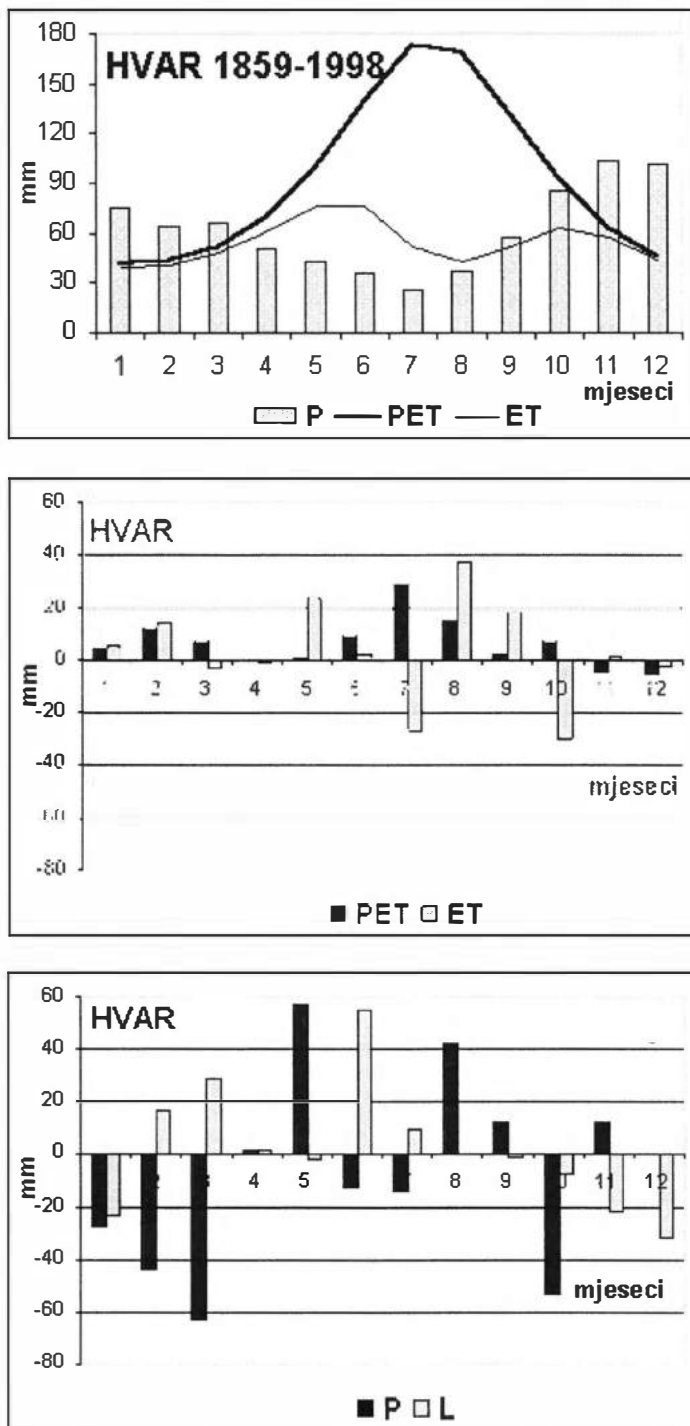
Tablica 2. Odstupanje srednje mjesečne i godišnje količine oborine između kišomjernih i eksperimentalnih postaja te glavne meteorološke postaje Hvar za 1998. godinu.

Postaje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	od 2 do 12	God
Vira		-1.3	-3.2	-7.5	21.3	3.5	0.1	-6.2	6.2	-7.6	17.4	6.9	29.6	
Česmina g		5.2	1.8	3.5	25.0	-12.5	-9.8	-19.7	-12.1	10.2	4.1	46.4	42.1	
Vidikovac		-1.3	8.7	4.0	42.2	-6.4	-7.0	-16.5	-17.9	32.7	11.0	19.6	69.1	
Vitarnica		6.8	8.7	-3.7	54.8	-7.6	-7.4	-9.2	-27.7	20.4	33.5	12.0	80.6	
Brusje	33.5	13.8	10.4	17.2	15.2	0.1	-2.3	-12.1	-4.0	20.3	4.9	34.9	98.4	131.9
Sv. Nedija	-0.8	2.5	17.4	-22.5	43.2	-16.3	-7.9	-26.2	-27.8	8.5	13.4	14.8	-0.9	-1.7
Šćedro	20.4	11.6	21.4	-8.6	20.4	-7.4	-6.8	-21.5	44.7	10.9	-8.5	-2.3	53.9	74.3

tovo nikakva gubitka vode iz tla jer je ranije potrošena zaliha vode u tlu. Odstupanje količine oborine u 1998. godini od višegodišnjeg prosjeka pokazuje na izrazito kišne mjesec svibanj (s odstupanjem 57,2 mm) i kolovoz (42,4 mm) te sušno razdoblje od siječnja do ožujka (od -27,6 mm do -62,7 mm) i u listopadu (-52,7 mm). Manjak oborine zabilježen je također i u lipnju i srpnju.

U skladu s mjesečnom količinom oborine u 1998. godini su i odstupanja stvarne evapotranspiracije od višegodišnjeg prosjeka. U srpnju i listopadu 1998. godine stvarna evapotranspiracija bila je ispodprosječna, a pojačana evapotranspiracije pojavila se u svibnju i kolovozu kad je količina oborine bila iznadprosječna. Gubitak vode iz tla bio je najizraženiji u lipnju nakon obilnih oborina u svibnju, a u siječnju, studenom i prosincu bio je ispod vrijednosti višegodišnjeg prosjeka. Iako je 1998. godina imala manjak oborine za 87 mm u odnosu na prosjek 1859.–1998., stvarna evapotranspiracija je bila za 39 mm iznad prosjeka.

Prema tome, može se zaključiti premda je zabilježen manjak oborine u 1998. godine u odnosu na višegodišnji prosjek i pojačana evapotranspiracija, u najvažnijim fenolo-



Slika 2. Godišnji hod mjesečne potencijalne PET [mm] i stvarne evapotranspiracije ET [mm] te mjesečne količine oborine P [mm] za Hvar u razdoblju 1859.–1998. i odstupanje tih veličina kao i gubitka vode iz tla L [mm] za 1998. godinu od višegodišnjeg prosjeka 1859.–1998.

škim fazama u proljeće (u svibnju) te na kraju ljeta (u kolovozu) biljke na spaljenom području primile su dovoljnu količinu oborinske vode i to im je omogućilo normalni rast i razvoj.

Zaključak

U budućim analizama trebat će posvetiti više pozornosti podacima pojedine postaje i obaviti njihovu detaljniju analizu da bi se ustanovio godišnji hod razlika za svaku postaju. Pokažu li se u višegodišnjim mjerenjima slične zakonitosti tijekom godine to bi moglo biti od izuzetnog značaja. Takve bi analize mogle imati odlučujuću ulogu kod donošenja preventivnih mjera (moguće manje akumulacije, plansko podizanje slabo zapaljivih nasada, uređenje poljoprivrednog zemljišta) za sprečavanje nastajanja i širenja požara. Također, se u budućim analizama očekuje ustanoviti vezu između oborinskog režima ali i komponenti vodne ravnoteže i dinamike prirasta pojedinih biljaka na spaljenom području. Podaci vodne ravnoteže sekularnog niza postaje Hvar činit će okosnicu tih analiza.

Litertura

- Makjanić B. i B. Volarić, 1979: Prilog poznavanju klime otoka Hvara, Rad JAZU, 273–344.
- Palmer, C. W., 1965: Meteorological drought. U. S. Department of commerce, Research paper, No. 45, Washington, 58 str.
- Pandžić, K., 1985: Bilanca vode na istočnom primorju Jadrana, Rasprave, 20, Zagreb, 21–29.
- Penzar, B., 1976: Drought severity index for Zagreb and its statistical forecast, Rasprave, 13, Zagreb, 1–58.
- Štambuk S. i M. Vučetić, 1994: Stanje i perspektive voćarstva glede klimatskih uvjeta na hrvatskim otocima, Zbornik radova znanstvenog skupa »Strategija održivog razvitka hrvatskih otoka«, Hvar, 19–21 svibnja, 1994, 311–320.
- Vučetić M., 1998: Specijalna mjerenja nakon šumskih požara na otoku Hvaru, Hrvatska vatrogasna zajednica, Vatrogasni vjesnik 4, 12.
- Vučetić M. i V. Vučetić, 1998: Oborinski uvjeti i šumski požari na otoku Hvaru, Zbornik radova okruglog stola »Voda na hrvatskim otocima«, Hvar, Hrvatska, 30 rujna–2 listopada, 1998, 109–118.
- Vučetić V. i M. Vučetić, 1996: Determination of evapotranspiration in Croatia, Biometeorology 14, 141–148.
- Vučetić V. i M. Vučetić, 1997: Climatic condition in the marine park of Silba, Hrvatski meteorološki časopis, 32, Zagreb, 27–36.

Autori

Marko Vučetić, dipl. ing.

Državni hidrometeorološki zavod, Agrometeorološki sektor, Grič 3, 10000 Zagreb

mr. sc. Višnja Vučetić

Državni hidrometeorološki zavod, Centar za meteorološka istraživanja, Grič 3, 10000 Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.09.

Značenje voda u geografiji

Željka Šiljković

SAŽETAK: Članak analizira značenje voda u geografskoj znanosti, polazeći interes prvenstveno na socio – ekonomsku dimenziju. Ukazuje se na ulogu voda u ekonomskom razvoju čovjeka i njegove zajednice, te na probleme vezane uz rast broja stanovnika, posebno u nerazvijenim zemljama i urbanim sredinama.

Članak ocjenjuje čovjeka kao korisnika i potrošača prostora koji svojim djelatnostima uzrokuje degradaciju određenog geografskog prostora u cjelini, ali i njegovih dijelova, posebno hidrosfere. Homocentrizam modernog društva izaziva niz akcidenata koji mogu trajno ugroziti kvalitetu i količinu voda na Zemlji, a time i svoj vlastiti opstanak.

KLJUČNE RIJEČI: voda, geografija, geografski prostor, antropogeni učinak

Significance of Waters for Geography

SUMMARY: The paper analyzes significance the waters have in geographical science, primarily focusing on their socio-economic aspect. The role of water is highlighted in economical development of mankind and human communities, and the issues are considered related to increase in population (particularly in underdeveloped countries and urban communities). The paper considers a man as a user and consumer of space whose activities cause degradation of a particular geographical space as a whole, or some of its segments, especially hydrosphere. Homocentrism of contemporary society results in numerous accidents which might cause permanent damage to quality and quantity of global water resources and consequently to survival of the mankind.

KEYWORDS: water, geography, geographical space, anthropogenic effects

Uvod

Voda je sastavni dio svakog znanstvenog bavljenja geografijom. U svom proučavanju prirodnog ili antropogeno oblikovanog pejzaža geografija nužno direktno ili indirektno uključuje i pitanje uloge i važnosti voda. Prirodna sredina, svojim elementima, klimom, reljefom, vodama utječe na formiranje i način funkcioniranja života čovjeka i njegove uže ili šire zajednice. No jednako tako čovjek u svojoj postprirodnoj ekspanzirajućoj fazi razvoja oblikuje prirodnu sredinu, prilagođavajući je svojim potrebama. Time u njoj uzrokuje kvalitativne i kvantitativne promjene pretvarajući je u kulturni, antropogeni prostor. Jedan od njegovih najčešćih objekata djelovanja je voda, bez obzira da li je riječ o morskoj sredini, rijekama, jezerima ili podzemnim vodama. Stoga je i jedan od zadataka geografije analiza hidrosocioloških i ekonomskih odnosa čovjeka (kao pojedinca ili grupe) i voda (kao cjelovitog prirodnog elementa ili pojedinog njenog dijela). Važnost voda i njihovo funkcioniranje proučava se kroz brojne geografske discipline, počevši od hidrogeografije, klimatologije, geomorfologije, urbane i ruralno – agrarne do prometne i industrijske geografije, te demogeografije i historijske odnosno ekogeografije.

Rasprava

Od najranijih faza u razvojnom stadiju čovjeka voda je imala presudnu ulogu u opstanku i razvoju čovječanstva. Prve ljudske naseobine nastale su uz vodu – tekućice i mora. Voda je bila izvor hrane (ribolov), da bi potom dobila i šire značenje, kao komunikacijski put, ali i prostor oko kojeg su se koncentrirale velike svjetske kulture, temeljeći svoj razvoj na poljoprivredi uz natapanje.

Rijeke i mora postali su važne prometne arterije koje su omogućile i poticale kontakt i međusobni kulturni utjecaj različitih civilizacija.

Agrarna je proizvodnja od svojih početaka (obrađa kopačicom, motikom) do moderne poljoprivrede danas (plodored, mehanizacija, umjetno gnojenje) usko vezana uz vodu, bilo da se radi o potrebama isušivanja ili umjetnog navodnjavanja.

Poremećaji u snabdijevanju vodom, poplave i suše često su uzrok ekoloških akcidenta koji se neposredno odražavaju na funkcioniranje određene ljudske zajednice. Manjak vode uzrokom je podbačaja u agrarnoj proizvodnji, te uvjetuje pojavu gladi i sve masovnije pojave ekoloških izbjeglica. Subsaharska Afrika područje je konstantne opasnosti od gladi. Oko 215 milijuna stanovnika (WFP., 1996.) kronično je pothranjeno, a pretpostavke su da će se u narednih 15 godina taj broj povećati za 100 milijuna (315 mil. gladnih u 2010. g.). Apsolutno, je najveći broj gladnog stanovništva u Aziji. Oko 500 milijuna stanovnika južne i istočne Azije unosi u organizam manje od 1700 kalorija dnevno. Od 80-ih godina broj gladnih i nedovoljno ishranjenih povećao se i u Latinskoj Americi (46 milijuna 1980. g. na 60 milijuna 90-ih godina)

Usljed nemogućnosti navodnjavanja obradivih površina vodama iz prirodnih izvora sve se više u aridnim i semiaridnim krajevima primjenjuju otpadne komunalne vode. No, ove vode često sadrže visoke koncentracije teških metala koji se prodirući u tlo prenose i u podzemne vode. U komunalnim otpadnim vodama nalaze se suspendirani i otopljeni organski i anorganski spojevi (N, P, Cl, CaCO₃ – tab. 1.), ali i živa, cink, teški metali, te patogeni virusi, bakterije i protozoe.

Primjena otpadnih voda u poljoprivredi posredno i / ili neposredno ugrožava nekoliko kategorija stanovništva:

- poljoprivrednike i njihove obitelji
- radnike na farmama
- potrošače žitarica, mesa i mlijeka
- stanovništvo u blizini područja navodnjavanja otpadnim vodama.

Stalni rast prirodnog priraštaja, smanjene stope mortaliteta, te porast nataliteta, posebno u nerazvijenim zemljama izazvali su povećani pritisak stanovništva na obradivu zemlju. Nemogućnost zemlje da prehrani sve veći broj stanovnika, uzrokom je kontinuiranog odljeva agrarnog stanovništva u gradove. Paralelo u današnjem svijetu teku dva procesa: deruralizacija – urbanizacija, te deagrarijacija – industrijalizacija. Počeci urbanizacije vežu se za razdoblje I industrijske revolucije, razvoja crne metalurgije i željezničkog prometa. Gradovi na rijekama, ili njihovim ušćima postaju centri novog industrijskog doba. Uz tokove rijeka locirane su tradicionalne industrijske grane (prehrambena, kožna, tekstilna, drvna), čije su se onečišćene otpadne vode slijevale direktno u vodotoke ili u tlo.

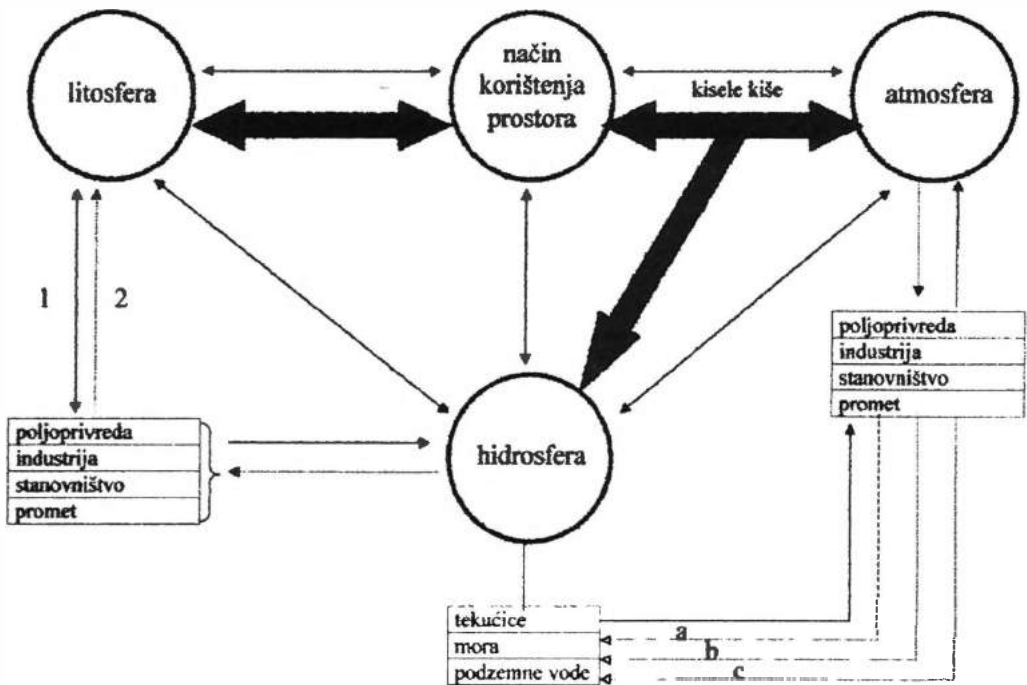
Većina razvijenih zemalja završila je odljev svog agrarnog stanovništva u gradove, već krajem 19. st., odnosno do 20-ih god. ovog stoljeća, a industrijski se nalaze u fazi postindustrijskog, odnosno tercijarnog razvoja. Problem su i nadalje nerazvijene zem-

Tablica 1. Glavni elementi otpadnih voda iz kućanstva koje se koriste za navodnjavanje

SASTAV	KONCENTRACIJA, mg/l			AMMAN – JORDAN
	jaka	srednja	slaba	
Ukupno čestica	1200	700	350	–
Otopljene čestice	850	500	250	1170
Suspendirane čestice	350	200	100	900
Dušik (N)	85	40	20	150
Fosfor (P)	20	10	6	25
Klor (Cl)	100	50	30	–
Alkali (Ca CO ₃)	200	100	50	850
BPK ₅	300	200	100	770

Izvor: UN Department of Tehnical Coperation for Development, 1985. Al – Salem, 1987.

lje Afrike, Azije i Latinske Amerike u kojima ovaj proces urbanizacije teče spontano, bez ekonomske opravdanosti. Siromaštvo sela ustupilo je mjesto bijedi gradskih slama, i favela na rubovima velikih urbanih centara, u područjima bez vodovoda, kanalizacije, stalno na izvoru zaraza i bolesti (tab. 2.).



1 pozitivan utjecaj 2 negativan utjecaj A rizik onečišćenja B rizik smanjenja rezervi C termopolucija

Slika 1. Odnos prirodne sredine i antropogenog djelovanja u geografskom prostoru

Tablica 2. Urbano stanovništvo nekih od zemalja Latinske Amerike, 1994.

DRŽAVA	UKUPNO URBANOG STANOVNIŠTVA	U %
COSTA RICA	1 352 375	44,0
CUBA	8 111 613	74,4
DOMINIKANSKA REPUBLIKA	4 881 102	61,7
EL SALVADOR	2 581 834	50,4
GUARTEMALA	4 107 934	38,7
HAITI	2 338 842	32,6
HONDURAS	2 842 877	47,5
NICARAQUA	2 875 051	63,3
PANAMA	1 444 622	54,9
PORTO RICO	2 508 346	71,2
BOLIVIA	3 694 846	57,5
BRAZIL	110 990 990	75,6
CHILE	12 002 308	84,5
ECUADOR	6 784 855	59,2
PARAQUAY	2 089 684	50,3
PERU	16 758 691	71,2
URUQVAY	2 870 688	90,1
VENEZUELA	15 227 740	84,1

Izvor: WBO, 1997.

Opskrba gradova vodom jedno je od najtežih pitanja današnjice. Onečišćenost tala pesticidima i umjetnim gnojivom, zraka polutantima prometa, industrije i domaćinstava, te sve većim količinama otpada direktno se ugrožavaju rezerve pitke vode, vode u podzemlju i u vodotocima.

Stoga se kao jedno od bitnijih pitanja pred geografiju postavlja pronalaženje prihvatljivog rješenja za harmonizaciju odnosa: voda - čovjek - grad - okoliš, u cilju postizanja krajnjeg rezultata – kvalitetan život u kvalitetnom okolišu.

Za geografska istraživanja bitna je činjenica da se sve ljudske aktivnosti odvijaju u određenom prostoru, odnosno da imaju prostorno geografsku dimenziju. To znači da je čovjek korisnik, ali i potrošač prostora u cjelini, ali i pojedinih njegovih elemenata (hidrosfere, pedosfere, atmosfere). Utjecaj čovjeka na prostor ne ovisi samo o privlačnosti ili neprivlačnosti pojedinih dijelova na nj, već i od osobina svakog pojedinca i/ili zajednice, njihove/njihovih socio- ekonomskih obilježja: spola, dobi, ekonomske snage zajednice, stupnja obrazovanja, zanimanja, etničke, vjerske i/ili političke pripadnosti, te pripadnosti određenim interesnim grupama i životnom standardu. Svi ti elementi zasebno ili skupno oblikuju i utjecaj čovjeka na hidrosferu.

Utjecaj vode na tehnosisteme

Sistem	Rang važnosti					
	1	2	3	4	5	6
Poljoprivr.						
Industrija						
Energetika						
Šumarstvo						
Promet						
III–IV sektor						

1. suvišna, 2. nepotrebno, 3. neutralno, 4. nužno, 5. neophodno

Utjecaj tehnosistema na vode

Sistem	Rang važnosti					
	1	2	3	4	5	6
Poljoprivr.						
Industrija						
Energetika						
Šumarstvo						
Promet						
III–IV sektor						

1. vrlo štetan, 2. štetan, 3. osrednji, 4. dobar, 5. pozitivan, 6. vrlo pozitivan

Homocentrizam, negativan, ili što je međutim rijetkost, pozitivan čovjeka prema prirodi u cjelini, ali i prema samo jednom njenom dijelu odražava se na promjene u kvaliteti hidrosfere. Međusobni odnos čovjek-hidrosfera kreće se u obrnutom smjeru. Dok se odnos čovjeka prema vodi ocjenjuje uglavnom na negativnoj skali vrijednosti (smanjenje rezervi pitke vode, onečišćenje vodotoka, mora, podzemnih voda, termopolucija), važnost voda za čovjeka i njegovu aktivnost u prostoru ocjenjuje se na skali pozitivnih vrijednosti (opskrba pitkom vodom, HE, navodnjavanje, plovni put, rekreacija).

U odnosu čovjek/humana zajednica? voda, geografija polazi od istraživanja, ne samo na temelju pitanja: Gdje se što dogodilo? (Gdje je izvršen akcident na hidrosferu)

Kada? (je izvršen)

Kako? (je izvršen),

Već se postavljaju nova ključna pitanja:

ZAŠTO? (je čovjek izvršio promjene/akcident u prirodi)

KOJE SU POSLJEDICE? (takvog djelovanja po prirodnu sredinu u cjelini, hidrosferu, ali i povratno po čovjeka)

KAKO RIJEŠITI NASTALU SITUACIJU? (što učiniti u cilju sanacije postojećeg stanja i onemogućiti nove akcidente).

Stoga geografija mora usko surađivati sa prirodnim znanostima, ali i društvenim u zajedničkom multiznanstvenom pristupu koji može dovesti do pozitivnih pomaka u promišljanju važnosti Geosfere, ali i konkretnih aktivnosti u određenom geografskom prostoru.

Zaključak

Vode su sastavni dio geografskog istraživanja prostora, kako sa fizičkog tako i sa društveno-ekonomskog stajališta. Funkcioniranje čovjeka u geografskom prostoru usko je povezano s funkcioniranjem geo-ekosistema čiji je sastavni dio i voda.

U ekspanzirajućoj fazi svog razvoja čovjek je svojim potrebama prilagodio i podvrgao sve prirodne elemente prostora. Voda postaje vrijednost samo ako je vrijedna po čovjeka i njegovu zajednicu. Homocentričnim stavom čovjek je uzrokovao ozbiljne, ali i trajne poremećaje u prirodnoj sredini, izazivajući brojna onečišćenja, smanjenja rezervi pitke vode, suše, zaslanjivanje tala.

Geografija u svom modernom pristupu proučavanja odnosa čovjek - geografski prostor - voda težište svog interesa mora usmjeriti na nova pitanja: Zašto se nešto dogodilo, s kojim posljedicama i kako riješiti nastalo stanje.

U tome se geografija mora okrenuti suranji sa prirodnim, ali društvenim i ekonomskim znanostima.

Literatura

- Bailey, G. R. (1996.): *Ecosystem Geography*, New York, 1996.
- Bonacci, O. (1998.): Voda – osnovni čimbenik razvoja gradova, *Hrvatske vode*, Vol.6. br.22, Zagreb, ožujak 1998. Str. 31 – 42.
- FAO(1994.): *Wastewater treatment and use in agriculture*, New York, 1994.
- Gams, I. (1986.): *Osnove pokrajinske ekologije*, Ljubljana 1986.
- Riđanović, J. (1986.): Objekt suvremene hidrogeografije i bitni aspekti proučavanja vode, *Geografski glasnik*, br. 48, Zagreb 1986., str. 27–34.
- Riđanović, J. (1989.): *Hidrogeografija*, Zagreb 1989.
- Tarman, K. (1992): *Osnove ekologije in ekologija živali*, DZS, Ljubljana, 1992.
- WFP – FAO, (1996): *Annual Report*, New York, 1996.
- World Bank Organization (1997): *Latin American Population*, New York, 1997.

Autor

Doc. dr. sc. Željka Šiljković
Filozofski fakultet u Zadru, Odsjek za geografiju



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.10.

Numeričko modeliranje olujnih vjetrova na Jadranu

Nedjeljka Brzović

SAŽETAK: Diskutirani su rezultati novijih istraživanja olujnih vjetrova na Jadranu i njihova povezanost s procesima srednjih razmjera nad Alpama i Dinaridima. Rezultati numeričkih simulacija potvrđuju sposobnost upotrijebljenih modela da reproduciraju tipičan slijed atmosferskih procesa nad Jadranom, posebno pojavu i prostorno-vremenske varijacije olujnih bure i juga. Prikazani rezultati naglašavaju važnost primjene numeričkih modela visoke rezolucije radi razlučivanja ciklonalne aktivnosti nad Jadranom povezane s razvojem bure i juga olujnog intenziteta.

KLJUČNE RIJEČI: olujni vjetrovi, Jadran, numerički modeli atmosfere

Numerical Modeling of Gales in the Adriatic

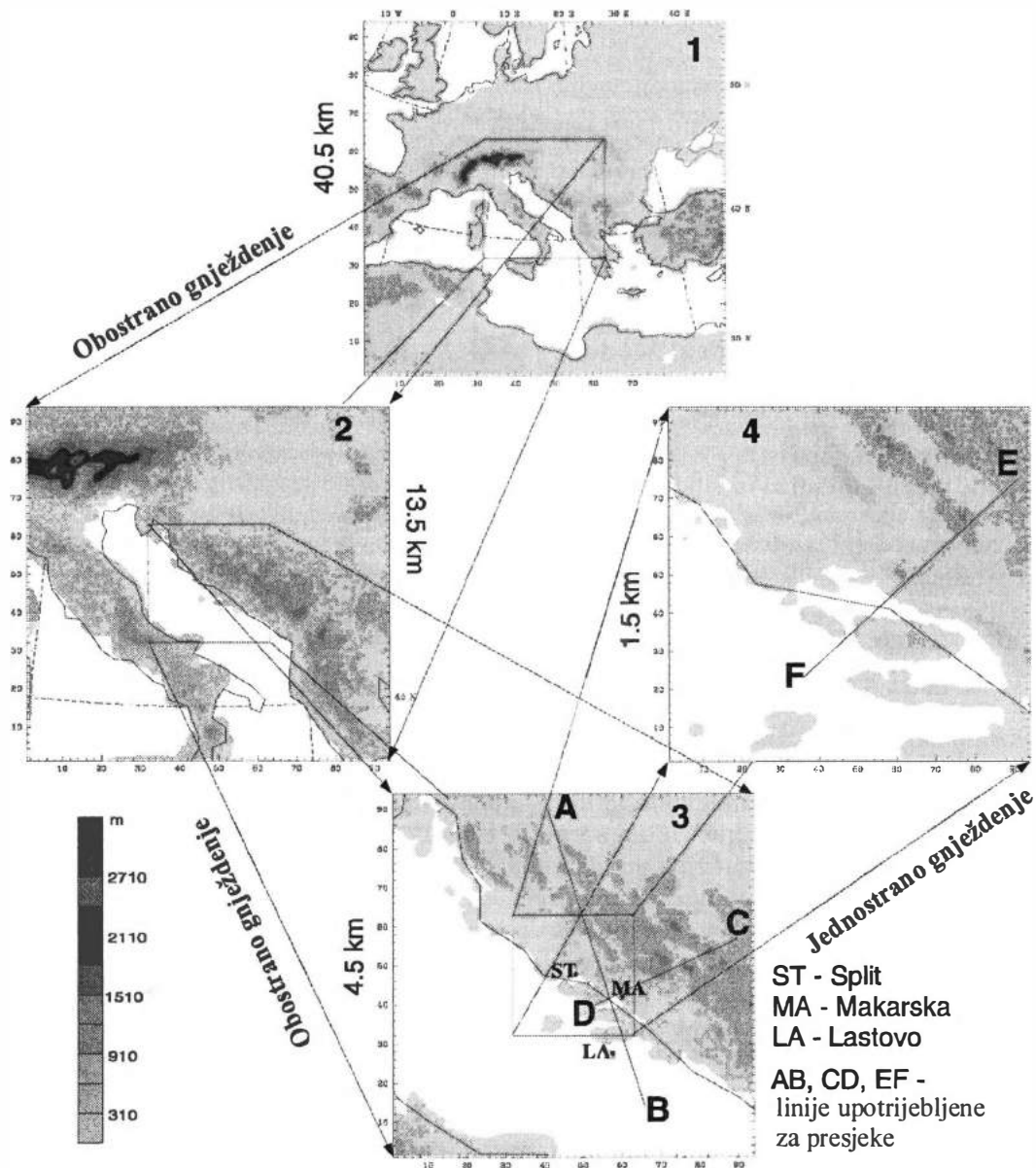
SUMMARY: The results are discussed of the recent research of storms in the Adriatic and their relation with the medium-scale processes developing over Alps and Dinarics. The results of numeric simulations confirm capacity of used models to reproduce typical sequence of atmospheric process over the Adriatic, particularly the occurrence and spatial and time variations of gale-force bora (north-eastern wind) and sirocco. The presented results underscore importance of application of high-resolution numerical models in distinguishing cyclonal activity over the Adriatic which relates to development of bora and sirocco of gale intensity.

KEYWORDS: gales, Adriatic, numeric modelling of atmosphere

1. Uvod

Kompleksna orografija područja Hrvatske, s Panonskom nizinom na sjevernoj strani, Alpama na zapadnoj i Jadranskim morem na južnoj, čini područje Hrvatske pogodnim za postojanje niza lokalnih vjetrovnih sistema različitih jačina i trajanja, pa je njihova analiza dosad bila predmet mnogobrojnih istraživanja. Olujni vjetar u Hrvatskoj je najčešći duž obale, a statistika godišnjih maksimalnih udara pokazuje da maksimalni udari vjetra i njihova najveća čestina pripadaju buri. Osim bure, olujnu jačinu najčešće postiže jugo na Jadranu, tijekom hladnog dijela godine. Za intenzitet olujne bure na Jadranu najvažniju ulogu imaju gradijenti tlaka preko Dinarida i vertikalna stratifikacija atmosfere u navjetrini. Ovaj gradijent, udružen s kanalnim utjecajem na vjetar zbog oblika orografije na određenim lokacijama (npr. Vratnik kod Senja) već je sam dovoljan da izazove jake vjetrove. Tijekom zimskih mjeseci interakcija ciklone razvijene u zavjetrini Dinarida može značajno pojačati gradijente tlaka i prizemne vjetrove na tom području (Brzović, 1999.). Treći faktor koji doprinosi jačanju vjetra koji puše od kopna preko mora je nepostojanje (tj. zanemarivo malo) trenje. Primjenom numeričkih modela moguće je proučiti povezanost između olujnih vjetrova i ciklona i usporediti ubrzanje strujanja dobiveno numeričkim modelom s izmjerenim brzinama.

Enger i Grisogono (1998.) su ispitali osjetljivost strujanja tipa bure o razlici temperatura kopna i mora. Njihovi rezultati pokazuju da razlika temperature između površine mora i kopna (gdje je površina mora toplija) dovodi do proširenja područja bure do stotinjak kilometara nad otvoreno more. Rezultati Orlića i sur. (1994.) su pokazali da bura uzrokuje složen odziv Jadrana, pri čemu se formira nekoliko područja povišene odnosno snižene razine mora. Strujno polje je pod dominantnim utjecajem rotacije u polju vjetra. Jugo uzrokuje porast razine mora u sjevernom Jadranu. U ovom radu se prikazuju mogućnosti analize i predviđanja lokalnih varijacija bure i juga uzduž jadranske obale primjenom numeričkih modela velikog razlučivanja. Cilj rada je prika-



Slika 1. Domena numeričkog modela MM5 korištena za simulaciju olujne bure na Jadranu.

zati sposobnost meteoroloških instituta da javnosti osigura pravodobnu najavu, analizu i fizikalnu dijagnozu olujnih atmosferskih procesa u Hrvatskoj.

2. Numerički modeli atmosfere

50 godina nakon što su američki meteorolozi Charney, Fjørtoft i von Neumann upotrijebili prvi elektronički kompjuter za izvođenje prve numeričke prognoze vremena nezamislivo je predviđati pojavu i varijacije atmosferskih procesa srednjih i malih razmjera bez upotrebe numeričkih modela. Osnovu numeričkih modela atmosfere čini integracija jednadžbi gibanja u vremenu, počevši od stanja atmosfere u određenom trenutku.

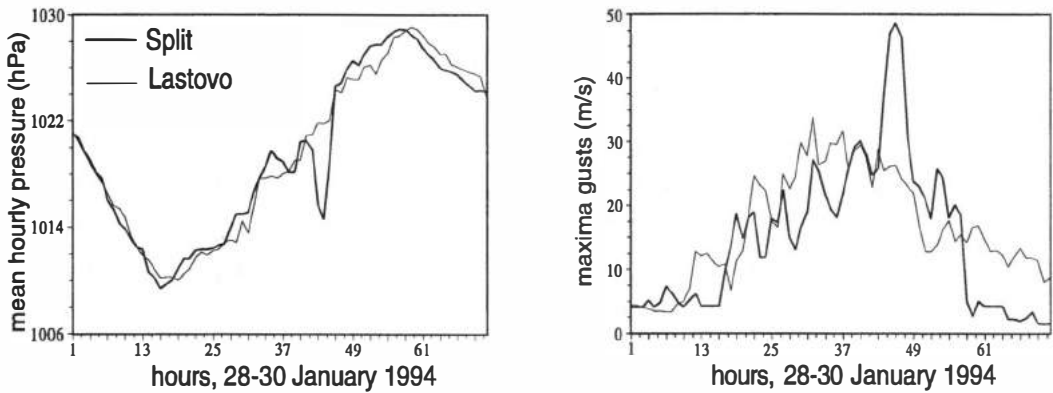
Uzevši u obzir činjenicu da je Jadran skoro zatvoreni bazen čiji je poprečni promjer u prosjeku svega 160 km, atmosferski sustavi koji se razvijaju i/ili premještaju nad njim za detaljan opis svog životnog ciklusa zahtijevaju upotrebu modela čije je horizontalno razlučivanje reda desetak kilometara. MM5 model, čija će primjena za simuliranje olujne bure biti prikazana u ovom radu, prvi je model u kojem je primijenjena metoda obostranog gnježdenja ili dvostruke interakcije između domena modela. Svrha korištenja obostrano interaktivnih domena je predati informaciju veće rezolucije s unutrašnje domene vanjskoj domeni u svakom koraku integracije i na taj način uvažiti utjecaj procesa manjih razmjera na većoj domeni. Slika 1. prikazuje postav modela koji se sastoji od 4 domene rezolucija 40,5 km, 13,5 km, 4,5 km i 1,5 km. Domene 2 i 3 su obostrano interaktivne s domenom višeg reda, dok je četvrta domena jednostrano gnježdena u domenu 3.

Drugi model, rezultati čijih će simulacija olujnih bure i juga biti ovdje prikazani, je model ALADIN, koji se već nekoliko godina koristi i u svakodnevnom operativnom radu u Državnom hidrometeorološkom zavodu. Model je primijenjen za potrebe istraživanja olujnih vjetrova u Hrvatskoj (Brzović, 1997.) i upotrijebljen za izvođenje studija osjetljivosti rezultata modela na prikaz orografije i procese povezane s pretvorbama vlage. Dobiveni rezultati pokazali su utjecaj orografije Dinarida i Apenina te vlažnih procesa na nastanak i razvoj ciklona i olujnih vjetrova nad Jadranom.

3. Numerička simulacija olujne bure na Jadranu

29. siječnja 1994. na observatoriju Split-Marjan zabilježen je udar vjetra brzine 48,5 m/s (slika 2.) što predstavlja apsolutni maksimalni udar od početka mjerenja na toj lokaciji. Iako je na širem području obale od Splita do Makarske bura imala orkansku jačinu, na otocima, usprkos olujnom intenzitetu, nisu zabilježile nagle promjene tlaka (9,9 hPa/2 sata u Splitu) i brzine kao na obali (vidi sliku 2.).

Rezultati modela prikazani na slici 3. pokazuju da je uzduž srednjedalmatinske obale tj. podno Biokova i Kozjaka došlo do loma atmosferskih orografskih valova u donjoj troposferi što je uzrokovalo nagli porast brzine zabilježen u Splitu i prekid rada anemografa u Makarskoj. Pojava je bila lokalnog karaktera jer npr. na Lastovu nije došlo do naglih promjena. Unutar domene veće rezolucije (slika 3. gore) je lom valova izraženiji a vertikalna gibanja jača i u gornjoj troposferi prelaze 5 m/s. Pojave ovako velikih vertikalnih brzina i loma atmosferskih valova dovode do nestabilnosti u atmosferi kakve su veoma opasne za zračni promet. Kao posljedica ove pojave na visini, pri tlu dolazi do značajnih perturbacija tlaka. Maksimalne brzine vjetra pri tlu dostigle su 40 m/s u vrijeme maksimalnog zabilježenog udara u Splitu. Ovi rezultati ilustriraju



Slika 2. Vremenski hod tlaka na razini mora (gore) i maksimalnih udara vjetra (dolje) na Lastovu i na observatoriju Split-Marjan u razdoblju od 28. do 30. siječnja 1994.

kako poboljšanje horizontalnog razlučivanja modela značajno poboljšava strukturu polja vjetra u orografski složenim uvjetima.

Drugi model, prikazan u ovom radu, je numerički prognostički model ALADIN koji se već pokazao kao izuzetno kvalitetan za predviđanje prodora hladnog zraka nad područje Jadrana kakve obično slijedi pojava jake do olujne bure uzduž obale.

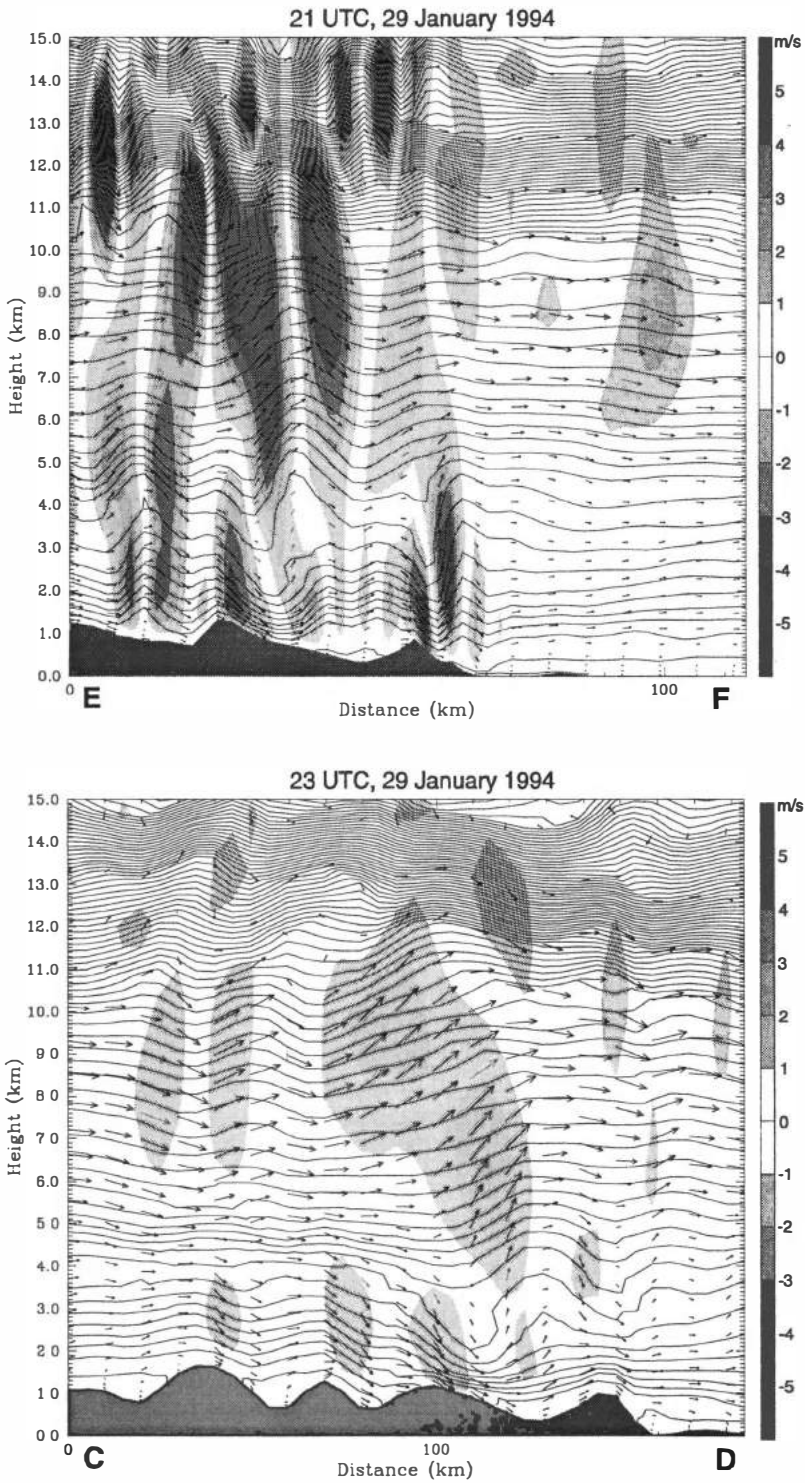
Primjer takve simulacije je prikazan na slici 4. koja pokazuje jačanje bure nad Rije- kom nakon prodora hladnog zraka u travnju 1997. Ova slika ilustrira poznate karakteristike bure: jačanje vjetra nakon prolaska fronte preko određene lokacije, jačanje vjetra visinom s maksimumom brzine bure blizu vrha orografske prepreke, na oko 1 km visine.

Vertikalna struktura olujne bure u prostornim presjecima preko Dinarida (slike ovdje nisu prikazane) pokazuje da je maksimum brzine vjetra lociran je iznad vrhova orografije i uzduž južnih padina Dinarida prema Jadranu ali se bura olujne jakosti proširuje i nad otvoreni Jadran, u suglasju s rezultatima Engera i Grisogona (1998.).

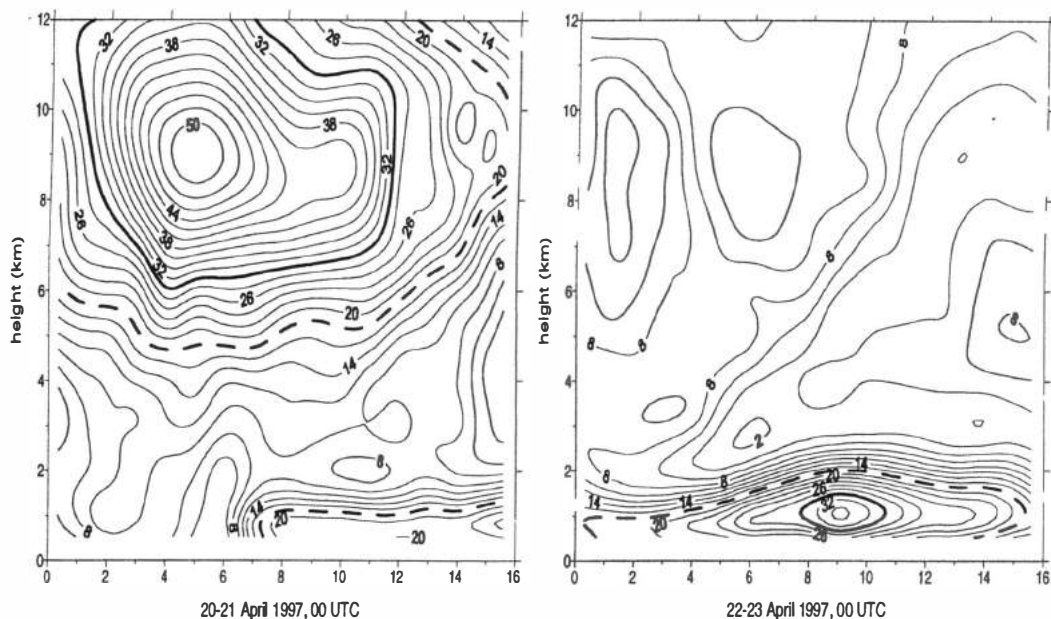
4. Numerička simulacija olujnog juga na Jadranu

Olujno jugo duž obale ili jugozapadnjak na otvorenom Jadranu često prethode dan do dva pojavi najjačih bura duž obale. Radi se o tipičnom slijedu procesa srednjih razmjera nad područjem Jadrana, kakav su na primjeru vremenske situacije s početka travnja 1996. opisale i numerički simulirale Brzović i Strelec Mahović (1998.). 3. travnja 1996. je na dubrovačkom području zabilježeno do 180 mm oborine pale u 24 sata. Slika 5. ilustrira kako jugozapadni vjetar jača ulaskom nad Jadran, posebno uzduž istočne obale. Rezultati modela su uspoređeni s mjerenjima na Jadranu i pokazuju da je model dobro predvidio smjer i jačinu vjetra. 20-ak sati kasnije (slika 5. dolje) na sjeverni Jadran je prispjela hladna fronta i zapuhala je bura dok na južnom Jadranu jugo slabi.

Ovakva struktura polja vjetra pogoduje jačanju ciklonalne cirkulacije i razvoju olujnih procesa nad Jadranom. Prikazani rezultati dobiveni su numeričkim prognostičkim modelom ALADIN i potvrđuju sposobnost modela da uspješno prikaže polje vjetra na Jadranu za vrijeme olujnog juga. Drugi primjer numeričke simulacije juga je pri-



Slika 3. Prostorni presjek potencijalne temperature (pune linije), vektora vjetra i vertikalnih gibanja (obojena područja) preko Dinarida i srednjedalmatinske obale (vidi pravce presjeka na slici 1.).



Slika 4. Vremenski vertikalni presjek horizontalne brzine vjetra nad Rijekom u razdoblju od 20. do 24. travnja 1997., dobiven iz dviju uzastopnih prognoza modela ALADIN, svaka s trajanjem od 48 sati.

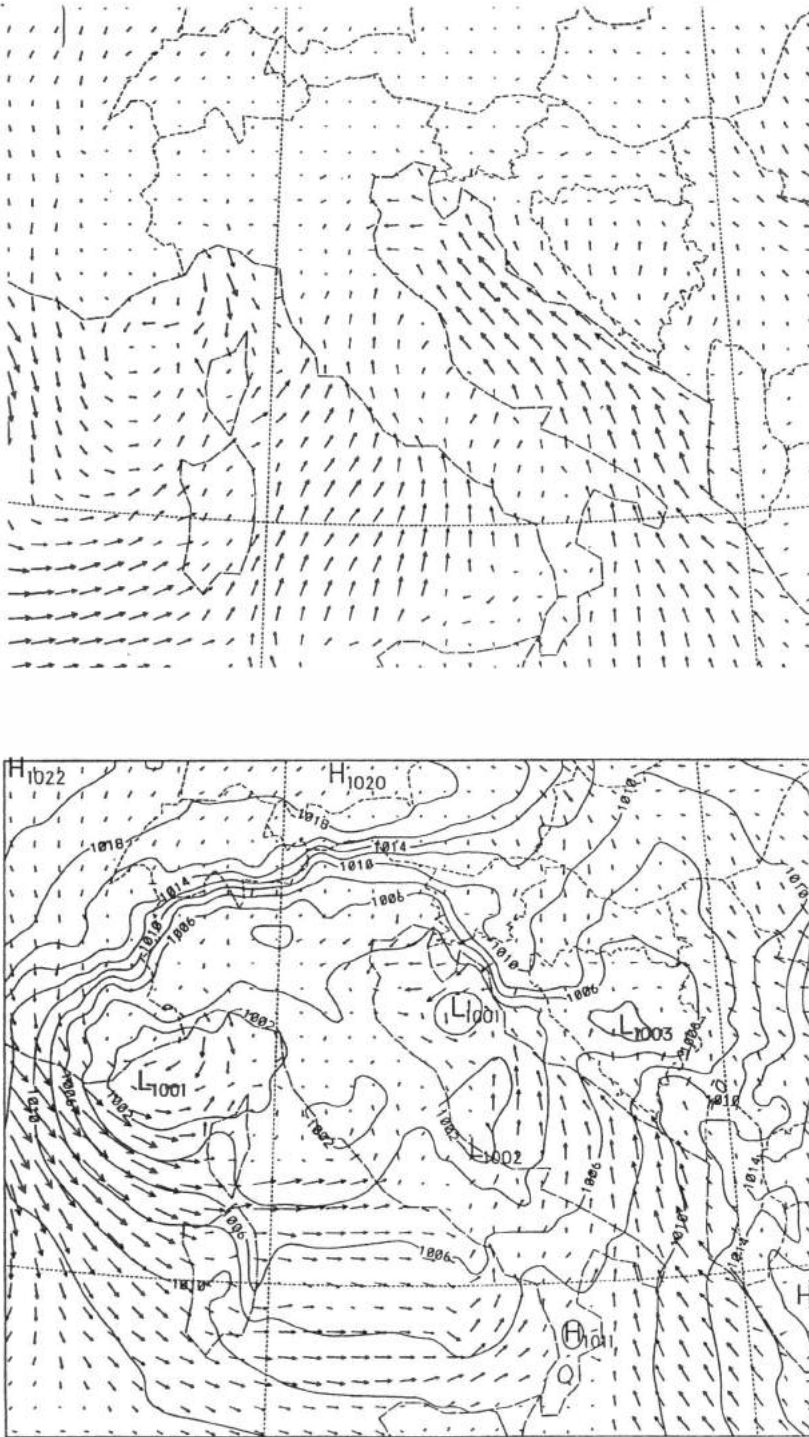
kaz vertikalne strukture atmosfere u Splitu (slika 6.) krajem prosinca 1995. Na samu Staru godinu 1995. zabilježene su obilne količine oborina na dalmatinskim otocima, priobalju i zagori, kao i u susjednoj Hercegovini. Prolazak fronte i jačanje ciklonalne cirkulacije nad Jadranom praćeni su jačanjem juga na južnom Jadranu koje je maksimalnu jakost postiglo tijekom noći i jutarnjih sati 31. prosinca.

Obje ove simulacije kao i detaljna analiza klimatoloških i sinoptičkih podataka pokazuju da su najintenzivniji slučajevi juga na Jadrana povezani s izvanredno velikim količinama oborine uzduž hrvatske obale Jadrana. Upotrebljeni model je pravilno reproducirao intenzitet i prostornu-vremensku razdiobu količine oborina, što je informacija važna brojnim gospodarskim djelatnostima.

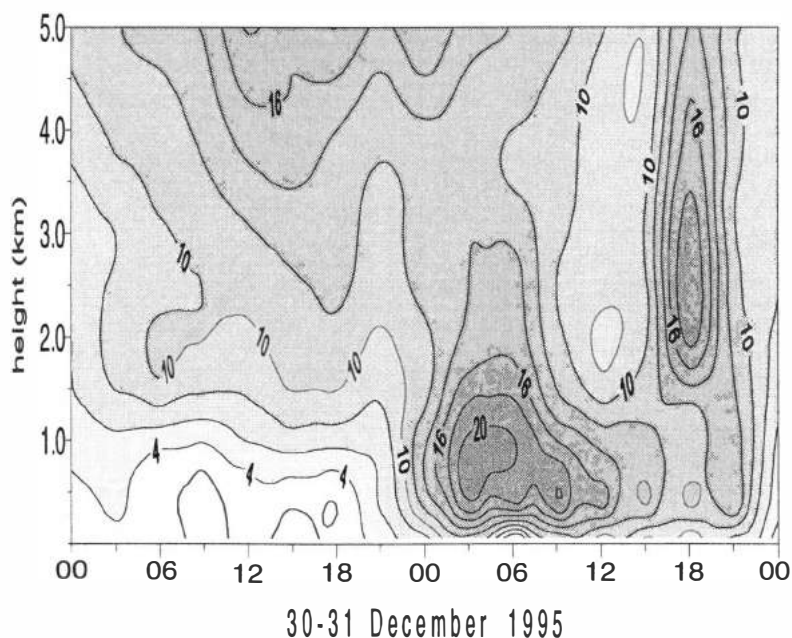
6. Zaključak

Rezultati prikazani u ovom radu dokazuju da su današnji numerički modeli atmosfere, odnosno modeli ALADIN i MM5 upotrijebljeni za prikazane numeričke simulacije, sposobni da reproduciraju tipičan slijed atmosferskih procesa nad Jadranom. Posebno važna je sposobnost modela da pravilno predvide nastanak i intenzitet pojedinih pojava kao što su prolazak intenzivnih fronti, nagle promjene temperature, velike količine oborine, vjetrovi olujne jakosti posebno olujni bura i jugo i njihove varijacije uzduž obale i nad otvorenim Jadranom.

Prikazani rezultati demonstriraju kako oblik i visina Dinarskog gorja kao i okolne orografije Alpskog područja i Apenina generiraju niz složenih atmosferskih procesa nad Jadranom. Njihovi prostorni razmjeri kao i životni tijek ovisni su prvenstveno o orografskom učinku Dinarida, temperaturnim razlikama i razlikama u sadržaju vlage



Slika 5. 6-satna prognoza prizemnog vjetra uspoređena s sinoptičkim mjerenjima na obalnim postajama (duža crtica na zastavici izmjerеног вјетра одговара brzini од 5 m/s, а краћа 2.5 m/s), за 06 UTC, 2. travnja 1996. (gore). 27-satna prognoza prizemnog tlaka i vjetra за 03 UTC, 3. travnja 1996., i izmjerени vjetar на неколико локација.



Slika 6. Vremenski presjek brzine vjetrova nad Splitom u razdoblju od 30. do 31. prosinca 1995. Slika je rezultat 48-satne numeričke integracije modelom ALADIN.

između kopna i mora. Usljed zatvorenosti jadranskog bazena, životni ciklus atmosferskih procesa nad njim može biti potpuno neovisan o procesima na susjednom području zapadnog Sredozemlja i Alpa. Stoga je primjena numeričkih modela visokog razlučivanja neophodna za razumijevanje fizikalnih procesa odgovornih za nastanak olujnih vjetrova na Jadranu i njihov utjecaj na strujanja u moru.

Literatura

- Brzović, N., 1997: Numerička simulacija olujnih vjetrova u Hrvatskoj. Magistarska radnja, Sveučilište u Zagrebu, 1997, 97 str.
- Brzović, N. and N. Strelec Mahović, 1998: Cyclonic activity and severe jugo in the Adriatic. *Physics and Chemistry of the Earth*, u tisku.
- Brzović, N., 1999: Factors Affecting the Adriatic Cyclone and Associated Windstorms. *Contributions to Atmospheric Physics*, 72, 51–65.
- Enger, L. and B. Grisogono, 1997: The response of bora-type flow to the sea surface temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 124, 1227–1244.
- Orlić, M., M. Kuzmić and M. Pasarić, 1994: Response of the Adriatic Sea to the bora and sirocco forcing. *Continental Shelf Research*, 14, 91–116.

Autor

mr. Nedjeljka Brzović
Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, 10000 Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.11.

Prijenos onečišćenja atmosferom na područje Dubrovnika

Alica Bajić

SAŽETAK: U radu je dan opis metode ocjene atmosferskog prijenosa onečišćenja na primjeru Dubrovnika zimi 1998./99. u čijoj je osnovi proračun trodimenzionalnih trajektorija česti zraka. Uz to je, kao metoda koja daje detaljan uvid u porijeklo onečišćivača na odabrano područje, dan i primjer proračuna doprinosa pojedinih izvora emisije koncentraciji SO₂ u zraku u Dubrovniku u dvije vremenske situacije u ožujku 1999. Prikazani tipovi analize daju osnovu za mnoge studije utjecaja na okoliš, a osobito su korisni za analizu mogućeg utjecaja na stanje osjetljivih vodnih resursa koji su ugroženi taloženjem onečišćenja iz različitih izvora emisije udaljenih od nekoliko desetaka do više stotina kilometara.

KLJUČNE RIJEČI: prijenos onečišćenja, trajektorije, numerički modeli atmosfere

Airborne Pollution Transportation in the Dubrovnik Region

SUMMARY: The paper describes airborne pollution transportation evaluation methods, using the City of Dubrovnik in winter 1998–1999 as an example. The method is based on calculation of 3D trajectories of air particles. Additionally, since this is the method giving a detailed insight into pollutant origin for a particular region, an example is given of calculation for individual pollution sources contribution to SO₂ concentration in the Dubrovnik air for two weather situations in March 1999. Elaborated types of analyses are the basis for numerous environmental impact studies, and they are particularly useful in analyzing possible impact on condition of susceptible water resources threatened by participation of pollution from different emission sources located ten or more kilometers away.

KEYWORDS: pollution transportation, trajectories, numerical models of atmosphere

1. Uvod

Promjena fizikalnih i dinamičkih svojstava atmosfere na vremenskoj skali od nekoliko sati do nekoliko dana može značajno utjecati na koncentraciju polutanata na nekom području. Svaka emisija onečišćenja je, po prirodi svog nastanka, lokalnog karaktera. ona se najprije osjeća u najužoj sredini, okruženju industrijskih objekata i gradovima. Međutim, nakon vrlo kratkog vremena ovi problemi prebacuju se na regionalnu, a zatim i na globalnu skalu. Na regionalnoj skali i skali prekograničnog prijenosa onečišćenja okoliš je izložen mnogobrojnim štetnim procesima i posljedicama kao što su:

- taloženje kiselih spojeva (sulfata, nitrata) i pojava zimskog smoga,
- stvaranje fotooksidanata i fotokemijskog ljetnog smoga,
- smanjena vidljivost uslijed povećanih koncentracija čestica i aerosola,
- prijenos i taloženje teških metala, olova, žive, kadmija,
- prijenos i taloženje dugoživućih organskih spojeva,

- radioaktivnost i
- mnogostruki učinci vezani uz prijenos onečišćenja atmosferom u druge medije: mora, površinske vode, šumska tla i osjetljive ekosustave.

Dok se kod lokalnih i urbanih problema onečišćenja najveće težiste stavlja na zdravlje i zaštitu zdravlja ljudi, a zatim materijalnih dobara i kulturnog nasljeđa, kada se radi o regionalnim problemima spektar problema koje treba rješavati se proširuje. On obuhvaća zdravlje ljudi, zaštitu materijalnih dobara, ali i zaštitu voda, šuma i tla, te njihove ekosustave.

Regionalno onečišćenje ne može se izbjeći i ne može se sprejčiti samo lokalnim mjerama. Ovaj problem nadilazi granice jedne države i nužno se rješava na međunarodnoj razini.

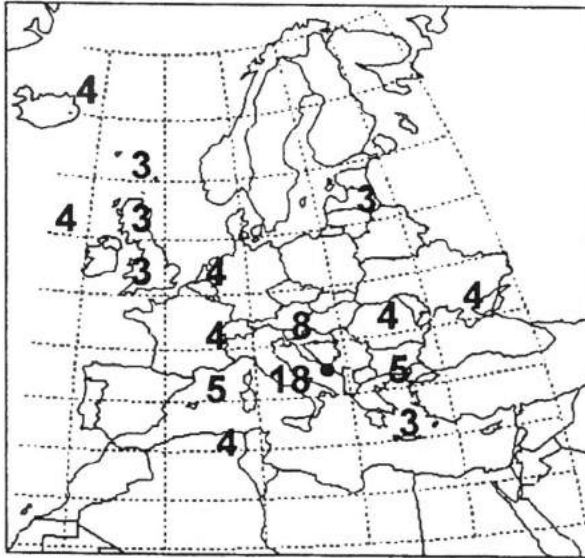
Ispravno tumačenje informacija dobivenih mjerenjima i razlučivanje procesa na različitim vremenskim i prostornim skalama – lokalnoj, regionalnoj i globalnoj – najčešće nije jednostavno. Da bi se procijenio utjecaj različitih izvorišnih područja emisije onečišćenja na nekoj lokaciji ili u regiji kao cjelini primjenjuju se različite metode analize. Međutim, u osnovi svih metoda je matematički model prijenosa i taloženja onečišćenja. U ovom su radu, za proučavanje prijenosa onečišćenja na područje Dubrovnika koristio proračun izentropskih trajektorija proveden za zimu 1998./1999. prmjrenom Hysplit_4 (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectories Model) modela. Uz to je, na primjeru dviju situacija u ožujku 1999, opisan mogući način procjene doprinsa pojedinih izvorišnih područja onečišćenja koncentraciji SO₂ u zraku na području Dubrovnika.

2. Podaci i metode

Za proučavanje mogućeg prijenosa onečišćenja na područje Dubrovnika koristio se proračun položaja česti zraka u trodimenzionalnom polju strujanja s vremenskim korakom od po 3 sata, do određivanja njezinog početnog položaja proračunatog do tri dana unatrag (tzv. trajektorije unatrag). Uzastopan slijed položaja česti zraka tada se nalazi na putanji – trajektoriji, karakterističnoj za dane meteorološke uvjete u promatranom vremenskom razdoblju. Proračun izentropskih trajektorija koje uključuju adijabatska vertikalna gibanja zraka proveden je za zimu 1998/99. Primijenjen je »Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Model« (Hysplit_4, Draxler, 1992.; Draxler i Hess, 1997.) razvijen u NOAA Air Resource Laboratories, Silver Spring (dodatne informacije: . Proračunska metoda modela je hibridna između Eulerove i Lagrangeove. Pri proračunu advekcija i difuzije koristi se Lagrangeov pristup, dok se koncentracija računa na fiksnoj mreži točaka. Vremenski integrirana advekcija svake čestice čini tzv. trajektoriju ili putanju. Da bi se proračunala trajektorija neophodno je raspolagati trodimenzionalnim poljima osnovnih meteoroloških veličina (komponente vektora vjetera, temperatura, zrak, količina vlage u zraku i dr.). U našem smo slučaju kao ulazna meteorološka polja koristili podatke NCEP-ova modela srednjih razmjera (MRF Archive TD-6140) koja su na raspolaganju u Nacionalnom centru za klimato-loške podatke Nacionalne oceanografske i atmosferske agencije (Ashville, SAD).

3. Diskusija rezultata

Svakodnevnim proračunom spomenutih trodnevnih putanja česti zraka zimi 1998/99 dobili smo skup od 89 trajektorija. Analiza polazišta tih trajektorija ukazuje na naj-



Slika 1. Broj trajektorija čija je polazišna točka u pojedinom geografskom području veličine 5° geografske širine i 10° geografske dužine i koje nakon 3 dana stižu na područje Dubrovnika za zimu 1998./99. (Označena su samo područja koja su izvorišta 3 i više trajektorija).

značajnije putanje duž kojih se mogao očekivati prijenos onečišćenja na područje Dubrovnika protekle zime (slika 1.).

Broj trajektorija čija je polazišna točka u pojedinom geografskom području veličine 5° geografske širine i 10° geografske dužine pokazuje tri osnovna tipa putanja koji su ujedno povezani s karakterističnim mezoskalnim tipom vremena na našem području:

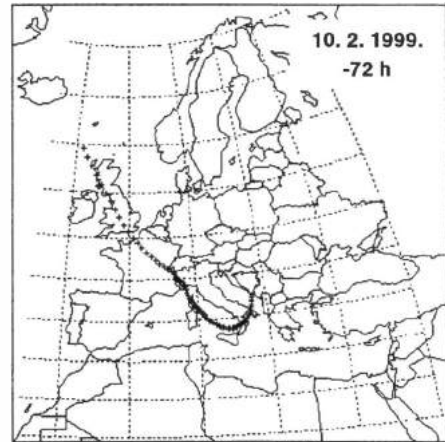
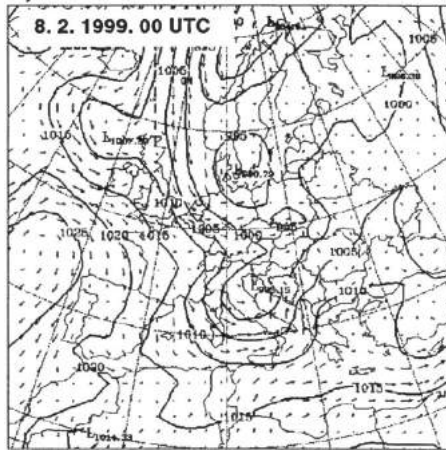
1. duge putanje NW-SW smjera uzrokovane jakim strujanjem u sistemu ciklonalne cirkulacije s centrom u sjevernom Jadranu ili Genovskom zaljevu (primjer 8–10.2.1999. dan na slici 2. a)
2. vrlo kratke putanje gdje se položaj česti zraka tijekom tri dana mijenja vrlo neznatno povezane s bezgradijentnim poljem tlaka nad širim područjem Hrvatske (primjer 18–20.12.1998. dan na slici 2. b)
3. duge putanje N-NE smjera kao posljedica anticiklonalnog sustava nad zapadnom i središnjom Europom (primjer 18–20.1.1999. dan na slici 2. c).

Proračun trajektorije daje nam prvi uvid u izvorišno područje onečišćenja. Međutim, da bi se dobila potpuna ocjena mogućih izvora onečišćenja neophodno je uzeti u obzir svu složenost procesa difuzije i depozicije u atmosferi. U tu svrhu je potrebno proračunati prijenos i raspršenje onečišćenja iz svih izvora kako bi se odredio doprinos svakog pojedinog izvora onečišćenja na putu od izvora do tzv. receptora.

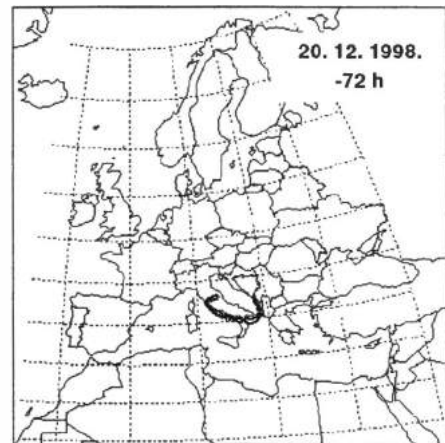
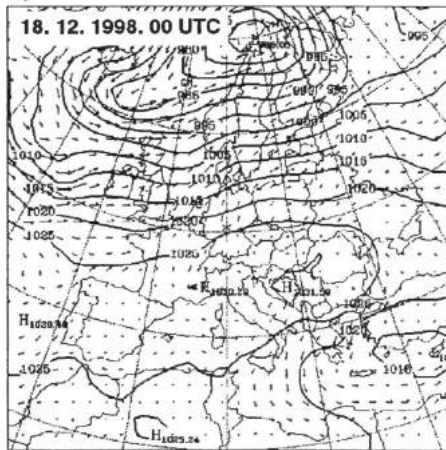
Takva se analiza zasniva na sljedećem:

1. Hysplit_4 model se koristi za proračun koncentracije odabranog onečišćivača iz mnogostrukih izvora istovremeno,
2. Prepostavlja se da je jedinična emisija onečišćivača ispuštena iz svakog pojedinačnog izvora na početku proračuna,

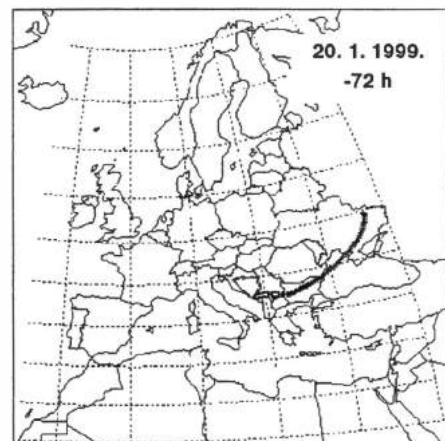
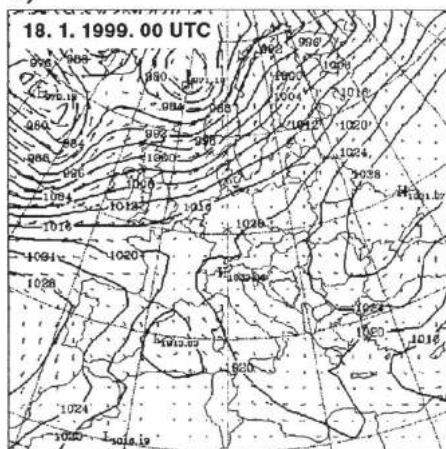
A)



B)



C)



Slika 2. Prizemno polje tlaka i vjeta (lijevo), te trodnevne trajektorije unatrag (desno) u tri karakteristične vremenske situacije.

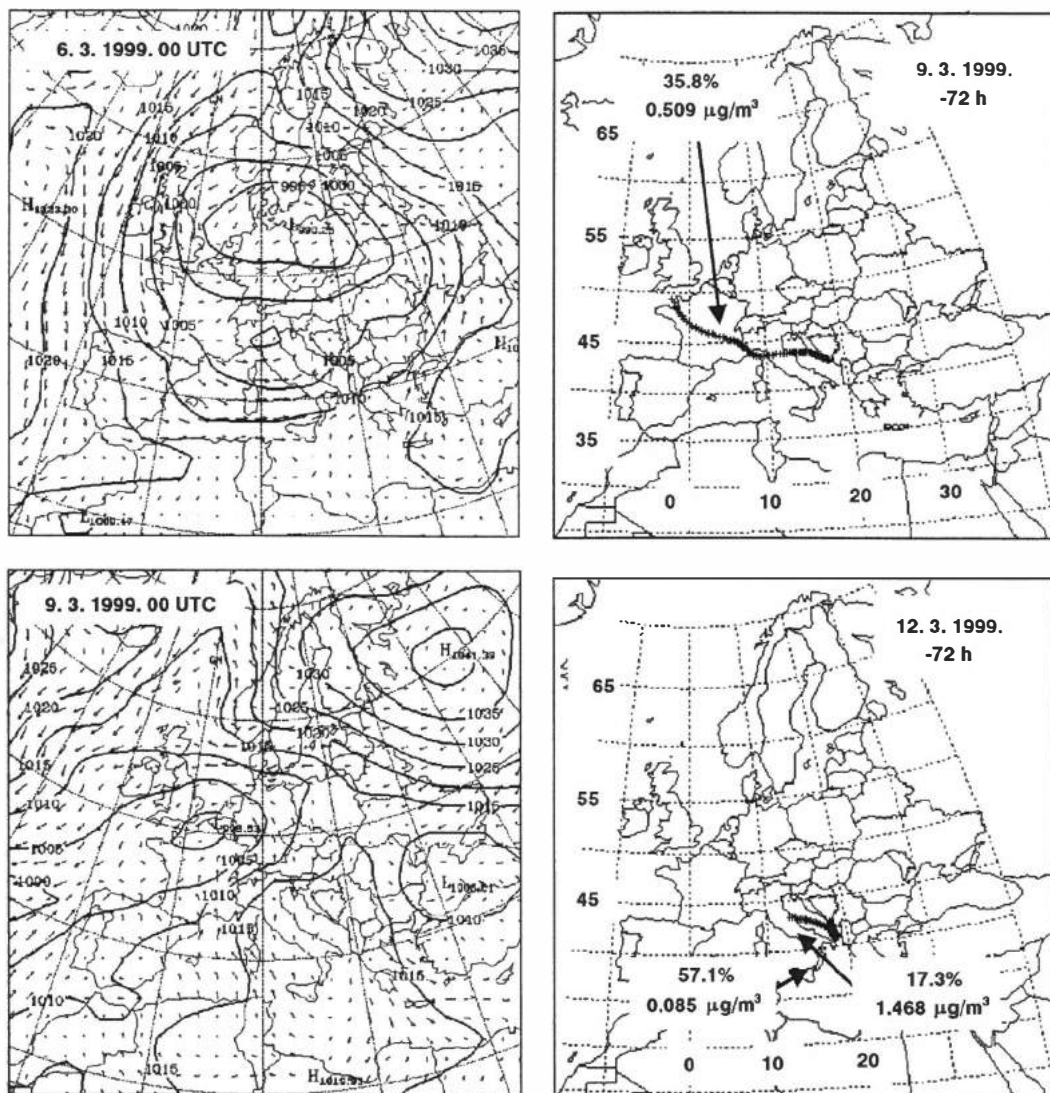
3. Izvori onečišćenja su definirani u presjecištu svakog petog širinskog i dužinskog geografskog stupnja,
4. Rezolucije mreže točaka na kojima se proračunava koncentracija je 2,5°,
5. Ova konfiguracija modela rezultira u proračunu prijena i disperzije iz 994 neovisna izvora onečišćenja na sjevernoj hemisferi,
6. Odabere se receptor za koji se odredi doprinos svakog pojedinog izvora ukupnoj koncentraciji onečišćivača zabilježenoj na toj točki,
7. Poznavajući iznose emisije u izvorišnim točkama na kraju se dobije konačan proračun doprinosa svakog pojedinog izvora ukupnoj koncentraciji odabranog onečišćivača u točki od interesa.

Primjeri koji slijede daju uvid u način procjene doprinosa pojedinog izvorišnog područja koncentraciji SO₂ u zraku nad Dubrovnikom u dvije vremenske situacije:

1. Emisija SO₂ iznad 100 m nad tlom (visoki izvori kao što su termoelektrane i sl.) ispuštena je 6.3.1999. u 00 UTC
2. Iznos emisije iz svake točke mreže dobiven je iz najnovijeg (za 19996. godinu) pregleda emisije za područje Europe (EMEP/WSC-W, Report 1/98)
3. Proračunata je 24 satna koncentracija SO₂ u razdoblju 8–9.3.1999.

Tablica 1. Popis područja koja doprinose koncentraciji SO₂ u zraku u Dubrovniku u slučaju ispusta SO₂ 6. ožujka i 9. ožujka 1999. Doprinos – postotak kojim jedinična emisija na danom području doprinosi koncentraciji SO₂ u zraku u Dubrovniku, Emisija – količina SO₂ ispuštena iz navedenog područja na visini iznad 100 m nad tlom, Konc. – iznos koncentracije SO₂ u zraku u Dubrovniku koji potječe iz danog područja uz stvarnu emisiju (Emisija).

Geogr. širina	Geogr. dužina	Doprinos (%)	Emisija SO ₂ (1000 t)	Konc (µg/m ³)
Emisija 6.3.1999.				
45 °N	5 °E	35.8	0 510	0 509
45 °N	0 °E	21.4	0 301	0 179
40 °N	0 °E	10.9	0 896	0 273
55 °N	-10 °E	10.8	0 195	0 059
50 °N	-10 °E	10.5	0 027	0 008
50 °N	-5 °E	7.1	0 375	0 074
45 °N	10 °E	3.5	1 871	0 182
Emisija 9.3.1999.				
35 °N	15 °E	57.1	0 118	0 085
40 °N	15 °E	17.3	6 701	1 468
35 °N	10 °E	10.3	0 175	0 023
40 °N	5 °E	8.5	0 392	0 042
40 °N	10 °E	6.8	0 268	0 023



Slika 3. Prizemno polje tlaka i vjetra na dane ispuštene emisije SO₂ (lijevo i trodnevne trajektorije unatrag s naznakom područja koje u najvećoj mjeri doprinosi koncentraciji SO₂ u zraku u Dubrovniku – gornji broj označava doprinos koncentraciji u slučaju jedinične emisije, a donji broj iznos 24 satne koncentracije SO₂ u zraku koji potječe iz označenih područja (desno).

Isti postupak proveden je za proračun koncentracije u razdoblju 11–12.3.1999. u slučaju emisije SO₂ 9.3.1999. u 00 UTC.

Popis svih izvorišnih točaka koje daju doprinos koncentraciji SO₂ nad Dubrovnikom zajedno s postotkom kojim svaki izvor doprinosi uz pretpostavku jedinične emisije i same koncentracije SO₂ koja potječe od svakog izvora uz stvarnu emisiju naveden je u tablici 1.

Kao što se može uočiti, različita vremenska situacija dovodi do različite proračunate trodnevne putanje česti zraka unatrag od Dubrovnika (slika 3.). Tako situaciju 6. ožuj-

ka karakterizira postojanje prostrane anticiklone sa središtem nad Njemačkom i sistem zapadnog strujanja na područje Dubrovnika. Najveći doprinos koncentraciji SO₂ u zraku u Dubrovniku u toj situaciji daje područje Francuske, iako najveći izvor SO₂ duž trajektorije čini sjeverna Italija (emisija od 1871 t/dan).

Za razliku od toga, vremensku situaciju 9. ožujka karakterizira bezgradijentno polje tlaka nad južnom Europom koje uzrokuje stacioniranje česti zraka nad područjem južnog Jadrana od 9. do 12. ožujka 1999. U takvoj situaciji najveći doprinos koncentraciji SO₂ u zraku u Dubrovniku dala bi Sicilija (57,1%). Međutim, zbog veće emisije na području srednje i sjeverne Italije, stvarni doprinos koncentraciji SO₂ u zraku najveći je iz tog područja i iznosi 1 468 µg/m³ u 24 sata (11–12.3.1999).

4. Zaključak

Opisani tip analize stupnja onečišćenja okoliša u ovisnosti o meteorološkim uvjetima i procesima daje osnovu za potpuniju izradu studija utjecaja na okoliš pojedinih izvora onečišćenja (Bajić i Vidič, 1997.; Bajić i Vidič, 1998.). Osobito je koristan za analizu mogućih utjecaja u osjetljivim ekosustavima, nacionalnim parkovima, parkovima prirode, šumskim i poljoprivrednim područjima, dakle svim onim područjima koja su ugrožena taloženjem onečišćenja iz različitih izvora emisije. Koncentracije onečišćenja i taloženje u neposrednoj su ovisnosti o prostornoj i vremenskoj skali na kojoj se odvija prijenos koji je neposredno ovisan o meteorološkim uvjetima. Vremenska skala od nekoliko dana i prostorna skala od nekoliko stotina kilometara predstavlja rubne uvjete za razmatranje prijenosa i taloženja onečišćenja na regionalnoj osnovi.

Literatura

- Bajić, A. i S. Vidič: Primjena metode analize trajektorija za potrebe praćenje stanja okoliša, Prvi hrvatski znanstveno-stručni skup Zaštita zraka '97, 415–422.
- Bajić, A. i S. Vidič: Atmospheric transport to the GAW regional station Zavižan and related precipitation chemistry, Contribution to Atmospheric Physics (u tisku).
- Draxler, R. R., 1992: Hybrid single-particle Lagrangian integrated trajectories (HY-SPLIT) Version 4.0 User Guide.
- Draxler, R. R. and G. D. Hess, 1997: Description of the HYSPLIT_4 modeling system. NOAA Technical Memorandum ERL AARL-244.
- EMEP/MS-CW Report 1/98, 1998: Transboundary Acidifying Air Pollution in Europe, Part I Estimated dispersion of acidifying and sutrophyng compounds and comparison with observations, 150 p. p.

Autor

Alica Bajić

Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, 10000 Zagreb

tel: +385 (0)1 4565 686, fax: +385 (0)1 431 026, E-mail: bajic@cirus.dhz.hr



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.12.

Utjecaj radioaktivnih oborina na radioaktivnost Jadranskog mora

Zdenko Franić, Gordana Marović

SAŽETAK: U radu su prikazani rezultati dugogodišnjeg sustavnog ispitivanja aktivnosti fisij-skih radionuklida u površinskom sloju Jadranskog mora, te u radioaktivnim oborinama (*fallout*). Najveće radioaktivnosti morske vode zabilježene su šezdesetih godina, kao posljedica pokusa nuklearnog oružja u atmosferi. Od tada radioaktivnost fallouta i morske vode eksponencijalno opada. Na četiri promatrane lokacije nisu pronađene značajnije razlike u srednjem vremenu boravka ^{90}Sr u morskoj vodi. Raspravljena je korelacija između radioaktivnosti fallouta i morske vode.

KLJUČNE RIJEČI: radioaktivnost, radioaktivne oborine, morska voda, ^{90}Sr , ^{137}Cs

Impact of Radioactive Fallout on Adriatic Sea Radioactivity

SUMMARY: The paper describes result of long-term systematic monitoring of fission radionuclide activity concentrations in the surface stratum of the Adriatic sea and in the fallout. The seawater activity concentrations were recorded in the sixties as the consequence of the nuclear weapons tests conducted in the atmosphere. Since then, the radioactivity of the sea water and fallout decreases exponentially. No significant differences in ^{90}Sr mean residence times in the sea water were observed in four considered locations. The correlation between the sea water and fallout activity concentrations is discussed.

KEYWORDS: radioactivity, fallout, sea water, ^{90}Sr , ^{137}Cs

Uvod

Radioaktivna kontaminacija morske vode fisijskim radionuklidima većinom potječe od atmosferskih testova nuklearnog oružja. Kako je više od 70% zemljine površine prekriveno vodom, umjetno stvoreni radioaktivni materijal u more i oceane prvenstveno ulazi procesom depozicije iz atmosfere. Atmosferski nuklearni testovi započeti godine 1945. godine naročito su bili intenzivni u razdoblju od 1954. do 1958. i od 1961. do 1963. godine, što je tih godina rezultiralo povećanim taloženjem radioaktivnog materijala na površinu Zemlje. Kako je većina atmosferskih nuklearnih eksplozija izvršena na sjevernoj hemisferi, to je i taloženje radioaktivnog materijala na toj hemisferi osjetno veće nego na južnoj.

Zbog svojih karakteristika među radionuklidima podrijetlom iz nuklearnih eksplozija osobiti rizik zbog svojih fizičkih, biokemijskih i radiotoksičnih karakteristika predstavljaju fisijski produkti ^{90}Sr i ^{137}Cs . Naročito je opasan ^{90}Sr , koji je kemijski sličan kalciju pa ga organizam lako resorbira, što pak može izazvati fatalne posljedice za ljude, kao i životinje, bilo na kopnu ili u moru (Franić, 1993.a).

Dinamiku vode jadranskog bazena u velikoj mjeri određuju njegove geomorfološke karakteristike. Zbog uska i dugoljasta oblika, te malih dubina u svojem najvećem dijelu, Jadransko more ima vrlo izražene kontinentalne karakteristike, čemu pogoduju i meteorološke prilike. Istraživanje radioaktivnosti Jadranskog mora vrši se u *Jedinici za zaštitu od zračenja* u okviru monitoringa radioaktivnosti okoliša u Republici Hrvatskoj (Popović, 1963.–1978., Bauman et al., 1979.–1992., Kovač et al., 1993.–1998., Franić, 1993.b). Stroncij se istražuje još od 1963. godine, a cezij od 1978. Uzorci morske vode uzimaju se (ukoliko je moguće) dva puta godišnje 3 km od obale na dubini od 0,5 m na lokacijama Rovinj, Rijeka, Split i Dubrovnik. Mjesečni uzorci fallouta prikupljaju se u Zadru, također od 1963. godine.

Radioaktivnost fallouta

Srednja godišnja aktivnost ^{90}Sr u morskoj vodi u dobroj je (pozitivnoj) korelaciji s aktivnošću radioaktivnih oborina (tj. površinskim depozitom u Bqm^{-2}), a koeficijent korelacije iznosi 0,75 uz vjerojatnost $P(t) < 0,001$ za 33 stupnja slobode (slika 1.). Takva je korelacija i očekivana budući da oko 85% sveukupne umjetno stvorene radioaktivne kontaminacije (osim tricija koji kao konstituent vode ulazi u globalni ciklus kruženja vode) u Sredozemno more dolazi radioaktivnom oborinama (UNEP, 1991.). Radioaktivnost ^{90}Sr u morskoj vodi u ovisnosti o aktivnosti oborina može se stoga za razdoblje od 1963. do 1997. godine prikazati jednadžbom:

$$AM(t) = 0,016 A_F(t) + 3,208$$

gdje su: $A_M(t)$ – aktivnost ^{90}Sr u morskoj vodi (Bqm^{-3}) i
 $A_F(t)$ – aktivnost radioaktivnih oborina (Bqm^{-2}).

Aktivnost ^{90}Sr u Jadranu eksponencijalno pada od $14,8 \pm 2,4 \text{ Bqm}^{-3}$ u 1963. godini na $2,0 \pm 0,1 \text{ Bqm}^{-3}$ 1997. godine (prosjeck četiri lokacije). Na svim lokacijama uočljiv je veliki pad aktivnosti između 1965. i 1967., te između 1968. i 1974. godine. U cijelom periodu, maksimalna i minimalna aktivnost, 17,5 i 0,5 Bqm^{-3} zabilježene su u 1963. godine u Splitu i 1983. godine u Dubrovniku. Izmjerene aktivnosti morske vode konzistentne su s podacima za Sredozemno more. Krajem sedamdesetih godina dolazi do manjeg porasta aktivnosti u oborinama i u moru zbog, unatoč nuklearnom moratoriju, provedenih atmosferskih nuklearnih eksperimenata.

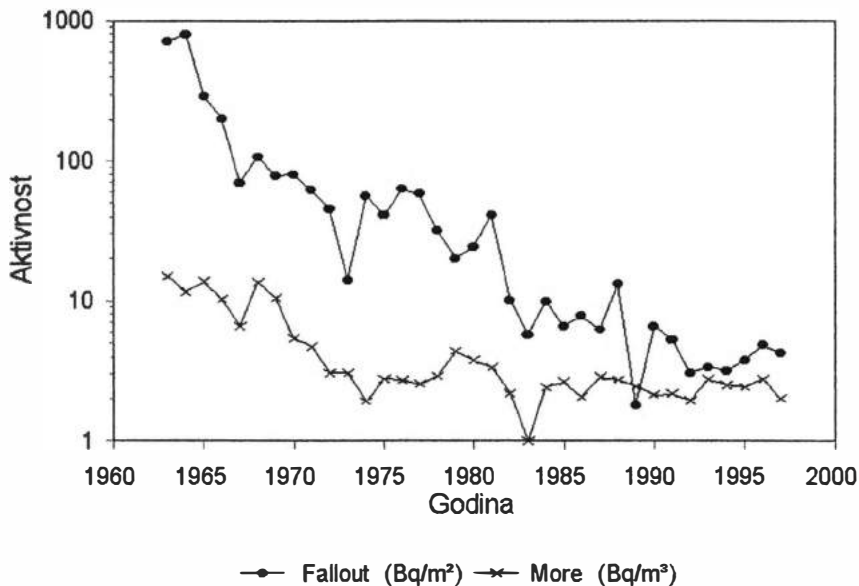
Srednje vrijeme boravka ^{90}Sr u miješanom sloju mora

Prosječne godišnje aktivnosti ^{90}Sr u morskoj vodi Jadranskog mora su funkcijskim prilagođavanjem eksperimentalnih podataka prilagođene na eksponencijalne funkcije oblika:

$$A(t) = A(0)e^{-k_{ef}t}$$

gdje su $A(t)$ i $A(0)$ aktivnosti mora u vremenskim trenucima t i 0, a k_{ef} je konstanta. Za pojedine lokacije parametri $A(0)$ i k_{ef} procijenjeni su kako slijedi:

$$\begin{aligned} \text{Rovinj:} & \quad A(t) = 13,513 \times e^{-0,095 \times t} \\ \text{Rijeka:} & \quad A(t) = 17,693 \times e^{-0,084 \times t} \end{aligned}$$



Slika 1. Aktivnost ^{90}Sr u radioaktivnim oborinama i morskoj vodi

$$\text{Split: } A(t) = 14,040 \times e^{-0,102 \times t}$$

$$\text{Dubrovnik: } A(t) = 14,698 \times e^{-0,094 \times t}$$

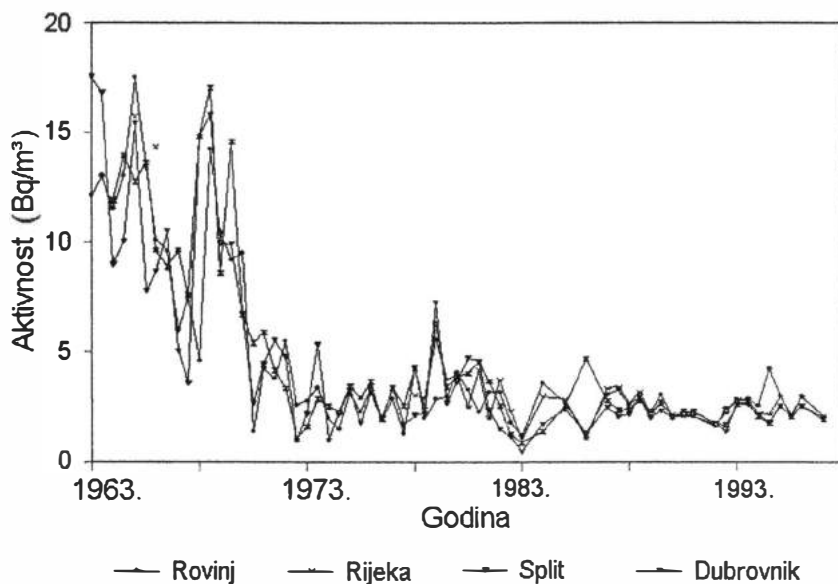
Opažena efektivna vremena boravka ^{90}Sr u miješanom sloju Jadranskog mora (koja su duža od stvarnih efektivnih vremena, budući da se svake godine dio aktivnosti koji se izgubio bilo radioaktivnim raspadom, bilo na neki drugi način, primjerice sedimentacijom, zamijeni novom aktivnošću iz radioaktivnih oborina) izračunata iz tih regresija jesu 7,3 god (Rovinj), 8,3 god (Rijeka), 6,8 god (Split) i 7,4 god (Dubrovnik), a prosjek je $7,5 \pm 0,5$ godina. Gornje granice za srednje vrijeme boravka ^{90}Sr , T_M (čije je radioaktivno vrijeme poluraspada $T_{r/2} = 29,12$ god) u miješanom sloju mora za te četiri lokacije može se procijeniti isključivanjem učinka radioaktivnog raspada:

$$T_M = \frac{1}{k_{ef} - \lambda_r} = \frac{1}{\frac{\ln(2)}{T_{ef/2}} - \frac{\ln(2)}{T_{r/2}}}$$

iznose 14,0, 16,7, 12,9 i 14,3 godine, s prosječnom vrijednošću $14,5 \pm 1,4$ god (*srednje opaženo vrijeme boravka* ^{90}Sr). S obzirom da je ^{90}Sr učinkoviti radioaktivni obilježivač (*marker*), ta vrijednost ujedno ukazuje i na gornju vremensku granicu za izmjenjenu 63% jadranske vode s Mediteranom. Ta je vrijednost znatno veća od srednjeg vremena boravka ^{90}Sr u oborinama, što se moglo i očekivati (Franić, 1992.).

Približno jednaka srednja vremena boravka ^{90}Sr za različite lokacije ukazuju na sličnost oceanografskih čimbenika na individualnim lokacijama. Stoga su i krivulje koje pokazuju aktivnost ^{90}Sr na različitim lokacijama vrlo slične (slika 2.).

Godine 1986. neposredno prije uzorkovanja morske vode na području Dubrovnika pala je kiša kontaminirana radioaktivnim materijalom iz Čornobilja, što je razlog da



Slika 2. Aktivnost ^{90}Sr u morskoj vodi

se te godine aktivnost morske vode u Dubrovniku razlikuje od aktivnosti na ostalim lokacijama.

Radioaktivnost ^{137}Cs

Maksimalna aktivnost ^{137}Cs u Jadranskom moru u periodu od 1978.–1985. zabilježena je u Splitu u proljeće 1979. godine. Kao i u slučaju ^{90}Sr i aktivnosti ^{137}Cs nakon zabrane atmosferskih nuklearnih eksplozija eksponencijalno padaju. Općenito, godine 1985. aktivnost ^{137}Cs kretala se između 4 i 5 Bqm⁻³, kao i u ostatku Mediterana (UNEP, 1991.). Zbog velike hlapljivosti cezij je atmosferskim disperzijskim procesima transportiran na velike udaljenosti o Čornobilja (Aarkrog 1988). Stoga je čornobiljska nesreća prouzročila znatno povećanje aktivnosti tog radionuklida u okolišu u Hrvatskoj, pa tako i morskoj vodi. Tako je maksimalna aktivnost ^{137}Cs zabilježena godine 1986. u Splitu, a iznosila je $245 \pm 19 \text{ Bqm}^{-3}$. No, već za nekoliko godina te, relativno visoke vrijednosti, opale su na svega desetak Bqm⁻³. Zbog mnogo manje hlapljivosti u odnosu na cezij, ^{90}Sr nije atmosferskim disperzijskim procesima dospio na veće udaljenosti od čornobiljskog reaktora. Posljedično, nesreća čornobiljskog reaktora nije imala gotovo nikakav utjecaj na povišenje aktivnosti ^{90}Sr u okolišu u Hrvatskoj. Valja napomenuti da je omjer aktivnosti $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ prije čornobiljske nesreće (26 travanj 1986) u uzorcima iz okoliša bio relativno konstantan, te je za morsku vodu iznosio oko 1,6. Post-čornobiljski omjer aktivnosti $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ se kontinuirano smanjuje, ali još nije dosegao pred-čornobiljske vrijednosti.

Zaključci

Radioaktivna kontaminacija Jadranskog mora fizijskim radionuklidima vrlo je mala. Zbog specifičnih karakteristika Jadranskog mora, ono je podložno eventualnoj radio-

aktivnoj kontaminaciji iz bilo kojeg izvora. Za spontano čišćenje bilo bi potrebno više od petnaestak godina, na koliko je otprilike, korištenjem ^{90}Sr kao radioaktivnog obilježivača, procijenjeno srednje vrijeme izmjene jadranske vode. Stoga je glede učinkovite zaštite od zračenja važan stalan nadzor nad radioaktivnom kontaminacijom Jadranskog mora. Također, proučavanje koncentracija radionuklida u morskoj vodi pruža bazu podataka uz pomoć koje se matematičkim modelima mogu procijeniti mnogi važni oceanografski parametri.

Literatura

- Aarkrog A. The radiological impact of the Chernobyl debris compared with that from nuclear weapons fallout. *J. Environ. Radioactivity* **6**:151-162; 1988.
- Bauman A. et. al. Rezultati mjerenja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj 1978–1991. Zagreb: Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Izvještaji 1979–1992.
- Franić Z. ^{137}Cs in Radioactive Fallout in Zagreb, *Croatian meteorological journal*, **27**:63-68; 1992.
- Franić Z., Lokobauer N. and Bauman A. ^{90}Sr and ^{137}Cs in Pilchards from the Adriatic Sea, *Archives for Industrial Hygiene and Toxicology*, **44(4)**:293301; 1993a.
- Franić Z. and Bauman A. Activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs in the Adriatic Sea, *Health Physics*, **64**:162-169; 1993b.
- Kovač J. et al. Rezultati mjerenja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj 1972–1997. Zagreb: Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Izvještaji 1993–1998.
- Popović V., Ur. Radioaktivnost životne sredini u Jugoslaviji 1962–1977. Beograd, Državni sekretarijat za poslove narodne obrane. Izvještaji 1963–1978.
- UNEP (United Nations Environment Programme). Mediterranean action plan. Assessment of the state of pollution in the Mediterranean Sea by radioactive substances. Athens: UNEP; 1991.

Autor

Dr. sc. Zdenko Franić

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Jedinica za zaštitu od zračenja, Ksaverska cesta 2, pp 291, HR-10001 Zagreb, Republika Hrvatska

E-mail: franic@imi.hr

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.13.

Olovo i organska tvar u aerosolu i oborinama na području grada Zagreba

Palma Orlović Leko, Zlatica Kozarac, Božena Čosović, Ladislav Palinkaš

SAŽETAK: Ponašanje zagađivala u oborinama, te način njihovog ispiranja iz atmosfere određuje stupanj zagađenja ostalih dijelova ekosustava: prirodnih voda, tla, biljaka, životinja pa i utjecaj na čovjeka. U ovom radu ispitivane su površinski aktivne tvari (PAT) i otopljeni organski ugljik (DOC – prema engl. dissolved organic carbon) u uzorcima kiše i snijega. Organski spojevi, koji pokazuju površinski aktivna svojstva smatraju se zagađivalima ili potencijalnim zagađivalima, jer mogu utjecati na procese i ravnoteže koje se uspostavljaju u prirodnim uvjetima.

Utjecaj čovjeka na prirodni ciklus metala prepoznatljiv je na različitim nivoima te u različitim dijelovima okoliša. Međunarodne organizacije koje se bave problemima zagađenja i zaštite okoliša na listu potencijalno najopasnijih tvari stavile su olovo za koje je dokazano da je antropogeni unos veći od prirodnog. U svrhu istraživanja sadržaja olova, njegove distribucije i utjecaj antropogenih faktora, provedena su atmogekemijska ispitivanja u ruralnim, urbanim i industrijskim područjima grada Zagreba (1,2). Ispitivanja su pokazala da je koncentracija ukupnog olova u uzorcima aerosola bila od 220 do 3400 ng (Pb) m⁻³ zraka što znači da se osim zagađenja uvjetovanog izgaranjem benzina ne može zanemariti utjecaj industrije. U ovom radu određene su koncentracije ukupnog olova u uzorcima kišnice i snijega i dobiveni rezultati su između 700 i 17 600 ng (Pb) dm⁻³ što je usporedivo sa rezultatima dobivenim na području Hrvatske (2 500–20 000 ng dm⁻³) koji su ujedno pokazali da područje Hrvatske spada u slabije zagađena područja (3).

KLJUČNE RIJEČI: organska tvar, olovo, aerosoli, oborine, grad Zagreb

Lead and Organic Substances in Aerosol and Precipitations at the City of Zagreb Area

SUMMARY: Behavior of pollutants in precipitations and the way they are leached from the atmosphere determines the level of pollution for other segments of the ecosystem: natural water, soil, plants, animals, and even effect on humans. The present paper describes investigations of surfactants and dissolved organic carbon in rain and snow samples. The organic compounds indicating presence of surfactants are considered to be pollutants or potential pollutants because they are capable of affecting the processes and balance achieved under natural conditions.

An impact of man on the natural metal cycle is recognized on different levels and in different segments of environment. International organizations dealing with environmental pollution and protection enlist lead among the potentially most hazardous substances, since it had been confirmed that the anthropogenic intake is above the natural. In order to research lead contents, its distribution and impact of anthropogenic factors, atmo-geo-chemical investigations were conducted in rural, urban and industrial districts of the City of Zagreb (1,2). The investigations have shown that concentration of total lead in aerosol samples were from 220 to 3,400 ng (Pb) m⁻³ of air, meaning that in addition to the petrol combustion there is participation of industry which cannot be neglected. This paper determines total lead concentrations in rain and snow specimens, and the obtained results range between 700 and 17,600 ng (Pb) dm⁻³ which is comparable with the

results obtained for the territory of Croatia (2,500–20,000 ngdm⁻³). These results indicate that the Croatian territory falls among less polluted regions (3).

KEYWORDS: organic substance, lead, aerosols, precipitation, City of Zagreb

Uvod

Organski spojevi u atmosferi potječu iz prirodnih i antropogenih izvora. Predmet mnogih studija je određivanje utjecaja antropogenih faktora na opterećenje atmosfere organskim zagađivalima što uključuje sustavno praćenje kemijskog sastava zraka i oborina. Niz kemijskih podataka, uz meteorološke činitelje koristi se za procijenu trendova pojedinih komponenata onečišćenja, ali i za utvrđivanje glavnih pravaca prijenosa onečišćenja. Globalni atmosferski transport postojanih organskih zagađivala i njihova izmjena na granici faza zrak/voda stavlja se u fokus današnjih istraživanja (4). Osnovano je nekoliko nacionalnih i internacionalnih radnih grupa i komisija, te održano nekoliko konferencija i radionica s ciljem bolje znanstvene spoznaje o odnosu između emisija i ravnoteža u globalnom okolišu (4). Pronađeno je da su vrlo udaljena područja opterećena organskim zagađivalima što je posljedica dalekosežnog prijenosa onečišćenja (5). Tako su npr. policiklički aromatski ugljikovodici (PAU) skupina zagađivala koja se pojavljuju i u atmosferi planinskih jezera (6) kao i u udaljenim morskim oblastima (7), ali njihova ukupna koncentracija na tim područjima u partikularnoj fazi, u zraku (0,13–0,54 ng/m³) je ipak znatno niža od onih koje su registrirane u ruralnim područjima (2,1 ng/m³) i urbanim područjima (18–120 ng/m³) (5). U atmosferi Zagrebačkog područja, na uzorcima lebdećih čestica, uočena je sezonska varijacija određenih PAU (8). Koncentracije PAU bile su višestruko veće zimi nego ljeti jer su glavni izvori ovih zagađivala ložišta na fosilna goriva.

Antropogeni atmosferski unos teških metala u tragovima vodi obogaćenju pojedinih komponenata ekosustava također u udaljenim oblastima kao što su visoke Alpe i Artik. Atmosfersko pojavljivanje metala u tragovima određeno je jačinom izvora, atmosferskom disperzijom i depozicijskim procesima. Vrijeme zadržavanja olova u atmosferi je kratko (9), pa se promjena antropogene emisije olova odmah odražava na globalni transport tog metala. Atmosfera je važan dio okoliša za biogeokemijski ciklus teških metala u tragovima, gdje teški metali egzistiraju kao aerosoli ili su vezani na čestice prašine, odakle mogu biti istaloženi na tlo i površinske vode suhom depozicijom preko prašine ili mokrom depozicijom kao kiša, snijeg ili grad (10). Nguyen et al. (11) odredili su ukupnu koncentraciju olova i drugih teških metala u uzorcima kišnice i snijega voltametrijom s anodnim otapanjem i naglasili značaj kiše i snijega u transportu toksičnih metala iz atmosfere na tlo i prirodne vodene sustave. U posljednje vrijeme povećan je interes za istraživanje fizikalnih i kemijskih oblika teških metala u oborinama koji su određeni izvorima, transportom, transformacijama i procesima prijenosa teških metala u atmosferi, kao i za utjecaj kemijskih specijacija teških metala na kvalitetu zemljišta i prirodnih voda, te biološku važnost specija teških metala (10). Novije studije jasnije ukazuju na prisutnost otopljenih organskih kompleksirajućih liganada u kišnici (12) i pokazuju da atmosferska mokra depozicija može biti značajan izvor ili reciklirajući proces za površinske vode. Mikac (13) je razvila elektrokemijsku metodu za ispitivanje razine i ponašanja organoolovnih spojeva u oborinama, te pokazala da u urbanim područjima Hrvatske (Zagreb i Šibenik) mokra depozicija sadrži alkilolovne spojeve u koncentraciji od 10 do 280 ng (Pb)dm⁻³ ili 0,03 do 4% od ukupnog olova.

Istraživanja olova u zraku koja su provedena 1991. god., a prikazana su u ovom radu, potakla su određivanje sadržaja ukupnog olova i organske tvari (PAT i DOC) u mokroj depoziciji (kišnici i snijegu) na području grada Zagreba. Navedena ispitivanja mogu

dati korisnu informaciju za razumijevanje utjecaja kako prirodno prisutnih tvari tako i zagađivala na globalne procese u prirodi.

Eksperimentalni postupak

Uzorci kiše i snijega sakupljani su pomoću staklenih lijevaka u smeđe staklene boce volumena $2,5 \text{ dm}^3$. Uzorci su sakupljeni za vrijeme jačih kiša približno 24 sata, a dobiveni volumeni bili su oko $0,5 \text{ dm}^3$.

Uzorci aerosola za analizu olova dobiveni su propuštanjem struje zraka (vakuum pumpa) kroz specijalno pripremljenu grafitnu kivetu u kojoj je došlo do elektrostatičkog nakupljanja čestica. Analitički organski mikrovlaknasti filter AFPC od $0,30 \text{ m}$ korišten je za separaciju krupnijih čestica aerosola (olova) od molekularnih oblike olova.

Analiza olova u aerosolu je provedena atomskom apsorpcionom spektrometrijom, na instrumentu Pye-Unicam SP9.

Za određivanje ukupnog olova u kišnici i snijegu korištena je elektrokemijska metoda diferencijalne pulsne voltametrije s anodnim otapanjem, na živinoj visećoj kap elektrodi. Mjerenja su rađena na instrumentu PAR 174, u kvarcnoj ćeliji.

Površinski aktivne tvari određene su metodom voltametrije s izmjeničnom strujom na instrumentu Polarograf E-506, Metrohm (Švicarska). Sadržaj PAT izražen je u ekvivalentima modelne neionske PAT, Tritona-X-100 u mg dm^{-3} (14).

Za mjerenje pH korišten je instrument pH-metar Delta-Ohm HD 86-02.

Određivanje otopljenog organskog ugljika vršeno je postupkom visoko temperaturne katalitičke oksidacije s instrumentom TOC-500 Analyzer tvrtke Shimadzu (Japan).

Raspodjela olova u aerosolu na području Zagreba

Uzorkovanje aerosola provedeno je na širem području grada Zagreba, 19. i 26. veljače 1991 (prvi dan uzeto je 36 uzoraka, a drugog dana 13 uzoraka). Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 1. (2). Sadržaj ukupnog olova varira od $220 \text{ ng (Pb) m}^{-3}$ zraka do $3400 \text{ ng (Pb) m}^{-3}$ zraka. Udio sadržaja molekularnih formi olova najviši je (45,6% od ukupnog sadržaja olova) u uzorcima u neposrednoj blizini benzinskih stanica što je posljedica isparavanja olova iz cisterni i prolivenog benzina. Uzduž autoputa (jednolična vožnja) udio molekularnih formi olova u totalnom sadržaju olova je 5%, dok je u dijelovima grada s gustim prometom taj udio od 7 do 14%. Najzagađeniji dijelovi grada su oni s pojačanim i usporanim prometom (uska grla) gdje je izvor zagađenja sagorijevanje benzina te industrijska područja grada (farmaceutska industrija i tvornica za proizvodnju butana i propana).

Olovo i organska tvar u oborinama

Koncentracija ukupnog olova u oborinama praćena je na području Zagreba na nekoliko lokacija tijekom 1998 i 1999. godine (tablica 2.). Izmjerene koncentracije kreću se u rasponu od 700 do $17\,600 \text{ ng (Pb) dm}^{-3}$. Može se uočiti da su najviše koncentracije izmjerene u centru grada (RGN-fak.), poslije dužeg sušnog perioda, a najmanje u snijegu na Sljemenu. Prostorne razlike u raspodjeli metala mogu biti posljedica lokalnog utjecaja; industrijska i automobilska ispuštanja dovode do povećanja koncentracije olova. Važno je naglasiti da količina otopljenog olova u oborinama ovisi o pH. Udio otopljenog olova opada s porastom pH da bi za $\text{pH} < 4$ olovo bilo uglavnom otopljeno (15). Podaci Hidrometeorološkog zavoda pokazuju da su godišnje pH vrijednosti kiša na području Zagreba relativno uniformne ($\text{pH} = 5,5$ do 6), ali su varijacije dnevnih vrijednosti značajne ($\text{pH} = 4-8$). U našim uzorcima pH

Tablica 1. Raspodjela olova u zraku grada Zagreba 19. i 26. veljače 1991.

mjesto uzorkovanja	ukupno olovo ngm ⁻³	mol. olovo ngm ⁻³	mol. Pb/ukup. Pb x 100%
RGN-fak. parkiral.	560 –1630	110	6.7
auto-put benz. stanica	1820	830	45,6
centar grada	1390–2290	190	13.7
auto-put predgrađe	970–1470	80	5,4
auto-put ruralno pod.	420–1230	–	–
otvoreni auto-put	220–400	–	–
predgrađe	140–1280	–	–
naselje	480–640	–	–
naselje predgrađe	320–640	–	–
naselje s pojačanim pr.	980	40	4.1
pojačani promet	3400	90	26
usporeni promet	1020–1280	–	–
tvor. za proizvodnju butana i propana	3400	–	–
farmaceutska ind.	2170	–	–

je varirao od pH = 4,6 do pH = 7,7. Iz tablice 2. je uočljivo da je kod visokih vrijednosti pH izmjeren najviši sadržaj olova. To se može objasniti činjenicom da su uzorci sakupljeni u otvorene lijevke, tj. nisu filtrirani prilikom sakupljanja, a nisu filtrirani niti prije analize. Takvi uzorci sadrže metale otopljene u kiši, metale prisutne na česticama u padalinama, te djelomično metale nataložene suhom depozicijom. Osim toga, koncentracija metala u kišnici ovisi o brojnim fizičkim čimbenicima kao što su količina kiše, njezin intenzitet i trajanje, dužina sušnog razdoblja prije oborina i meteorološke prilike. Općenito se iz naših podataka, kao i iz ranijih radova (15) može procijeniti da Zagreb ulazi u grupu s nižom mokrom depozicijom olova, kao izvangradska područja u Evropi. Iz literature je poznato da je razina alkilolovnih spojeva u površinskim vodama niža za 1 do 2 reda veličine nego u oborinama, što ukazuje na procese brze eliminacije u prirodnim uvjetima. Unatoč tome, pojavljivanje organolovnih spojeva u raznim tipovima površinskih voda upućuje na njihovu stalnu prisutnost u okolišu, što se zbog visoke toksičnosti organskog olova ne može zanemariti (15).

U uzorcima oborina mjeren je sadržaj otopljenog organskog ugljika i površinski aktivnih tvari a rezultati su prikazani u tablici 2. Najniža vrijednost za DOC u ispitivanom razdoblju je bila 0,78 mg dm⁻³ a najviša 2,85 mg dm⁻³. Raspon koncentracija PAT kretao se od 0,05 do 0,26 (T-X-100 mg dm⁻³). Pedpostavljena je sezonska varijacija u razinama DOC pošto su glavni onečišivači zraka u Zagrebu fosilna goriva (uzorci uzeti kod Toplane pokazali su sezonski trend). Međutim nedostaje dovoljan broj mjerenja u ljetnom razdoblju za vjerodostojnije zaključivanje o postojanju sezonskih razlika u koncentraciji DOC.

Da bi utvrdili kako relativno visok sadržaj organske tvari u oborinama može utjecati na površinske vode uspoređene su koncentracije otopljenog organskog ugljika u uzorcima rijeke Save (kod Jesenica). Srednje godišnje vrijednosti za DOC kreću se od

Tablica 2. Koncentracija DOC, PAT i ukupnog olova u uzorcima oborina na području Zagreba.

opis uzorka	datum uzorkovanja	mjesto uzorkovanja	DOC (mgdm ⁻³)	PAT (T-X100mgdm ⁻³)	Pb (ngdm ⁻³)	pH
susnježica nakon sušnog perioda.	01. 03. 1998.	Jarun	2,21	0,150	7 800	7,2
	01. 03. 1998.	RGN-fak.	1,85	0,105	17 600	7,2
	01. 03. 1998.	I. R. Bošković	1,61	0,082	4 100	4,8
	01. 03. 1998.	Toplana	2,31	0,160	–	7,7
kišnica jak vjetar	05. 03. 1998.	Jarun	2,66	0,135	3 700	6,5
	05. 03. 1998.	Toplana	2,58	0,090	2 800	6,4
snijeg sa tla	17. 03. 1998.	Sljeme	1,65	0,115	700	5,6
kišnica	17. 03. 1998.	Jarun	1,56	0,160	4 300	5,9
	30. 04. 1998.	RGN-fak	0,78	0,100	12 400	7,2
	30. 04. 1998.	I. R. Bošković	1,64	0,120	2 500	7,2
žuta kiša	04. 05. 1998.	Jarun	2,26	0,050	3 100	7,7
	04. 05. 1998.	I. R. Bošković	1,70	0,135	2 100	6,5
	04. 05. 1998.	Toplana	1,42	0,100	2 100	7,0
snijeg	05. 12. 1998.	RGN-fak.	1,77	0,240	3 500	5,6
	05. 12. 1998.	I. R. Bošković	1,72	0,260	5 300	5,5
susnježica nakon više suš. dana i tem. inver.	27. 01. 1999.	RGN-fak	1,58	0,120	1 900	4,7
snijeg sa tla	10. 02. 1999.	I. R. Bošković	2,85	0,090	4 800	4,6

2,21 do 2,93 mgdm⁻³ (tablica 3.), a njihova koncentracija u pojedinim mjesečnim uzorcima bila je niža od koncentracije izmjerene u pojedinim uzorcima oborina. Važan je i udio PAT s obzirom da se PAT akumulira na prirodnim granicama faza i tako utječe na mnogobrojne biogeokemijske procese, na uklanjanje tragova elemenata iz vode procesima adsorpcije na čestice i na stabilnost koloida u ekosustavu voda (16,17).

Preliminarni rezultati za ukupne organske tvari i površinski aktivne tvari u oborinama koji su prikazani u ovom radu ukazuju na njihov značajan doprinos kemijskom sastavu prirodnih voda. U daljnjem radu potrebno je ispitati koje su dominantne vrste organskih spojeva zastupljene u uzorcima oborina.

Literatura

- L. A. Palinkaš, K. Namjesnik Dejanović, S. F. Miko, S. Pirc, G. Durn, Distribution of Mercury, Lead and Cadmium in Zagreb City Soil. In: M. Richardson (Ed) Environmental Xenobiotics, Taylor and Francis (1996), 355–374, pp. 492, London.
- S. Miko, G. Durn, L. A. Palinkaš, N. R. Mashyanov, K. Namjesnik, Y. T. Ilyn, Distribution of mercury, and aerosols of lead cadmium in the atmosphere of Zagreb, Rudarsko metalurški zbornik, 39 (1992) 369–385.

Tablica 3. Koncentracija DOC u uzorcima rijeke Save.

godina uzorkovanja	DOC (mgdm ⁻³) raspon za 12 mjeseci	DOC (mgdm ⁻³) srednja god. vrijednost
1996.	1,2–3,7	2,21
1997.	1,4–4,5	2,73
1998.	1,7–4.6	2.93

- L. Bozo, J. Alcamo, Bartnicki and K. Olendrzynski, Total deposition and budgets of heavy metals over Estern Europe, *IDOJARAS* 2 (1992) 61–80.
- D. Bromans and J. Axelman, Working Document on Persistent Organic Pollutants: The Exchange of Persistent Organic Pollutants Between the Atmosphre and the Sea, u: Scientific report of the workshop sea-air exchange: Processes and modelling, Kjeller, NILU, (1997) 55–77.
- R. Vilanova, P. Fernandes, J. O. Grimalt, Atmospheric persistent organic pollutants in high altitude mountain lakes, Preliminary study, Scientific report of the workshop sea-air exchange. Processes and modeling, Kjeler, NILU, (1997) 209–215.
- P. Fernandez, R. Vilanova and J. O. Grimalt, PAH distribution in sediments from high mountain lakes. Polycyclic Aromatic compaunds 9 (1996) 121–128.
- E. Lipiatou et al., Mass budget and dynamics of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Mediterranean Sea, *Deep-Sea Res. II* 44 (1997) 881–905.
- A Šišović, M. Fugaš, K. Šega, Proučavanje sezonskih razlika u razinama i profilima policikličkih aromatskih ugljikovodika u Zagrebu, *Zbornik sažetaka XVI. Hrvatskog skupa kemičara kemijskih inženjera*, Split (1999) 335.
- C. C. Patterson. and D. M. Settle, Review of data on eolian fluxes of industrial and natural lead to the lands and seas in remote regions on a global scale, *Mar. Chem* 22(1987) 137.
- J. Cheng, C. L. Chakrabarti, M. H. Back, W. H. Schroeder, Chemical speciation of Cu, Zn, Pb and Cd in rain water, *Anal. Chem. Acta.*, 288 (1994) 141–156.
- V. D. Nguyen, P. Valenta, H. W. Nurnberg, Voltammetry in the analysis of atmospheric pollutants. The determination of toxic trace metals in rain water and snow by differential pulse stripping voltammetry, *Sci. Total Environ.*, 12 (1979) 151.
- M. Nimmo and R. Chester, The speciation of dissolved nickel and cobalt in Mediterranean rain waters, *Sci. Total Envir.*, 135 (1993) 153–160.
- N. Mikac, M. Branica, Wet deposition of ionic alkylleads and total lead in urban areas of Croatia, *Atmospheric Environment*, 28(19) (1994) 3171–3179
- B. Čosović, V. Vojvodić, T. Pleša, Electrochemical determination and characterization of surface active substances in freshwaters, *Water Res.*, 19 (1985) 175–183
- N. Mikac, *Doktorska disertacija*, Sveučilište u Zagrebu (1991) pp 125.
- B. Čosović, V. Vojvodić, Adsorption behavior of the hydrophobic fraction of organic matter in natural waters, *Mar. Chem.*, 28 (1989) 183–198.
- B. Čosović, D. Hršak, V. Vojvodić, D. Krznarić, Transformation of organic matter and bank filtration from a polluted stream, *Wat. Res.* 30 (1996) 2921–2928.

Autori

Mr. sc. Palma Orlović Leko, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Pierottijeva 6.

Dr. sc. Zlatica Kozarac, Institut »Ruđer Bošković«, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Zagreb Bijenička c. 54.

Dr. sc. Božena Čosović, Institut »Ruđer Bošković«, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Zagreb, Bijenička c. 54.

Prof dr. sc. Ladislav Palinkaš, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, Zvonimirova 8.



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.14.

Procjedne vode na uređenom odlagalištu otpada »Jakuševac« – Zagreb

Zlatko Milanović, Mirella Matasović, Janko Jurković, Mira Shalabi, Ivan Galić

SAŽETAK: Svega 1600 metara od novog urbaniziranog dijela Zagreba od polovice šezdesetih godina nastalo je neuređeno odlagalište otpada Jakuševac. Svojim postojanjem osim što ugrožava zdravlje stanovnika naselja Jakuševac, Mičevac i dijela Novog Zagreba, ono izravno ugrožava postojeća i buduća izvorišta pitke vode Grada Zagreba. Odloženi je otpad na Jakuševcu u izravnom dodiru s debelim šljunčanim vodonosnim naslagama, koje su glavno izvorište pitke vode Zagreba i regije. Stoga 1995. je godine ZGO d.o.o. započeo radove na sanaciji odlagališta otpada Jakuševac odabranom varijantom postupno preslagivanje otpada uz izvedbu nepropusnog dna i prekrivke. Do danas je sanirano 12,5 ha. Procjedne se vode prikupljaju pomoću drenažnog sustava u dva sabirna, posebno opremljena bazena. Privremeno se procjedne vode iz sabirnika vraćaju na deponij. Recirkulacijom procjedne vode i evaporacijom vrši se redukcija količine vode dok se ostatak predviđa pročišćavati. U ispitivanju su varijanta s biljnim uređajem, filtriranjem pomoću zeolita, i bio.-kem. uređajem kontejnerskog tipa.

KLJUČNE RIJEČI: procjedne vode, recirkulacija, biljni uređaj, uređaj sa zeolitom

Jakuševac Landfill Zagreb Leachate Treatment Issues

SUMMARY: In mid-sixties, Jakuševac Dump Site developed on a location placed not more than 1600 meters from the new urbanized part of the City of Zagreb. It poses a health hazard for the inhabitants of the Jakuševac, Mičevac and New Zagreb residential areas, and directly jeopardizes the existing and future potable water well fields in the City of Zagreb. The waste disposed at the Jakuševac is in direct contact with the thick gravel aquifer which is the main potable water well field for both the city and its broader region. In 1995, ZGO company initiated remediation of the Jakuševac Dump Site. The selected remediation alternative included gradual restacking of waste and placement of impermeable landfill bottom and top cover. So far, 12.5 ha of dump site was remediated and turned into a landfill. Leachate is collected by drainage system including two specially fitted collecting basins. For the time being, the leachate is recirculated to the landfill. Water quantity is reduced by recirculation and evaporation, and the remaining quantities are planned to be treated. The leachate treatment options include artificial wetland, zeolite filtration, and biological/chemical facility of container type.

KEYWORDS: leachate, recirculation, artificial wetland, zeolite filtration

1. Uvod

Odlagalište otpada Jakuševac, jedno je od najvećih europskih neuređenih odlagališta otpada, prostire se na 80 ha površine. Smješteno je uz rijeku Savu, 5 km od središta grada, od prvih kuća Novog Zagreba svega 1,6 km. Do početka 1998. godine je na području Jakuševca odbačeno gotovo 7 000 000 tona raznog otpada (IPZ Uniprojekt, 1997.). Cjelovite tjedne analize pokazale su da se na području odlagališta otpada Ja-

kuševac godišnje odlaže oko 650 000 tona komunalnog i tehnološkog otpada. Osim što predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje i onemogućuje daljnji razvoj grada prema jugoistoku, odlagalište otpada Jakuševac je rizik za područje koje se nalazi nizvodno, a predstavlja glavne rezerve pitke vode grada Zagreba.

Iz tih razloga ZGO d.o.o. je 1990. godine započeo s provođenjem aktivnosti za postupno uvođenje Cjelovitog sustava gospodarenja otpadom (CSGO). Jedna od prioritarnih aktivnosti CSGO uključuje i saniranje odlagališta otpada Jakuševac. Nakon provedenih pripremnih i istražnih radova, Komisija Gradskog poglavarstva se temeljem tehnoeekonomske analize 1994. godine odlučila za varijantu postupnog preslagivanja otpada uz izvedbu nepropusnog dna i prekrivke.

Radovi su započeli 1995. godine. Do danas je na jugoistočnom dijelu odlagališta otpada Jakuševac sanirana površina od 12,5 ha, a na čitavom području odlagališta je očišćeno 25 ha. 1997. godine je počelo odlaganje otpada na uređenu novu plohu.

Zbog ubrzanja pretvorbenih procesa u tijelu deponija u smislu što veće produkcije deponijskog plina usvojen je na odlagalištu otpada Jakuševac način zbrinjavanja deponijskih procjednih voda recirkulacijom. Inozemna iskustva su pokazala (Christensen & Kjeldesen, 1989.) da se produkcija plina zaustavlja kad postotak vlage u otpadu padne ispod 20%, a raste s maksimalno izmjerenom količinom vlage, od oko 60%. Ova metoda također smanjuje operativne troškove odlagališta. Tijekom jednogodišnje primjene recirkulacije procjednih voda na odlagalištu otpada Jakuševac na području uređene plohe čija je podloga osigurana dvostrukim brtvenim slojem, recirkulacija nije pokazala zadovoljavajuće rezultate zbog isključivo oteženog prolaza procjednih voda kroz otpad.

2. Način prikupljanja procjednih voda

Izračun elemenata bilance za maksimalnu dnevnu oborinu od 60 mm/dan i korisnu površinu novo uređene plohe od 55 000 m², proračunat je na ukupno 3 300 m³/dan (Švel, 1997.).

$$\text{otjecanje} = 0,06 \times 0,0438 \times 55\ 000 = 144 \text{ m}^3/\text{dan}$$

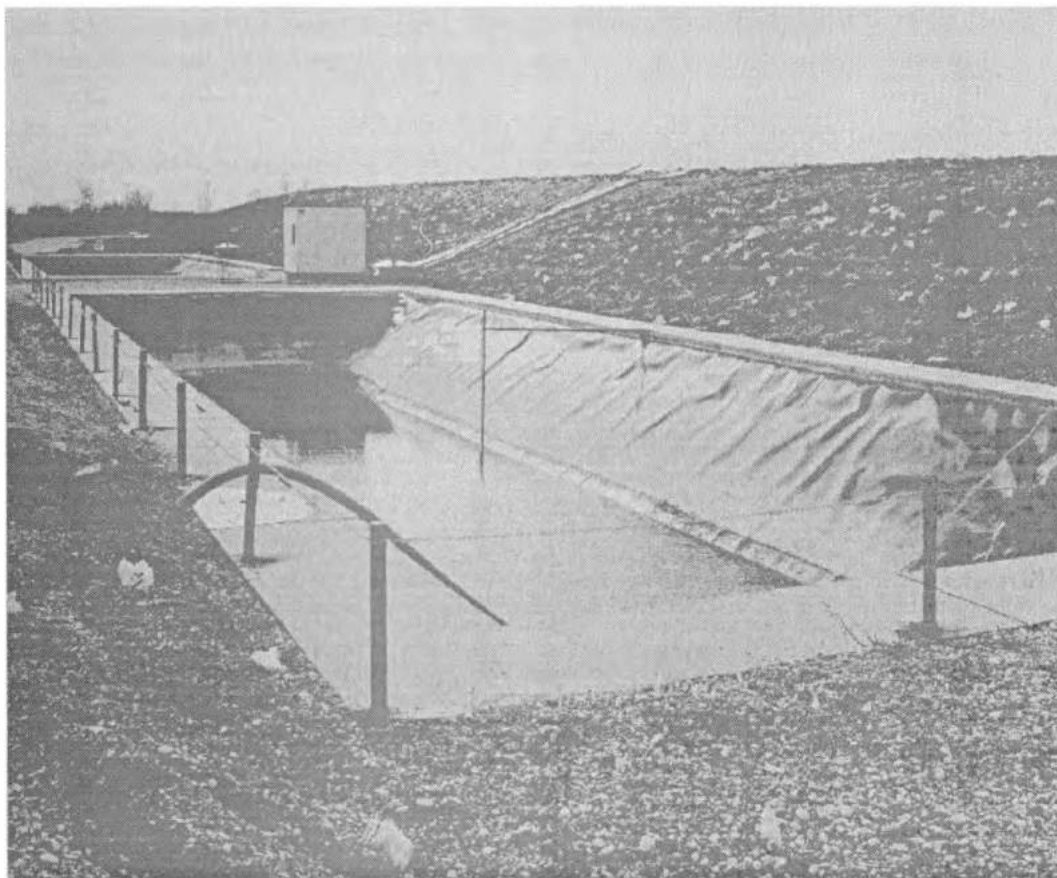
$$\text{evaporacija} = 0,06 \times 0,5437 \times 55\ 000 = 1\ 794 \text{ m}^3/\text{dan}$$

$$\text{poniranje} = 0,06 \times 0,001 \times 55\ 000 = 3 \text{ m}^3/\text{dan}$$

$$\text{drenaža} = 0,06 \times 0,41295 \times 55\ 000 = 1363 \text{ m}^3/\text{dan}$$

To su ujedno i maksimalne količine procjedne vode koje se očekuju na odlagalištu otpada Jakuševac uzimajući u obzir sam način sanacije odlagališta uz postupno preslagivanje otpada, prekrivanje te izvedbu novih jednakih dionica s nepropusnom podlogom.

Procjedne vode se prikupljaju u drenažnim cijevima položenim u drenažnom sloju ispod otpada na dnu uređene plohe na međusobnom razmaku od 30 m. Zatim se iz tijela odlagališta odvođe posebnim kolektorima s pripadajućim reviziono-priključnim oknima do sabirnih bazena. Okna se nalaze u prosjeku na svakih 30 m glavnog kolektora. U njima se izljevaju drenažne cijevi s dna deponije. Okna su promjera 1 500 mm, da se omogućiti nesmetano izvođenje svih potrebitih zahvata na pregledu i čišćenju. Zbog agresivnosti procjedne vode cijevi i okna su od PEHD (polietilen visoke gustoće). Drenažni sustav završava u dva bazena, svaki volumena 350 m³ (Slika 1.). Sabirni bazeni su obloženi s dvije PEHD folije, s kontrolom puštanja unutarnje.



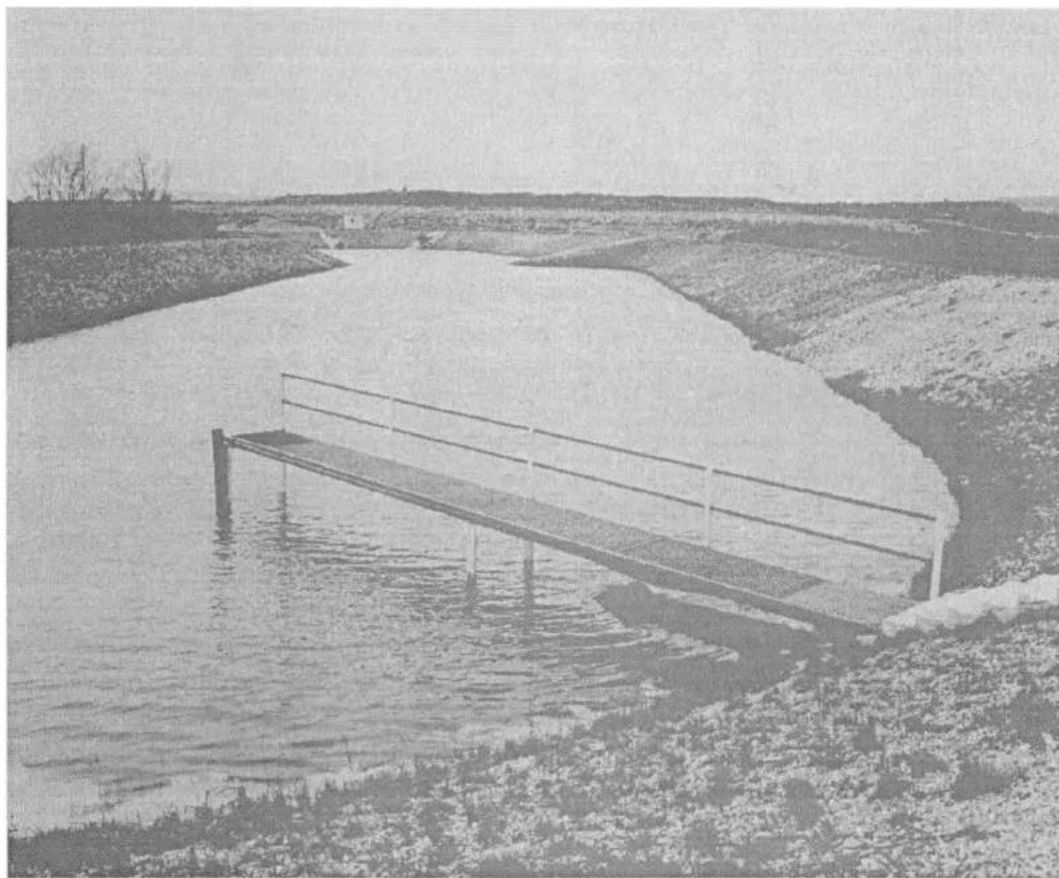
Slika 1. Bazeni za procjedne vode

Oborinske vode sakupljaju se uz pomoć odvojenog odvodnog sustava, čiji kolektori završavaju u retencijskom bazenu maksimalnog korisnog volumena 11 000 m³ (Slika 2.). Bazen je trapeznog presjeka, dužine 150 m i širine dna 10 m, te pokosima u nagibu 1:2,5 do 1:3. Dubina bazena iznosi 4 m na ulazu, s dnom na koti 105,0 m n. m., a 104,5 m n. m. na ispustu. Radi zaštite podzemnih voda od djelomično onečišćenih oborinskih voda i retencijski bazen je izveden s nepropusnom podlogom. Postavljen je bentoliner debljine 5 mm, prekriven zavarenom PEHD membranom debljine 2,5 mm. Membrana je zaštićena geotekstilom i šljunkom gradacije 16–32 mm. Ispust iz retencijskog bazena u rijeku Savu nalazi se na suprotnom kraju bazena. Ispust je dužine 210 m i opremljen potopljenom crpkom koja omogućuje evakuaciju vode iz bazena i za vrijeme visokog vodostaja rijeke Save.

3. Kakvoća procjedne vode

Za odlagalište Jakuševac se redovito provode analize procjednih voda.

U tablici 1. dana je uporedba raspona koncentracija za parametre procjedne vode s odlagališta komunalnog otpada (Lee i dr., 1993.) u kojem se navodi prosjek za 83 odlagališta s procjednom vodom s Jakuševca.



Slika 2. Retencijski bazen

Navedene analize procjedne vode s Jakuševca je proveo Zavod za javno zdravstvo grada Zagreba, Odjel za zdravstvenu ekologiju. Iz tablice je vidljivo da procjedna voda s Jakuševca ima vrijednosti parametara kao i procjedne vode na drugim odlagalištima komunalnog otpada, izuzev vrijednosti amonija i olova koje su više. U literaturi se povećana koncentracija amonijaka objašnjava starenjem deponija kad se naglo smanjuje kemijska i biološka potrošnja kisika, a raste koncentracija amonijaka (Milanović, 1992.). Povećana koncentracija olova (Kylefords & Lagerkvist, 1997.) objašnjava se zasićenošću procjedne vode aluminijem u kombinaciji s neutralnom pH vrijednošću koja može dovesti do povećanja koncentracije nekih metala u procjednim vodama. Upravo je olovo indikator za adsorpciju. Prema propisu Republike Austrije na deponiju zaostalih tvari (kakav je Jakuševac) MDK za olovo iznosi <10 mg/l (Milanović, 1992.).

Analiza vode iz sabirnika procjednih voda u uporedbi s važećim hrvatskim propisima pokazuje prema Uredbi o klasifikaciji voda (NN 77/98) da se radi o vodi V vrste, prema Pravilniku o vodama koje se upuštaju u javnu kanalizaciju (Službeni glasnik, 24/77) iznad MDK su vrijednosti fenoli, cink i olovo, a prema Pravilniku o uvjetima za postupanje s otpadom (NN 123/97) iznad MDK su TOC, amonij, cink, olovo i krom. Upravo iz tog razloga na odlagalištu otpada Jakuševac pokrenuti su Pilot-projekti pročišćavanja procjednih voda.

Tablica 1. Usporedba raspona koncentracija parametara procjedne vode

Parametar	»Tipičan« raspon koncentracija	»Prosjek«	Min. vrijednost Jakuševac	Max. vrijednost Jakuševac
BPK ₅	1000–30000	10500	1900	2800
KPK	1000–50000	15000	1893	5910
TOC	700–10000	3500	973	3660
Nitrati, N	0,1–10	4	1,1	2,68
Amonij, N	100–400	300	96	590
o-fosfati, P	1,0–60	22	0,02	1
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃)	500–10000	4200	517	3025
Ukupno otopljene tvari	1000–20000	11000	3180	5950
Vodljivost (mhos/cm)	2000–8000	6700	4190 (μS/cm)	11213 (μS/cm)
pH	5–7,5	6,3	7,08	7,65
Kalcij	100–3000	1000	14	1080
Magnezij	30–500	700	79	131,2
Natrij	200–1500	700	252	1098
Klorid	100–2000	980	555	1220
Sulfati	10–1000	380	279	430
Krom	0,05–1	0,9	0,275	0,3
Kadmij	0,001–0,1	0,005	i. g. d.	i. g. d.
Bakar	0,02–1	0,5	<0,02	0,37
Olovo	0,1–1	0,5	0,315	9,43
Nikal	0,1–1	1,2	i. g. d.	i. g. d.
Željezo	10–1000	430	5,53	19,45
Cink	0,5–30	21	0,02	5,28

* sve vrijednosti su mg/l, osim navedenih

* i. g. d. ispod granice detekcije

4. Pilot projekti pročišćavanja procjednih voda

a) Biljni uređaj

Pilot projekt biljnog uređaja na odlagalištu otpada Jakuševac provodi poduzeće BIECO d.o.o. za zaštitu okoliša Rijeka. Biljni uređaji pripadaju novijoj tehnologiji za pročišćavanje otpadnih voda. Sastoje se iz više bazena, kroz koje prolazi procjedna voda. Na tom putu se pomoću bioloških (aerobna i anaerobna mikroba razgradnja,

ugradnja u tijelo biljaka), fizičkih i kemijskih procesa (isparavanje, taloženje i usisavanje) voda pročisti. Bazeni s blagim nagibom su na dnu obloženi nepropusnom folijom ili ilovačom. Na tu podlogu stavlja se supstrat na koji se sade autohtone biljke. Upotrebljava se različito močvarno bilje i bilje vlažnog zemljišta: trska, šaš, rogoz i slično.

Procjedna voda se precrcpljuje u bazene, gdje se u supstratu filtrira, pročišćava i kondicionira za ispušt. Glavnu ulogu u pročišćavanju imaju isti mikroorganizmi kao u klasičnim uređajima, samo što u biljnom uređaju ne plivaju u vodi, već su nastanjeni na korijenju biljaka i na supstratu. Pročišćavanje procjedne vode zbiva se u najvećoj mjeri u supstratu, kao rezultat aktivnosti mikroorganizama u rizosferi (zona korjenja).

Biljke im služe kao stanište i izvor kisika. Listovi, stabla i korijenje biljaka ispunjeni su sustavom zračnih šupljina, kojima se zrak iz atmosfere provodi do korijenja i u okolno zemljište. Dio zemljišta ostaje bez kisika, što omogućuje da u procesu razgradnje sudjeluju anaerobni i aerobni mikroorganizmi. Razgrađene organske tvari biljke ugrade u svoje tkivo i time pročišćavaju otpadne vode. Biljke akumuliraju otrovne tvari, kao što su teški metali, fenoli, pesticidi, formaldehidi, itd. One se režu i odlažu na deponij

Pored biljne komponente i mikroorganizama, najznačajniju ulogu u pročišćavanju igra hidraulika sustava. Procjedne vode protiču horizontalno i vertikalno kroz supstrat ispod površine, što otklanja stvaranje neugodnih mirisa i razvoja nepoželjnih insekata. Procesi pročišćavanja se zbivaju u tlu, neovisno od vanjske temperature zbog toga je učinak pročišćavanja vrlo visok i zimi, do 60–70%. Za toliko se smanji količina otpadnih tvari na izlazu. Ljeti je učinak viši i dostiže čak do 80%. Da se ta učinkovitost postigne i zimi, potrebno je duže vrijeme zadržavanja vode.

Na istočnom dijelu odlagališta otpada Jakuševac sagrađen je biljni uređaj površine 100 m². Osnovni sastavni dijelovi pilot biljnog uređaja za pročišćavanje procjednih voda odlagališta Jakuševac su (tablica 2.):

1. dva bazena za vertikalni protok;
2. bazen za horizontalni protok.

Sadnja biljaka predviđa se za proljeće a potpuna učinkovitost uređaja predviđa se postići u roku od cca 1 godine (tablica 3.).

Tablica 2. Osnovne dimenzije pilot biljnog uređaja

	dužina	širina m	dubina	površina (neto) m ²	ef. volumen m ³	funkcija
Bazen za vertikalni protok (2x)	5	4	0,7	2 × (20)	8,4	<ul style="list-style-type: none"> • intezivna nitrifikacija • pročišćavanje KPK, BPK, TOC
Bazen za horizontalni protok	10	6	0,6	60	10,8	<ul style="list-style-type: none"> • intezivna denitrifikacija • pročišćavanje toksičnih tvari
Ukupno	15	8	x = 0,65	cc = 100	19,2	

Tablica 3. Predviđena učinkovitost biljnog uređaja

Pokazatelj	Učinkovitost %
KPK	60–70
BPK ₅	60–70
Amonij	60–80
Fosfor – ukupni	70–80
Fenoli	50–70
Sulfidi	60–70
Pb	50–60
Fe	70–80
Mn	50–60

b) Pročišćavanje procjednih voda od NH_4^+ i teških metala korištenjem zeolita

Pilot projekt korištenja zeolita na odlagalištu otpada Jakuševac provode Institut za međunarodne odnose, Zagreb u suradnji s Fakultetom strojarstva i brodogradnje, Zagreb. Primjena prirodnih zeolita – minerala clinoptilolita (Cp) poznata je metoda koja se može koristiti za pročišćavanje otpadnih voda. Temeljem svoje će fiz.-kem. građe zeoliti sorbirati razne anorganske i organske spojeve u ionskom i molekularnom obliku elektrostatskim silama raznog dometa i jačine. Ovisno o sadržaju i razmještaju pojedinih funkcionalnih grupa i radikala zeolit-clinoptilolit naročito ima afinitet prema amonijevim spojevima.

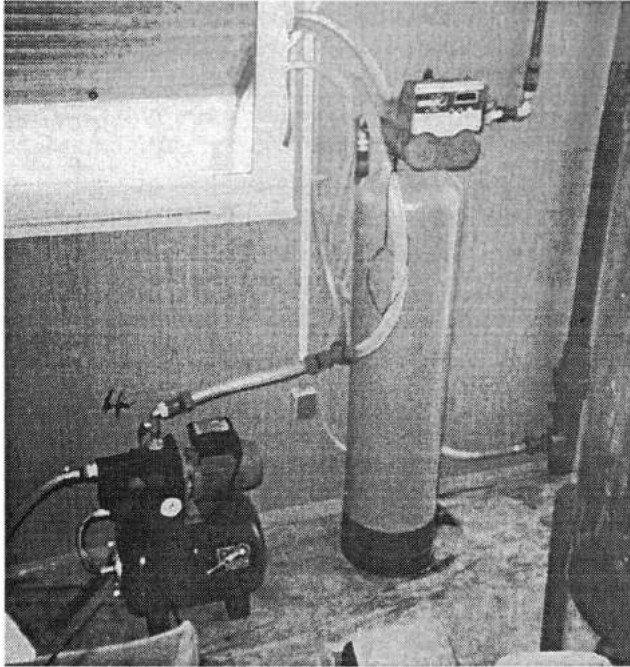
Nađeno je da statički kapacitet izmjene NH_4^+ -iona iznosi od 1,4–1,7 meq/g zeolita-clinoptilolita (Cp), dok dinamični kapacitet iznosi 1,7–2,0 meq/g Ze, teoretski kapacitet (u statičkim uvjetima) iznosi i do 2,4 meq/g.

Polazeći od ovih pretpostavki, te sastava i količina otpadnih procjednih voda pripremljen je Pilot-uređaj sa prirodnim Zeolitom-Clinoptilolitom (Cp) da se izvrše kinetička ispitivanja u statičkim i dinamičnim uvjetima te selektivnost (Cp) na NH_4^+ -N iz procjedne vode (Slika 3.).

Pripremni radovi su obuhvatili:

1. Kemijsku analizu otpadne vode u sabirnim bazenima na NH_4^+ -N, korištene su standardne međunarodno priznate metode:
 - standardna metoda za ispitivanje vode i otpadnih voda, 1971. god. 13 Cod (APHA);
 - analiza voda i atmosfera (»ASTM«) (American Society of testing Materials) National Environmental Research Center, Cincinnati, OHIO, USA;
 - uzorcima vode iz bazena za laboratorijske analize snižena je pH vrijednost pomoću H_3PO_4 ispod pH 4 uz indikator metiloranž i konzerviran s 1 g/l CuSO_4 , analiza uzorka otpadne vode vršena je unutar 24 sata.
2. Postavljeno je Pilot-postrojenje u kontejneru između dva sabirna bazena s procjednom vodom Kao ionski izmjenjivač (filterska kolona) upotrijebljen je zeolitni tuf-clinoptilolit (Cp) iz Donjeg Jesenja s promjerom čestica od 0,5–2,5 mm.

Nakon montaže Pilot postrojenja propustila se procjedna voda iz sabirnih bazena, preko kolone za ionsku izmjenu (NH_4^+), zeolitni tuf-clinoptilolit (Cp).



Slika 3. Oprema Pilot-postrojenja

Kapacitet kolone odnosno ionskog izmjenjivača Clinoptilolita (Cp) pratio se uzimanjem uzoraka vode nakon prolaza kroz kolonu te analiza na sadržaju NH_4^+ u efluentu pomoću Nesslerovog reagensa. Koncentracija amonijum iona NH_4^+ u procjednoj vodi prije kolone iznosila je 96–212 mg/l.

Prema laboratorijskim ispitivanjima kapacitet ionske izmjene i sorpcije (CEC) varirao je od 9–12 mg NH_4^+ /gr Zeolita (Batch-postupkom) dok je na kolonu ionska izmjena i sorpcija varirala od 7–10 mg/g slobodnim protokom.

Otpadna voda sadržavala je među ostalim spojevima oko 220 mg/l NH_4^+ -N, a u efluentu iza kolone (nakon prolaza oko 200 l otpadne vode) utvrđena je koncentracija NH_4^+ -N od oko 20 mg/l iz čega je izračunat kapacitet Zeolitne kolone, odnosno 1 g Zeolita sorbiral je svega 4,3 NH_4^+ -N/l g Ze.

Tijekom pokusa na Pilot-postrojenju ustanovljena je (velika mutnoća vode) te su dispergirane čestice organskog podrijetla uzročnik za smanjeni kapacitet ionske zamjene NH_4^+ . Naime, umjesto oko 9 mg NH_4^+ -N/l g zeolita (Cp) sorbiral se svega 4,3 mg NH_4^+ -N što je manje od 50%. Uzročnik tako niskog kapaciteta ionskog izmjenjivača zeolitnog tufa clinoptilolita (Cp) je visoka kontaminacija ionskog izmjenjivača organskim česticama.

Iz ovog ispitivanja izvučen je zaključak da je potrebno otpadnu vodu prije puštanja na ionski izmjenjivač kemijski obraditi. U ovom slučaju predložen je postupak taloženja dispergiranih čestica u otpadnoj vodi s polialuminijevim kloridom (PAC) – anorganski flokulant – te primjena filtera s aktivnim ugljenom. Primjena PAC za bistrenje otpadne vode (flokulacija) smanjit će dispergirane organske tvari i do 80%, a primjenom aktivnog ugljena smanjit će se fenoli i neki drugi kontaminirajući spojevi i elementi.

Ispitivanja oglednog uređaja sa zeolitima se nastavljaju prema dosada dobivenim rezultatima.

5. Zaključak

Izgradnjom suvremenih odlagališta otpada prioritetno se sprečava svako nenadzirano ispuštanje zagađenih otpadnih voda u okoliš. To prije svega znači da se stvaraju koncentrirane količine vrlo štetnih procjednih voda koje istovremeno omogućuju potpuno nadzirani postupak čišćenja, ali i postojanje povećanog rizika od akcidentnih situacija.

Svjetska iskustva pokazuju da su na raspolaganju različite tehnologije čišćenja deponijskih otpadnih voda. U svakom slučaju uz tehničku mogućnost treba istovremeno razmotriti i gospodarske uvjete realizacije. Vrlo su važne i lokalne osobitosti procjednih voda s određenog odlagališta. U svakom slučaju samo stručan i cjelovit pristup omogućava dugoročno sigurno i kvalitetno postupanje s procjednim vodama.

Slijedom tih spoznaja na uređenom dijelu odlagališta otpada Jakuševac provode se istražni radovi za cjelovito gospodarenje otpadnim vodama. Isto pretpostavlja smanjenje količina voda, smanjenje rizika od nepovoljnih ujecaja, te ispitivanja količine i sastava procjednih voda. Ustanovilo se da je važna i dinamika dotoka odnosno bilanse procjednih voda. Do sada su konkretno ispitivane mogućnosti recirkulacije i čišćenja s zeolitima, a započela su i prva ispitivanja biljnim uređajem.

Literatura

- Christensen T., Kjeldsen P. (1998): Basic biochemical processes in landfills. In Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. San Diego, CA, USA: Academic Press, pp. 29–49.
- Elaborat o nadzoru ulaza vozila na odlagalište Jakuševac i rezultati nadzora. IPZ Uniprojekt MCF d.o.o. za inženjering, Zagreb 1997.
- Jones-Lee A., Lee G. F. (1993): Groundwater pollution by municipal landfills: leachate composition, detection and water quality significance. IV International Landfill Symposium, Sardinia '93, Italy.
- Kylefors K., Langerkvist A. (1997): Changes of leachate quality with degradation phases and time. VI International Landfill Symposium, Sardinia '97, Italy.
- Milanović Z. (1992): Deponij – Trajno odlaganje otpada. Zbrinjavanje gradskog otpada – Zagreb.
- Švel B. (1997): Smetište Jakuševac. Bilans oborinskih voda.

Autori

Dr. sc. Zlatko Milanović, dipl. ing. stroj.

ZGOS, Zeleni trg 3

tel: 6199-261, fax:6199-260

Mirella Matasović, dipl. ing. geol.

ZGO, Zeleni trg 3, 10 000 Zagreb

tel: 6199-256; fax: 6199-260, e-mail: mirella.matasovic@zg.tel.hr

Janko Jurković, dipl. ing. građ.

Elektroprojekt, Aleksandra Von Humboldta 4, 10 000 Zagreb

tel: 6307-777, fax:6152-685, e-mail: hg-biro@elektroprojekt.tel.hr

Mira Shalabi, dipl. ing. biol.

BIECO zaštita okoliša, Adamićeva 18/II, 51 000 Rijeka

tel: 051/334-131, fax: 051/212-939

Mr. sc. Ivan Galić, dipl. ing. rud.

PRODUKT, Kneza Mislava 7/I, 10 000 Zagreb

tel: 4613-000, fax: 4612-626

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.15.

Koncentracije nekih elemenata u vodi i sedimentu rijeke Dunav

Astrea Vertačnik, Stipe Lulić, Katja Džepina

SAŽETAK: U ovom radu analizirani su uzorci filtrirane vode, suspendirane tvari, te sedimenta lijeve i desne obale rijeke Dunav kod Mohača. Metodom XRF (spektrometrija X zraka) određivane su koncentracije elemenata K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr i Pb.

Koncentracije K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr i Pb u filtriranoj vodi tijekom 1997. godine kretale su se u rasponima koji odgovaraju raspoloživim literaturnim podacima za rijeku Dunav.

Koncentracije istraživanih elemenata u suspendiranoj tvari nalaze se u rasponima koji odgovaraju raspoloživim literaturnim podacima za rijeku Dunav.

Koncentracije Ca, Cu i As određene u nefiltriranoj vodi rijeke Dunav pokazuju dobro slaganje, a koncentracije K, Zn i Pb izvrsno slaganje s rezultatima ispitivanja drugim metodama na istoj lokaciji.

Koncentracije ispitivanih elemenata u sedimentu nalaze se u očekivanom rasponu vrijednosti za tu vrstu sedimenta. Normalizacijom dobivenih koncentracija, pomoću referentnog geološkog materijala, utvrđeno je da nema povećanja faktora obogaćenja, odnosno nije došlo do zagađenja sedimenta.

Dobiveni rezultati poslužit će za procjenu sadašnjeg stanja vode i sedimenta dna rijeke Dunav, na lokaciji Mohač. Istraživanje je provedeno da se utvrdi odnos XRF metodom dobivenih rezultata prema rezultatima dosadašnjih istraživanja drugim metodama, te da se ustanove mogućnosti primjene metode u okviru budućih istraživanja ekosustava rijeke Dunav.

KLJUČNE RIJEČI: XRF, elementi, voda, sediment, Dunav

Concentration of Some Elements in the Danube Water and Sediment

SUMMARY: The present paper analyzes samples of filtrated water, suspended matter and sediments (bed load) from the left and right bank of the Danube River. XRF method was used to analyze concentrations of K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr and Pb. During 1997, concentrations of K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr and Pb in filtrated water were within the ranges corresponding with the available data from references on the Danube River. Concentrations of investigated elements in suspended matter are within the ranges corresponding with the available data from references on the Danube River. Concentrations of Ca, Cu and As determined for non-filtrated Danube water show good compliance, and concentrations K, Zn and Pb excellent compliance with the investigation results obtained at the 1433th kilometer of the Danube watercourse. Concentrations of investigated elements in the sediment are within the expected range for this type of sediments. Normalization of obtained concentrations has shown there is no increase in enrichment factor, namely contamination of sediments. The obtained results shall be used to evaluate the current status of the Danube bed load and water in the Mohač location. The investigation was conducted in order to determine relation between the results obtained by XRF method and the results of earlier investigations conducted by different methods, and to determine possible application of X-ray spectrometry in future investigations of the Danube River ecosystem.

KEYWORDS: XRF, elements, water, sediment, the Danube

Uvod

Rijeka Dunav prolazi kroz više europskih država primajući otpadne vode sa teritorija tih zemalja. Nepostojanje opće prihvaćenih naputaka o kvaliteti vode te nepostojanje jedinstvenog načina uzorkovanja, analiziranja i interpretacije dobivenih rezultata problemi su vezani uz razvijanje programa praćenja zagađenja rijeke Dunav i standardizaciju kvalitete vode rijeke Dunav. Primjenom prihvaćene Konvencije o zaštiti rijeke Dunav (početak 2000. godine), riješit će se navedeni problemi, odnosno, vidjet će se postoji li potreba za poboljšanjem odredaba Konvencije.

Kvantitativno određivanje elemenata u tragovima u ekosustavu rijeke Dunav na lokaciji Mohač nizvodno od Nuklearne elektrane Pakš u Mađarskoj provedeno je u cilju ispitivanja koncentracija istraživanih elemenata. U ovom radu analizirani su filtrirane vode, suspendirane tvari, te uzorci sedimenata lijeve i desne obale rijeke Dunav. Određivane su koncentracije elemenata K, Ca, i Fe, te elemenata u tragovima Mn, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr i Pb metodom XRF. Dobiveni rezultati poslužit će za procjenu sadašnjeg stanja vode i sedimenata dna rijeke Dunav, na lokaciji Mohač.

Materijali i metode

Tijekom 1997. godine obavljeno je 6 uzorkovanja vode i sedimenta rijeke Dunav na lokaciji Mohač svaka dva mjeseca (Lu98).

Voda: Na desnoj i lijevoj obali peristaltičkom pumpom, na cca 1 m dubine, uzima se po 25 l u plastične kanistre, a na sredini profila rijeke uzima se na isti način 50 l uzorka vode. Za pripremu uzoraka filtrirane vode profilirana voda se upari do suha, te se nakon uparavanja sakupi suhi ostatak sa sva tri profila. Dalje se uzorci filtrirane vode i suspendirane tvari pripravljaju kao uzorci za XRF analizu.

Suspendirana tvar: Za pripremu uzoraka suspendirane tvari uzorak vode se filtrira na filter papiru Whatman 42, te se sakupe filter papiri sa sva tri profila.

Sediment: Uzet je po jedan uzorak na četiri točke, prikladne za uzorkovanje sedimenta riječnog dna Dunava, cca 1 kg po uzorku. Sediment je sušen na 105 °C do konstantne težine, a frakcija ispod 0,2 mm odvojena je prosijavanjem. Dalje se uzorci sedimenta pripravljaju kao uzorci za XRF mjerenja.

Priprema uzoraka za XRF analizu: Sakupljeni uzorci prešani su uz 2–3 tone dinamičkog tlaka u pločicu promjera 2,5 cm prešom izrađenom na Institutu Ruđer Bošković. Uzorci su vagani te zatvoreni u plastičnu kutijicu, dno koje je transparentna folija Mylar 4i (»X-ray Film Prolene) (Ba96). Oznake analiziranih uzoraka su: – sediment: npr. D02-97-S, – filtrirana voda: npr. D02-97-V, – suspendirana tvar: npr. D02-97-ST, – nefiltrirana voda: npr. D02-97-V+ST, gdje je D = rijeka Dunav, 02 = mjesec, 97 = godina uzorkovanja, S, V, ST, V+ST je oznaka za vrste uzorka.

XRF analiza (spektrometrija X zraka): Analize uzoraka provedene su metodom XRF. Pobuđivanje uzoraka vršeno je anularnim izvorom ^{109}Cd (Isotope Products Laboratory). Karakteristične X zrake su detektirane pomoću mjernog sustava koji se sastoji od »Canberra« Si-detektora rezolucije 165 eV kod 5,9 keV vezanog na osobno računalo. Mase uzoraka bile su različite (0,9 g – 2,7 g), a time i specifične debljine ($0,2\text{g cm}^{-2}$ – $0,6\text{g cm}^{-2}$). Vrijeme brojanja pojedinog

uzorka, ovisno o vrsti uzorka, kretalo se od 10 000 s do 60 000 s. Spektri X-zraka evaluirani su pomoću IAEA računalnog programa QXAS-AXIL (AX95), koristeći proceduru »Simple Quantitative Analysis – Elemental Sensitivities (ES)«. Kao standard korišten je IAEA CRM, SOIL-5 (IA78).

Rezultati i diskusija

XRF metodom analizirani su uzorci filtrirane vode, suspendirane tvari i sedimenta rijeke Dunav. Ispitivani su sljedeći elementi: K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr i Pb.

Filtrirana voda: Koncentracije svih istraživanih elemenata prikazane su u Tablici 1. i nalaze se u rasponima koji odgovaraju rezultatima dobivenim drugim metodama (Hr98), osim ispitivanog uzorka filtrirane vode D12-97-V.

Tablica 1. Koncentracije elemenata u filtriranoj vodi tijekom 1997. godine

Element	Koncentracija (µg/l)					
	D02-97-V	D04-97-V	D06-97-V	D08-97-V	D10-97-V	D12-97-V
K (mg/l)	4,6 ± 0,4	3,4 ± 0,3	3,3 ± 0,3	3,4 ± 0,3	3,6 ± 0,2	4,0 ± 0,3
Ca (mg/l)	83 ± 2,1	73 ± 1,8	83 ± 2,0	82 ± 2,0	66 ± 1,5	74 ± 1,8
Mn	97 ± 12	141 ± 9,1	71 ± 7,9	44 ± 7,9	76 ± 6,9	72 ± 9,0
Fe	496 ± 12	223 ± 6,5	196 ± 6,3	465 ± 8,4	381 ± 7,3	132 ± 8,7
Cu	15 ± 1,9	13 ± 0,5	15 ± 1,5	20 ± 1,7	20 ± 1,7	15 ± 1,9
Zn	9,8 ± 1,2	11,6 ± 1,1	6,3 ± 0,8	10 ± 0,9	10 ± 0,6	36 ± 1,3
As	5,1 ± 0,9	4,7 ± 0,6	3,7 ± 0,7	4,3 ± 0,7	4,6 ± 0,5	6,2 ± 0,7
Rb	6,3 ± 0,4	3,4 ± 0,2	3,8 ± 0,2	3,2 ± 0,2	5,2 ± 0,3	4,7 ± 0,3
Sr	323 ± 2,3	237 ± 1,7	280 ± 2,0	253 ± 1,8	302 ± 2,1	280 ± 2,0
Zr	5,3 ± 0,4	3,9 ± 0,2	5,6 ± 0,3	3,5 ± 0,2	5,1 ± 0,2	28 ± 0,4
Pb	<2,4	<1,6	<1,7	<1,6	<1,3	<1,7

Promjene koncentracija elemenata u tragovima Cu, Zn, As, Rb, Sr i Pb u *filtriranoj vodi* tijekom 1997. prikazane su na Slici 1a. Elementi As, Cu, Pb i Zn predstavljaju moguća zagađivala, dok su Rb i Sr karakteristični elementi za glinovite odnosno karbonatne frakcije tla kroz koje protječe voda.

Suspendirana tvar: Koncentracije svih istraživanih elemenata prikazane su u Tablici 2. i nalaze se u rasponima koji odgovaraju rezultatima dobivenim drugim metodama (Hr98), osim ispitivanog uzorka D10-97-ST.

U tom uzorku, nađena je desetak puta veća koncentracija kalcija i tri puta veća koncentracija stroncija od drugih uzoraka suspendirane tvari. Porast je u vezi s porastom dotoka vode koja u jesen nosi sa sobom više materije koja se ispire s obala zbog velikih količina padalina. Promjene koncentracija elemenata u tragovima As, Cu, Pb, Rb, Sr i Zn u suspendiranoj tvari tijekom 1997. prikazane su na Slici 1b.

Koncentracije ispitivanih elemenata u *nefiltriranoj vodi* rijeke Dunav dobivene su zbrajanjem koncentracija elemenata u filtriranoj vodi i u suspendiranoj tvari. U Tabli-

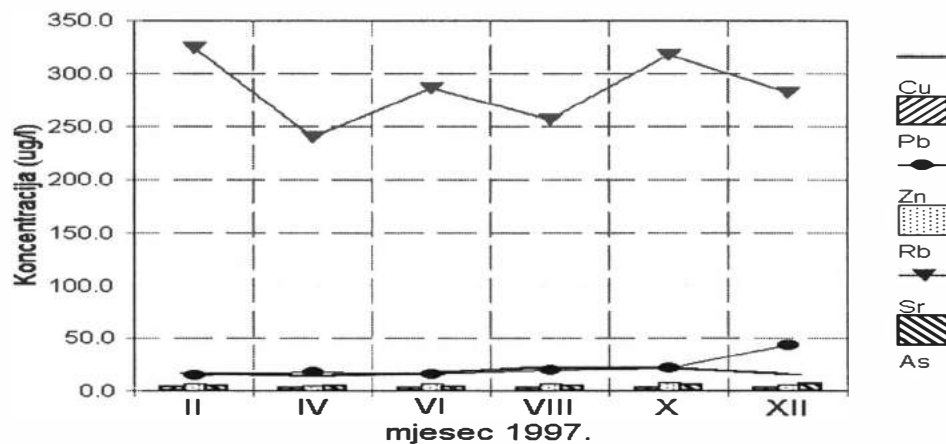
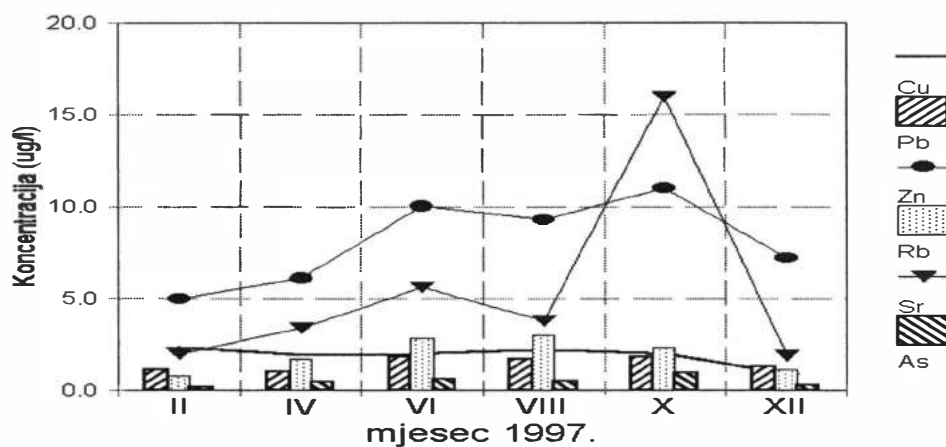
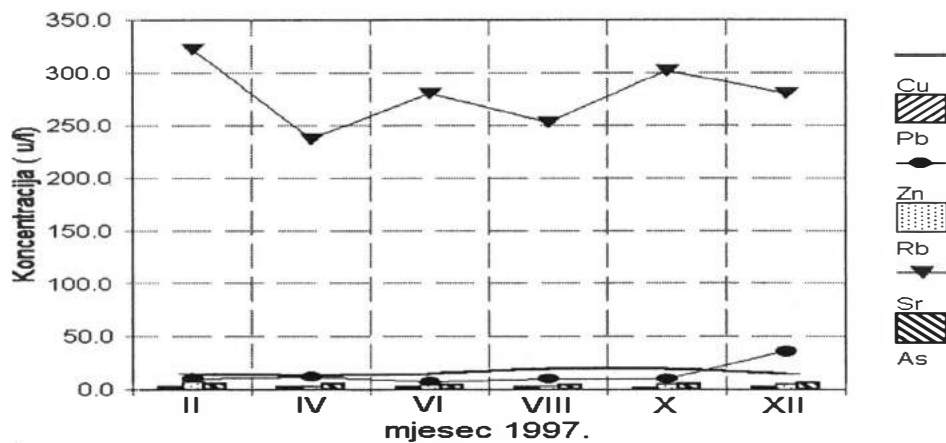
Tablica 2. Koncentracije elemenata u suspendiranoj tvari tijekom 1997. godine

Element	Koncentracija ($\mu\text{g/l}$)					
	D02-97-ST	D04-97-ST	D06-97-ST	D08-97-ST	D10-97-ST	D12-97-ST
K (mg/l)	0,2 \pm 0,01	0,3 \pm 0,02	0,6 \pm 0,03	0,5 \pm 0,03	0,6 \pm 0,04	0,2 \pm 0,01
Ca (mg/l)	1,1 \pm 0,03	1,8 \pm 0,05	3,5 \pm 0,10	1,9 \pm 0,05	11 \pm 0,27	0,9 \pm 0,02
Mn	22 \pm 0,6	34 \pm 1,1	63 \pm 1,9	40 \pm 1,5	54 \pm 2,3	30 \pm 0,8
Fe	370 \pm 3,1	634 \pm 5,3	1072 \pm 9,0	1116 \pm 10	986 \pm 8,2	541 \pm 4,5
Cu	2,3 \pm 0,2	1,9 \pm 0,2	2,0 \pm 0,2	2,2 \pm 0,2	2,0 \pm 0,3	0,9 \pm 0,1
Zn	5,0 \pm 0,1	6,1 \pm 0,1	10,0 \pm 0,3	9,3 \pm 0,2	11 \pm 0,3	7,2 \pm 0,1
As	0,2 \pm 0,03	0,4 \pm 0,05	0,6 \pm 0,09	0,5 \pm 0,06	1,0 \pm 0,12	0,3 \pm 0,03
Rb	0,8 \pm 0,02	1,7 \pm 0,03	2,8 \pm 0,05	3,0 \pm 0,05	2,3 \pm 0,05	1,1 \pm 0,02
Sr	2,0 \pm 0,02	3,4 \pm 0,03	5,6 \pm 0,05	3,8 \pm 0,03	16 \pm 0,12	1,9 \pm 0,02
Zr	1,4 \pm 0,02	2,1 \pm 0,02	3,4 \pm 0,04	3,1 \pm 0,03	3,3 \pm 0,04	1,5 \pm 0,02
Pb	1,1 \pm 0,03	1,0 \pm 0,04	1,8 \pm 0,1	1,7 \pm 0,05	1,8 \pm 0,09	1,3 \pm 0,02

ci 3. dana je srednja vrijednost koncentracija istraživanih elemenata u nefiltriranoj vodi rijeke Dunav tijekom 1997. godine.

Tablica 3. Koncentracije elemenata u nefiltriranoj vodi, tijekom 1997.

Element	Koncentracija ($\mu\text{g/l}$)					
	D02-97- -V+ST	D04-97- -V+ST	D06-97- -V+ST	D08-97- -V+ST	D10-97- -V+ST	D12-97- -V+ST
K (mg/l)	4,8 \pm 0,4	3,7 \pm 0,3	3,9 \pm 0,3	4,0 \pm 0,3	4,3 \pm 0,3	4,2 \pm 0,3
Ca (mg/l)	84 \pm 2,1	75 \pm 1,9	86 \pm 2,1	84 \pm 2,0	77 \pm 1,8	75 \pm 1,8
Mn	118 \pm 12	175 \pm 10	134 \pm 10	84 \pm 9,4	130 \pm 9,2	102 \pm 10
Fe	866 \pm 15	857 \pm 12	1268 \pm 15	1581 \pm 18	1367 \pm 16	673 \pm 13
Cu	17 \pm 2,1	14 \pm 0,7	17 \pm 1,7	23 \pm 1,9	22 \pm 2,0	16 \pm 2,1
Zn	15 \pm 1,4	18 \pm 1,2	16 \pm 1,1	20 \pm 1,1	22 \pm 0,9	43 \pm 1,5
As	5,3 \pm 1,0	5,1 \pm 0,7	4,3 \pm 0,8	4,7 \pm 0,7	5,6 \pm 0,7	6,5 \pm 0,7
Rb	7,1 \pm 0,4	5,1 \pm 0,2	6,6 \pm 0,2	6,3 \pm 0,2	7,5 \pm 0,3	5,8 \pm 0,3
Sr	325 \pm 2,3	240,4 \pm 1,7	286 \pm 2,0	257 \pm 1,8	318 \pm 2,2	282 \pm 2,0
Zr	6,7 \pm 0,4	5,9 \pm 0,2	9,0 \pm 0,3	6,6 \pm 0,2	8,4 \pm 0,3	29 \pm 0,4
Pb	<3,5	<2,6	<3,4	<3,3	<3,1	<2,9



Slika 1. Koncentracije nekih elemenata u: A) filtriranoj vodi, B) suspendiranoj tvari i C) nefiltriranoj vodi Dunava, Mohač, tijekom 1997. godine

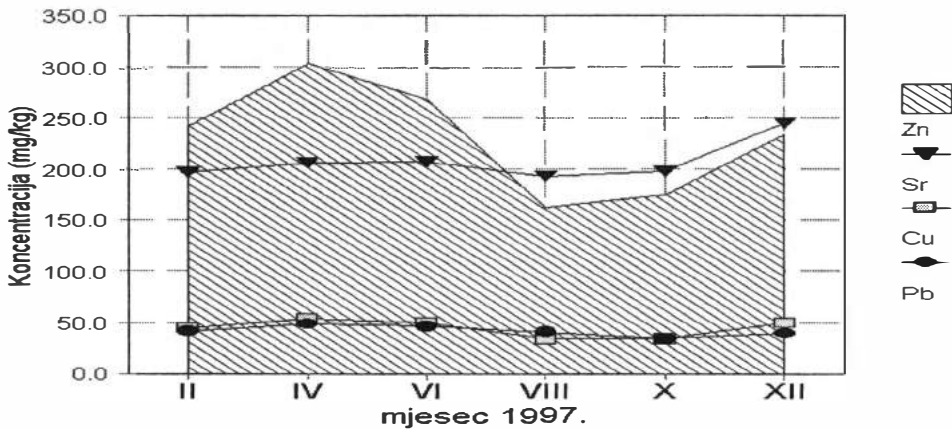
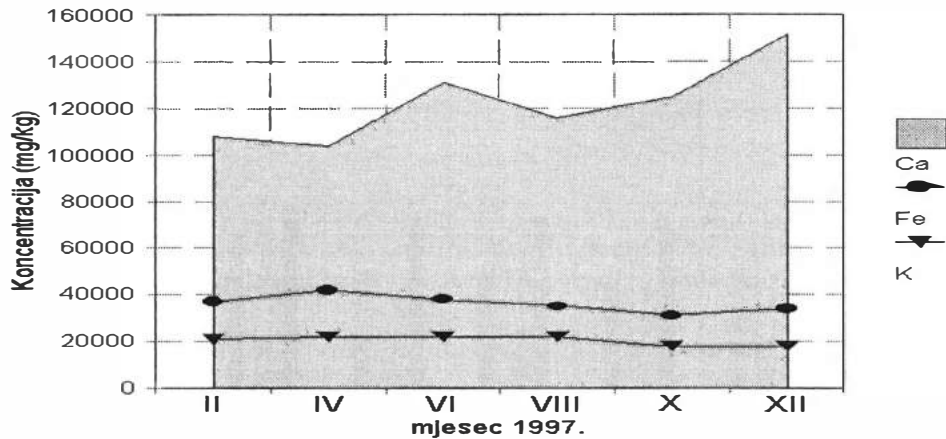
Promjene koncentracija elemenata u tragovima As, Cu, Pb, Rb, Sr i Zn u nefiltriranoj vodi tijekom 1997. prikazane su na Slici 1. c. Koncentracije cinka i cirkonija za uzorak D12-97-V+ST, povećane su zbog povećanog volumena i količine tvari koju rijeka Dunav nosi u tom godišnjem periodu. Koncentracije kalcija i stroncija u nefiltriranoj vodi za uzorak D10-97-V+ST nisu povećane usprkos visokoj koncentraciji u suspendiranoj tvari. Dobiveni rezultati za koncentracije elemenata u nefiltriranoj vodi rijeke Dunav također pokazuju dobro slaganje s rezultatima dobivenim u okviru višegodišnjih istraživanja na istoj lokaciji (Hr98). Željezo i mangan imaju iste trendove promjena koncentracija tijekom vremena. Dobiveni rezultati za kalcij, bakar i arsen pokazuju dobro slaganje, a rezultati kalija, olova i cinka se izvrsno slažu s rezultatima ispitivanjem vode na lokaciji Mohač (Hr98). Kriterijima CES/733 (UN92), kao i našim propisima o klasifikaciji voda (NN98), propisana je razina koncentracija pokazatelja po kategorijama kvalitete. Voda na lokaciji Mohač može se obzirom na bakar svrstati u kategoriju IV, a obzirom na olovo u kategoriju III. Po vrijednostima koncentracija ostalih ispitivanih elemenata voda rijeke Dunav na lokaciji Mohač pripada I kategoriji.

Sediment je statični, ali vrlo osjetljiv indikator mogućeg zagađenja budući da ima veliku adsorpcijsku moć za sve elemente u tragovima. Obzirom na stranu (profil), sediment lijeve i desne obale rijeke Dunav sadrži podjednake količine ispitivanih elemenata. Srednje vrijednosti koncentracija istraživanih elemenata u uzorcima sedimenta dane su u Tablici 4. Koncentracije elemenata nalaze se u očekivanom rasponu vrijednosti za tu vrstu sedimenta.

Tablica 4. Srednje vrijednosti koncentracija elemenata u uzorcima sedimenta u 1997.

Element	Koncentracija (mg/kg)					
	D02-97-S	D04-97-S	D06-97-S	D08-97-S	D10-97-S	D12-97-S
K / %w	2,1 ± 0,1	2,2 ± 0,1	2,2 ± 0,1	2,2 ± 0,1	1,8 ± 0,1	1,8 ± 0,1
Ca / %w	10,7 ± 0,3	10,3 ± 0,3	13,1 ± 0,4	11,6 ± 0,3	12,4 ± 0,4	15,2 ± 1,0
Fe / %w	3,7 ± 0,03	4,2 ± 0,04	3,8 ± 0,03	3,5 ± 0,03	3,1 ± 0,03	3,4 ± 0,03
Mn	1200 ± 60	1300 ± 50	1200 ± 60	1200 ± 60	1000 ± 50	1100 ± 50
Cu	45 ± 8,1	54 ± 6,6	50 ± 7,6	34 ± 7,1	34 ± 6,6	50 ± 8,3
Zn	242 ± 7,7	303 ± 7,2	268 ± 7,5	163 ± 6,3	175 ± 6,7	234 ± 7,5
As	22 ± 3,4	22 ± 2,0	22 ± 3,0	14 ± 2,9	14 ± 2,8	22 ± 2,8
Rb	100 ± 1,9	115 ± 2,0	106 ± 1,9	98 ± 1,8	81 ± 1,7	90 ± 1,9
Sr	197 ± 1,8	206 ± 1,6	207 ± 1,7	193 ± 1,7	198 ± 1,8	245 ± 2,0
Zr	205 ± 2,2	207 ± 1,9	165 ± 1,7	156 ± 1,6	164 ± 1,7	168 ± 1,8
Pb	42 ± 2,8	49 ± 1,5	46 ± 2,5	41 ± 2,5	34 ± 2,4	39 ± 2,3

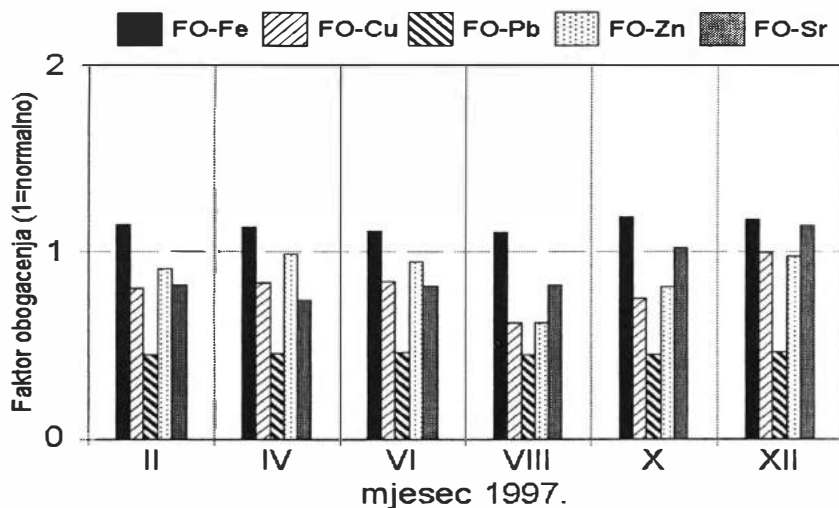
Razina koncentracija makroelemenata Ca, Fe, K, te elemenata u tragovima Cu, Pb, Sr i Zn u sedimentu u 1997. god prikazana je na Slici 2.



Slika 2. Koncentracije elemenata Ca, Fe, K, te elemenata u tragovima Cu, Pb, Sr i Zn u sedimentu rijeke Dunav, Mohač, uzorkovanih tijekom 1997. godine

Faktor obogaćenja (FO) tla je mjera koja pokazuje koliko puta je ispitivano tlo bogatije ili siromašnije elementima od standardnog, referentnog materijala (npr. Soil-5) i koristi se kao pokazatelj zagađenja. Standardiziranje koncentracija ispitivanih elemenata na sadržaj konzervativnog elementa u referentnom materijalu vrši se tako da se koncentracija elementa »e« definira kao koncentracijski odnos prema konzervativnom elementu (c_e/c_{konz}), uspoređujući njihov odnos u standardnom referentnom materijalu. Za konzervativni element je izabran rubidij, zbog svoje sličnosti sa aluminijem u geokemijskom ponašanju, a odličnih mogućnosti za kvantitativno određivanje XRF metodom (Va93).

Normalizacijom dobivenih koncentracija elemenata u sedimentu Dunava na koncentraciju rubidija, ustanovljeno je da nema povećanja faktora obogaćenja. Faktori obogaćenja za Fe, Cu, Pb, Zn i Sr kreću se oko 1, što je prikazano na Slici 3.



Slika 3. Faktori obogaćenja elemenata Fe, Cu, Pb, Zn i Sr u sedimentu rijeke Dunav, Mohač, uzorkovanih tijekom 1997. godine

Dobiveni rezultati koncentracija istraživanih elemenata služe za procjenu sadašnjeg stanja vode i sedimenta dna rijeke Dunav, na lokaciji Mohač. Kao rekapitulacija rezultata cijelog istraživanja, u Tablici 5. su dane srednje godišnje vrijednosti koncentracija ispitivanih elemenata u filtriranoj i nefiltriranoj vodi Dunava kod Mohača te u sedimentima na istoj lokaciji.

Tablica 5. Koncentracije ispitivanih elemenata u filtriranoj i nefiltriranoj vodi, te u sedimentu Dunava kod Mohača u 1997. godini

ELEMENT	Koncentracija		
	Filtrirana voda ($\mu\text{g/l}$)	Nefiltrirana voda ($\mu\text{g/l}$)	Sediment (mg/kg)
K	$3\,700 \pm 300$	$4\,100 \pm 300$	$20\,000 \pm 1\,000$
Ca	$76\,800 \pm 1\,900$	$80\,200 \pm 2\,000$	$122\,000 \pm 4\,000$
Mn	83 ± 9	124 ± 10	$1\,200 \pm 55$
Fe	316 ± 8	$1\,102 \pm 15$	$36\,000 \pm 300$
Cu	16 ± 2	18 ± 2	44 ± 7
Zn	14 ± 1	22 ± 1	231 ± 7
As	$4,8 \pm 0,7$	$5,2 \pm 0,8$	19 ± 3
Rb	$4,4 \pm 0,2$	$6,4 \pm 0,3$	98 ± 2
Sr	279 ± 2	285 ± 2	208 ± 2
Zr	$8,6 \pm 0,3$	$11,0 \pm 0,3$	178 ± 2
Pb	1.7	<3,1	42 ± 2

Istraživanje je provedeno da se utvrdi odnos XRF metodom dobivenih rezultata prema rezultatima dosadašnjih istraživanja drugim metodama, te da se ustanove mogućnosti primjene metode spektrometrije X zraka u okviru budućih istraživanja ekosustava rijeke Dunav.

Zaključci

- Metodom XRF određene koncentracije K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr i Pb u filtriranoj vodi rijeke Dunav kod Mohača tijekom 1997. godine kretale su se u rasponima koji odgovaraju raspoloživim literaturnim podacima za rijeku Dunav.
- Koncentracije istraživanih elemenata u suspendiranoj tvari nalaze se u rasponima koji odgovaraju raspoloživim literaturnim podacima za rijeku Dunav.
- Koncentracije Ca, Cu i As određene u nefiltriranoj vodi rijeke Dunav kod Mofača pokazuju dobro slaganje, a koncentracije K, Zn i Pb izvrsno slaganje s rezultatima ispitivanja vode drugim metodama.
- Koncentracije ispitivanih elemenata u sedimentu nalaze se u očekivanom rasponu vrijednosti za tu vrstu sedimenta. Normalizacijom dobivenih koncentracija, utvrđeno je da nema povećanja faktora obogaćenja, odnosno zagađenja sedimenta.

Literatura

- (AX95) QXAS-AXIL Version 3.2. Manual, IAEA, Vienna, Austria, 1995.
- (Ba96) Barišić D, Vertačnik A, Lulić S, Kauzlarić Ž, Hus M, Seletković Z, Kezić N: Elementi u tragovima, kalij, ^{40}K i ^{137}Cs u pojedinim dijelovima jele iz Gorskog Kotara – Hrvatska, Zbornik radova III Simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, 291–295, 20.11.–22.11 1996., Zagreb.
- (Hr98) Hrvatsko-Mađarska komisija za zaštitu rijeke Dunav, Usklađeni rezultati kvalitete vode Dunava od I–VI 1997. i Usklađeni rezultati kvalitete vode Dunava od VI–XII 1997.
- (IA78) International Atomic Energy Agency: Certified Reference Material SOIL-5, Information sheet, pp. 1–7, 1978
- (Lu98) Lulić S. et al.: *Određivanje radioaktivnosti rijeke Dunav za 1997. godinu (elaborat)*, Zagreb, IRB, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Laboratorij za radioekologiju, 1998
- (NN98) Uredba o klasifikaciji voda, Narodne novine br.77/98
- (UN92) United Nations, Economic and Social Council, ECE Standard statistical classification of surface freshwater quality for the maintenance of aquatic life. CES/733,1992 Variables affecting aquatic life and their concentration ranges by quality class, Table 12.
- (Va93) Van Alsenoy V, Bernard P, Vangrieken R (1993): Elemental Concentrations and Heavy Metal Pollution in Sediments and Suspended Matter from the Belgian North Sea and the Scheldt Estuary, *Sci. Tot. Environ.*, 133:1–2, 153–181

Autori

Dr. sc. Astrea Vertačnik, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Rudjer Bošković«, Zagreb, Bijenička 54

e-mail: astrea@rudjer.hr

Dr. sc. Stipe Lulić, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Rudjer Bošković«, Zagreb, Bijenička 54

e-mail: lulic@rudjer.hr

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.16.

Uklanjanje iona teških metala prirodnim zeolitom

Lidija Ćurković, Štefica Cerjan-Stefanović i Tugomir Filipan

SAŽETAK: Ovim radom ispitana je mogućnost uporabe prirodnog zeolita-klinoptilolita, iz rudnika Donje Jesenje, u procesu uklanjanja olovnih (II), bakrovih (II) i kadmijevih (II) iona. Prvi razloga za odabiri prirodnog zeolita je stoga što je on prirodni ionski izmjenjivač, a drugi razlog je zato što je on prirodno bogastvo Hrvatske. Određena je množina vezanih navedenih iona, pojedinačno i u smjesi, u različitim vremenima uravnoteženja, te afinitet i selektivnost prirodnog zeolita prema navedenim ionima. Svi eksperimenti su provedeni statičkim postupkom i na modelnim otopinama uz početnu množinsku koncentraciju metalnih iona od 4 mmol/L. Nađeno je da afinitet i selektivnost prirodnog zeolita prema ispitivanim metalnim ionima raste u slijedećem nizu:

kadmijevi (II) ioni < bakrovi (II) ioni < olovni (II) ioni.

Ispitivanja su pokazala da se prirodni zeolit može uporabiti u procesu uklanjanja navedenih metalnih iona iz otpadnih voda.

KLJUČNE RIJEČI: prirodni zeoliti-klinoptilolit, uklanjanje olovnih (II), bakrovih (II) i kadmijevih (II) iona

Using Natural Zeolite in Heavy Metal Ions Removal

SUMMARY: The present paper deals with investigating the possibilities of natural zeolite-clinoptilolite from Donje Jesenje mine application in removal of lead (II), copper (II) and cadmium (II) ions. The first reason behind the natural zeolite selection is its characteristic of a natural ion exchanger and the second is it being the Croatian natural resource. The mass of bonded ions was determined for the above ions, individually and in mixture, during different balancing times, along with the affinity and selectivity of the natural zeolite to the specified ions. All experiments were carried out using a steady-state procedure and model solutions, with the initial mass concentration of metal ions of 4 mmol/L. The affinity and selectivity of natural zeolite to the investigated metal ions grows following the below sequence

cadmium (II) ions < copper (II) ions < lead (II) ions.

The investigations have shown that the natural zeolite may be used for removal of the subject metal ions from the waste water.

KEYWORDS: natural zeolite-clinoptilolite, removal of lead (II), copper (II) and cadmium (II) ions

Uvod

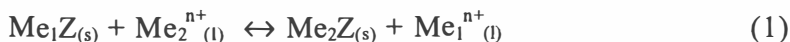
Otpadne vode kemijske industrije imaju veliki učinak na okoliš jer zagađuju podzemne i površinske vode te biljni i životinjski svijet, stoga je vrlo važno njihovo pročišćavanje. Brojni su industrijski procesi u čijim se otpadnim vodama pojavljuju ioni teških metala [1]. Otpadne industrijske vode koje sadrže ione teških metala u koncentracijama višim od maksimalno dozvoljenih potrebno je pročistiti prije ispuštanja u javnu kanalizaciju. Razvijene su i ispitane razne metode za uklanjanje iona

teških metala iz otpadnih voda kao što su: taloženje, membranska filtracija, ionska izmjena, adsorpcija, itd., no još uvijek su istraživanja u svijetu usmjerena prema iznalaženju novih mogućnosti za rješavanje i zbrinjavanje iona teških metala. Prirodni zeoliti su alumosilikati, koji se zbog izomorfne zamjene silicija aluminijem, ponašaju kao kationski izmjenjivači [2]. Najznačajnija primjena prirodnih zeolita, posebice klinoptilolita, je u procesu uklanjanja iona teških metala i amonijevih iona iz otpadnih voda kemijske industrije [3–15]. Niska cijena zeolita i činjenica da izmjenjivi kationi (natrij, kalij, kalcij i magnezij) iz zeolita nisu toksični čine zeolite atraktivnim alternativnim materijalom u procesu uklanjanja nepoželjnih toksičnih iona. Pročišćena otpadna voda pomoću prirodnog zeolita može se vratiti u tehnološki proces ili ispustiti u vodotok te se time štite prirodni vodeni sustavi i okoliš. Zeoliti su prirodno bogatstvo Hrvatske, nedovoljno istraženi i iskorišteni u području pročišćavanja otpadnih voda.

Struktura i svojstva zeolita

Naziv zeolit dolazi od grčkih riječi ζεον i λιθος (»kamenje koje vrije«) zbog vizualnog efekta primijećenog zagrijavanjem zeolita. Prvi prirodni mineral zeolit stilbit otkrio je švedski mineralog Freiherr Axel Fredrick Cronstedt 1756. godine. U svijetu je poznato oko 50 vrsta prirodnih zeolita. Znanstvenici su tek 50-tih godina ovog stoljeća otkrili njihove značajne fizikalne i kemijske prednosti. Većina istraživanja bila su usredotočena na sintetske zeolite kojih je danas u svijetu poznato preko dvjesto. U posljednja dva desetljeća porastao je interes za istraživanjem prirodnih zeolita. Zeoliti ili molekularna sita su hidratizirani alumosilikati jedinstvene trodimenzionalne strukture sastavljene od SiO_4^{4-} i AlO_4^{5-} tetraedara uz specifičnu strukturu šupljina međusobno povezanih kanalima određenog oblika i veličine. Negativni naboj alumosilikatne strukture, uzrokovan izomorfnom zamjenom četverovalentnog silicija trovalentnim aluminijem je neutraliziran hidratiziranim kationima (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} i sl.). Alkalijskih i zemnoalkalijskih kationi koji kompenziraju negativni naboj alumosilikatne rešetke mogu se u kontaktu s vodenom otopinom iona zamijeniti s ionima iz te otopine. Ovo svojstvo zeolita pruža široke mogućnosti primjene kao što su uklanjanje iona teških metala iz prirodnih i industrijskih voda, uklanjanje NH_4^+ -iona iz gradskih industrijskih voda, separaciji različitih kationa iz otopina, uklanjanju kroma i ostalih teških metala iz otpadnih voda u kožarskoj industriji, uklanjanju i imobilizaciji radioaktivnih izotopa iz radioaktivnih tekućina, koje nastaju u nuklearnim postrojenjima, doziranju mikroelemenata u poljoprivrednom zemljištu i životinjskoj hrani, kondicioniranje tla, uklanjanje mirisa kod životinjskog izmetam, u proizvodnji papira, građevinskoj industriji i sl. Ovo su najvažnij aktualni i potencijalni načini uporabe prirodnog zeolit, a nove mogućnosti se otkrivaju svakodnevno. Treba naglasiti da je komercijalna uporaba prirodnih zeolita još uvijek u porastu i nekoliko stotina tisuća tona zeolitnog tufa se kopa godišnje u Americi, Japanu, Italiji, Njemačkoj, Korei i Bugarskoj [2–15].

Osnovna strukturna osobina zeolita omogućava izmjenu kationa. Stoga, u kontaktu s otopinom elektrolita kationi iz zeolita (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} i sl.) koji kompenziraju negativni naboj alumosilikatne rešetke mogu se zamijeniti s drugim kationima iz otopine te s H^+ -ionima. U ravnotežnim uvjetima vrijedi:



gdje su Me_1Z i Me_2Z koncentracije zamjenjivih kationa Me_1 i Me_2 u zeolitu Z, a Me_1^{n+} i Me_2^{n+} su koncentracije istih kationa u otopini dok je n nabojni broj zamjenjivih ka-

tiona. Proces je reverzibilan, pa se uspostavlja ravnoteža između krute faze (zeolita-s) i tekuće faze (otopine – l).

Glavni čimbenici koji su važni u uporabi zeolita kao ionskog izmjenjivača su slijedeći:

1. kinetika izmjene
 2. kapacitet ionske izmjene
 3. selektivnost prema kationima
1. Pod pojmom kinetika ionske izmjene podrazumijeva se vrijeme potrebno da dođe do izmjene kationa iz otopine elektrolita s izmjenjivim kationima iz zeolita.
 2. Kapacitet ionske izmjene se odnosi na količinu vezanih kationa po gramu zeolita. Ovaj čimbenik je funkcija molarnog omjera silicija i aluminija, kao i kationske forme u kojoj je ispitivani zeolit.
 3. Selektivnost kationa odnosi se na redosljed sklonosti zeolita prema kationima. Ovaj čimbenik ovisi o slijedećim parametrima:
 - radijusu kationa
 - energiji hidratacije kationa
 - vrsti aniona koja je prisutna uz kation

Na proces ionske izmjene ima utjecaj adsorpcija kao i druga svojstva zeolita 4.

Eksperimentalni dio (metodika istraživanja)

Materijali i oprema

Sve upotrebljene kemikalije su bile p. a. čistoće (Kemika, Zagreb). Standardne otopine Pb^{2+} , Cu^{2+} i Cd^{2+} -iona pripravljene su otapanjem $PbCl_2$, $CuCl_4 \cdot 2H_2O$ i $CdCl_2$ u redestiliranoj vodi. Za ispitivanja je korišten prirodni zeolit-klinoptilolit koji potječe iz rudnika Donje Jesenje gdje je mljeven i separiran. Za kvalitativnu rendgensku analizu prirodnog zeolita korišten je difraktogram PHILIPS PW 1010 s okomitim goniometrom i proporcionalnim brojačem, uz primjenu CuK_{α} zračenja, te grafitnog monokromatora. Kvantitativni kemijski sastav ispitivanih uzoraka zeolita određen je klasičnom kemijskom analizom [7]. Kemijski i mineraloški sastav prirodnog zeolita prikazani su u tablici 1. Za određivanje množine vezanih Pb^{2+} , Cu^{2+} i Cd^{2+} -iona na prirodnom zeolitu korišten je atomski apsorpcijski spektrofotometar PERKIN ELMER MODEL 3110.

Tablica 1. Kemijski i mineraloški sastav tufa Donje Jesenje

Kemijski sastav	(%)	Mineraloški sastav – kvalitativni	
SiO_2	63,61	Glavna komponenta:	– klinoptilolit
Al_2O_3	13,30		
Fe_2O_3	1,93	Primjese:	– kalcit
K_2O	1,80		– ilit
Na_2O	3,64		– feldšpat
CaO	3,09		– sepiolit
MgO	1,02		– kvarc
gubitak žarenjem	9,70		

Vežanje olovnih (II), bakrovih (II) i kadmijevih (II) iona

Uzorak zeolita (1,00 g) uravnotežen je 0,25; 0,5; 0,75; 1; 2; 5; 7; 12; 18; 24 sata sa 100,0 mL otopine navedenih metalnih iona, pojedinačno i u smjesi, množinske koncentracije od 4 mmol/L. Svi eksperimenti provedeni su »batch« tj. statičkim postupkom i modelnim otopinama. Nakon uspostavljene ravnoteže otopina je filtriranjem odijeljena od zeolita. U otopini je atomskom apsorpcijskom spektrofotometrijom određena ravnotežna množinska koncentracija metalnih iona.

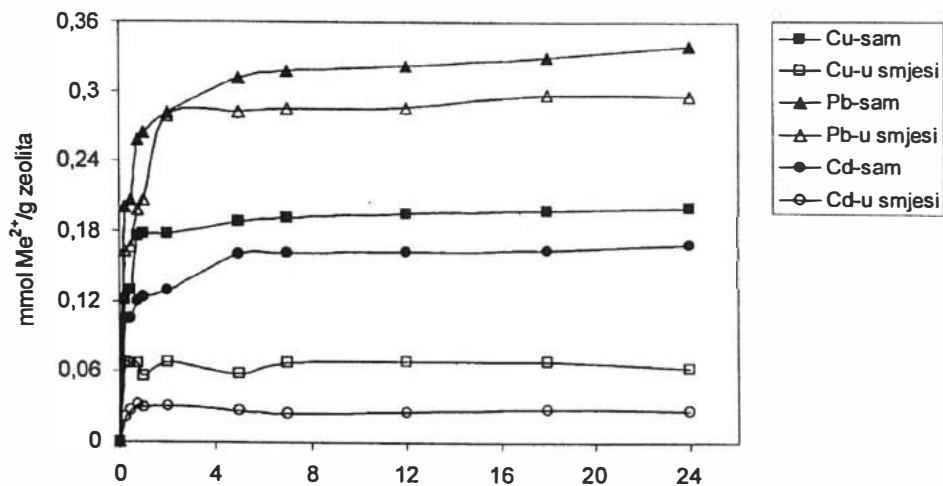
Rezultati i rasprava

Iz razlike početne (c_0) i ravnotežne množinske koncentracije (c_1) metalnih iona izračunata je množina vezanih metalnih iona, pojedinačno i u smjesi, po jednom gramu zeolita. Procesi vežanja metalnih iona na prirodnom zeolitu prikazani su grafički kao ovisnost vremena uravnoteženja o množini vezanih metalnih iona. Na slici 1. prikazana je usporedno množina vezanih metalnih iona, pojedinačno i u smjesi, po jednom gramu zeolita. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da prirodni zeolit posjeduje najveći afinitet, kao i selektivnost prema Pb^{2+} -ionima, zatim slijede ioni bakra i kadmija bez obzira da li su navedeni ioni sami ili njihova smjesa u kontaktu sa zeolitom.

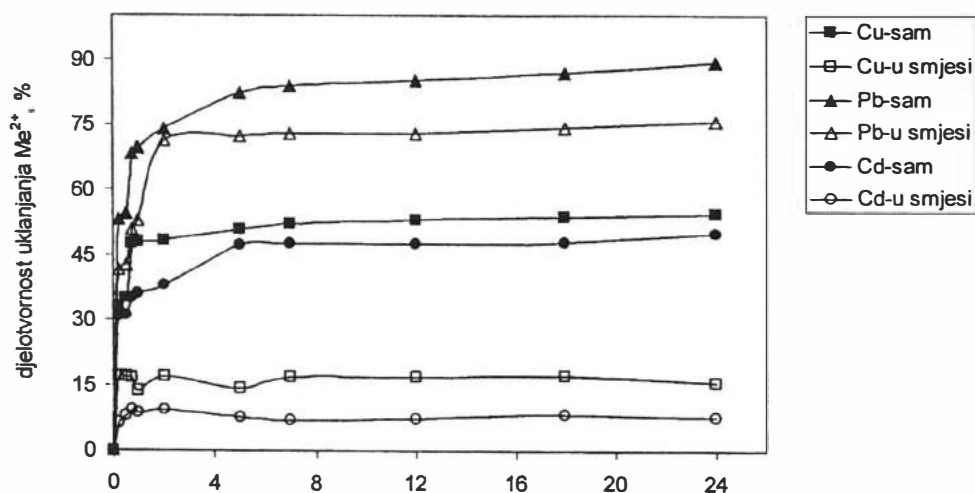
Djelotvornost uklanjanja metalnih iona prirodnim zeolitom izračunata je prema slijedećem izrazu:

$$\frac{c_0 - c_1}{c_0} 100\% \quad (2)$$

gdje je c_0 početna množinska koncentracija i c_1 ravnotežna množinska koncentracija metalnih iona. Grafički je prikazana ovisnost vremena uravnoteženja o djelotvornosti uklanjanja metalnih iona (%), pojedinačno i smjesi, prirodnim zeolitom (slika 2.). Rezultati prikazani na slici 1. pokazuju da se ravnoteža između metalnih iona i zeolita uspostavlja nakon 2 sata mućkanja, odnosno nakon tog vremena mućkanja opažena je



Slika 1. Ovisnost množine vezanih metalnih iona, pojedinačno i u smjesi, o vremenu uravnoteženja. m (zeolita) = 1,00 g; V (otopine) = 100,0 mL



Slika 2. Ovisnost djelotvornosti uklanjanja metalnih iona prirodnim zeolitom o vremenu uravnoteženja. m (zeolita) = 1,00 g; V (otopine) = 100,0 mL

nezatna promjena množine vezanih metalnih iona (pojedinačno i u smjesi) po gramu zeolita.

Iz rezultata prikazanih na slikama 1. i 2. može se uočiti da dolazi do opadanja množine vezanih metalnih iona, kao i djelotvornosti uklanjanja, kada se oni nalaze u smjesi u odnosu kada se nalaze sami u kontaktu s zeolitom. Ako usporedimo vrijednosti djelotvornosti uklanjanja metalnih iona kada se nalaze sami i u smjesi nakon 24 sata mućkanja, možemo uočiti da je najmanji pad djelotvornosti uklanjanja za Pb^{2+} -iona, odnosno kada se Pb^{2+} -ioni nalaze sami u kontaktu sa zeolitom djelotvornost uklanjanja je 90%, a kad se nalazi u smjesi s ostalim metalnim ionima djelotvornost njegovog uklanjanja opada na 76%. Najveći pad djelotvornosti opažen je za Cd^{2+} -iona (djelotvornost pada sa 49 na 7,6%), nešto manji pad djelotvornosti uklanjanja (sa 48 na 17%) zabilježen je za Cu^{2+} -iona.

Prilikom rada s uzorcima prirodnog zeolita potrebno je uzeti u obzir činjenicu da se sadržaj zeolita-klinoptilolita može značajno mijenjati od mjesta do mjesta u istoj naslazi, što je neophodno znati zbog primjene [2]. Novija istraživanja pokazuju da kod rendgenske difrakcijske analize intenzitet pika nije proporcionalan sadržaju klinoptilolita u uzorku zbog interferencije uzrokovane prisutnošću sekundarnih mineralnih komponenti. Pri tumačenju procesa uklanjanja metalnih iona s prirodnim zeolitom treba uzeti u obzir i činjenicu da su uz klinoptilolit kao glavnu mineralnu komponentu prisutne i neke sekundarne mineralne komponente koje posjeduju svojstva ionske izmjene i adsorpcije kao i klinoptilolit. Dakle, sekundarne mineralne komponente utječu na ionsku izmjenu i adsorpciju prirodnog zeolita-klinoptilolita [7].

Zaključci

Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da dolazi do naglog porasta množine vezanih svih metalnih iona po jednom gramu zeolita, kao i djelotvornosti uklanjanja, s poras-

tom vremena uravnoteženja do 2 sata, poslije je zabilježen blagi porast navedenih parametara.

Rezultati pokazuju da afinitet kao i selektivnost prirodnog zeolita prema ispitivanim metalnim ionima raste u slijedećem nizu:

kadmijevi (II) ioni < bakrovi (II) ioni < olovni (II) ioni

Prema dobivenim podacima može se zaključiti da ionoizmjenjivačka svojstva zeolita ovise prvenstveno o vremenu uravnoteženja, vrsti metalnog iona kao i vrsti kompeticijskih iona.

Rezultati ovog rada ukazuju da se prirodni zeolit-klinoptilolit koji potječe iz rudnika Donje Jesenje, Hrvatska, može uporabiti u procesu uklanjanja olovnih (II), bakrovih (II) i kadmijevih (II) iona iz otpadnih voda.

Literatura

1. L. L. Ciccio, *Water and Water Pollution Handbook*, New York, 1971
2. R. M. Barrer, *Zeolites and Clay Minerals as Sorbent and Molecular Sieves*, New York, 1987
3. S. M. Robinson, W. D. Arnold, C. H. Byers, Mass-Transfer Mechanisms for Zeolite Ion Exchange in Wastewater Treatment, *Envir. Eng. Eng.*, **40** (1994) 2045
4. S. M. DePaoli, J. J. Perona, Model for Sr-Cs-Ca-Mg-Na Ion-Exchange Uptake Kinetics on Ca-bazite, *AIChE Journal*, **42** (1996) 3434
5. M. Pansini, C. Colella, M. de Gennaro, Chromium Removal from Water by Ion Exchange using Zeolite, *Desalination*, **82** (1991) 129
6. M. Wark, W. Lutz, G. Schulz-Ekloff, A. Dyer, Quantitative Monitoring of Side Products During High Loading of Zeolites by Heavy Metals. *Zeolites*, **14** (1993) 658–670
7. L. Ćurković, Prirodni zeoliti kao ionski izmjenjivači, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 1995
8. Š. Cerjan-Stefanović, L. Ćurković, T. Filipan, Metal Ion Exchange by Natural Zeolite, *Croat. Chem. Acta*, **691** (1996) 281
9. L. Ćurković, Š. Cerjan-Stefanović, T. Filipan, Metal Ion Exchange by Natural and Modified Zeolites, *Wat. Res.* **31** (1997) 1379
10. E. Malliou, M. Loizidou, N. Spyrellis, Uptake of Lead and Cadmium by Clinoptilolite. *Sci. Total Environ.* **149** (1994) 139–144
11. G. Blanchard, M. Maunay and G. Martin, Removal of Heavy Metals from Waters by Means of Natural Zeolites. *Water Res.* **18** (1984) 1501–1507
12. M. Pansini, C. Colella, Lead Pollution Control by Zeolite, *Mater. Engin.* **1** (1989) 623
13. S. Kesraoui-Ouki, C. C. Cheeseman, R. Perry, Effects of Conditioning and Treatment of Chabazite and Clinoptilolite Prior to Lead and Cadmium Removal, *Environ. Sci. Technol.* **27** (1993) 1108.
14. S. Krsraoui-Ouki, C. R. Cheeseman, R. J. Perry, Chem. Natural Zeolite Utilization in Pollution Control: A Review of Applications to Metals' Effluents, *Tech. Biotechnol.* **59** (1994) 121
15. M. J. Semmens, W. P. Martin, The Influence of Pretreatment on Capacity and Selectivity of Clinoptilolite for Metal Ions. *Wat. Res.* **22** (1988) 537

Autori

mr. sc. Lidija Ćurković

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zavod za analitičku kemiju, Marulićev trg 20, 10000 Zagreb

Tel. 45 97 203, Fax: 45 97 250



Rad 1.17.

Primjena prirodnog zeolita u procesu uklanjanja amonijevih iona iz otpadnih voda

Tugomir Filipan, Štefica Cerjan-Stefanović, Anamarija Farkaš, Lidija Ćurković

SAŽETAK: U posljednjih dvadeset godina u porastu je uporaba prirodnih zeolita kao jeftinih ionskih izmjenjivača i adsorpcijskih tvari, prvenstveno u kontroli onečišćenja otpadnih voda amonijevim ionima i ionima teških metala. U kontaktu s otopinom elektrolita kationi iz zeolita (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} i sl.) koji kompenziraju negativni naboj alumosilikatne rešetke mogu se zamijeniti s amonijevim ionima i drugim kationima.

Svrha ovog rada je ispitivanje mogućnosti uporabe prirodnog zeolita iz nalazišta Donje Jesenje za uklanjanje amonijevih iona iz otpadnih voda. Preliminarna istraživanja iono-izmjenjivačkog procesa prirodnog zeolita praćena su sa modelnim otopinama amonijevih iona. Budući da realni uzorak otpadne vode sadrži povišene koncentracije kalijevih (I) i kalcijevih (II) iona, stoga je drugi niz eksperimenata proveden je u svrhu određivanja utjecaja navedenih iona na količinu uklonjenih amonijevih iona prirodnim zeolitom. Rezultati ispitivanja pokazali su da kalijevi (I) ioni imaju veći utjecaj na uklanjanje amonijevih iona od kalcijevih (II) iona, što proizlazi iz selektivnosti zeolita prema navedenim ionima. Procesi ionske izmjene praćeni su statičkim postupkom s uzorkom zeolita veličine čestica od 0,5 do 2 mm.

Ispitivanja su pokazala da se prirodni zeolit može uporabiti u procesu uklanjanja amonijevih iona iz otpadnih voda.

KLJUČNE RIJEČI: prirodni zeoliti-klinoptilolit, uklanjanje amonijevih iona

Use of Natural Zeolite in Removal of Ammonium Ions from Waste Water

SUMMARY: The last twenty years have seen increase in use of natural zeolite as cheap ion exchangers and adsorbents, primarily in control of waste water pollution with ammonium and heavy metal ions. In contact with electrolyte solution, the cations from the zeolite (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and the like) which compensate for negative charge of the AlSi grid may be replaced with ammonium ions and other cations. The present paper is intended to research possible application of natural zeolite from Donje Jesenje mine in removal of ammonium ions from waste water. The preliminary research of ion exchanger process with natural zeolite has been accompanied with model solutions of ammonium ions. Since the real sample of waste water contains increased concentrations of potassium (I) and calcium (II) ions, the second series of experiments was conducted in order to determine impact of the ions on the quantity of removed ammonium ions using natural zeolite. The research results have shown that the potassium (I) ions have higher impact on removal of ammonium ions than the calcium (II) ions, which is the consequence of zeolite selectivity to the specified ions. Ion exchange processes are monitored by a statistical procedure and zeolite sample with particle size from 0.5 to 2 mm. The research has proven that the natural zeolite may be used to remove ammonium ions from the waste water.

KEY WORDS: natural zeolite-clinoptilolite, removal of ammonium ions

Uvod

Posljednjih godina porastao je interes znanstvenika za anorganske izmjenjivače iona zbog toga što nisu podložni razgradnji kao što je to slučaj za sintetske smole. Najveći interes usmjeren je na prirodne zeolite stoga što posjeduju dobro poznata iono-izmjenjivačka svojstva koja se mogu uporabiti u procesu obradbe otpadnih voda.

Jedna od najviše istraženih uporaba zeolita odnosi se na uklanjanje amonijevih iona iz gradskih i industrijskih otpadnih voda, a to je posljedica velike selektivnosti klinoptilolita prema amonijevim ionima. Od svih prirodnih zeolita klinoptilolit ima najveću djelotvornost u pročišćavanju voda koje sadrže amonijeve ione [1]. Obradba otpadnih voda ovisi o nekoliko čimbenika, od kojih su najznačajniji: vrsta i stupanj zagađenosti otpadnih voda, uvjeti recipijenta i nužni stupanj pročišćavanja kvalitete izlazne vode, te količina.

U zadnje vrijeme u mnogim zemljama pojavio se problem sve veće emisije amonijaka i amonijevih iona ($\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$). Veće količine amonijaka i amonijevih iona uglavnom potječu od životinjskog gnoja [2]. Neki autori [3] skreću pozornost na emisiju iz šumskih tala i močvara, gdje se zbog kiselih kiša (niskog pH) zaustavio mikrobiološki proces nitrifikacije. Kada amonijak dođe u zrak, prelazi u amonijev ion [4] koji sa sumpornim spojevima iz zraka stvaraju amonijev hidrogen sulfat, koji može doseći koncentraciju i do 100 kg N/ha te osim što zagađuju podzemne vode, štetno djeluju i na vegetaciju.

Zeoliti tretirani s otpadnom vodom koja sadrži povišenu koncentraciju amonijevih iona mogu se upotrijebiti na poljoprivredne površine kao gnojivo, a otpadna voda se može ispustiti u prirodne vodene sustave te će se time zaštititi prirodni vodeni sustavi i okoliš [5].

Eksperimentalni dio (metodika istraživanja)

Materijali i oprema

Sve upotrebene kemikalije su bile p. a. čistoće (Kemika, Zagreb). Standardne otopine NH_4^+ , K^+ i Ca^{2+} iona pripravljene su otapanjem NH_4Cl , KCl i CaCl_2 u redestiliranoj vodi. Za ispitivanja je korišten prirodni zeolit-klinoptilolit, veličine čestica od

Tablica 1. Kemijski i mineraloški sastav tufa Donje Jesenje

Kemijski sastav (%)	Mineraloški sastav – kvalitativni
SiO_2 63,61	Glavna komponenta: – klinoptilolit
Al_2O_3 13,30	
Fe_2O_3 1,93	Primjese: – kalcit
K_2O 1,80	– ilit
Na_2O 3,64	– feldšpat
CaO 3,09	– sepiolit
MgO 1,02	– kvarc
gubitak žarenjem 9,70	

0,5–2 mm, koji potječe iz rudnika Donje Jesenje gdje je mljeven i separiran. Za kvalitativnu rendgensku analizu prirodnog zeolita korišten je difraktogram PHILIPS PW 1010 s okomitim goniometrom i proporcionalnim brojačem, uz primjenu CuK_α zračenja, te grafitnog monokromatora. Kvantitativni kemijski sastav ispitivanih uzoraka zeolita određen je klasičnom kemijskom analizom [7]. Kemijski i mineraloški sastav prirodnog zeolita prikazani su u tablici 1. Za praćenje promjene masene koncentracije amonijevih iona korišten je spektrofotometar Lambda 20.

Praćenje procesa uklanjanja amonijevih iona

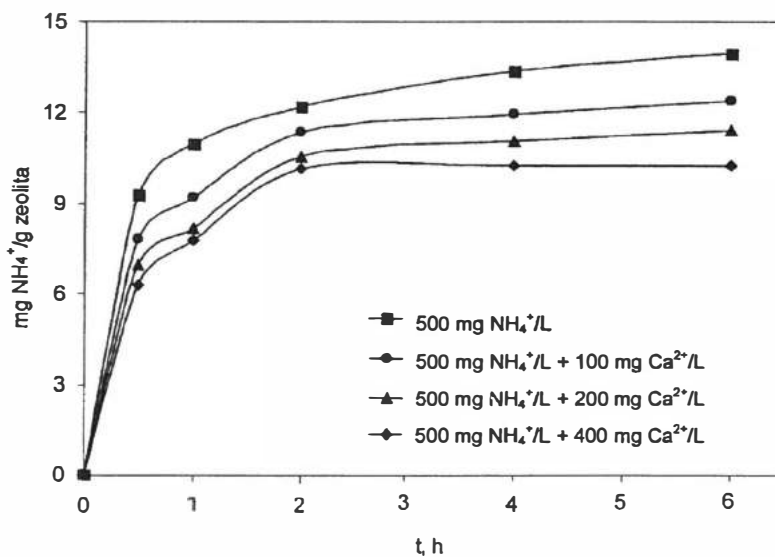
Ispitivanja uklanjanja amonijevih iona provedena su statičkim postupkom. Uzorak zeolita (1,00 g) mućkan je 0,5; 1; 2; 4 i 6 sati s 50,0 mL otopine amonijevih iona početne masene koncentracije 500 mg/L. Nakon uspostavljene ravnoteže otopina je filtriranjem odijeljena od zeolita. Ravnotežna koncentracija amonijevih iona u tekućoj fazi određena je spektrofotometrijski.

U drugom nizu eksperimenata ispitan je utjecaj iona K^+ i Ca^{2+} na uklanjanje amonijevih iona dodatkom različitih koncentracija navedenih iona, pri čemu je praćena samo promjena koncentracije amonijevih iona.

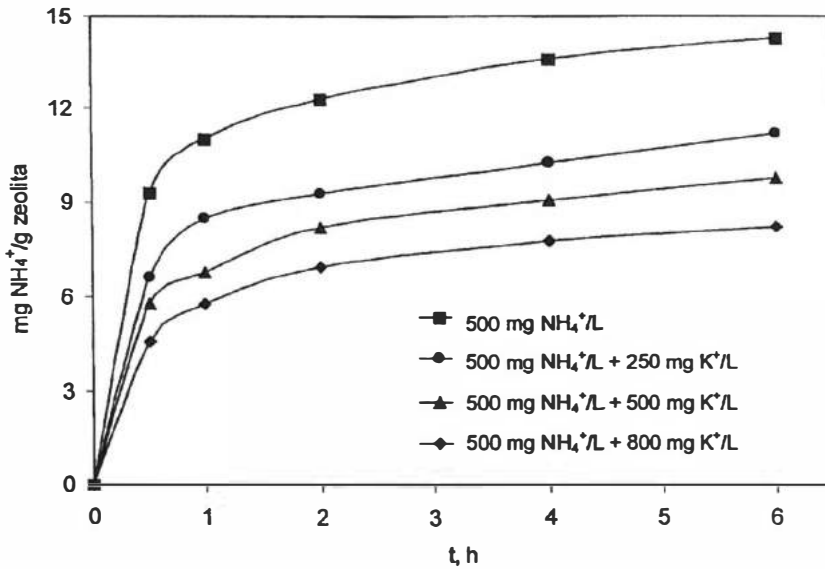
Rezultati i rasprava

Iz razlike početne (γ_0) i ravnotežne masene koncentracije (γ_1) amonijevih iona izračunata je masa vezanih amonijevih iona po jednom gramu zeolita. Procesi vezanja amonijevih iona na prirodnom zeolitu prikazani su grafički kao ovisnost vremena uravnoteženja o masi vezanih amonijevih iona.

Na slici 1. prikazana je usporedno masa vezanih amonijevih iona po jednom gramu zeolita, pojedinačno i u smjesi s početnim masenim koncentracijama Ca^{2+} -iona od 100; 200 i 400 mg/L, u ovisnosti o vremenu uravnoteženja.

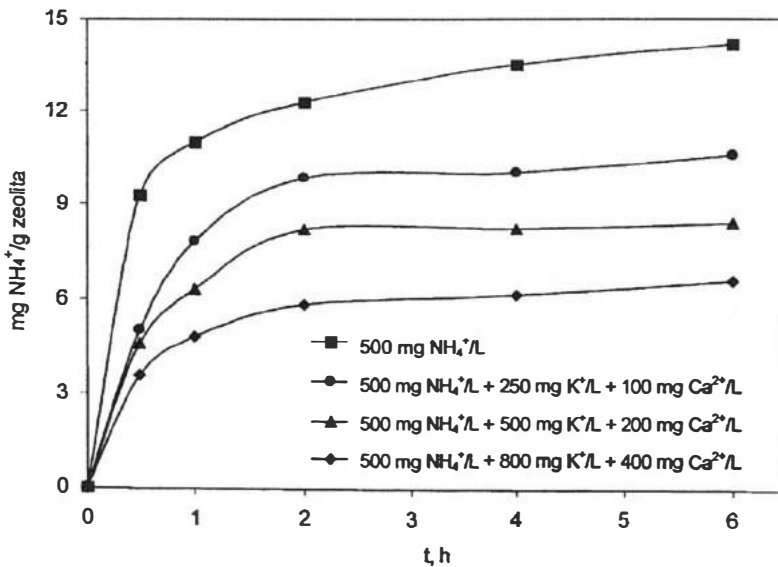


Slika 1. Utjecaj različite početne masene koncentracije Ca^{2+} iona na vezanje amonijevih iona u različitim vremenima uravnoteženja; m (zeolita) = 1,00 g; V (otopine) = 50,0 mL



Slika 2. Utjecaj različite početne masene koncentracije K⁺-iona na vezanje amonijevih iona u različitim vremenima uravnoteženja; m (zeolita) = 1,00 g; V (otopine) = 50,0 mL

Utjecaj K⁺ iona na uklanjanje amonijevih iona uz početnu koncentraciju K⁺-iona od 250; 500 i 800 mg/L prikazan je na slici 2., a utjecaj smjese Ca²⁺ i K⁺-iona navedenih koncentracija prikazan je na slici 3.



Slika 3. Utjecaj različite početne masene koncentracije smjese K⁺ i Ca²⁺-iona na vezanje amonijevih iona u različitim vremenima uravnoteženja; m (zeolita) = 1,00 g; V (otopine) = 50,0 mL

Iz grafova se može uočiti, da je u prvih sat vremena uravnoteženja zeolita s otopinom amonijevih iona, nagli porast količine vezanih amonijevih iona. Daljnjim povećanjem vremena uravnoteženja količina vezanih amonijevih iona po gramu zeolita neznatno se mijenja, bez obzira da li su amonijevi ioni pojedinačno ili u smjesi.

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da K^+ -ioni imaju veći utjecaj na količinu vezanih amonijevih iona u odnosu na Ca^{2+} -ione, što proizlazi iz selektivnosti zeolita prema navedenim ionima. Povećanjem početne koncentracije K^+ kao i Ca^{2+} -iona smanjuje se vezanje amonijevih iona na zeolit.

Zaključci

Na osnovi provedenih ispitivanja može se zaključiti slijedeće:

- Rezultati laboratorijskih ispitivanja prikazani su na slikama 1, 2 i 3, pokazuju da se prirodni zeolit-klinoptilolit može uporabiti u procesu uklanjanja amonijevih iona iz otpadnih voda.
- U prvom satu uravnoteženja dolazi do najvećeg porasta količine vezanih amonijevih iona na zeolit, a nakon tog porast je neznatan.
- Dodatkom K^+ i Ca^{2+} -iona smanjuje se vezanje amonijevih iona, s tim da je utjecaj K^+ -iona veći od Ca^{2+} -iona.

Literatura

1. T. Filipan, N. Ružinski, Š. Cerjan-Stefanović, *Sigurnost*, **37** (1) (1997) 1.
2. P. Elvingson, *Acid News*, **2** (1996) 7.
3. B. Nihlgard, *Europe Ambio*, **14** (1985) 2.
4. D. Bergero, *Proceeding of Sophia Zeolite Meeting'95*, (1995) 98.
5. S. J. Kang, *Jour. Korean Agri. Chem. Soc.* **32** (4) (1989) 386.

Autori

Dr. sc. Tugomir Filipan

Institut za međunarodne odnose, Ljudevita Vukotinića 2, 10000 Zagreb

Tel. 4826 522, Fax: 4828 361

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.18.

Ionska kromatografija u analizi voda

Štefica Cerjan-Stefanović, Tomislav Bolanča, Lidija Čurković

SAŽETAK: Ionska kromatografija je analitička tehnika za određivanje smjese aniona i kationa, te se često koristi za kontrolu kvalitete voda. Njezina glavna prednost je u velikoj brzini analize, osjetljivosti i preciznosti. Sama tehnika određivanja bazira se na odvajanju sastojaka elucijom na sintetskim ionskim izmjenjivačima, nakon čega slijedi detekcija ispitivanih iona pogodnim detektorom (najčešće konduktometar). Tipični ioni koji se mogu odrediti ionskom kromatografijom su kationi I i II grupe perijodnog sustava elemenata, halidni anioni, SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- i PO_4^{3-} . Metoda je prihvaćena i obavezna kod analize aniona prema hrvatskom standardu HR EN ISO 10304.

Optimizacija u ion kromatografskoj analizi predstavlja skup logičkih eksperimenata i matematičkih radnji kojima je cilj postizanje takvih rezultata koji zadovoljavaju ili su najbliži postavljenim zahtjevima. Jedan od najčešćih ciljeva optimizacije je postizanje dobrog odvajanja ispitivanog sastojka od ostalih sastojaka koji bi smetali u daljnjoj analizi. Taj cilj se postiže podešavanjem niza eksperimentalnih čimbenika. Optimizacija se sastoji od tri koraka: definiranje kriterija, definiranje domene parametara, logički postupak.

Optimizacija je provedena za instrument Methrom Ion Chromatograph 690 s anionskom kolumnom IC Anion Column Super Sep. U račun za optimizaciju uključeni su sljedeći parametri: protok eluensa i sastav eluensa, a optimizacija je provedena metodom Windows dijagrama.

KLJUČNE RIJEČI: analiza voda, ionska kromatografija, anioni, optimizacija

Ion Chromatography in Water Analysis

SUMMARY: Ion chromatography is an analytical method for determination of anion and cation mixture often used in water quality control. Its primary advantage is speed, sensitivity and precision of the analysis. The method itself is based on separation of components by elution on synthetic ion exchangers, subsequent detection of analyzed ions by adequate detector (most often conductometer). Typical ions determined by the ion chromatography are cations of groups I and II of the periodic system, halide anions, SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- and PO_4^{3-} . The method has been accepted and is mandatory for anion analyses under the Croatian standard HR EN ISO 10304.

Optimization in ion chromatographic analysis consists in a set of logical experiments and mathematical operations aimed at obtaining of satisfactory results or results proximate to the requirements. One of the most frequent optimization objectives is achieving of good separation of tested components for other components which would pose an obstruction in further analysis. This objective is achieved by adjustment of a number of experimental factors. The optimization is performed in three steps – criteria determination, parameter domain determination, logical procedure.

Optimization has been carried out for Methrom Ion Chromatograph 690 with anion column IC Anion Column Super Sep. The optimization calculation includes the following parameters: eluent flow and composition, and the optimization was carried out with Windows diagram method.

KEY WORDS: water analysis, ion chromatography, ions, optimization

Uvod

Određivanje anionskih vrsta u vodama je klasičan analitički problem, koji se može riješiti na mnogo načina. Međutim klasične analitičke metode kao što su titracija, fotometrija, gravimetrija, turbidimetrija i kolorimerija su mukotrpane i dugotrajne, te vrlo često ekonomski nezadovoljavajuće. Ionska kromatografija ima slijedeće prednosti pred tim metodama: brzina analize, osjetljivost, selektivnost, simultana detekcija, stabilnost separatorske kolone, što uzrokuje i ekonomski prihvatljiviju analizu voda [1].

Izraz kromatografija označava ime za velik broj separacijskih procesa u kojima se odvajanje sastojaka temelji na raspodjeli sastojka između pokretne i nepokretne faze. Velika većina ion-kromatografskih procesa odvajanja temelji se na ionskoj izmjeni na nepokretnoj fazi s nabijenim funkcionalnim grupama. Odgovarajući protuioni su smješteni u blizini funkcionalnih grupa, te se mogu zamijenjeni s drugim ionima istog naboja koji se nalaze u pokretnoj fazi. Za svaki ion, proces izmjene je karakteriziran odgovarajućom ion-izmjenjivačkom ravnotežom, koja određuje raspodjelu između pokretne i nepokretne faze npr. za anion A^- vrijedi slijedeći izraz:



$$K_A = \frac{[A^-]_{\text{nepok}} [E^-]_{\text{pok}}}{[A^-]_{\text{pok}} [E^-]_{\text{nepok}}}$$

gdje je: A^- anion u uzorku, a E^- eluirani anion (protuion).

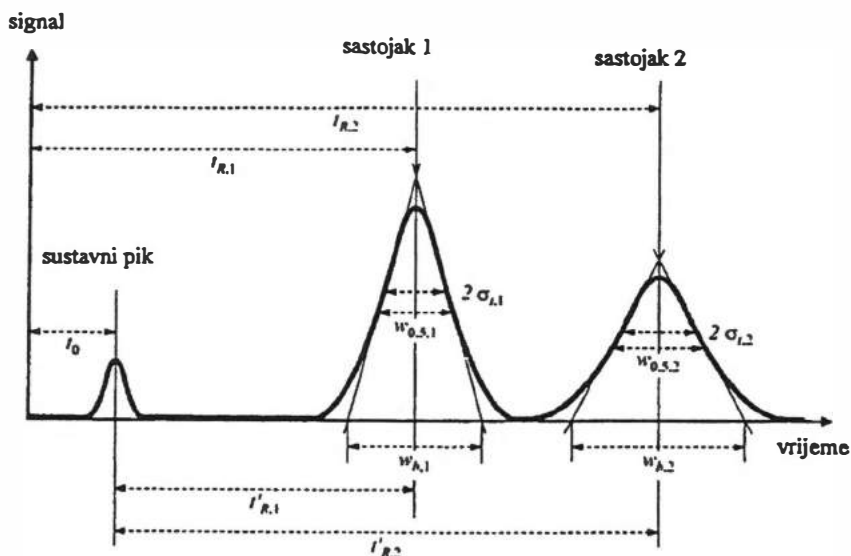
Različiti sastojci ispitivanog uzorka se zato mogu odvojiti na osnovu njihovih različitih afiniteta prema ionskom izmjenjivaču nepokretne faze (različita konstanta ravnoteže K), a detektiraju se nakon izlaska iz kolone najčešće konduktometrijskim detektorom (još se koriste UV/VIS detektor, amperometrijski detektor, detektor fluorescencije). Najvažniji materijali koji se koriste za izradu nepokretnih faza zasniavaju se na organskim materijalima odnosno sintetskim smolama. Najčešće se kao nosač koristi kopolimer stirena i divinil benzena [2].

Na slici 1. prikazana je kromatografska krivulja (odziv u ovisnosti o vremenu) dobivena kromatografskom separacijom, a naziva se kromatogram.

Kromatografski parametri koji su označeni na slici 1. karakteriziraju kromatogram a njihovo značenje je prikazano u tablici 1.

Tablica 1. Oznake kromatografskih parametra i njihovo značenje

t_0 , min	mrtvo vrijeme	vrijeme potrebno da pokretna faza proteče kroz separacijski sustav
t_R , min	vrijeme zadržavanja	vrijeme proteklo od injektiranja uzorka do pojavljivanja njegovog maksimuma na kraju separacijskog sustava
t_R' , min	čisto vrijeme zadržavanja	vrijeme zadržavanja umanjeno za mrtvo vrijeme
σ_t	standardno odstupanje	polovina širine pika u točki infleksije
$w_{0,5}$	širina pika na polovini visine pika	$2,345 \sigma_t$
w_b	širina pika pri osnovici	$4 \sigma_t$



Slika 1. Kromatografska krivulja i njezini parametri

Parametri vremena t_0 , t_R i t_R' mogu se prevesti u parametre volumena V_0 , V_R i V_R' pri korištenju konstantnog protoka kroz kolonu. Kada je na kromatogramu krivulja simetričnog oblika, ona se može s zadovoljavajućom točnošću opisati kao Gaussova krivulja. Širina pika Gaussovog oblika se može prikazati kao standardna devijacija σ , širina na polovini visine $w_{0,5}$ ili širina baze w_b [2]. Kromatografski parametri: vrijeme zadržavanja, oblik pika, mrtvo vrijeme, su specifični za svaki kromatografski sustav i ovise o koloni, eluensu i brzini protoka. Mijenjanjem nekog od kromatografskih parametara može se utjecati na osjetljivost i točnost analitičkog određivanja [3].

United States Environmental Protection Agency (EPA) je izdala propise i metodologiju za određivanje anorganskih zagađivala u pitkoj vodi. Po tim propisima fluorid, nitrit i nitrat su označeni kao primarna zagađivala jer znatno utječu na ljudsko zdravlje, a određivanje se temelji na ionskoj kromatografiji. Klorid i sulfat su označeni kao sekundarna zagađivala zbog toga što oni prvenstveno imaju organoleptičke efekte. Za njih EPA nije točno naveo metodu određivanja (mogu određivati HIPC, ion selektivnom elektrodom itd.) [6].

Za analizu površinskih voda upotrebljavaju se iono-izmjenjivačke kolone s većim kapacitetom zbog visoke koncentracije elektrolita u tim uzorcima, a najveći problem kod određivanja aniona se javlja zbog velikih razlika u koncentraciji između određivanih sastojaka. Takovi problemi se rješavaju prethodnom pripremom uzorka i optimizacijom kromatografskog sustava [1,4,5].

Kod analize otpadnih voda od velike su važnosti spojevi dušika: nitriti, nitrati i amonijevi ioni. Kod takvih analiza skoro uvijek potrebna je prethodna obradba uzorak i optimiranje kromatografskog sustava, a da bi se dobili bolji rezultati analize poželjno je koristiti dva detektora: UV/VIS detektor i konduktometrijski detektor [1,4,5].

U ovom radu je prezentirana optimizacija kromatografskog sustava za analizu aniona.

Ekperimentalni dio (metodika istraživanja)

Opimizacija je provedena za instrument Metrohm Ion Chromatograph 690 s anionskom kolonom IC Anion Column Super Sep. Detekcija je provedena konduktometrijskim detektorom povezanim s integratorom Shimadzu C-R5A Chromatopac. Određivani su optimalni uvjeti za ion-kromatografsko razdvajanje flourida, klorida, nitrita, bromida, nitrata i sulfata.

U račun za optimizaciju uključeni su slijedeći parametri:

- protok eluensa: 1,00; 1,25; 1,50; 1,75; 2,0 mL/min
- sastav eluensa: koncentracija ftalne kiseline: 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 mmol/L

Optimizacija je provedena uz pomoć osobnog računala, koristeći Mathcad Professional, metodom Windows dijagrama.

Rezultati i rasprava

Cilj optimizacije je dobiti što bolje razdvajanje između kromatografskih krivulja pojedinih sastojaka. U tu svrhu mjerena su vremena zadržavanja određivanih sastojaka konstantne koncentracije u ovisnosti o protoku eluensa i njegovom sastavu, pri konstantnoj temperaturi, pH i koncentraciji organske faze u eluensu (acetonitril).

Tablica 2. Ovisnost vremena zadržavanja o protoku eluensa

protok, mL/min	$t_R F^-$, min	$t_R Cl^-$, min	$t_R NO_2^-$, min	$t_R Br^-$, min	$t_R NO_3^-$, min	$t_R SO_4^{2-}$, min
1,00	3,042	4,265	5,193	6,226	7,382	9,8
1,25	2,547	3,558	4,333	5,193	6,152	8,172
1,50	2,078	2,883	3,512	4,203	4,976	6,601
1,75	1,807	2,503	3,045	3,645	4,312	5,715
2,00	1,588	2,195	2,669	3,192	3,774	4,992

Tablica 3. Ovisnost vremena zadržavanja o koncentraciji ftalne kiseline

c (ftalna kiselina), mmol/L	$t_R F^-$, min	$t_R Cl^-$, min	$t_R NO_2^-$, min	$t_R Br^-$, min	$t_R NO_3^-$, min	$t_R SO_4^{2-}$, min
1,50	2,428	3,638	4,452	5,522	6,617	12,271
2,00	2,187	3,158	3,792	4,647	5,512	9,234
2,50	2,078	2,883	3,512	4,203	4,976	6,601
3,00	1,855	2,527	3,009	3,585	4,187	5,455
3,50	1,77	2,382	2,803	3,329	3,87	4,733

Predpostavilo se da bi se takva ovisnost mogla opisati polinomom drugog stupnja (t_R (aniona) = $ax^2 + bx + c$, gdje je t_R vrijeme zadržavanja, a x parametar koji se mijenja), te su određene kontante funkcije i koeficijenti regresije za svaki anion pri navedenim uvjetima.

Tablica 4. Konstante polinoma drugog stupnja (ovisnost vremena zadržavanja o protoku eluensa) i pripadajući koeficijenti regresije za pojedine anione

Anion	a	b	c	r
F ⁻	0,857	-4,031	6,223	0,999
Cl ⁻	1,249	-5,825	8,852	0,999
NO ₂ ⁻	1,511	-7,067	10,763	0,999
Br ⁻	1,819	-8,505	12,928	0,999
NO ₃ ⁻	2,167	-10,123	15,357	0,999
SO ₄ ²⁻	2,851	-13,383	20,359	0,999

Tablica 5. Konstante polinoma drugog stupnja (ovisnost vremena zadržavanja o koncentraciji ftalne kiseline) i pripadajući koeficijenti regresije za pojedine anione.

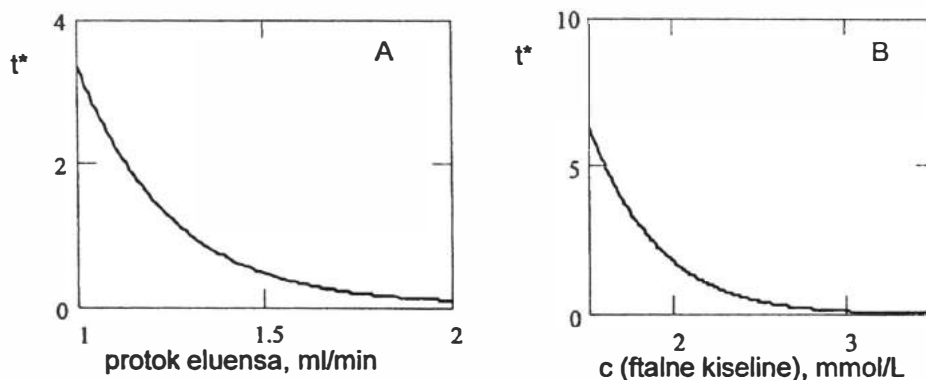
Anion	a	b	c	r
F ⁻	0,048	-0,574	3,184	0,991
Cl ⁻	0,168	-1,470	5,457	0,995
NO ₂ ⁻	0,196	-1,795	6,679	0,989
Br ⁻	0,304	-2,610	8,729	0,994
NO ₃ ⁻	0,378	-3,254	10,615	0,993
SO ₄ ²⁻	1,748	-12,51	27,136	0,998

U literaturi se može pronaći nekoliko različitih kriterija po kojima se valorizira kvaliteta kromatograma, a u ovom radu upotrebljeni su sljedeći kriteriji:

1. Umnožak razlika t_R vrijednosti, t^* :

$$t^* = \prod_{i=1}^n \Delta t_{RFi}$$

Ovaj kriterij uzima u obzir raspodjelu svih signala na kromatogramu. Najveći odziv dobije se kada su signali jednoliko raspoređeni po cijelom kromatogramu [7].

**Slika 2.** Ovisnost t^* o protoku eluensa (A) i koncentraciji ftalne kiseline (B)

2. Faktor separacije, S

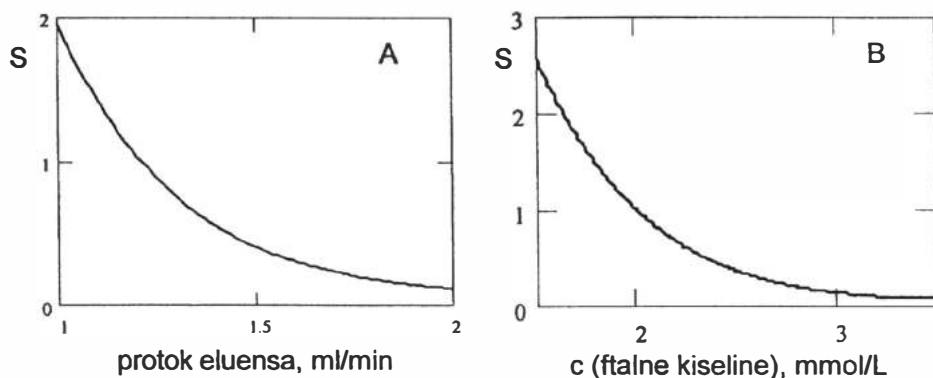
Rezultati dobiveni ovim kriterijem vrlo su sićni rezultatima dobivenim kriterijem t^* .

$$S = \frac{\prod_{i=1}^n \Delta t_{RFi}}{t_{RFn} - t_{RF1}}$$

Kriterij faktora separacije daje slične rezultate optimizacije kao rezultati dobiveni kriterijem umnoška razlika t_R vrijednosti, što je i vidljivo iz njihovih jednadžbi [7].

3. MRF funkcija

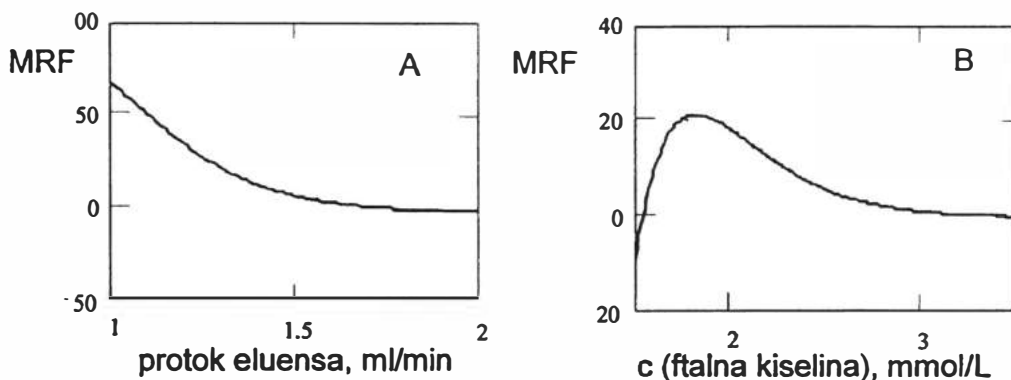
$$MRF = \frac{[(ht_{RFmax} - ht_{RFn})(ht_{RF1} - ht_{RFmin})]^{n-1}}{ht_{RFmax} - ht_{RFmin}(n+1)^{n+1}} \prod_{i=1}^{n-1} (ht_{RF(1+i)} - ht_{RFi}) 100$$



Slika 3. Ovisnost S o protoku eluensa (A) i koncentraciji ftalne kiseline (B).

Ovaj kriterij postavlja da je idealan kromatogram onaj na kojem su sastojci smjese jednoliko raspoređeni po cijelom kromatogramu [7].

Optimalni uvjeti razdvajanja sastojaka postižu se u točkama maksimuma svih navedenih kriterija, te je nakon određivanja stacionarne točke moguće odrediti optimalnu koncentraciju ftalne kiseline i brzinu protoka eluensa.



Slika 4. Ovisnost MRF o protoku eluensa (A) i koncentraciji ftalne kiseline (B)

Zaključci

Postignuto je vrlo dobro slaganje eksperimentalnih podataka i izračunatih t_R vrijednosti (tablica 4. i 5.) za svaki kriterij.

Sva tri navedena kriterija daju podjedanake rezultate za optimalnu brzinu protoka eluensa. Idealni kromatogram se dobiva smanjenjem protoka eluensa. Međutim mali protok eluensa produžuje vrijeme analize, a samim time i njezinu cijenu, te skraćuje radni vijek separacijske ion-izmjenjivačke kolone. Stoga je potrebno uzeti u obzir i te parametre pri konačnom određivanju optimalne brzine protoka eluensa. Za analizu pitke vode zadovoljavajuća je i veća brzina protoka (1,75 ml/min), dok je za analizu otpadne i površinske vode potrebno smanjiti brzinu protoka eluensa na vrijednost od 1,3 do 1,5 ml/min.

Optimizacijom koncentracije ftalne kiseline u eluensu t^* kriterijem i S kriterijem dobiveni su podjednaki rezultati, odnosno da se optimalni uvjeti dobivaju sa smanjivanjem koncentracije ftalne kiseline. MRF kriterij daje nešto drugačije rezultate. Optimalni uvjeti tim kriterijem dobivaju se pri koncentraciji ftalne kiseline od 1,824 mmol/L.

Budući da svaki od navedenih kriterija ima svoje prednosti i nedostatke, u praksi se uvijek preporučuje upotreba više kriteija u cilju izbora optimalnih uvjeta ion kromatografskog određivanja aniona. Također tijekom optimizacije vrlo je bitno znati granične vrijednost parametara pod kojima sustav može raditi, brzinu analize, potrebnu točnost i preciznost dobivenih rezultata, što sve utječe na cijenu analize.

Literatura

1. Weiss J., *Ion Chromatography*, VCH Publishers, Inc., NY, 2nd edition, 1995.
2. Schäfer H., Läbali M., Dörig R., *Ion Chromatography*, Metrohm LTD, CH-9101, Herisau, Switzerland, 1996.
3. Xianren Q., Chong-Yu X., Baeyens W., Computer – Assisted Predictions of Resolution, Peak Height and Retention Time for the Separation of Inorganic Anions by Ion Chromatography, *Journal of Chromatography*, **640** 3–14 (1993).
4. Dahllöf I., Svensson O., Torstensson C., Optimising the Determination of Nitrate and Phosphate in Sea Water with Ion Chromatography Using Experimental Design, *Journal of Chromatography*, **771** 163–168 (1997).
5. Medina H.L., Guatierrez E., Vargas M. C., Gonzales G., Marin J., Andueza E., Determination of Phosphate and Sulphite in Natural Waters in the Presence of High Sulphate Concentrations by Ion Chromatography Under Isocratic Conditions, *Journal of Chromatography*, **739** 207–215 (1996).
6. Papadoyannis I., Samanidou V., Zotou A., High Selective Simultaneous Determination of Eight Inorganic Anions in Drinking Water by Single Column High Pressure Anion Chromatography, *Journal of Liquid Chromatography*, **18**(7), 1383–1403 (1995).
7. Babić S., Petrović M., Kaštelan–Macan M., Optimizacija kromatografskog razdvajanja pesticida, *Kemija u industriji*, **47** (7–8) 275–279 (1998).

Autori

Prof. dr. sc. Štefica Cerjan-Stefanović

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 20, 10000 Zagreb

Tel. 45 97 210, Fax 45 97 250

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.19.

Utjecaj dioxina i srodnih spojeva na vodene organizme

Željka Šiljković

SAŽETAK: U članku se nastoji ukazati na činjenicu da se sve intenzivnija litoralizacija svjetskih obala, koncentracija industrije (metalurgija, kemijska, petrokemijska), te masovna uporaba pesticida u konvencionalnoj poljoprivredi direktno odražava na stanje i kvalitetu vodenih ekosistema.

Članak raspravlja o utjecaju OC (organoklornih) spojeva na razvojne reproduktivne efekte u vodenim organizmima. Poradi svoje perzistentnosti i bioakumulacije u organizmima, kao i sposobnosti atmosferskog transporta OC spojevi registrirani su u morskim organizmima od Arktika do južnih antraktičkih voda. Kao potencijalno najveći izvori OC spojeva smatraju se OC pesticidi, spalionice otpada i industrijski procesi izgaranja. Embrio je najosjetljivije razdoblje života morskih organizama za prijem OC spojeva. Izlaganja već u ovom stadiju odražavaju se na poremećaje u endokrinom sistemu, spolnim razlikama, reprodukciji i smanjenju populacije.

U izradi članka korišteni su dostupni podaci o utjecaju OC spojeva na vodene ekosisteme u svim klimatsko-geografskim regijama. Razmatrani su i različiti izvori onečišćenja; od poljoprivrede, industrije do spalionica otpada kao potencijalno najvećih izvora dioxina.

KLJUČNE RIJEČI: OC spojevi, morski organizmi i poremećaji u organizmu

Impact of Dioxines and Related Compounds on Aquatic Organisms

SUMMARY: The paper discusses the impact of organo-chlorine (OC) compounds on developmental reproductive effects in aquatic organisms. Because of their persistency, bio-accumulation in organisms, and air-borne transportation, the OC compounds have been detected in marine organisms from the Arctic to the southern waters of Antarctic. OC pesticides, incinerators, and industrial combustion processes are considered to be potentially the most intensive sources of OC compounds. Embryo is the most sensitive period in the marine organisms life cycle for absorption of OC compounds. Exposures in this stage result in disorders in endocrine system, sexual differences, reproduction and reduced population.

KEYWORDS: OC compounds, aquatic organisms, aberrations

Uvod

Prvi antropogeno stvoreni organoklor nastao je slučajno kao nusproizvod sinteze i upotrebe elementarnog klora krajem 18. stoljeća. Razvojem tehnologije elementarni se klor sve više koristio u tekstilnoj industriji kod izbjeljivanja pamučnih tkanina zamjenjujući kiselo mlijeko i sunčevu svjetlost. Od tih početaka industrija klora prerasla je u masovnu globalnu proizvodnju više od 360 milijardi kilograma godišnje elementarnog klora. Gotovo trećina primjenjuje se u proizvodnji samo jednog organoklora: PVC-a. Preostala količina koristi se u proizvodnji približno 11000 drugih organoklornih spojeva, od proizvodnje pesticida, otapala, sapuna, šampona, dezodoransa, hladn-

jaka, maziva, kozmetike do zubnih pasti i vodica. Tijekom proizvodnje, upotrebe i uklanjanja komercijalnih proizvoda nastaje veliki broj nepoželjnih organoklornih nusproizvoda. Dio organoklornih spojeva nastaju prirodnim procesima kao i u živim organizmima. No, oni osim u slučaju klor-etana nisu perzistentni. Ovaj najjednostavniji organoklorini spoj nastaje od morskih algi u količini od 5 mil. tona godišnje te se smatra da ima značajnu ulogu u reguliranju ozonskog sloja. Stabilnost industrijski proizvedenih OC spojeva ima kontradiktorno značenje po čovjeka. Dok je perzistentnost pozitivno obilježje za kemijsku industriju istodobno ona predstavlja opasnost po zdravlje ljudi i kvalitetu okoliša. Novostvoreni nusproizvodi često su puta toksičniji su i perzistentiji od izvornog spoja. Izgaranje jednostavnih organoklornih spojeva uzrokuje nastanak dioxina, jednog od najtoksičnijih i najprezistentnijih spojeva uopće do danas identificiranih. Perzistentni OC prenose se zrakom na dva načina: direktnom emisijom i isparavanjem. Hlapljivi spojevi poput klorofluorokarbonata (CFCs) dižu se u gornje slojeve atmosfere gdje razaraju ozonski sloj. Manje hlapljivi, ali perzistentniji OC-dioxini PCBs, OC pesticidi (klordan, DDT), heksaklorocikloheksan mogu se transportirati na globalnoj razini cijelim planetom prije nego što dođu do tla. Osobina je OC spojeva da se primarno deponiraju u hladnim regijama poput sjevernih jezera, rijeka i mora u subpolarnom i polarnom pojasu. Globalna destilacija čimbenik je neočekivano visoke koncentracije OC spojeva u zraku, padalinama, morskoj vodi, planktonu, životinjama i ljudima arktičke regije. Novija istraživanja na morskim organizmima utvrdila su značajne koncentracije OC spojeva u tropskom i subtropskom pojasu južne polutke. Perzistentni OC spojevi ne otapaju se odmah u vodi već se usljed svoje sposobnosti bioakumulacije koncentriraju u mastima i ulju, napose u jetri živih organizama. Procesom biomagnifikacije (biouvećanje) OC spojevi dostižu najvišu razinu u jetri životinja na vrhu hranidbenog lanca. Alge i mali vodeni organizmi akumuliraju PCBs u koncentracijama koje su i do stotinu puta veće od onih u okolnoj vodi, a ribe koje se hrane algama akumuliraju još i veće koncentracije. Pri vrhu lanca većina ptica grabljivica poput galebova ima u jajima koncentracije PCBs-a i oko 20 mil. puta veće od onih u okolnoj vodi. Istraživanja o utjecaju klornih spojeva s naglaskom na PCB i klorne insekticide rađena su i kod nas, posebno za područje Dalmacije (Picer i sur., 1998 i Picer i sur., 1978.). Sve intenzivnija koncentracija industrije duž jadranske obale, kao i velike količine korištenih pesticida u poljoprivredi (posebno u delti Neretve) potencijalna su žarišta onečišćenja mora i organizama u njima klornim toksičnim spojevima. Problem se pojačava i planovima o mogućoj gradnji spalionica otpada na obali i otocima (Zlarin) za koje je utvrđeno da su najveći izvori PCDD/F-a.

Kruženje klornih spojeva antropogenog porijekla u okolišu

Istraživanja na vodenim organizmima poput riba, gmazova i morskih sisavaca utvrdili su da je izlaganje OC spojevima rezultiralo cijelim nizom poremećaja u reproduktivnim i razvojnim procesima. Prehrana, i to često ribom uzrokuje i povećanje razine OC spojeva u ljudskom organizmu. Dozvoljeni dnevni unos PCB-a iznosi 10 pg TEQ/kg/dan. Dewailly (1994.) pronašao je visoku razinu PCBs-a u mlijeku za dojenje žena Inuita na Arktiku, a kao razlog tome navodi činjenicu da je prehrana uglavnom orijentirana na ribu i morske sisavce. Kao potencijalne izvore dioxina moguće je izdvojiti: oslobađanje iz komercijalnih PCB formacija, emisije iz procesa izgaranja – izvor spojeva PCB 169, PCB 189, PCB 205 i PCB 206 te solarna fotoliza visokoklornih PCB-a. Opće je prihvaćena hipoteza o formiranju non-orto PCB-a tijekom spaljivanja komu-

Tablica 1. Koncentracija PCB i PCDD/F prema izvoru nastanka i udio PCB u STEQ

IZVOR (u ng TEQ/m ³)	PCB-TEQ	PCDD/F-TEQ	%PCB-TEQ
SKO*	1	23–29	3,3–4,3
industrijske emisije	0,01–0,025	0,017–0,04	38–60
pepeo	0,01	0,47	47
mulj	0,055	0,93	17
zrak (zatvoreni prostor)	9,57	0,796	92
zrak (otvoreni prostor) ljetno-zima	0,02/0,02	0,44/0,63	4,4/3,3
zrak (otvoreni prostor) proljeće-ljeto	0,21/0,16	2,28/1,13	8/12
Arktik	0,6	–	–

Izvor: ALCOCK, 1998.

*SKO – spalionica komunalnog otpada

nalnog otpada, a u tijeku procesa izgaranja nastaju kao dominantni spojevi PCDD/F. U slučaju spalionice komunalnog otpada i nastajanja lebdećeg pepela dioxinima srodni spojevi poput PCBs-a imaju manje od 5% udijela u Σ TEQ. U usporedbi emisija iz jedne cementne peći sadrži 60% Σ TEQ PCBs, a u pepelu iz krematorija do 50%. Izgaranje je glavni izvor emisije non-orto PCBs-a u atmosferu, među kojima spoj 126 ima 85–95% udjela u Σ PCB-TEQ. Spalionice komunalnog otpada glavni su izvori emisije PCDD/F spojeva čije se vrijednosti kreću od 23 do 29 TEQ (tablica 1.), dok su emisije iz industrijskih procesa izgaranja, kao i pepeo iz istog procesa glavni izvor PCBs-a. Atmosferski transport glavni je način disperzije i primarni izvor onečišćenja morskih sredina OC spojevima. Dodatno njihova perzistentnost i sposobnost veza prema Ah receptorima povećava njihovu koncentraciju unutar okoliša. Analiza udijela PCBs-a u hrani životinjskog podrijetla u periodu 1982.–1992. u Velikoj Britaniji ukazuje na povećanu koncentraciju 1992. u gotovo svim uzorcima. Znatno povećanje vidljivo je u mesnim i mliječnim proizvodima, ulju i masti dok se udio PCBs-a u ribi smanjio za 3%, ali ipak su morski organizmi najveći receptori OC spojeva (tablica 2.). Najveće koncentracije OC spojeva (PCB i PCDD/F) utvrđene su u uzorcima jegulje i lososa. Vrijednosti PCB-a u jegulji je i do 100 puta veća od najveće vrijednosti zabilježene u mesnim i mliječnim proizvodima dok je razina PCDD/F-a viša za približno 20 puta (tablica 3.).

Dioxini i srodni spojevi u morskim organizmima

Onečišćenje riba OC spojevima na dva načina: resorpcijom iz vode putem škrga i ishranom. Značajna zagađenja OC spojevima dolaze iz antropogenih izvora: spalionica otpada i pesticida u poljoprivredi. Dioxini su perzistentni i visoko mobilni spojevi koji se mogu akumulirati u organizmima i tisućama kilometara daleko od svoje uporabe. Ostaci OC spojeva nađeni su u morskim organizmima (ribama i sisavcima) Arktika, Atlantika, Sjevernog i Baltičkog mora, u Sjevernoj i Srednjoj Americi, Skandinaviji i

Tablica 2. Udio PCB TEQ u Σ TEQ iz uzoraka hrane u V. B. (1982.–1992.)

Vrsta hrane	% PCB 1982.	% PCB 1992.
strvine	40	48
otpad mesa	15	23
mesni proizvodi	35	47
perad	31	35
riba	69	66
ulja i masti	50	57
mlijeko	38	39
mliječni proizvodi	33	43
jaja	22	35
žitarice	50	13
kruh	40	32

Izvor: Alcock, 1998.

Rusiji te u tropskim i subtropskim morima južne polutke. Jedan od globalnih OC onečišćivača je i toxaphen, klorni pesticid korišten 50 i 60-ih god. u Sjevernoj Americi, te zamjena za DDT nakon što je isti zabranjen poč.70-ih god. Upotrebljavao se i za kontrolu nametnika na stoci, pamuku, soji i kukuruzu. Bio je najčešće korišten pesticid iz skupine OC spojeva s maksimalnom upotrebom 70-ih god.

Poradi svoje perzistentnosti i visoke toksičnosti 1982. djelomično je, a 1990. i potpuno zabranjena njegova primjena. Svjetska je proizvodnja 1982. bila 1,2 milijuna tona sa SAD-om kao najvećim potrošačem. Toxaphen se uz spomenutu toksičnost odlikuje i karcogenim i mutagenim svojstvima koja utječu na centralni živčani sustav, imunološki sustav, jetru, bubrege i slezenu.

Fizikalno-kemijske osobine toxaphena omogućuju mu daljinski atmosferski transport, osobito u hladnim kondenzacijskim uvjetima. Velika jezera su magnet za zagađivanje poluhlapljivih atmosferskih polutanata poput toxaphena, osobito poradi klimatskih osobina nad Sjevernom Amerikom te velike površine jezera (najveća slatkovodna jezerska površina). Glavni je izvor toxaphena u velikim jezerima atmosferska depozicija. Najveće koncentracije ovog pesticida utvrđene su u najdubljem Gornjem jezeru, i to u vodi, sedimentima, planktonu i u ribama (1,1 ng/l vode), dok su najniže vrijednosti utvrđene u najplićem jezeru Ontario (0,17 ng/l vode). U analiziranim primjercima riba, škarpi i jezerska pastrva iz Gornjeg jezera imaju najviše izmjerene vrijednosti toxaphena, PCBs-a i žive.

Koncentracija toxaphena u pastrvi kreće se od 8,52 do 11,8 $\mu\text{g/g}$ lipida, uz prosječnu vrijednost od 10,3 $\mu\text{g/g}$ lipida, dok su koncentracije u škarpi nešto niže, 2,09–7,87 $\mu\text{g/g}$ s prosječnom vrijednošću 4,30 $\mu\text{g/l}$. Slična obilježja onečišćenja OC spojevima bilježi i područje Sjeverne Europe (Norveška i Švedska). Već 70-ih godina u ribama norveških fjordova pronađene su visoke razine PCB-a i DDT-a. Razine su bile

Tablica 3. Koncentracija PCB i PCDD/F (u Σ TEQ u ng/kg lipida) kod različitih životinja i riblje hrane

UZORCI	PCB/TEQ	PCDD/F-TEQ	% PCB TEQ
Riba i riblji proizvodi (ng TEQ/ kg lipida)			
– jegulja (Njemačka)	19–288	82–119	32–71
– jegulja (V. B.)	8–87	2,6–15	73–92
– jegulja (Novi Zeland)	0,23	0,028	89
– arktička pastrva	0,05–0,2	0,06–0,1	46–70
– pastrva (Novi Zeland)	0,057	0,018	76
– losos (Švedska)	123	56	70
– riba – ukupno (Japan)	9,4	0,87	92
Meso i mliječni proizvodi (ng TEQ/kg lipida)			
– strvina (V. B.)	0,87	0,94	48
– biftek (Kanada)	0,017	0,18	9
– maslac (Njemačka)	0,91	0,46	66
– maslac (Nizozemska)	2,1	1,8	64
– kravlje mlijeko 1995.	1,8	1,01	64
– kravlje mlijeko 1992.	1,3	2,0	40
– kravlje mlijeko 1982.	2,7	4,5	38
Perad i jaja (ng TEQ/kg masti)			
– perad (Kanada)	0,01	0,066	13
– perad (V. B.)	0,93	1,7	35
– jaja PCB-77	–	–	–
– jaja PCB-126	2,25	2,0	53
– jaja PCB-169	–	–	–

Izvor: Alcock, 1998

istovjetne s razinama nađenim u slatkovodnim ribama Švedske u istom razdoblju. Najviša razina DDT-a nađena u ribama fjordova podudarala se s rastom proizvodnje voća prilikom koje je upotrebljavan ovaj pesticid. Pad vrijednosti DDT-a u, morski organizmima, moru i slatkoj vodi na području Skandinavije počinje nakon njegove službene zabrane 1970. godine. Razmjerno su visoke vrijednosti DDT-a odraz dugog transporta tog zračnog onečišćivača. Norveški fjordovi slično kao i Velika jezera imaju neke karakteristike koje mogu povećati akumulaciju OC-a (velike količine padalina na kopnu, a time i dotok znatnih količina slatke vode, kao i stabilnost vodene mase fjordova). Japanska istraživanja PCDD-a i PCDF-a na plavim dagnjama u Osaka zaljevu utvrdila su spalionice komunalnog otpada kao glavni izvor zagađivanja. PCDD i PCDF otkriveni su u svim uzorcima dagnji i kamenica (oštriga). Ranija izvješća Swansona i sur. (1988.) ukazuju da je 1,2,7,8-tetra CDF i 2,3,7,8-tetra CDF glavni izomer nađen u otpadnom mulju iz tvornice pulpe i papira nastao nakon klornog izbjeljivanja. Analiza gušterače slatkovodnih račića iz japanskih rijeka Barato, Shiribetsu i Tone pokazale su brojne PCDD i PCDF spojeve potvrđujući time da je jedan od glavnih izvora spaljivanje otpada (Ishizuka, i sur., 1998.). Naime, u Japanu se približ-

Tablica 4. Godišnje vrijednosti PCDD i PCDF koncentracija (pg/g^{-1}) u ribama iz japanskoga obalnog područja

PODRUČJA	1989.	1990.	1991.	1992.	1993.
Tokyo zaljev PCDD	110	84	81	170	54
Tokyo zaljev PCDF	70	29	51	54	43
Tokyo zaljev TEQ (PCDD + PCDF)	1,4	0,010	0,63	0,12	0,10
Osaka zaljev PCDD	82	25	31	40	28
Osaka zaljev PCDF	49	28	30	22	16
Osaka zaljev TEQ (PCDD + PCDF)	1,7	0,10	0,013	0,0060	0,0070
Kii kanal PCDD	26	96	70	48	21
Kii kanal PCDF	15	15	19	6,0	4,0
Kii kanal TEQ (PCDD + PCDF)	0,012	0	0,0060	0,013	0,0060

Izvor: Enviromental Agency, Japan (1990/94) – Chemicals in the enviromental, Annual Report

Kratice

TEQ – toksični ekvivalent

TEF – toksični ekvivalentni faktor

no 75% ukupnog komunalnog otpada spaljuje u 1 854 spalionice dok se u 3 376 spalionica uništava industrijski otpad. Račići iz rijeke Tone (prolazi kroz industrijsko-urbano područje) imali su najviše koncentracije HAH (halogeni aromatski hidrokarbonati): 4,100 pg/g masti težine. U primjercima iz Barato i Shiribetsu rijeke utvrđen je 1,3,6,8 i 1,3,7,9-TeCDD, ukazujući na klornitrofen koji se koristio kao herbicid u rižinama kao glavni izvor kontaminacije.

Kontaminacija morskih sisavaca klornim spojevima 2,3,7,8-PCDD i PCDF-om pokazala je široku geografsku rasprostranjenost od Zapadne Europe, istočne Kanade, pacifičke i atlantske obale SAD-a, Kariba, sjeverozapadnog Pacifika, Indijskog oceana do južnih antarktičkih voda. Izvješća o kontaminaciji morskih lavova u dvije regije JZ Atlantika na obali Argentini (Jimenez, i sur., 1998.) prvo je takve vrste s južne hemisfere. Kolonija morskih lavova Mar del Plata živi u ograđenom prostoru unutar najveće ribolovne luke Argentine. Voda u luci znatno je kontaminirana uljima, organskim i anorganskim spojevima, te otpadom iz tvornice za preradu riba. Punta Barmeja regija je zagađena vodom Rio Negra onečišćenom OC pesticidima iz poljoprivrednih površina. U morskim je lavovima utvrđeno prisustvo PCDD spojeva koji čine približno 40% ukupne vrijednosti TEQ s najvećim udjelom 1,2,3,7,7,9-HxSDD, dok je u drugoj regiji (Mar del Plata) kod morskih lavova udio PCDD-a čak 61% uz dominaciju 1,2,3,7,8-PnCDD-a. Iako je akumulacija OC spojeva vezana uz hladne klimatske uvjete, prisustvo PCDD spojeva utvrđeno je i u morskim sisavcima iz tropskih australskih voda (Haynes i sur., 1999.). Moronj (dugong dugon) jedini je živi biljojed koji je u potpunosti morski organizam. Prosječna mu je starost iznad 70 godina i hrani se morskom travom. Broj moronja u južnom dijelu Morskog parka Velikog koraljnog grebena u stalnom je padu. Uzroci takvom stanju su višestruki: izlov, hvatanje u ribarske mreže i degradacija okoliša usljed urbanog i industrijskog razvoja na obali. Istra-

živanja PCDD/F provedena su na tkivu moronja (3 uzorka). Σ PCDD/F u moronju kreće se od 260–390 pg/g⁻¹, dok je razina nađena kod većine sisavaca prikupljenih na obje hemisfere manja od 200 pg/g⁻¹. Kod ovih se sisavaca uočava određena razlika. Dominiraju 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD spojevi čije se vrijednosti kreću od 210 (± 40) i 59 (± 14) pg/g⁻¹ u masti. Kod većine morskih sisavaca vrijednosti su niže i pretežno su utvrđene penta i tetra CDD/F spojeva. Prisutnost PCDD/F spojeva u moronjima tumači se i njihovim visokim udjelom u tlu sjevernog Queenslanda na plantažama šećerne trske, ali i kao mogućnost biotransformacije prethodnih OC spojeva.

Razvojni efekti u morskim organizmima

Izloženost morskih organizama (riba, gmazova i sisavaca) OC spojevima odražava se u poremećajima u reproduktivnim i razvojnim procesima. Utjecaj OC spojeva povezan je s povećanim deformacijama i mortalitetom embrija riba. Oplođena jaja zebra ribe (*Brachydanio rerio*) izložena djelovanju spojeva lindana i antrazina pokazuju povećane deformacije i smanjeni rast embrija te redukciju u veličini i broju preživjelih mladih jedinki (Gorge, Nagel, 1990.).

Reproduktivni problemi zabilježeni su u uzorcima pacifičkog lososa u jezeru Erie. U razdoblju 1980.–1990. udio preživjelih mladih jedinki smanjen je sa 48% (1981.) uz drastično niski udio od samo 5% (1990.). Smatra se da je razlog toga prisutnost OC spojeva u vodama jezera, među kojima se izdvaja toxaphen.

Morski sisavci izloženi su visokim razinama OC spojeva u svojoj hrani. Na području Arktika utvrđeno je prisustvo OC spojeva (DDT, PSBs, HCHs, PCC, clordana) u organizmima morskih sisavaca – raznih vrsta tuljana (*Callorhinnus ursinus*, *Phoca hispida*, *Cystophora eristata*, *Erigrathus barbatus*), morževa (*Obdobenus rosmarus divergens*), beluga (*Delphinus terus lencas*), pliskavica (*Phocoena phocoena*), narvala (*Monodon monoceros*), polarnih medvjeda (*Ursus maritimus*), koja se odrazila u izostanku reprodukcije kod ovih vrsta. Kod kitova beluga s estuarija rijeke St. Lawrence utvrđena je znatno viša razina (10–15 \times) OC spojeva u odnosu na one iz područja Arktika. Na istoj je populaciji utvrđeno da 79% ženske populacije nije reproduktivno, u usporedbi s 35% beluga ženki iz Arktika. Zabilježena je i oštećenost u žlijezdi na 36% ženske populacije St. Lawrencea čime je ozbiljno poremećena njihova sposobnost hranidbe.

Utjecaj PCBs-a kod gmazova odražava se u poremećaju u spolnim razlikama crvenih plosantih kornjača. Kod primjeraka te vrste zagrijavanje jaja ležanjem na s temperaturom 31–36 °C izliježe se ženska populacija, dok se ležanjem s nižom vrijednošću temperature (26 °C) izliježe muška populacija.

Razina PCBs-a koja uzrokuje poremećaje u spolnim razlikama kod kornjače usporediva je s prosječnom razinom PCBs-a pronađenom u majčinom mlijeku žena u industrijskim zemljama (Bergeron, 1994.). Jezero Apopka na poluotoku Floridi onečišćeno je OC spojevima DDT-a što se, među ostalim, odrazilo i na populacije aligatora u jezeru. Tijekom 80-ih počeo je progresivan pad u njihovoj populaciji, što je nastavljeno i danas. Osim smanjenja veličine kod ovih je jedinki utvrđena smanjena sposobnost reprodukcije. Muški primjerci mladih aligatora pokazuju znatno smanjenje razine testosterona, što se odrazilo u deformacijama testisa i smanjenoj veličini penisa. Istodobno je razina estrogena kod ženskih primjeraka dvostruko viša nego kod primjeraka iz nezagađenih jezera. Poradi povećane razine estrogena dolazi do poremećaja u

strukturi ovarija. Tijekom razvoja u jaju geni mladih aligatora su stalno promjenjivi te normalnom produkcijom spolnih hormona nije moguće stvoriti normalne spolne razlike. OC spojevi dijelom su odgovorni i za smanjenje populacije kod semiarktičkih sisavaca, kao što je vidra (*Lutra lutra*), američki i kanadski zerdav (*Mustela vison* i *Mustela lutreola*). Utjecaj ovih spojeva uzrokovao je visoku embriotoksičnost kao i povećanu embrionalnu retardiranost usljed djelovanja na estrogen i progesteron receptora.

Zaključak

Poradi svoje perzistentnosti OC spojevi su našli široku primjenu u kemijskoj industriji. Međutim, ista je ta osobina djelovala u negativnom pravcu prema kvaliteti okoliša, zdravlju ljudi i životinja.

Mogućnost dugotrajnog atmosferskog transporta uzrokom je depozicije OC spojeva na globalnoj razini, od Arktika do antarktičkih voda.

Istraživanja su pokazala njihovu veću sposobnost bioakumulacije u živim organizmima, koja se povećava paralelno s piramidom hranidebnog lanca.

PCDD i PCDF spojevi, danas svakako najtoksičnije tvari, imaju svoje glavno izvorište u spalionicama otpada, osobito komunalnog otpada.

Ulaskom u živi organizam ovi spojevi uzrokuju čitav niz poremećaja, kako reproduktivnih tako i spolnih te razvojnih. Embrionalna faza razvoja najosjetljivije je razdoblje tijekom kojeg su moguće određene genetske mutacije i retardiranost.

Čak i u slučaju tvorničke prerade riba i dobivanja ribljeg brašna ili ulja ovi spojevi ne nestaju već se tako putem hrane prenose u više organizme, odnosno ljude.

Literatura

- Alcock, R. E. Behnisch, P. A. Jones, I. C. Hagenmaier H. (1998.): Dioxin-like PCBs in the environment – Human Exposure and the Significance of Sources, *Chemosphere*, Vol. 37, N° 8, str. 1457–1472.
- Berg, V. Polder, A. Skaare, J. U. (1998.): Organochlorines in Deep-sea fish from the Nordfjord, *Chemosphere*, Vol. 38, N° 2, str. 275–282.
- Bergeron, J. M. Crews, D. McLachlan, J. A. (1994.): PCBs as environmental oestrogens: Turtle sex determination as a biomarker of environmental contamination, *Environmental Health Perspectives*, N° 102 (9), str. 780–781.
- Colborn, T. von Saal, F. S. Soto, A. M. (1993.): Developmental Effects of endocrine disrupting chemicals in wild life and humans, *Environmental Health Perspectives*, N° 101 (5), str. 378–384.
- Dewailly, E. Ryan, J. J. Laliberte, C. Bruneau, S. Webeb, J. Gringras, S. and Carrier, G. (1994.): Exposure of remote maritime populations to coplanar PCBs, *Environmental Health Perspectives Supplements*. 102 suppl.1., str. 205–209.
- Greenpeace International: Body of Evidence, Greenpeace International, Report, May 1995.
- Hashimoto, S. Hyeon-Sea, C. Morito, M. (1998.): Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzo furans in shellfishes from South coast of Korea, *Chemosphere*, Vol. 37, N° 5, str. 951–959.
- Haynes, D. Müller, J. F. McLochan, M. C. (1999.): Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzo furans in Great Barrier Reef (Australia) Dugongs (*Dugong Dugon*), *Chemosphere*, Vol. 38, N° 3, str. 255–262.

- Ishizuka, M. Sakiyama, T. Iwato, H. Fukushima, M. Kazushaka, A. Fujita, S. (1998.): Accumulation of Halogenated Aromatic Hydrocarbons and Activities of Cytochrome P450 and Glutathione S-Transferase in Crabs (*Eriocheir Japonicus*) from Japanese Rivers, *Environmental Toxicology and Chemistry*, N° (17) 8, August 1998., str. 1490–1498.
- Jimenez, B. Gonzales, M. J. Hernandez, L. M. Eljarrat, E. Rivera, S. Fassi, M. C. (1999.): 2, 3, 7, 8 Substituted PCDDs and PCDFs in Sea Lion (*Otaria flosces*) Skin Biopsies from two southwestern Atlantic population, *Chemosphere*, Vol. 38, N° 3, str. 505–517.
- Johnston, P. and McCrea, I. (1992.): *Death in small doses*, Greenpeace International, ISBN 1871532612.
- Klobes, U. Wetter, W. Luckas, B. Skirnisson, K. Plotz, J. (1998.): Levels and Enatiometric Ratios of α HCH Oxychlorane and PCB 149 in Blubber of harbour Seals (*Phoca vitulina*) and Grey Seals (*Halichoerus grypus*) from Iceland and Further Species., *Chemosphere*, Vol. 37, N° 9–12, str. 2501–2512.
- Matter, J. M. McMurry, C. S. Anthony, A. B. Dickerson, R. L. (1998.): Development and Implementation of Endocrine Biomarkers of Exposure and Effects in American Alligators (*Alligator Mississippiensis*), *Chemosphere*, Vol. 37, N° 9–12, str. 1905–1914.
- Oetjen, K. Karl, H. (1998.): Levels toxaphene indicator compounds in fish meal, fish oil, and fish feed, *Chemosphere*, Vol. 37, N° 1, str. 1–11.
- Picer, M. Picer, N. Ahel, M. (1978.): Chlorinated Insecticides and PCB Residues in Fish and Mussels of East Coastal Waters of the Middle and North Adriatic sea, 1974–1975. *Pest. Monit.* 12: str 102–112.
- Picer, M. Picer, N. (1998.): Ratna razaranja i ugrožavanje vode na krškom području Hrvatske, Hrvatska vodoprivreda, god. VII, br. 74. studeni 1998., str 19–27.
- Swackhamer, D. L. Pearson R. F. Schottler, S. P. (1998.): Toxaphene in the Great Lakes, *Chemosphere*, Vol. 37, N° 9–12, str. 2545–2561.
- Swanson, S. E. Roppe, C. Maltiström, J. Kringstad, K. P. (1988.): Emissions of PCDD and PCDF from pulp industry, *Chemosphere*, Vol. 17, str. 681–691.

Autor

Doc. dr. sc. Željka Šiljković

Filozofski fakultet u Zadru, Odsjek za geografiju, Obala Petra Krešimira IV 2, 23000 Zadar

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.20.

Bakarski zaljev kao odabir mjesta za procjenu okolišnog rizika Jadrana

Smiljana Britvić, Davor Lucić, Tvrtko Smital, Branko Kurelec

SAŽETAK: Aktivnosti enzima oksidaza miješanih funkcija (OMF), kao što su benz(a)piren monoooksigenaza (BaPMO) i etoksiresorufin O-deetilaza (EROD), u jetri pokusnih šarana tretiranih i. p. s XAD-7 ekstraktima morske vode s istraživanih područja (tzv. OMF-indukt test) u akvatoriju Bakarskog zaljeva (Goli, Luka-Bakar, Koksara, Podurinj, Omišalj) povišena je za 600–850% u odnosu na ekstrakte morske vode s referentnog područja (Limski kanal), ili na prirodnu aktivnost BaPMO i EROD kontrolnih šarana. Tijekom praćenja ovih biomarkera u vremenu od 1. rujna 1995. do 15. srpnja 1996., a taj je period počeo 6 mjeseci nakon službenog, odnosno 18 mjeseci nakon stvarnog prestanka rada Koksare, njihove vrijednosti ostale su podjednake na većini postaja. To smo i očekivali, jer je navedeni period istraživanja prekratko vrijeme da bi došlo do poboljšanja kvalitete morske vode zbog trajnog utjecaja izvora zagađenja. Projektom »Bakarski zaljev«, pokazali smo primjenjivost metode biomarkera u biomonitoringu poboljšanja kvalitete okoliša nakon intervencije u okoliš.

KLJUČNE RIJEČI: Procjena ekološkog rizika; biomarkeri; indukcija oksidaza miješanih funkcija (OMF)

The Bakar Bay – Adriatic Environmental Risk Assessment Site

SUMMARY: Activity of mixed function oxidase (OMF) enzymes, such as benz(a)pyrene mono-oxygenase (BaPMO) and etoxi resorufin O-deethylaze (EROD), in liver of test carps tested i. p. with XAD-7 extracts of sea water from the researched area (so called OMF-induct test) in the Bakar Bay basin (Goli, Luka-Bakar, Koksara, Podurinj, Omišalj) was increased by 600–850% as compared to the sea water extracts from the referenced area (Limski Kanal) or natural activity of BaPMO and EROD control carps. The subject biomarkers were monitored from September 1, 1995 to July 15, 1996, which was 6 months after official and 18 months after actual shut down of the Koksara (Coke Plant). During this period, the figures did not change for most of the stations. This was expected because the said investigation period was too short for improvement in sea water quality whose deterioration was caused by permanent impact of the pollution source. The “Bakarski Zaljev (Bakar Bay)” Project enabled us to prove applicability of biomarkers in biomonitoring of improvements in environmental quality after remediation activities.

KEYWORDS: environmental risk assessment, biomarkers, mixed function oxidase (OMF) induction

Uvod

Procjena okolišnog rizika (POR) definira se kao proces kojim se procjenjuje vjerojatnost nepovoljnih ekoloških učinaka koji se mogu ili se pojavljuju kao rezultat izloženosti jednom ili više štetnih čimbenika. POR se temelji na dva bitna elementa: karak-

terizaciji izloženosti i karakterizaciji ekološkog učinka. Glavni cilj POR-a je identifikacija problema u okolišu, utvrđivanje prioriteta i određivanje znanstvene osnove u svrhu donošenja zakonskih odluka. Prema tome, ekološka i društvena vrijednost ekotoksikoloških studija trebala bi biti procijenjena na osnovu njihove relevantnosti da udovolje zahtjevima dvaju glavnih elemenata potrebnih u procesu POR-a. Nažalost, veliki nedostatak je nemogućnost potpune kvantifikacije izlaganja toksičnim kemikalijama u okolišu kao i procjene biološke signifikantnosti pri takvom izlaganju. Izlaganje ne može biti odmah kvantificirano mjerenjem koncentracije zagađivala u tkivima; mnoge toksične kemikalije se ne akumuliraju, već se brzo metaboliziraju. Prema tome, odnos koncentracije neke kemikalije u tkivu i njenog toksičnog odgovora je kompleksan i nije još u potpunosti objašnjen. Osnovni pristup u kvantificiranju izlaganja okolišnim zagađivalima i njihovom potencijalnom učinku na organizme kao indikatore zagađenja je monitoring bioloških biomarkera (Peakall i Shugart, 1993.).

Biomarkeri su definirani kao promjene na molekularnoj i staničnoj razini biološke organizacije pobuđene kemijskim zagađenjem (McCarthy i Shugart, 1990.). Cilj biomarkerskog pristupa jest detekcija signala stresa u jedinkama populacije, koji pružaju rano upozorenje izloženosti zagađivaču i/ili oštećenja zdravlja jedinke zbog te izloženosti. Stoga, biomarkeri se mogu grubo podijeliti u dvije kategorije: biomarkeri izloženosti i biomarkeri oštećenja (Koeman i sur., 1993.). Biomarkeri izloženosti mogu biti opći (na pr. indukcija citokrom-P450 monooksigenaza miješanih funkcija, engl.: mixed function oxygenases, MFO) ili uzročni (na pr. DNA adukti i inhibicija acetilkolin esteraze). Biomarkeri oštećenja moraju biti indikativni ili za razvoj patološkog procesa, ili za narušavanje fiziološke homeostaze. Za procjenu ekološkog rizika preporučuje se upotreba nekoliko funkcionalno i hijerarhijski povezanih biomarkera (Kurelec, 1982.).

Stoga smo u procjeni okolišnog oporavka na 5 kritičnih postaja Bakarskog zaljeva primijenili istovremeno praćenje indukcije oksidaza miješanih funkcija (OMF), kako u jetri nativnih riba mjerenjem indukcije enzima benz(a)piren monooksigenaze (Ba-PMO) i etoksiresorufin O-deetilaze (EROD), tako i u jetri pokusnih šarana nakon i. p. ubrizgavanja XAD-7 ekstrakata morske vode uzorkovane na istim postajama.

Metode

Područje i vrijeme istraživanja

Mjerenja su vršena u periodu od 01. rujna 1995. do 15. srpnja 1996. god., na kritičnim lokacijama zagađenja morske vode Bakarskog zaljeva (Goli, Luka-Bakar, Koksara, Podurinj i Omišalj). Populacije nekoliko vrsta riba (Tablica 1.) izlovljene su udicom na istim lokacijama.

Priprema XAD-7 ekstrakata morske vode

Koncentriranje morske vode na visokoumreženoj XAD-7 smoli rađeno je postupkom koji su opisali Yamasaki i Ames (1977.):

Po 25 L morske vode s postaja Goli, Luka-Bakar, Koksara, Podurinj i Omišalj, propuštanje je odmah tijekom uzorkovanja na terenu kroz staklene kolone (100 × 20 mm) napunjene XAD-7 smolom do visine od 4 cm, brzinom protoka od 50 ml/min. Smola je prije propuštanja morske vode isprana prvo s metanolom (20 ml) pa destiliranom vodom (2 × 10 ml). Potom je odmah po dolasku u laboratorij vršeno ekstrahiranje

Tablica 1. Aktivnost BaPMO i EROD u populaciji riba izlovljenih u akvatoriju Bakarskog zaljeva

Vrsta	Podurinj		Koksara		Luka Bakar		Goli	
	BaPMO	EROD	BaPMO	EROD	BaPMO	EROD	BaPMO	EROD
	pmol/mg proteina/min		pmol/mg proteina/min		pmol/mg proteina/min		pmol/mg proteina/min	
Kinjuša, <i>Crenilabrus ocellatus</i>	16,37 ± 5,76 (10)	80,16 ± 30,44 (10)	2,22 (1)	34,10 (1)				
Cipal, <i>Mugil cephalus</i>	14,42 ± 2,93 (2)	100,2 ± 5,63 (2)						
Knez, <i>Coris julis</i>	51,04 (1)	154,63 (1)	47,92 ± 15,37 (5)	143,72 ± 5,2 (5)			1,87 ± 0,25 (3)	7,96 ± 1,87 (3)
Kanjak, <i>Serranus cabrilla</i>			2,61 ± 1,58 (8)	20,2 ± 5,7 (8)			1,18 ± 0,21 (4)	7,0 ± 1,24 (4)
Špar (Kolorep), <i>Diplodus annularis</i>			2,59 (1)	14,85 (1)	24,98 ± 4,49 (2)	68,26 ± 37,43 (2)	1,58 (1)	6,72 (1)
Rumenac, <i>Pagellus erythrimus</i>			15,85 (1)	48,85 (1)				
Sivac, <i>Boops boops</i>							2,12 (1)	8,98 (1)
Glavoč, <i>Gobius cruentatus</i>					4,33 (1)	20,15 (1)	2,03 (1)	8,18 (1)
Kontrole:								
Neinducirani šaran (8)	0,8 ± 0,4	1,1 ± 0,2						
Inducirani šaran (8) (50 mg / kg 3MC)	38,3 ± 4,1	142,3 ± 18,6						

BaPMO-, odnosno EROD-aktivnost izražena je u pmol 3-OHBaP, odnosno resorufina po mg proteina po min inkubacije. Rezultati su izraženi kao srednje vrijednosti s pripadajućim standardnim devijacijama (osim u slučaju kad je izlovljena samo jedna jedinka pripadajuće vrste) i brojem uzoraka u zagradi.

uzoraka. U tu svrhu kolone su isprane s 50 ml destilirane vode, te eluirane s 20 ml acetona. Acetonski eluati su upareni na rotacijskom uparivaču do suha, a otparni ostatak otopljen je u 1,25 ml jestivog ulja.

Mjerenje aktivnosti enzima oksidaza miješanih funkcija indukt testom (OMF-indukt test)

OMF-indukt test mjerio se metodom koju su opisali Kurelec i sur. (1979.; 1982.) odnosno Collier i sur. (1986.): Otparni ostatak otopljen u ulju od sjemenih klica (ekvivalent 2 L vode u 0,1 ml ulja) i. p. je ubrizgan pokusnim šaranima. U njihovoj jetri nakon 48 sati inducirala se aktivnost BaPMO i EROD, upravo proporcionalno količini prisutnih ksenobiotika u pojedinom XAD-7 ekstraktu. Svaki ekstrakt (sa svake postaje) bio je ubrizgan u 4 pokusna šarana.

Pozitivna kontrola bila je grupa šarana tretirana i. p. s 50 mg/kg 3-metilkolantrena (poznati modelni inducer BaPMO- i EROD-aktivnosti), a kao kontrola bazalne aktivnosti BaPMO i EROD ribe su bile tretirane s 0,1 ml ulja.

Mjerenje aktivnosti benz(a)piren monoooksigenaze (BaPMO)

BaPMO-aktivnost u postmihondrijskoj frakciji jetre šarana (S9) određivana je metodom Neberta i Gelboina (1968.), uz modifikacije koje su opisali Payne i Penrose (1975.). Proteini su određivani u 0,1 ml S9 frakcije jetre, metodom koju su razvili Lowry i suradnici (1951.). Fluorescencija nastalih produkata supstrata benz(a)pirena (smjesa hidroksi-derivata BaP-a) mjerila se na spektrofluorometru Zeiss PMQ 3 uz aktivacijski filter 365 nm i kod emisije 520 nm. Količina fluorescirajućih produkata uspoređivala se s fluorescencijom 3-hidroksibenz(a)pirena (3-OHBaP), pa se aktivnost enzima izražavala u pmol 3-OH BaP nastalog po mg proteina po minuti inkubacije.

Mjerenje aktivnosti etoksiresorufin O-deetilaze (EROD)

EROD-aktivnost u postmitohondrijskoj frakciji jetre šarana (S9) određivana je metodom Burke i Mayer (1974.). Fluorescencija nastalog produkta supstrata 7-etoksiresorufina (resorufin) mjerila se na spektrofluorometru Zeiss PMQ 3 uz aktivacijski filter 546 nm i kod emisije 590 nm. Količina nastalog fluorescentnog produkta očitovana se s baždarne krivulje pripravljene s resorufinom u koncentraciji od 0,05–0,5 nM, a aktivnost enzima izražavala u pmol resorufina nastalog po mg proteina po minuti inkubacije.

Kako bi se pokazala razlika induciranih aktivnosti od prirodnih aktivnosti BaPMO i EROD, rutinski se ispitivao i utjecaj inhibitora α -naftoflavona dodavanjem reakcijskoj smjesi 10^{-4} M α -naftoflavona.

Rezultati i diskusija

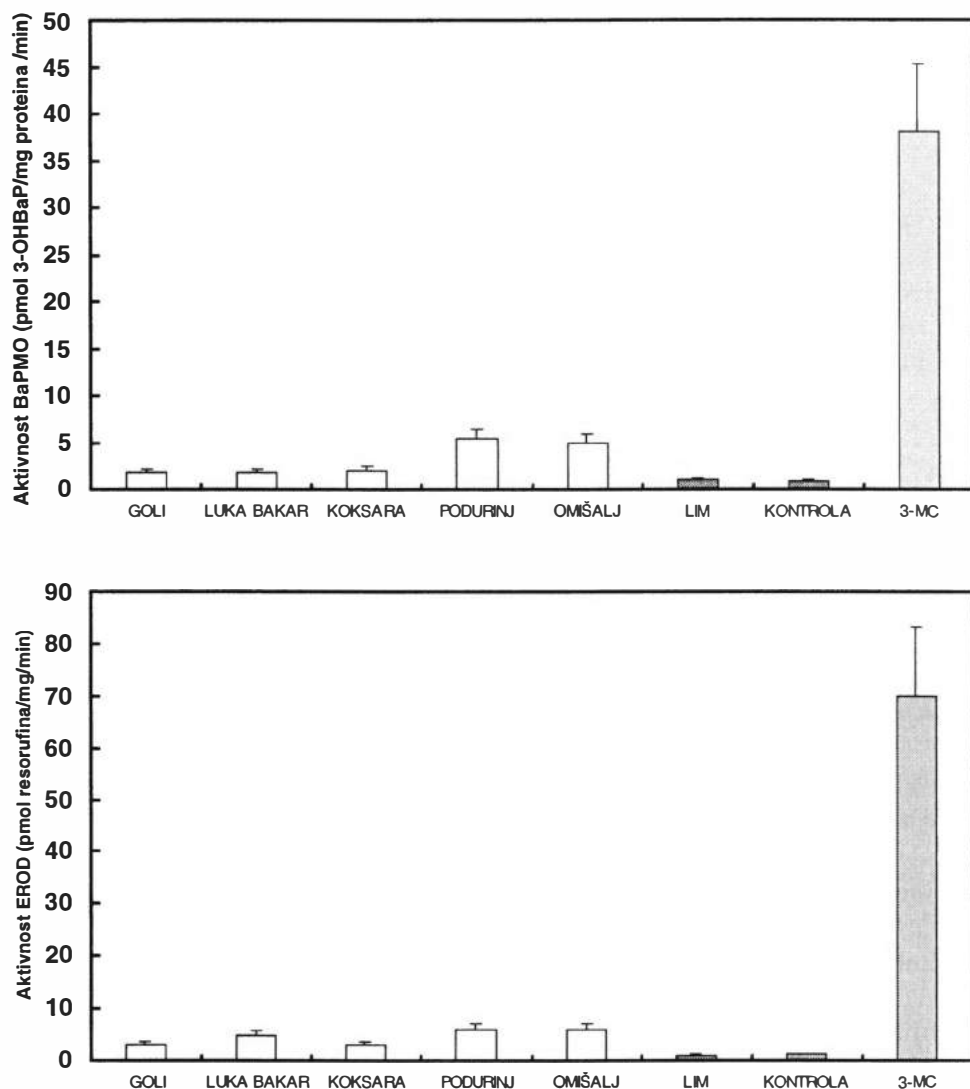
Sve donedavno Bakarski zaljev bio je među industrijski najopterećenijim područjima na jadranskoj obali. Zatvaranjem tvornice koksa nastalo je u Hrvatskoj jedinstveno područje u kojem je moguće mjeriti brzinu oporavka vodenog ekosistema od dugogodišnjeg industrijskog zagađenja. Jedan od ponajboljih načina za registriranje oporavka izloženih organizama nakon nestanka utjecaja zagađivača je procjena oporavka pomoću biomarkera. Indukcija OMF u jetri riba izloženih organskim zagađivačima najčešće je upotrebljavani biomarker. U tisućama laboratorija i tisućama studija di-

ljem svijeta taj je biomarker detektirao prisustvo zagađenja organskim zagađivačima (Payne i sur., 1987.; Goksoyr i Forlin, 1992.). Već prve aplikacije tog biomarkera (Payne, 1976.; Kurelec i sur., 1977.) pokazale su da se uvećanje aktivnosti BaPMO u jetri riba izloženih vodama zagađenim naftom mjeri u tisućama postotaka, što je ubrzo potvrđeno i praktičnom primjenom ovog biomarkera u prepoznavanju zagađenih područja u akvatoriju Rovinja i Riječkog zaljeva (Rijavec i sur., 1981.; Britvić i sur., 1983.). U novije vrijeme mjerenje BaPMO zamijenjeno je jednako osjetljivim, ali i jednostavnijim i manje opasnim (BaP je poznati premutagen) mjerenjem aktivnosti EROD (Narbonne i sur., 1991.; Burgeot i sur., 1994.).

Osam vrsta riba izloženih iz zagađene morske vode unutar akvatorija Bakarskog zaljeva pokazale su značajno povećanje njihove jetrene BaPMO-aktivnosti i EROD-aktivnosti u odnosu na kontrolne BaPMO-aktivnosti i EROD-aktivnosti naših pokusnih šarana (Tablica 1.). Te su aktivnosti bile najveće u ribama izloženim u blizini »Koksare« (47,92 pmola 3-OHBP/mg proteina/min, odnosno 143,72 pmola resorufina/mg proteina/min) i Podurinja (51,04 pmola 3-OHBP/mg/min, odnosno 154,63 pmola resorufina/mg/min). Iz Tablice 1. vidljivo je da razne vrste riba reagiraju različitim intenzitetom na prisustvo ksenobiotika. Zbog toga je za procjenu kvalitete vode potrebno određivati aktivnost enzima OMF u što većem broju vrsta riba. Količina tih biološki aktivnih tvari koje su u jetri riba inducirale enzimsku aktivnost BaPMO i EROD mogu se pripisati poznatim izvorima zagađenja. Naime, enzimska aktivnost BaPMO i EROD u jetrama svih izloženih vrsta riba mogla se inhibirati *in vitro* s α -naftoflavonom za prosječno 60–80%. Iz ovoga valja zaključiti da su ribe bile izložene inducirajućim ksenobioticima tzv. »metilkolantrenskog« tipa, tj. inducerima koji uvećavaju citokrom P-448 ovisne OMF koje se mogu inhibirati α -naftoflavonom.

Kako monitoring otvorenog mora pomoću ovog biomarkera nije moguć zbog nesigurnosti izlova teritorijalne ribe, toj manjkavosti ovog biomarkera doskočeno je tako da se prisustvo ksenobiotika u vodi s tih staništa mjeri indukcijom OMF u pokusnih šarana nakon i. p. ubrizgavanja heksanskih (a u novije vrijeme XAD-7) ekstrakata morske vode (Kurelec i sur., 1982.). Primjenom OMF-indukt testa uspješno je detektirano prisustvo ksenobiotika na nekim postajama unutar Riječkog zaljeva (Rijavec i sur., 1981.) ili na nekim postajama sjevernog Jadrana (Britvić i sur., 1983.). Biomarker OMF-indukt test bio je također temeljni pokazatelj u definiranju stanja zagađenja i njegovih posljedica u akvatoriju Bakarskog zaljeva.

XAD-7 ekstrakti morske vode s 5 postaja Bakarskog zaljeva (Goli, Luka-Bakar, Koksara, Podurinj i Omišalj), ubrizgani i. p. pokusnom šaranu induciraju na doza-odgovor način jetrenu BaPMO- i EROD-aktivnost u OMF-indukt testu. Aktivnost enzima BaPMO povećana je za 1,5 do 7,0 puta u odnosu na XAD-7 ekstrakt morske vode s referentnog područja (Limski kanal), ili na prirodnu aktivnost BaPMO (0,8 pmola 3-hidroksi benz(a)pirena (3-OHBP)/mg proteina/min) kontrolnih šarana (Slika 1.). Aktivnost enzima EROD povećana je za 2,5 do 6,0 puta u odnosu na XAD-7 ekstrakt morske vode s referentnog područja (Limski kanal), ili u odnosu na kontrolu (1,1 pmola resorufina/mg proteina/min) (Slika 1.). Inducirajuće tvari prisutne u ekstraktima ekvivalentnim 2 L vode s postaja Podurinj i Omišalj izazvale su najveće povećanje BaPMO- i EROD-aktivnosti (6,8 pmola 3-OHBP/mg/min, odnosno 6,0 pmola resorufina/mg/min), tj. imale su aktivnosti kakve bi izazvale i. p. aplikacije 7,0 do 11,6 mg 3-metilkolantrena (3-MC)/kg ribe.



Slika 1. Indukcija BaPMO- i EROD-aktivnosti u pokusnim šaranima tretiranim i. p. s XAD-7 ekstraktima morske vode s pet postaja Bakarskog zaljeva primjenom OMF-indukt testa, u usporedbi s netretiranim šaranima (kontrola), odnosno sa šaranima tretiranim s 50mg/kg 3-MC (3-MC). Rezultati su prikazani kao srednje vrijednosti četriplokata ($n = 4$) s pripadajućim standardnim devijacijama.

Ovako visoka indukcija BaPMO- i EROD-aktivnosti može se pripisati trajnom prisustvu naftnog zagađenja s vrlo značajnim udjelom policikličkih aromatskih ugljikovodika. Projektom »Bakarski zaljev«, pokazali smo primjenjivost metode biomarkera u biomonitoringu poboljšanja kvalitete okoliša nakon intervencije u okoliš. Kako je određivanje veličine indukcije BaPMO- i EROD-aktivnosti inkorporirano u sve glavne svjetske biomonitoring programe (The National Status and Trend Programme in USA; The North Sea Task Force Monitoring Master Plan of the North Sea Nations;

The Biomar/EEC project; The Mediterranean Action Plan – UNEP) ovim istraživanjem demonstrirali smo da i istraživači u Hrvatskoj raspolažu svjetski relevantnim tehnikama i saznanjima neophodnim za učinkovitu procjenu okolišnog rizika.

Literatura

- Britvić, S., Protić, M., Rijavec, M., Zahn, R. K. i Kurelec, B. (1983) Detection of xenobiotics in the Northern Adriatic waters by estimating their biochemical effects in fish. *Rapp. Comm. int. Mer Medit.* 28, 137–138.
- Burgeot, T., BocquG., Truquet, P., Le Dean, L. i Galgani, F. (1994) Induction of EROD activity in red mullet (*Mullus barbatus*) along the French Mediterranean coasts. *Sci. Total Environ.* 142, 213–220.
- Burke, M. D. i Mayer, R. T. (1974) Ethoxyresorufin: direct fluorimetric assay of a microsomal O-dealkylation which is preferentially inducible by 3-methylcholanthrene. *Drug Metab. Disp.* 2, 583–588.
- Collier, T. K., Stein, R. J. i Varanasi U. (1986) Xenobiotic metabolizing enzymes in spawning English sole (*Parophrys vetulus*) exposed to organic-solvent extracts of marine sediments from contaminated and reference areas. *Comp. Biochem. Physiol.*, 84C, 291–298.
- Goksoyr, A. i Förlin, L. (1992) The cytochrome P-450 system in fish, aquatic toxicology, and environmental monitoring. *Aquat. Toxicol.*, 22, 287–312.
- Koeman, J. H., Köhler-Günther, A., Kurelec, B., Riviere, J. L., Versteeg, D. i Walker, C. H. (1993) Applications and objectives of biomarker research. In: *Biomarkers*, Eds.: D. B. Peakall and L. R. Shugart, Chapter 1, pp. 1–13, NATO ASI Series, Vol. H 68, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Kurelec, B., Matijašević, Z., Rijavec, M., Alačević, M., Britvić, S., Müller, W. E. G. i Zahn, R. K. (1979) Induction of benzo(a)pyrene monooxygenase in fish and the Salmonella test as tool for detecting mutagenic/carcinogenic xenobiotics in the aquatic environment. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 21, 799–807.
- Kurelec, B., Protić, M., Rijavec, M., Britvić, S., Müller, W. E. G. i Zahn, R. K. (1982) Induction of benzo(a)pyrene monooxygenase in fish after i. p. application of water hexane extract – a prescreen tool for detection of xenobiotics. In *Carcinogenic Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in the Marine Environment*, Eds.: N. L. Richards and B. L. Jackson, Environmental Research Laboratory, Gulf Breeze, Florida, 1982, pp. 121–136.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. i Randall, R. J. (1951) Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193, 265–275.
- McCarthy, J. F. i Shugart, L. R. (1990) *Biological Markers of Environmental Contamination*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Narbonne, J. F., Garrigues P., Ribera, D., Raoux, C., Mathieu, A., Lemaire, P., Salaun, J. P. i Lafaurie, M. (1991) Mixed-function oxygenase enzymes as tools for pollution monitoring: field studies on the French coast of the Mediterranean sea. *Comp. Biochem. Physiol.* 100C, 37–42.
- Nebert, D. W. i Gelboin H. V. (1968) Substrate inducible microsomal aryl hydroxylase in mammalian cell culture. I. Assay and Properties of induced enzyme. *J. Biol. Chem.*, 243, 6242–6249.
- Payne, J. F. i Penrose, W. R. (1975) Induction of aryl hydrocarbon (benzo(a)pyrene) hydroxylase in fish by petroleum. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 14, 112–116.
- Payne, J. F. (1976) Field evaluation of benz(a)pyrene hydroxylase induction as a monitor for marine petroleum pollution. *Science*, 191, 945–946.
- Payne, J. F., Fancey, L. L., Rahimtula, A. D. i Porter, E. L. (1987) Review and perspective on the use of mixed-function oxygenase enzymes in biological monitoring. *Comp. Biochem. Physiol.* 86C, 233–245.

- Peakall, D. B. i Shugart, L. R. (1993) Biomarkers. NATO ASI Series H: Cell Biology, Vol. 68. Springer Verlag, Berlin.
- Rijavec, M., Britvić, S., Protić, M. i Kurelec, B. (1981) Detection of the presence of xenobiotics in seawater from Rijeka Bay applying benzo(a)pyrene monooxygenase induction. *Thalassia Jugosl.*, 17, 245–250.
- Yamasaki E. i Ames, B. N. (1977) Concentration of mutagens from urine with the nonpolar resin XAD-2: cigarette smokers have mutagenic urine. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 74, 3555–3559.

Kontakt adresa

Dr. Smiljana Britvić

Viši znanstveni suradnik, Institut Ruđer Bošković, Laboratorij za molekularnu ekotoksikologiju, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Bijenička cesta 54, Zagreb

Tel: 01 45 61 039, Fax: 01 46 80 243



Rad 1.21.

Utjecaj abiotičkih čimbenika na meiofaunu sedimenta

Irella Bogut, Daniela Novoselić, Jasna Vidaković

SAŽETAK: Tijekom jednogodišnjeg istraživanja od studenog 1997. do studenog 1998. godine, jedanput mjesečno u području najdubljeg dijela Sakadaškog jezera u Parku prirode Kopački rit, uzimani su uzorci vode za analizu fizikalno-kemijskih parametra (temperature, koncentracije otopljenog kisika i kemijske potrošnje kisika) i dva uzorka sedimenta za analizu meiofaune i nematofaune.

U pjeskovitom sedimentu Sakadaškog jezera zabilježeno je 10 skupina meiofaune: oblići (Nematoda), veslonošci (Copepoda), kolnjaci (Rotatoria), maločetinači (Oligochaeta), trbodlaci (Gastrotricha), virnjaci (Turbellaria), rašljoticalci (Cladocera), dugoživci (Tardigrada) i ličinke kukaca. Fauna Nematoda (21 vrsta) i Rotatoria (12 vrsta) bila je dominantna tijekom cijelog istraživanog razdoblja. Najveća gustoća zabilježena je za vrste Nematoda *Tobrilus gracilis* i *Eumonhystera filiformis* te vrste Rotatoria *Dicranophorus* sp. i *Brachionus diversicornis diversicornis*. Utvrđena je pozitivna korelacija između brojnosti jedinki vrste *Tobrilus gracilis* i temperature vode. U uvjetima vrlo niskih koncentracija otopljenog kisika u fauni Nematoda i Rotatoria dominirale su vrste koje toleriraju anoksične uvjete u okolišu.

KLJUČNE RIJEČI: Sakadaško jezero, sediment, meiofauna, Nematoda, Rotatoria, anoksija

Impact of Abiotic Factors on Sediment Meiofauna

SUMMARY: During a research carried for one year (November 1997 – November 1998), water samples were taken once a month from the deepest part of the Sakadaško Jezero Lake in the Kopački Rit Nature Park for analysis of their physico-chemical parameters (temperature, dissolved oxygen concentration and COD), while two samples were used for meiofauna and nematofauna analysis.

In sandy sediment of the Sakadaško Jezero Lake ten groups of meiofauna were recorded, i.e. roundworm (Nematoda), copepoda (Copepoda), rotifer (Rotatoria), oligochaetaes (Oligochaeta), gastrotrich (Gastrotricha), turbellarians (Turbellaria), cladocerans (Cladocera), bear animalcule (Tardigrada) and insect larvae. The fauna of Nematode (21 species) and Rotatoria (12 species) was predominant throughout the research period. The highest density was recorded for Nematoda species *Tobrilus gracilis* and *Eumonhystera filiformis* and Rotatoria species *Dicranophorus* sp. and *Brachionus diversicornis diversicornis*. A positive correlation has been determined between the population of *Tobrilus gracilis* and water temperature. When dissolved oxygen concentrations were very low, Nematoda and Rotatoria were predominated by species tolerant to anoxic conditions in the environment.

KEYWORDS: Sakadaško Jezero Lake, sediment, meiofauna, Nematoda, Rotatoria, anoxia

Uvod

Meiofaunu čine organizmi koji prolaze kroz sito pora veličine 500 μm , a zadržavaju se na 75 μm situ. U meiofaunu ubrajamo slijedeće taksonomske skupine: oblice (Nematoda), kolnjake (Rotatoria), grinje (Acari), rašljoticalce (Cladocera), veslonošce

(Copepoda), maločetinaše (Oligochaeta) manje od 3 mm, ljuskare (Ostracoda), dugoživce (Tardigrada), virnjake (Turbellaria), ličinke kukaca manje od 3 mm te nauplije. Gustoća i rasprostranjenost meiofaune ovise o dubini vode, tipu sedimenta, količini organskog detritusa, koncentraciji otopljenog kisika, temperaturi vode i izvorima hrane (Plenet i Gibert, 1994.; Duplisea i Hargrave, 1996.). Uloga meiofaune u ekologiji sedimenta i u hranidbenim lancima nije do kraja definirana i još je uvijek diskutabilna. Postoje indicije o važnosti meiofaune u razgradnji detritusa i u turbulenciji sedimenta što je od posebnog značenja u zaštićenim područjima gdje dolazi do akumuliranja detritusa.

Oblici (Nematoda) čine najbrojniju skupinu meiofaune u jezerima, pa čak i u anaerobnim zonama jezerskog dna gdje tijekom ljetnih mjeseci koncentracija kisika ima vrlo niske vrijednosti. Pretpostavlja se da Nematoda imaju važnu ulogu u hranidbenim lancima budući predstavljaju osnovni izvor hrane za druge organizme kao što su predstavnici makrofaune i juvenilne bentoske ribe (Traunspurger, 1996.).

Kolnjaci (Rotatoria) su također iznimno važni u slatkim vodama zbog njihove brze reprodukcije i velike tolerancije na promjene uvjeta u okolišu. U visokoproduktivnim jezerima, Rotatoria su jedna od najbrojnijih skupina meiofaune zastupljena s velikim brojem vrsta (Karabin, 1985.a).

Područje istraživanja

Park prirode Kopački rit poplavno je područje desnog zaobalja Dunava u sjeveroistočnom dijelu Hrvatske, u kutu što ga čine rijeke Drava i Dunav (Slika 1.). Osnovno ekološko obilježje ovog prostora je dinamika plavljenja o kojoj ovisi i izgled cijelog prostora jer ritsko kopno i voda mijenjaju svoju veličinu, oblik i funkciju u ovisnosti o količini nadošle vode iz Dunava i, u manjoj mjeri, rijeke Drave.

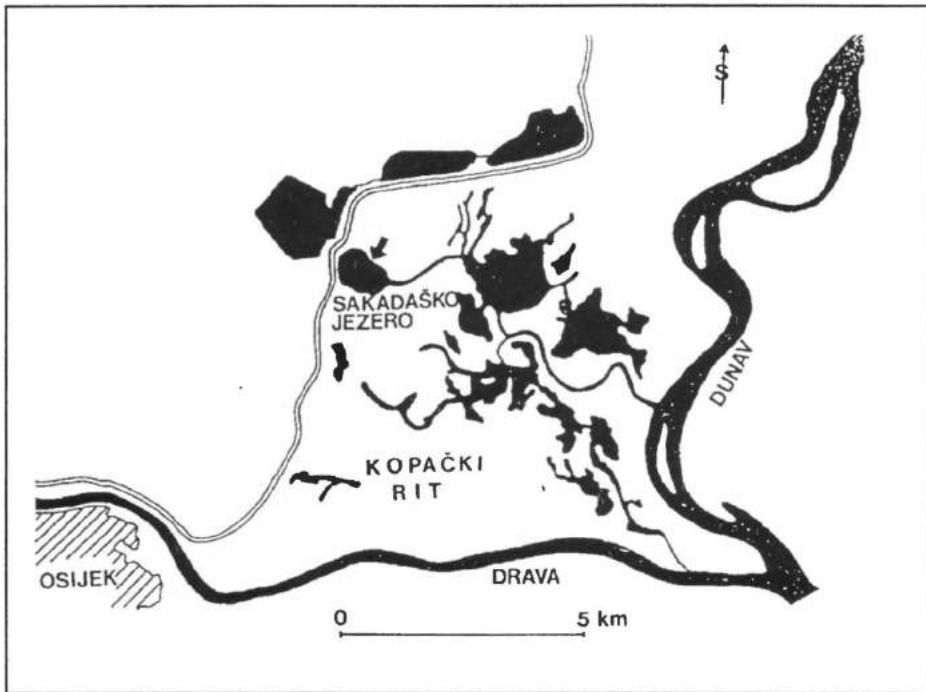
Sakadaško jezero je najdublja (7m duboka pri normalnom vodostaju) vodena depresija u Kopačkom ritu, ovalnog je oblika i relativno strmih obala. S obzirom na svoj položaj uz nasip i cestu, ono je polazište vodenih putova kroz Kopački rit.

Materijal i metode

Tijekom istraživanja od studenog 1997. do studenog 1998. godine, u području najdubljeg dijela Sakadaškog jezera, uzimani su jedanput mjesečno uzorci vode za analizu fizikalno-kemijskih parametara vode (temperature, koncentracije otopljenog kisika i kemijske potrošnje kisika) i dva uzorka sedimenta za kvalitativnu i kvantitativnu analizu meiofaune. Grabilom, koje pokriva površinu od 100 cm², uzimani su uzorci sedimenta, fiksirani u 4%-tnom formalinu i obojeni s rose bengal. Metodom elutracije na 75 µm situ izdvojeni su predstavnici meiofaune (Uhlig i dr., 1973.). Metodom po Seinhorst-u (1953.) načinjeni su trajni preparati Nematoda te determinirani do razine vrste ili roda. Predstavnici faune Rotatoria determinirani su pomoću ključeva Ruttner-Kolisko (1972.) i Koste (1978.).

Rezultati i diskusija

Tijekom istraživanja zabilježene su niske temperature vode (3,0–7,0 °C) u jesensko-/zimskom razdoblju te više temperature vode u proljeće (12,0–19,0 °C) i ljeto (16,0–25,0 °C). Kemijska potrošnja kisika (KPK) varirala je od 5,1 mgO₂/L (u studenom



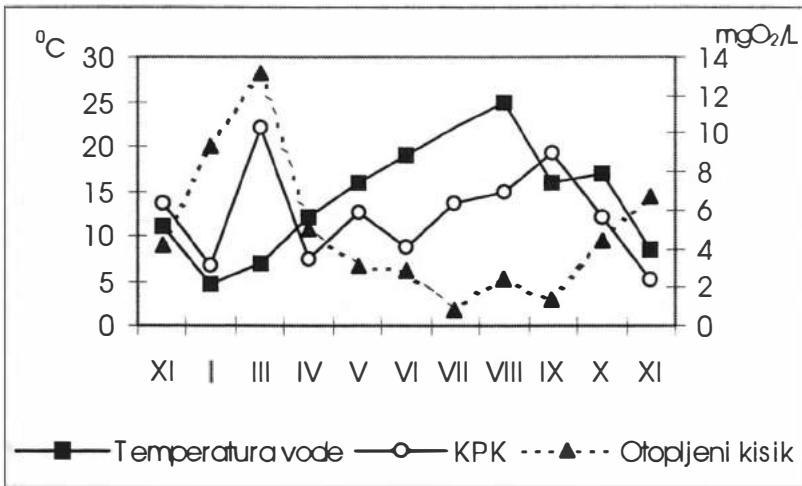
Slika 1. Geografski položaj istraživanog područja – Sakadaško jezero u Parku prirode Kopački rit.

1998.) do $22,0 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (u ožujku 1998.). Najniže vrijednosti otopljenog kisika zabilježene su u ljetnim mjesecima: $0,83 \text{ mgO}_2/\text{L}$ u srpnju, $2,45 \text{ mgO}_2/\text{L}$ u kolovozu i $1,28 \text{ mgO}_2/\text{L}$ u rujnu (Slika 2.).

Granulometrijska analiza uzoraka pokazala je da se na istraživanom lokalitetu nalazi pjeskoviti sediment s većom količinom čestica organskog detritusa.

Ukupno je zabilježeno 10 skupina meiofaune: Nematoda, Rotatoria, Copepoda, Oligochaeta, Gastrotricha, Turbellaria, Cladocera, Tardigrada, naupliji i ličinke kukaca. Najveću je gustoću unutar meiofaune imala skupina Nematoda (do $93,5 \text{ jed.} / 100 \text{ cm}^2$) (Slika 3.). Dobiveni se rezultati poklapaju s istraživanjima koja su proveli Prejs i Papinska (1983.), Prejs i Bernard (1985.) i Vidaković (1996.) te utvrdili da u eutrofnim jezerima brojnošću dominira fauna Nematoda. U biocenotičkoj strukturi faune Nematoda bila je zastupljena ukupno 21 vrsta. Najveću gustoću populacija imale su vrste *Tobrilus gracilis* ($93,5 \text{ jed.} / 100 \text{ cm}^2$) i *Eumonhystera filiformis* ($16,0 \text{ jed.} / 100 \text{ cm}^2$). U vrijeme niske koncentracije kisika (u srpnju i rujnu), u fauni Nematoda zabilježena je isključivo vrsta *Tobrilus gracilis*. Utvrđena je pozitivna korelacija između brojnosti jedinki vrste *Tobrilus gracilis* i temperature vode (Slika 5.).

Gustoća Rotatoria kretala se od $5 \text{ jed.} / 100 \text{ cm}^2$ u travnju do $72 \text{ jed.} / 100 \text{ cm}^2$ u rujnu (Slika 3.). Od ukupno zabilježenih 12 vrsta Rotatoria najbrojnije su bile populacije vrsta *Dicranophorus sp.* i *Brachionus diversicornis diversicornis*. U ljetnim mjesecima, kada su zabilježeni anoksični uvjeti, najveću je gustoću populacija imala vrsta *Keratella cochlearis f. tecta* ($47 \text{ jed.} / 100 \text{ cm}^2$) za koju je poznato (Miksch I, 1989.) da je tolerantna na niske koncentracije otopljenog kisika.



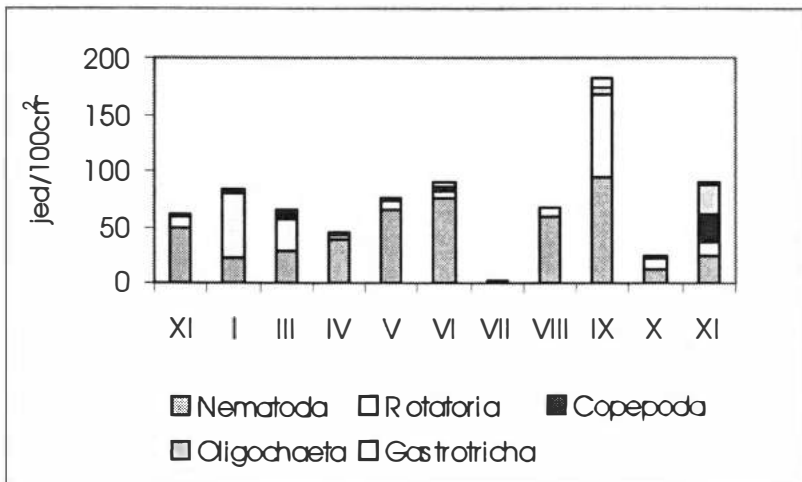
Slika 2. Fizikalno-kemijski parametri vode Sakadaškog jezera

Iz svega iznijetog, može se zaključiti da promjene ekoloških uvjeta, kao što su temperatura vode i koncentracija otopljenog kisika, utječu na sastav i gustoću skupina meiofaune.

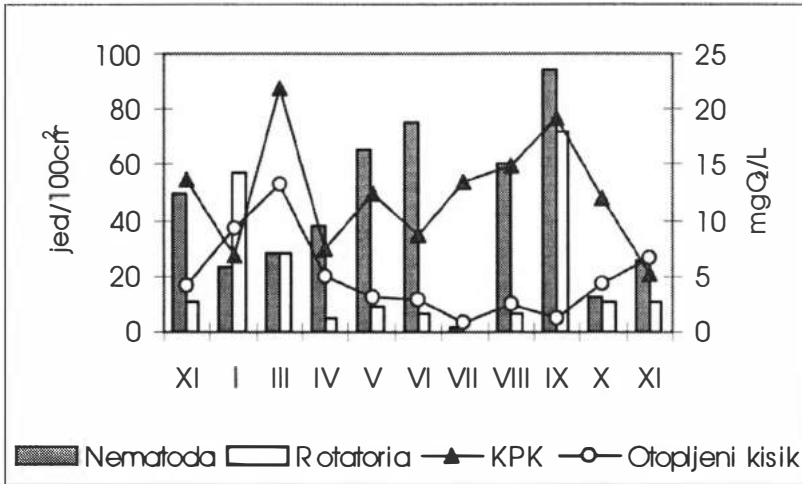
Zahvala

Ovo istraživanje financirano je od strane Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske.

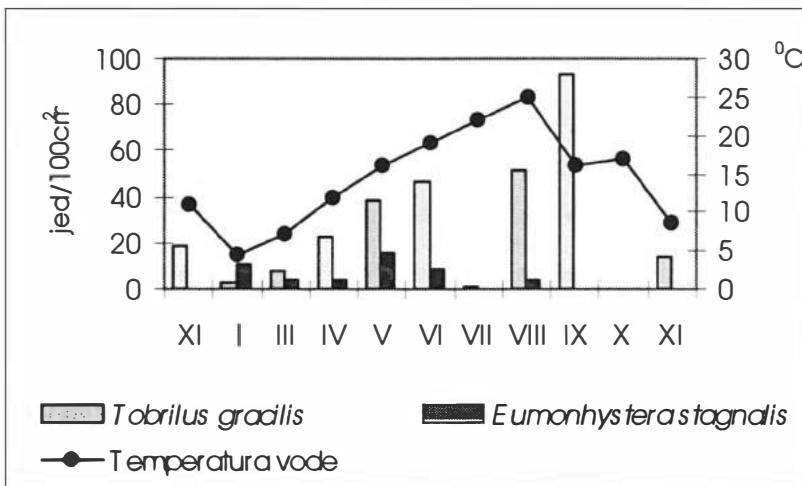
Posebno se zahvaljujemo Željku Zahiroviću i Šandoru Šajtošu na pomoći pri terenskom i laboratorijskom radu.



Slika 3. Sastav i gustoća meiofaune sedimenta najdubljeg dijela Sakadaškog jezera



Slika 4. Odnos dominantnih skupina meiofaune i nekih kemijskih parametara vode



Slika 5. Odnos dominantnih vrsta Nematoda i temperature vode

Literatura

- Apha, (1985): Standard method for examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington, D.C. 16thEd, 1481 pp.
- Duplisa, D.E., Hargrave, B. T. (1996): Response of meiobenthic size-structure, biomass and respiration to sediment organic enrichment. *Hydrobiol.* 339: 161–170.
- Karabin, A. (1985a): Pelagic zooplankton (Rotatoria + Cladocera) variation in the process of lake eutrophication. I. Structural and quantitative features. *Ekol. Pol.* 33(4): 567–644.
- Koste, W. (1978): Rotatoria Die Rädertiere Mitteleuropas. Gebrüder Borntraeger Berlin-Stuttgart. 673 pp.
- Mikschi, E. (1989): Rotifer distribution in relation to temperature and oxygen content. *Hydrobiol.* 186/187 209–214.

- Nogrady, T., Wallace, R.L., Snell, T. W. (1993): Rotifera. Volume 1: Biology, Ecology and Systematics. SPB Academic Publishing bv, The Hague. 142 pp.
- Prejs, K., Papinska, K. (1983): Ecological characteristics of lakes in North-eastern Poland versus their trophic gradient. XI. Meiobenthos and near-bottom meiofauna. *Ekol. Pol.* 31: 477–493.
- Prejs, K., Bernard, B. (1985): Meiobenthos of man-made Lake Zegrzynskie. *Ekol. Pol.* 33: 499–509.
- Ruttner-Kolisko, A. (1972): III. Rotatoria. In: *Die Binnengewässer, XXVI, Das Zooplankton der Binnengewässer, 1. Teil: 99–234.* Stuttgart.
- Seinhorst, J.W. (1953): A rapid method for the transfer of nematodes from fixative to anhydrous glycerin. *Nematologica*. 4 : 67p.
- Traunspurger, W. (1996): Distribution of benthic nematodes in the littoral of the oligotrophic lake (Königssee, National Park Berchtesgand, FRG). *Arch. Hydrobiol.* 135: 393–412.
- Uhlig, G., Thiel, H., Gray, J.S. (1973): The quantitative separation of meiofauna. A comparison of methods. *Helgolander wiss. Meeresunters.* 25: 173–195.
- Vidaković, J. (1996): Meio- and nematofauna from two man-made lakes. *IAD*: 303–307.

Autori

Irella Bogut

Mr. sc. Daniela Novoselić

Prof. dr. sc. Jasna Vidaković

Sveučilište J. J. Strossmayera, Pedagoški fakultet, Zavod za biologiju, L. Jägera 9, 31000 Osijek, Hrvatska



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.22.

Složeni procesi obnavljanja Rogozničkog jezera

Irena Ciglenečki, Damir Viličić, Marina Carić, Božena Čosović

SAŽETAK: U vremenskom razdoblju od rujna 1997. do rujna 1998. godine, nakon katastrofalne anoksije u Rogozničkom jezeru, praćene su mjesečne promjene temperature, saliniteta, koncentracije otopljenog kisika, raspodjele otopljene organske tvari, površinsko aktivnih tvari, koncentracije reduciranih specija sumpora (sulfid, elementni sumpor, tiosulfat), gustoće stanica fitoplanktona, te hranjivih soli (amonijak, nitrati, silikati, fosfati). Navedenim ispitivanjima pratila se dinamika procesa obnavljanja Rogozničkog jezera. Vrijednosti koncentracije kisika i reduciranih sumpornih specija vratile su se na uobičajene u vremenu od mjesec dana, dok je oporavak jezera s obzirom na vrstu i gustoću fitoplanktonskih stanica, te raspodjelu i koncentraciju hranjivih soli trajao duže (1 god.). Izrazito visoke koncentracije hranjivih soli duž cijelog vodenog stupca ($[\text{NH}_4^+]$ do 200 μM ; $[\text{NO}_3^-]$ do 8 μM ; $[\text{PO}_4^{3-}]$ do 14 μM ; $[\text{SiO}_4^{4-}]$ do 300 μM) zabilježene nekoliko mjeseci nakon izmiješavanja vodenih slojeva ukazuju na vrlo složene i spore procese obnavljanja jezera.

KLJUČNE RIJEČI: anoksija, sumporne specije, nutrienti, fitoplankton, Rogozničko jezero

Complex Processes of the Rogoznica Lake Regeneration

SUMMARY: After disastrous anoxia of the Rogoznica Lake, monthly temperature variations, salinity, dissolved oxygen concentrations, dissolved organic matter distribution, surfactants, phytoplankton cells density, reduced sulphur species concentrations (sulphide, elementary sulphur, thiosulfate), and nutrients (ammonium, nitrates, silicates, phosphates) were monitored during the period between September 1997 and September 1998. The subject investigations were undertaken to monitor the process of the Rogoznica Lake regeneration. Within a month, oxygen concentrations and reduced sulphur species returned to their normal values, while the lake regeneration with respect to species and density of phytoplankton cells, and distribution and concentration of nutritious salts took longer time (a year). Notably high concentrations of nutritious salts along the entire water column ($[\text{NH}_4^+]$ to 200 μM ; $[\text{NO}_4^-]$ to 8 μM ; $[\text{PO}_4^{3-}]$ to 14 μM ; $[\text{SiO}_4^{4-}]$ to 300 μM) were recorded several months after the water strata had been mixed, and they point to a very complex and slow lake regeneration processes.

KEYWORDS: anoxia, sulphur species, nutrients, phytoplankton, Rogoznica Lake

Uvod

Rogozničko jezero (Zmajevsko oko) nalazi se na poluotoku Gradina između uvala Soline i Koprišće u blizini Rogoznice. Površina jezera iznosi 5300 m², a najveća izmjerna dubina je 15 m (1,2). Jezero je okruženo okomitim stijenama rudistnih vapnenaca gornjo kredne starosti, s lećama dolomita, visine od 4 do 23 m. Jezero se može okarakterizirati kao krška usjelina, čiji je postanak najvjerojatnije vezan uz urušavanje svoda prvotne podzemne špilje nastale korozivskim i erozijskim djelovanjem podzemnih voda. Nastala šupljina je ispunjena morskom vodom uslijed podizanja razine mo-

ra po završetku posljednjeg ledenog doba. Postojanje mediolitoralne stepenice rezultat je prigušenih morskih mijena koje se osjećaju u jezeru, što govori o postojanju dodira između jezerske i morske vode putem pukotina i kanalića u poroznom vapnencu (2). Bez obzira na vjerojatno stalnu izmjenu vode između jezera i okolnog mora u pridnom sloju nastaju anoksični uvjeti koji su najizraženiji u vrijeme proljetne i ljetne stratifikacije (Slika 1. A) (3,4). Anoksični vodeni sloj bogat je sumpornim spojevima (do 5×10^{-4} M uglavnom u obliku sulfida i elementnog sumpora) i amonijakom (do 100 μ M). Također u tom vodenom sloju povišene su vrijednosti otopljenog organskog ugljika (DOC) (iznad 2 mg/l), površinsko aktivnih tvari (SAS) (0.3 mg/l, ekvivalentno koncentraciji Tritona-X-100), te hranjivih soli ($[\text{PO}_4^{3-}]$ do 10 μ M; $[\text{SiO}_4^{4-}]$ do 150 μ M), ukazujući na pojačanu remineralizaciju organske tvari.

Potkraj rujna 1997. godine u Rogozničkom jezeru došlo je do masovnog pomora organizama uz istovremenu promjenu boje jezerske vode iz uobičajeno plave u mliječnožutu. U navedenom periodu površinski sloj jezera (0–2 m) postaje zasićena otopina slabo topljivog elementnog sumpora u moru (maksimalna topljivost elementnog sumpora u vodi iznosi oko 1.7 μ M), pa otuda i potječe njegova mliječnožuta boja i neprozirnost. Nedostatak kisika u cijelom jezeru, izotermija i prisutnost reduciranih sumpornih vrsta u cijelom okomitom profilu vodenog stupca upućuju na to da je došlo do miješanja vodenih slojeva u jezeru, pri čemu se voda iz dubljih slojeva bogata sulfidom izmiješala s vodom bogatijom kisikom (Slika 1. B).

U ovom radu praćene su mjesečne promjene temperature, saliniteta, koncentracije otopljenog kisika, raspodjele otopljene organske tvari, površinsko aktivnih tvari, gustoće stanica fitoplanktona, koncentracije reduciranih vrsta sumpora (sulfid, elementni sumpor, tiosulfat), te hranjivih soli (amonijak, nitrati, silikati, fosfati) u Rogozničkom jezeru, u periodu od katastrofalne anoksije (rujan 1997.) pa do rujna 1998. godine. Navedenim ispitivanjima pratila se dinamika procesa obnavljanja Rogozničkog jezera.

Eksperimentalni dio

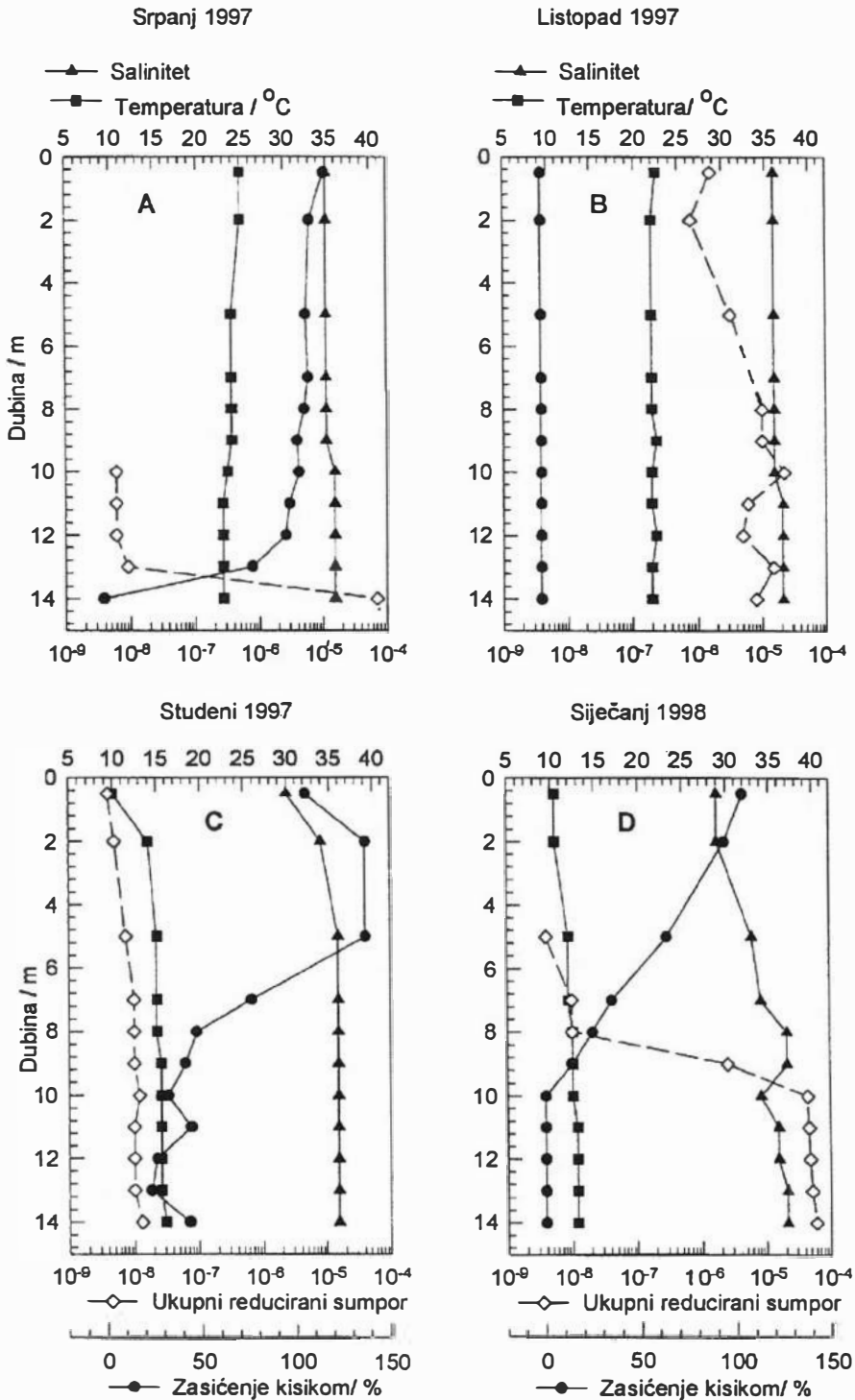
Uzorci jezerske vode uzimani su s različitih dubina (okomiti profil jezerske vode) s Niskinovim uzorkivačem sa središnje postaje. Uzorci za analizu sumpornih vrsta i kisika uvijek su uzimani prvi, odmah nakon što je Niskin uzorkivač izvučen na čamac. Kako bi se očuvali anoksični uvjeti u uzorku, pretakanje uzorka iz uzorkivača u staklene boce vršeno je pod strujom dušika preko silikonskog crijeva, uz ispiranje boce s nekoliko volumena uzorka prije zatvaranja s teflonskim čepom.

Iz boca za uzorke kisik je uklanjan strujom dušika neposredno prije ulijevanja uzorka.

Temperatura i salinitet određivani su sa živinim termometrom i refraktometrom (Atago, Japan).

Za elektrokemijsko određivanje sumpornih spojeva (sulfida, polisulfida, elementnog sumpora, tiosulfat) koje se temelji na interakciji između različitih sumpornih vrsta i živine elektrode korištene su sljedeće tehnike: fazno-osjetljiva voltometrija izmjenične struje i voltetrija s linearnom promjenom potencijala (3,5,6).

Sadržaj otopljenog kisika određen je Winklerovom metodom prema Stricklandu i Parsonsu (7).



Slika 1. Okomita raspodjela saliniteta, temperature, reduciranih sumpornih vrsta i zasićenja kisikom u vodenom stupcu Rogozničkog jezera u srpnju, listopadu i studenom 1997., te siječnju 1998. godine.

Određivanje otopljenog organskog ugljika (DOC) vršeno je postupkom visoko temperature katalitičke oksidacije s instrumentom TOC-500 Analyzer Shimadzu (Japan), a određivanje površinsko aktivnih tvari vršeno je polarografijom izmjenične struje (mjerenje van faze, i izraženo kao ekvivalent Tritona-X-100) (8).

Gustoća i vrsta fitoplanktona određivani su metodom inverznog mikroskopa prema Utermölu (9).

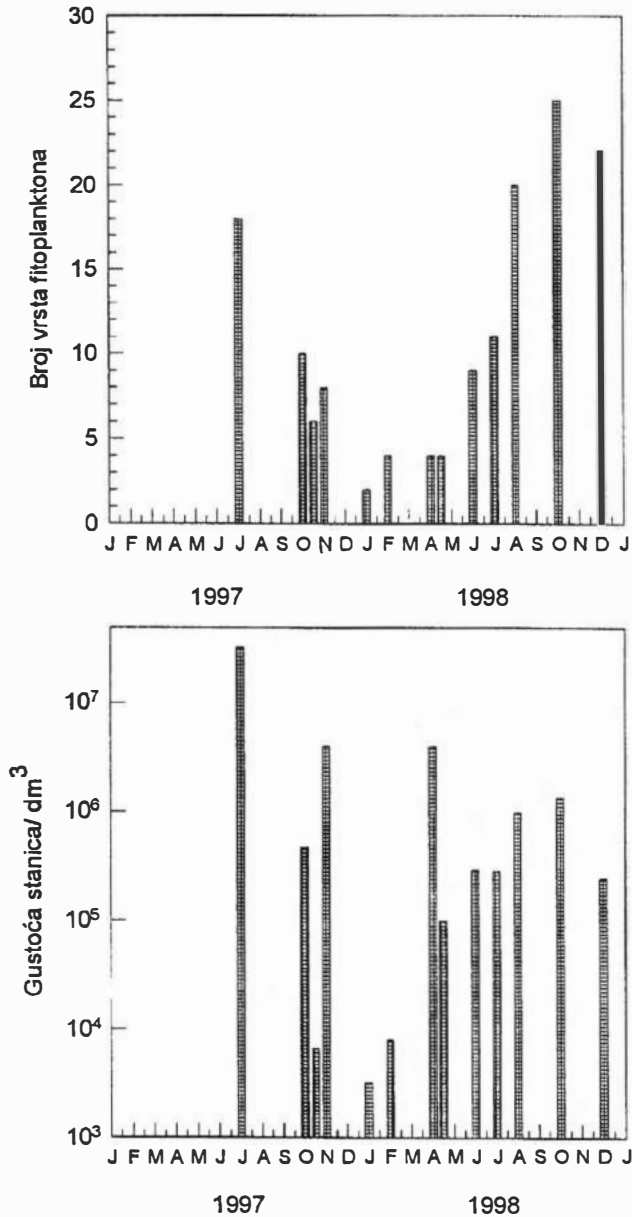
Hranjive soli određivane su standardnom oceanografskom metodom prema Stricklandu i Parsonsu (7).

Rezultati i diskusija

Nakon izmiješavanja vodenih slojeva u Rogozničkom jezeru krajem rujna 1997. (Slika 1. B) vrijednosti saliniteta, temperature, kisika i reduciranih sumpornih specija vratile su se na uobičajene u relativno kratkom vremenskom periodu od mjesec dana. Tako su već u studenome 1997. godine (Slika 1. C) u cijelom okomitom vodenom stupcu Rogozničkog jezera zabilježeni oksični uvjeti s jako izraženim koncentracijskim gradijentom otopljenog kisika u prvih 7 m. Kao rezultat fitoplanktonskog cvata dinoflagelata u površinskom sloju, na dubinama od 2 i 5 m zabilježena je hiperprodukcija kisika s maksimalnim zasićenjem od 140% (Slika 1. C). Koncentracija reduciranih sumpornih specija u istom periodu bila je relativno niska i jednolična u cijelom vodenom stupcu (oko 10^{-8} M, uglavnom u obliku S^0).

Jako izražena okomita stratifikacija jezerske vode s anoksičnim uvjetima u donjem vodenom sloju (ispod 9 m) i relativno visokim koncentracijama reduciranih sumpornih vrsta (do 10^{-4} M) zabilježena je u siječnju (Slika 1. D) i veljači 1998. godine. Granica između slojeva oksične i anoksične vode pružala se na dubini od 9 m u siječnju odnosno na 10 m u veljači, te na 11 i 12 m u travnju. U proljetnim mjesecima 1998. dolazi do smanjenja anoksičnog vodenog sloja uslijed pojačanog fitoplanktonskog cvata i hiperprodukcije kisika koji se u travnju proširio sve do dubine od 10 m. Tako su u ljetnim mjesecima (lipanj, srpanj, kolovoz) anoksični uvjeti zabilježeni samo u pridnenom vodenom sloju (ispod 12 m) gdje je i koncentracija reduciranih sumpornih vrsta porasla do 5×10^{-4} M. Iako se prema vrijednostima zasićenja kisikom može govoriti o pojačanoj fitoplanktonskoj aktivnosti u navedenom periodu ispitivanja, rezultati o gustoći stanica mikrofitoplanktona pokazuju drugačije. Nakon izmiješavanja vodenih slojeva u rujnu 1997. godine mikrofrakcija fitoplanktona bila je zastupljena s relativno malim brojem vrsta i stanica, za razliku od perioda prije izmiješavanja (Slika 2.) (4,10), tako da se može zaključiti da je anoksija u jezeru bila stres za fitoplanktonsku populaciju.

Oporavak Rogozničkog jezera s obzirom na vrstu i gustoću fitoplanktonskih stanica, te raspodjelu i koncentraciju hranjivih soli trajao je duže (1 godina) i može se reći da je još uvijek u tijeku. Izrazito visoke vrijednosti hranjivih soli duž cijelog vodenog stupca zabilježene su i nekoliko mjeseci nakon izmiješavanja vodenih slojeva ($[NH_4^+]$ do 200 μ M; $[NO_3^-]$ do 8 μ M; $[PO_4^{3-}]$ do 14 μ M; $[SiO_4^{4-}]$ do 300 μ M). Ako se vodeni stupac u jezeru razmatra po karakterističnim vodenim slojevima može se zaključiti kako su koncentracije silikata, fosfata i amonijaka u površinskom (0–2 m) i srednjem sloju (5–9 m) postigle relativno uobičajene vrijednosti ($[SiO_4^{4-}]$ do 50 μ M; $[PO_4^{3-}]$ do 1 μ M; $[NH_4^+]$ do 10 μ M) nakon nekoliko mjeseci, dok su vrijednosti hranjivih soli u pridnenom sloju (10–13 m) i na dnu (14 m) još uvijek znatno povišene i godinu dana



Slika 2. Broj vrsta (A) i ukupna gustoća (B) stanica fitoplanktona u vodenom stupcu Rogozničkog jezera.

nakon izmiješavanja, ukazujući na još uvijek intenzivne mikrobiološke procese remineralizacije. Raspodjela nitrata u vodenom stupcu bila je jednolična u navedenom periodu ispitivanja, izuzev u zimskim mjesecima (studeni, prosinac, siječanj) kada su zabilježene relativno visoke koncentracije (do 8 μM) u površinskom i srednjem sloju. S obzirom da, mikrobiološke analize nisu rađene, te procesi nitrifikacije nisu potvrđeni, a da je u navedenim mjesecima bilo dosta padalina na području Rogoznice

(123 mm u studenom, 85 mm u prosincu, za razliku od 40 mm u listopadu 1997.) može se nagađati o mogućnosti povećanog donosa nitrata ispiranjem s okolnog tla.

Zaključak

Iz svega što je iznijeto može se zaključiti kako su procesi obnavljanja jednog složenog ekosustava kao što je to Rogozničko jezero s brojnim i intenzivnim biogeokemijskim procesima, čiji su prirodni sklad i ravnoteža bili narušeni djelovanjem čovjeka, vrlo složeni i dugotrajni.

Literatura

1. S. Zvonarić, Potraga za legendarnim zmajem u Zmajevu jezeru, *Priroda* (Zagreb), **1** (1979) 27.
2. G. Mihelčić, D. Marguš, Osnove biogeokemijske karakteristike Rogozničkog jezera, *Pomorski zbornik* (Rijeka), **30** (1992) 619.
3. I. Ciglenečki, Specijacija sumpora u oksidnim i anoksidnim uvjetima u moru, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1997.
4. I. Ciglenečki, Z. Kodba, D. Viličić, B. Čosović. Seasonal variation of anoxic conditions in the Rogoznica Lake, *Croat. Chem. Acta*, **71** (2) (1998) 217–232.
5. G.W. Luther, A.E. Giblin, R. Varsolona. Polarographic analysis of sulfur species in marine porewaters. *Limnol. Oceanogr.*, **30** (4) (1985) 727–737.
6. I. Ciglenečki, B. Čosović. Electrochemical determination of thiosulfate in seawater in the presence of elemental sulfur and sulfide. *Electroanalysis*, **9** (10) (1997) 1–7.
7. J.D.H. Strickland, T. R. Parsons. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, **167** (1972) 310.
8. B. Čosović, V. Žutić, V. Vojvodić, T. Pleše. Determination of surfactant activity and anionic detergents in seawater and sea surface microlayer in the Mediterranean. *Mar. Chem.* **17** (1985) 127–139.
9. H. Utermohl. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton Methodik, *Mitt. int. Limnol.*, **9** (1958) 1–38.
10. D. Viličić, I. Marasović, G. Kušpilić. The ebridian microflagellate *Hermesinum adriaticum* Zach. in the Adriatic Sea. *Arch Protistenk.* **147** (1996/97) 373–379.

Autori

Dr. sc. Irena Ciglenečki i dr. sc. Božena Čosović

Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, Bijenička 54, Zagreb

Dr. sc. Damir Viličić

Prirodoslovno-matematički fakultet, Zavod za botaniku, Rooseveltov trg 6, Zagreb

Dr. sc. Marina Carić

Institut za oceanografiju i ribarstvo, Zavod za ekologiju planktona, Dubrovnik, Damjana Jude 11



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.23.

Raspodjela jodida i jodata u vodi Rogozničkog jezera

Vesna Žic, Marko Branica

SAŽETAK: Specifične sezonske vertikalne raspodjele jodida i jodata u studenom 1993., travnju 1994., srpnju 1998. i listopadu 1998. godine određene su u vodi malog, zatvorenog i eutroficiranog vodenog sustava (Rogozničko jezero). U analizi kemijskih vrsta otopljenog joda korištene su voltametrijske metode. Diferencijalnom pulsnom voltametrijom (DPV) određen je jodat, a pravokutnovalnom voltametrijom katodnog otapanja s akumulacijom jodid (SWCSV). Usporedba rezultata prije i poslije pojave potpune anoksije vodenog stupca jezera u listopadu 1997. godine ukazuje na njezinu ključnu ulogu u izrazitom povećanju koncentracija ukupno otopljenih kemijskih vrsta joda. Vertikalne su raspodjele jodida i jodata 1998. godine zadržale svoje karakteristične osobine; dva koncentracijska maksimuma jodida (kod granice oksija-anoksija i u pridnenom dijelu) te povećanje koncentracije jodida i smanjenje jodata vezano uz pad kisika (redoks potencijala) u sustavu.

KLJUČNE RIJEČI: jodid, jodat, Rogozničko jezero

Iodide and Iodate Distribution in the Rogoznica Lake

SUMMARY: Specific seasonal profiles of iodide and iodate in September 1993, April 1994, July 1998 and October 1998 were determined in the water column of small, confined and eutrophicated water system (the Rogoznica lake). Iodate and iodide were determined using voltammetric methods, differential pulse voltammetry (DPV), and cathodic stripping square wave voltammetry (SWCSV). According to the results obtained, a complete anoxia which occurred in October 1997 played a major role in significant increase in concentrations of total dissolved iodine species in anoxic zone. Characteristic distributions of iodine species, i.e. two concentration maxima of iodide (at the oxic-anoxic interface and near the bottom water) and increasing concentrations of iodide and decreasing iodate according to the oxygen concentration (redox-potential) drop were observed in 1998.

KEYWORDS: iodide, iodate, Rogoznica Lake, anoxic zone

Uvod

U vodenim sustavima jod se pojavljuje u više oksidacijskih stanja i pokazuje znatno veću geokemijsku i biološku reaktivnost od drugih makrokonstituenata. U morskoj vodi prema termodinamičkoj ravnoteži, jodat bi trebao biti predominantan tj. omjer jodat/jodid trebao bi iznositi $10^{13.5}$ kod $pH = 8.1$, $pE = 12.5$ ¹. Međutim, eksperimentalno je utvrđeno da je u morskoj vodi taj omjer znatno niži tj. samo oko 2:1 ($c_{IO_3^-} \sim 0,4 \mu M$, $c_{I^-} < 0,2 \mu M$). Realni sustavi ne odgovaraju termodinamičkim ravnotežama, pa se ne mogu okarakterizirati samo jednom pE vrijednošću². Odstupanja su najizraženija u priobalnom području, riječnim ušćima i bazenima u kojima pojačana biološka produkcija dovodi do trajne ili sezonske anoksije. U takvim anoksičnim sustavima raspodjelu kemijskih vrsta joda određuju kemijske reakcije redukcije jodata s

hidrogensulfidnim i sulfidnim ionima^{3,4}, mikrobiološki i remineralizacijski procesi⁵ te procesi resuspenzije sitnozrnatog sedimenta i s njim udružene intersticijske vode. Najizrazitije promjene uočene su na granici koja odjeljuje oksične od anoksičnih uvjeta^{6,7}.

Za određivanje niskih koncentracija jodida i jodata u vodenim sustavima razvijene su elektroanalitičke metode. Najčešće korištena metoda za izravno određivanje jodata je diferencijalna pulsna polarografija (DPP)^{8,9} uz granicu osjetljivosti od 20 nmol l^{-1} . Pravokutnovalna voltometrija katodnog otapanja s akumulacijom (SWCSV) omogućuje određivanje subnanomolarnih koncentracija jodida ($0,1\text{--}0,2 \text{ nmol l}^{-1}$) u prirodnim uzorcima¹⁰.

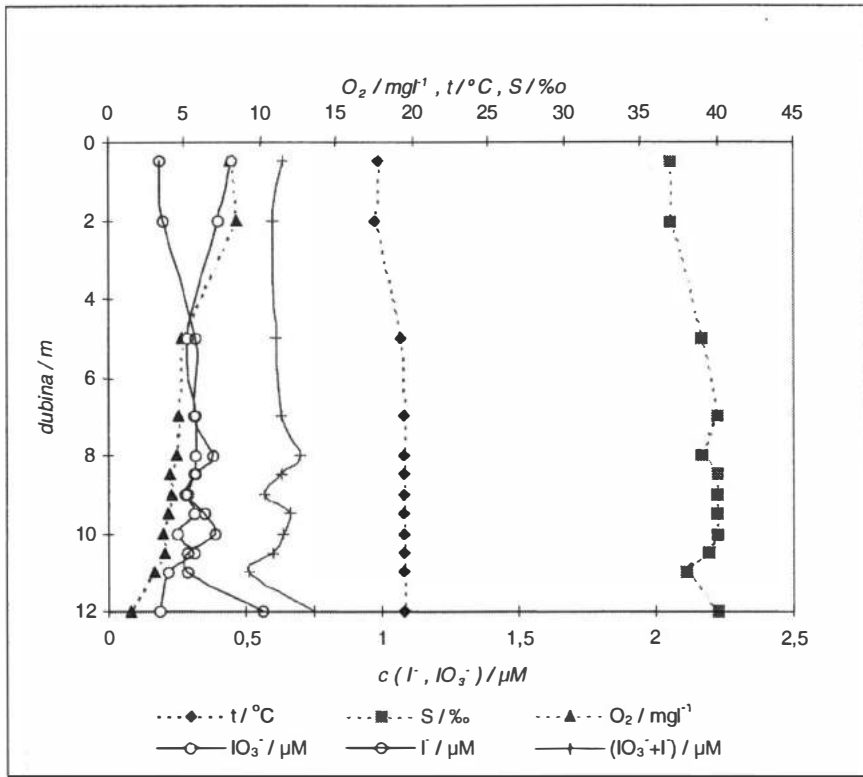
Rogozničko jezero krška je usjeklina ispunjena morskom vodom, smještena na poluo-toku Gradina u blizini Rogoznice, površine 5300 m^2 i najveće dubine od 15 m. Jezerska voda povezana je s morskom putem pukotina i kanalića u poroznom vapnencu¹¹. Jezero je pogodno za proučavanje biogeokemijskih procesa praćenjem raspodjele raznih redoks stanja joda⁶ zbog specifičnih fizičko-kemijskih svojstava jezerske vode: sezonski prouzročena termoklina i haloklina, visoke koncentracije nutrijenata¹², prisutnost reduciranih sumpornih vrsta¹³ i izražene fitoplanktonske aktivnosti¹⁴.

Uzorkovanje i analiza uzoraka

U srpnju i listopadu 1998. godine sakupljeni su uzorci jezerske vode, s 5 litarskim Niskin-ovim bocama. Uzorci vode namijenjeni za određivanje kemijskih vrsta joda sakupljeni su u plastične 0,5 l boce, uz sačuvanu anoksičnost pridnenih uzoraka inertnom atmosferom tj. dušikom. Temperatura i salinitet uzoraka određeni su »in situ« Hg-termometrom i refraktometrom (Atago, Japan), a sadržaj otopljenog kisika po Winkleru. Koncentracije jodida određene su metodom pravokutnovalne voltetrije katodnog otapanja s akumulacijom (SWCSV)¹⁰, a jodata diferencijalno pulsnom voltetrijom (DPV)⁶.

Rezultati i rasprava

Na slikama od 1. do 4. prikazane su vertikalne raspodjele jodida, jodata, kisika, temperature i saliniteta u vodi Rogozničkog jezera, i to: u studenom 1993., travnju 1994, srpnju 1998 i listopadu 1998. godine. Mogu se vidjeti izražene piknokline u travnju 1994. (haloklina) te srpnju 1998. (termoklina), dok u srpnju 1993. i listopadu 1998. nema izraženijih promjena u salinitetu i temperaturi po dubini vodenog stupca jezera. Samo u studenom 1993. kisik je utvrđen na svim dubinama. Raspodjele jodida i jodata ukazuju na redoks osjetljivu te izraženu biofilnu prirodu joda u vodenim sustavima. Tijekom listopada 1997. godine utvrđena je anoksija u cijelom vodenom stupcu¹⁵. Općenito, koncentracija jodata opada s dubinom u vrlo dobroj korelaciji s nestankom kisika, a koncentracije jodida rastu. Uočljiva su dva moguća koncentracijska maksimuma jodida, a rezultat su mikrobioloških, kemijskih i difuzijskih procesa. Prvi je zabilježen u blizini granice oksija/anoksija. Odstupanje u srpnju 1998. godine (sl. 3.), kada je taj maksimum pomaknut u oksični dio, može se objasniti izraženom piknoklinom. Budući da su utvrđene koncentracije jodida u tom dijelu znatno više od onih koje bi bile rezultat samo kemijskih reakcija redukcije jodata (s prisutnim hidrogensulfidnim i sulfidnim vrstama), dolazi do oslobađanja jodida iz organskih spojeva joda zbog razgradnje uginule biote. Drugi maksimum pojavljuje se u pridnenom dijelu



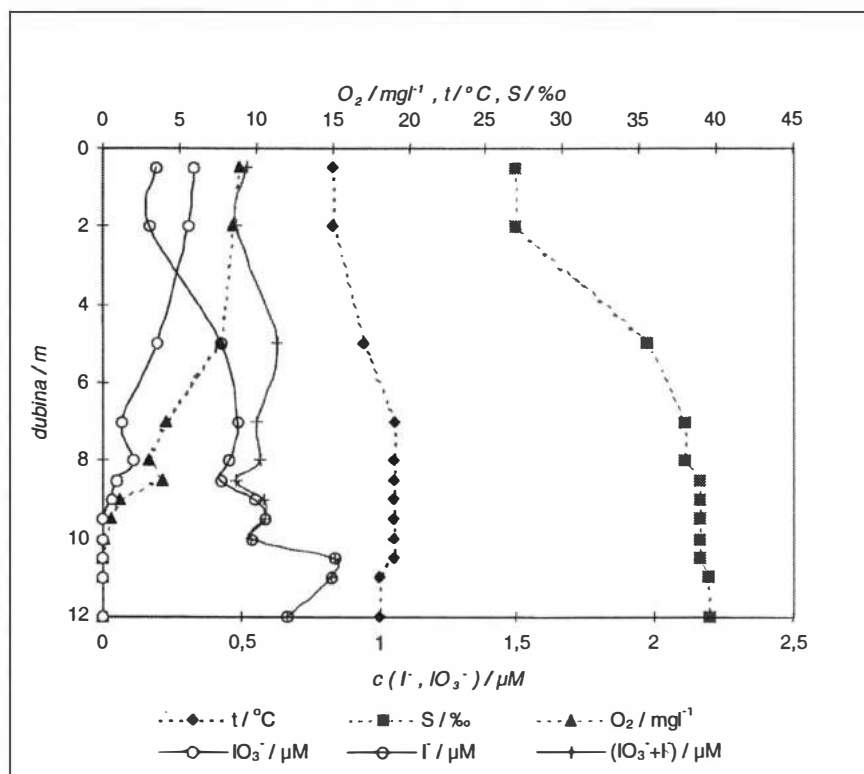
Slika 1. Vertikalne raspodjele temperature, saliniteta, kisika, jodida i jodata u vodi Rogozničkog jezera, studeni 1993.

kao rezultat remineralizacijskih i/ili difuzijskih procesa. Važno je napomenuti da je sediment jezera biogenog porijekla⁽¹⁶⁾, i jod se akumulira u fitoplanktonskim organizmima.

Usporede li se koncentracije jodida i jodata prije (sl. 1. i 2.) i poslije (sl. 3. i 4.) opće anoksije u listopadu 1997. godine može se vidjeti da uzorci sakupljeni 1998. godine sadrže znatno više otopljenog joda te su koncentracije jodida i do 2,5 puta više u pridnenom dijelu. Ovaj koncentracijski skok rezultat je biokemijskih procesa koji su se odvijali tijekom listopada 1997. godine kada je izražena eutrofikacija postupno proizročila hipoksične uvjete. Manjak kisika doveo je do pomora planktonskih i nektonskih organizama. Njihovim raspadom došlo je do potpunog iscrpljenja kisika i do oslobađanja joda iz stanica u obliku jodida, a u manjoj mjeri u obliku jodata.

Zaključak

Raspodjele otopljenih kemijskih vrsta joda u vodi Rogozničkog jezera rezultat su specifičnih fizičko-kemijskih karakteristika jezerske vode. Izražena biološka aktivnost u jezeru, stratificiranost vodenog stupca i pojava sezonskih anoksija ključni su faktori koji određuju njihovu preraspodjelu. Jod je esencijalni element za mnoge morske organizme, a pretvorba jodida u jodate određena je redoks potencijalom vodenog stupca. Primaran utjecaj na raspodjelu joda u jezerskoj vodi imaju kemijske reakcije re-

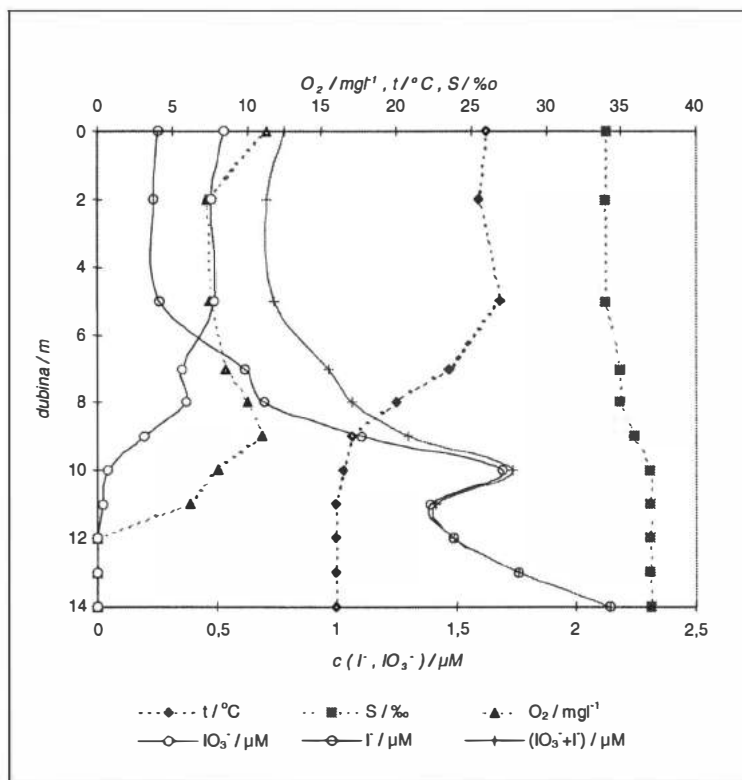


Slika 2. Vertikalne raspodjele temperature, saliniteta, kisika, jodida i jodata u vodi Rogozničkog jezera, travanj 1994.

dukcije jodata prisutnim sumpornim reducensima, te mikrobiološki i remineralizacijski procesi vezani uz prisutnu organsku tvar, kao i difuzijski procesi jodidnih iona iz biogenog sedimenta Rogozničkog jezera. Usporedba rezultata prije i poslije pojave potpune anoksije (listopad 1997. godine) ukazuje na presudan utjecaj biofilne prirode ovog elementa i njegove sposobnosti akumulacije u jezerskim organizmima na izrazito povećanje koncentracija jodida i jodata u 1998. godini.

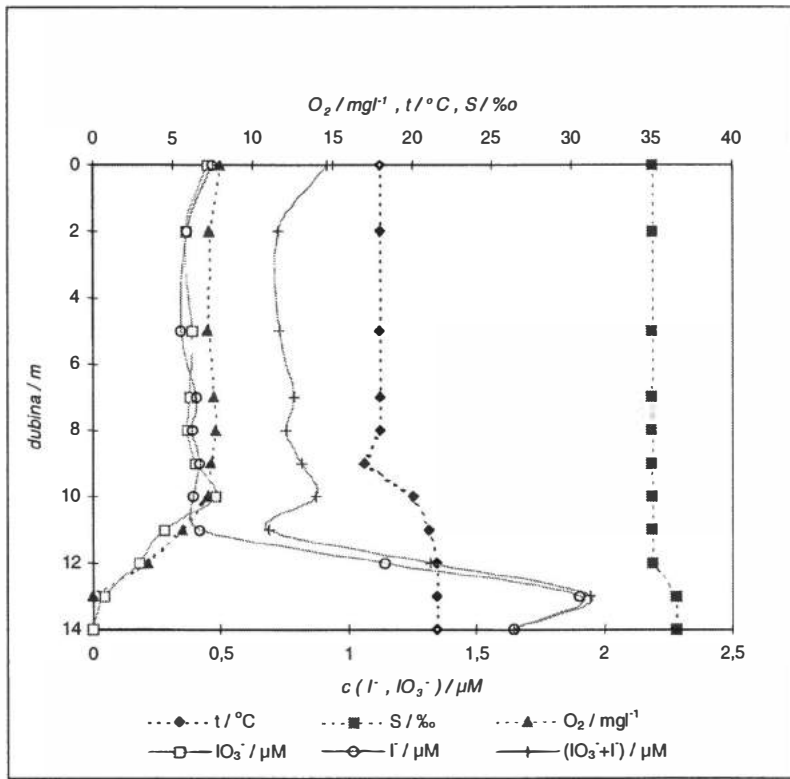
Literatura

1. Sillen, L. G., 1961. The physical chemistry of sea water. U: M. Sears (Ed.), *Chemical Oceanography*, (ur.) M. Sears, Publ. Am. Ass. Adv. Sci., 549–582
2. Liss, P. S., Herring, J. R., Goldberg, E. D., 1973. The Iodide/Iodate System in Seawater as a Possible Measure of Redox Potential. *Nature Phys. Sc.*, **242**: 108–109.
3. Smith, D. J., Butler, C. V., Airey, D., Sandars, G., 1990. Chemical Properties of a Low-Oxygen Water Column in Port Hacking (Australia): Arsenic, Iodine and Nutrients. *Mar. Chem.*, **28**: 353–364
4. Zang, J. Z. and Whitfield, M. 1986. Kinetics of inorganic redox reactions in seawater. *Mar. Chem.*, **19**: 121–137
5. Murray, J. W., Jannasch, H. W. Honjo, S., Anderson, R. F. Reefurgh, W. S., Top. Z., Friedrich, G. E., Codispoti, L. A., Izdar, E., 1989. Unexpected changes in the oxic/anoxic interface in the Black Sea. *Nature*, **338**: 411–413



Slika 3. Vertikalne raspodjele temperature, saliniteta, kisika, jodida i jodata u vodi Rogozničkog jezera, srpanj 1998.

- Stipaničev, V., 1994. *Magistarski rad*: Raspodjela kemijskih oblika joda u vodi Rogozničkog jezera. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- Luther, G. W., Campbell, T., 1991. Iodine speciation in the water column of the Black Sea. *Deep-Sea Res.*, **38**: S875–S882
- Petek, M. Branica, M., 1968. Determination of zinc and iodate in sea water by pulse polarography. *Rapport et proces-verbaux des reunions. Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Mediterranee.* **19**: 767; Petek, M. Branica, M., 1969. Hydrographic and biotical conditions in the north Adriatic. III. Distribution of ionic zinc and iodate. *Thalasia Jugosl.*, **5**: 257–261.
- Herring, J. R., Liss, P. S., 1974. A new method for the determination of iodine species in seawater. *Deep-Sea Res.*, **21**: 777–783.
- Luther, G. W., Swarth, C. B., Ullman, W. J., 1988. Direct Determination of Iodide in Sea water by Cathodic Stripping Square Voltammetry. *Anal. Chem.*, **60**: 1721–1724
- Mihelčić, G., Marguš, D., 1992. Osnovne biogeokemijske karakteristike Rogozničkog jezera. *Pomorski zbornik*, **30**: 619–631
- Buljan, M., 1956. Prvi nalazi sumporovodika (H_2S) u vodi Jadrana. *Mornarički glasnik (Split)*, **2**: 217–214
- Ciglencečki, I., Kodba, Z., Čosović, B., 1996. Sulfur species in Rogoznica Lake. *Mar. Chem.*, **53**: 101–110
- Ciglencečki, I., Kodba, Z., Viličić, D., Čosović, B., 1998. Seasonal Variation of Anoxic Conditions in the Rogoznica Lake. *Croat Chem. Ac.* **71** (2): 217–232



Slika 4. Vertikalne raspodjele temperature, saliniteta, kisika, jodida i jodata u vodi Rogozničkog jezera, listopad 1998.

15. Ciglenečki, I. i dr. (vidi poster)

16. Mihelčić, G., 1994. *Magistarski rad: Geokemijske i sedimentološke značajke zatvorenog anoksičnog morskog bazena (Rogozničko jezero). Sveučilište u Zagrebu, Zagreb*

Autori

Mr. Sc. Vesna Žic, e-mail: vzic@rudjer.irb.hr

Prof. dr. sc. Marko Branica, e-mail: branica@rudjer.irb.hr

Laboratorij za fizičku kemiju tragova, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Ruđer Bošković«, Bijenička cesta 54, PP 1016, 10 000 Zagreb, Hrvatska; tel: +385 1 4680 231



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.24.

Promjene u sastavu mikrofitoplanktona sjevernog Jadrana od 1972.–1994. godine

Danijela Mioković

SAŽETAK: Zbog antropogene eutrofikacije u sjevernom Jadranu mogle su se očekivati promjene u sastavu fitoplanktonske zajednice. Na temelju baze podataka sakupljenih na 6 stalnih postaja profila Rovinj - ušće rijeke Po (2245 uzoraka) od 1972.–1994. godine analizirane su najčešće i najbrojnije vrste u sjevernom Jadranu i promjene uobičajenih vrsta. Neke od najčešćih vrsta bile su *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Nitzschia longissima f. tenuirostris*, *Prorocentrum micans* i *Skeletonema costatum*. Tijekom istraživnog razdoblja došlo je do promjena u sastavu vrsta mikrofitoplanktona. Smanjila se ukupna koncentracija stanica i relativni udio nekih vrsta (*Nitzschia longissima*, *Pseudo-nitzschia seriata*) u korist drugih (*Skeletonema costatum*, *Cylindrotheca closterium*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*). Osim toga od kraja osamdesetih godina uočena je masovnija pojava nekih vrsta koje su prije bile vrlo rijetke (*Chaetoceros socialis*, *Chaetoceros insignis*, *Prorocentrum balticum*, *Prorocentrum minimum*).

KLJUČNE RIJEČ: mikrofitoplankton, dugoročne promjene, sjeverni Jadran

Changes in Composition of the Northern Adriatic Microphytoplankton (period 1972–1994)

SUMMARY: Anthropogenic eutrophication in the Northern Adriatic could cause expectable changes in composition of the phytoplankton community. Based on the data collected at six permanent stations at the Rovinj - Po River Estuary profile (2245 samples) during the period 1972–1994, the analysis was conducted of the most frequent and the most numerous species in the Northern Adriatic, and changes in common species. These were *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Nitzschia longissima f. tenuirostris*, *Prorocentrum micans* and *Skeletonema costatum*. during the period of investigation, the composition of microphytoplankton species changed. Total concentration of cells decreased and relative share of some species (*Nitzschia longissima*, *Pseudo-nitzschia seriata*) changed in favor of some other species (*Skeletonema costatum*, *Cylindrotheca closterium*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*). further, in late eighties rather massive occurrence was noticed of some species which earlier were very rare (*Chaetoceros socialis*, *Chaetoceros insignis*, *Prorocentrum balticum*, *Prorocentrum minimum*).

KEYWORDS: microphytoplankton, long-term changes, Northern Adriatic

Uvod

U sjevernom Jadranu utvrđena je povezanost antropogene eutrofikacije sa sastavom fitoplanktonske zajednice, dominacijom određenih vrsta u »cvjetanju« mora (Revelante i Gilmartin, 1985.) i masovnijom pojavom vrsta koje su prijašnjih godina bile rijetke (Degobbi, 1989.). Također je navedeno da je u zadnjih trideset godina došlo

do malih, ali značajnih promjena koncentracija otopljenih hranjivih soli (Precali, 1995.; Ivančić i Degobbi, 1998.), vjerojatno uzrokovanih promjenama u donosu rijeke Po.

U ovom se radu pokušalo odgovoriti na pitanje koje su najčešće i najbrojnije vrste, odnosno što je uobičajeni sastav mikrofitoplanktona u sjevernom Jadranu i da li je tijekom istraživnog razdoblja došlo do promjena uobičajenih vrsta.

Materijali i metode

Analizirana je baza podataka Zavoda za Istraživanje mora u Rovinju koja obuhvaća razdoblje od 1972.–1994. godine (2245 uzoraka). Odabran je najduži niz podataka nađen na 6 stalnih postaja profila Rovinj – ušće rijeke Po.

Uzorci vode sakupljeni su Van Dohrnovim crpcima i fiksirani Lugolovom otopinom uz dodatak natrijevog acetata. Kvalitativna i kvantitativna analiza fitoplanktona izvršena je pomoću obrnutog svjetlosnog mikroskopa metodom po Utermöhl (1958.). Taksonomija vrsta većinom je prilagođena prema Tomasu (1993., 1996.).

Rezultati i diskusija

Podaci su podijeljeni u 4 dijela po godišnjim razdobljima koja su određena prema promjenama koncentracija dušika i fosfora (Ivančić i Degobbi, 1998): od 1972.–1977. kada su koncentracije hranjivih soli bile niže, ali u porastu; od 1978.–1983. kada su prevladavale visoke koncentracije dušika i fosfora; od 1984.–1988. kada je došlo do sniženja koncentracije ortofosfata te od 1989.–1994. kada su koncentracije dušika ostale podjednako visoke, a ortofosfata dodatno snižene.

Ukupno je nađeno 344 vrste od kojih su neke određene samo do roda. Od njih je 50 nađeno samo jednom, a 62 vrste od 2–5 puta. Trinaest vrsta nađeno je više od 500 puta, a 2 vrste više od 1000 puta (tab. 1.). Najmanji broj vrsta nađen je od 1984.–1988. (97), kada je utjecaj eutrofikacije rijeke Po na ekosustav sjevernog Jadrana vjerojatno bio najizraženiji, dok je u ostalim razdobljima broj vrsta bio za oko 30% veći (120–140).

Vrste *Skeletonema costatum* i *Chaetoceros socialis* bile su najvažnije po gustoći populacija. Osim njih značajne su bile još i *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Pseudo-nitzschia seriata*, *Prorocentrum minimum*, *Chaetoceros insignis*, *Chaetoceros compressus*, *Lauderia sp.*, *Dactyliosolen fragilissimus* i druge. Od dinoflagelata najveće koncentracije postigli su već navedeni *Prorocentrum minimum*, zatim *P. balticum*, *Protoperdinium diabolus*, *Gymnodinium sp.*, *Prorocentrum triestinum* i *Prorocentrum micans*. Od kokolitoforida najveću koncentraciju postigla je *Syracosphaera pulchra*.

Ukupna koncentracija mikropilanktona je narasla tijekom istraživnog razdoblja, što je imalo podrijetlo u rastu koncentracija stanica dijatomeja, krizoficeja i haptoficeja (sl. 1.). Međutim, koncentracije dinoflagelata su ukupno gledano padale, a pri detaljnijoj analizi moglo se uočiti da su one bile najviše sredinom osamdestih godina. Prijašnja istraživanja pokazuju da se u razdoblju od 1969.–1991. koncentracije klorofila a nisu se značajno mijenjale (Degobbi et al., 1995.), iako je narasla koncentracija stanica fitoplanktona. Iz toga se može zaključiti da je došlo do pomaka prema manjim veličinskim kategorijama fitoplanktona.

Pojedinačno je analizirano 30 vrsta za koje je uočeno da im se mijenjala učestalost ili brojnost tijekom višegodišnjeg razdoblja.

Uočene su 3 glavne promjene:

Tablica 1. Vrste koje su u ukupnom broju uzoraka imale frekvenciju veću od 20%.

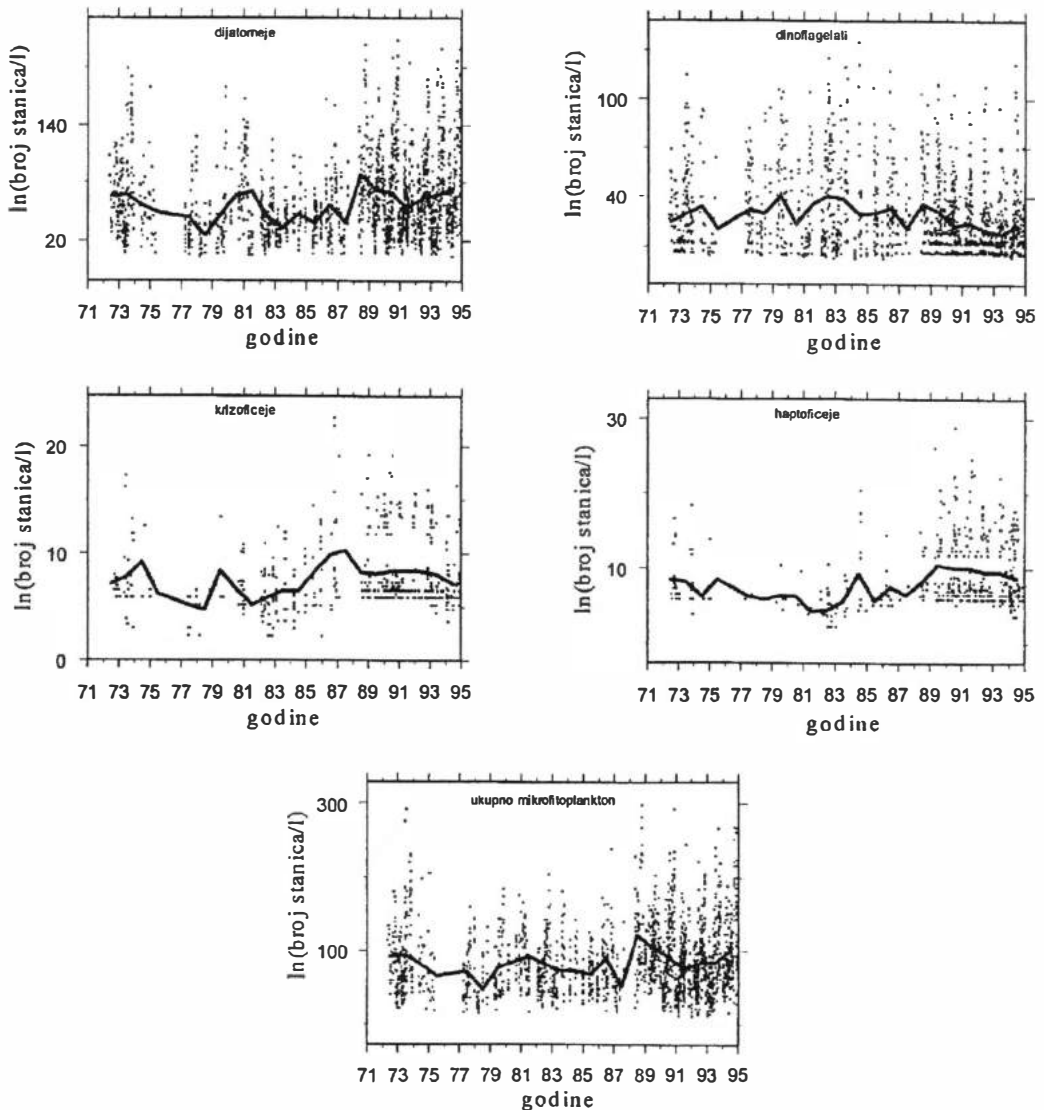
Ime vrste	F%
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve)	57,23
<i>HeidenDactyliosolen fragilissimus</i> (Bergon) Hasle comb. nov.	50,55
<i>Nitzschia longissima</i> f. <i>tenuirostris</i> Mereschowsky	41,78
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	40,53
<i>Navicula</i> sp.	36,79
<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i> (Cleve) Gran	33,63
<i>Gyrodinium</i> sp.	31,53
<i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin	28,64
<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve	28,59
<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle comb. nov	27,43
<i>Chaetoceros</i> sp.	26,28
<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) Pérágallo	25,65
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Lewin & Reimann	24,85
<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey	21,38
<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparede & Lachmann	20,97
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve	20,48

1. u skupini predstavljenoj vrstama *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden, *Nitzschia longissima* (de Brébisson) Ralfs in Pritchard, *Pseudo-nitzschia seriata* (Cleve) H. Pérágallo i *Nitzschia longissima* f. *tenuirostris* Mereschowsky uočen je pad broja i učestalosti vrsta *N. longissima* i *P. seriata* a ujedno rast broja i učestalosti vrsta *N. longissima* f. *tenuirostris* i *P. delicatissima* (sl. 2.). Razlika između vrsta koje su se pojavile i onih koje su istisnule uglavnom je u veličini stanica. *P. seriata* je slična vrsti *P. delicatissima* osim što je od nje veća i deblja (tab. 2.). Također je i *N. longissima* f. *tenuirostris* tanja od vrste *N. longissima*. *P. delicatissima* se pojavila krajem sedamdesetih, njen broj i učestalost su rasli i početkom devedesetih je čini se dosegla maksimum. Ukupno gledajući jedna je od najbrojnijih i najčešćih vrsta i glavni je učesnik u »cvjetanju« fitoplanktona uz vrstu *Skeletonema costatum*. Njena prevlast nad vrstom *N. seriata* je uočena i ranije (Revelante i Gilmartin, 1992., Degobbis et al., 1995). Eksperimenti obogaćivanja morske vode hranjivim solima pokazali su da se *P. delicatissima* najviše razmnožila i postigla gotovo 20 puta veću koncentraciju stanica od vrsta *P. seriata* i *N. longissima* (Filipić et al., 1989.).

Tablica 2. Veličine stanica vrsta *Pseudo-nitzschia seriata* i *Pseudo-nitzschia delicatissima* iz Tomas (1996.).

Ime vrste	Dužina apikalne osi (mm)	Dužina transapikalne osi (mm)
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	91–160	5,5–8
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	40–76	ca. 2

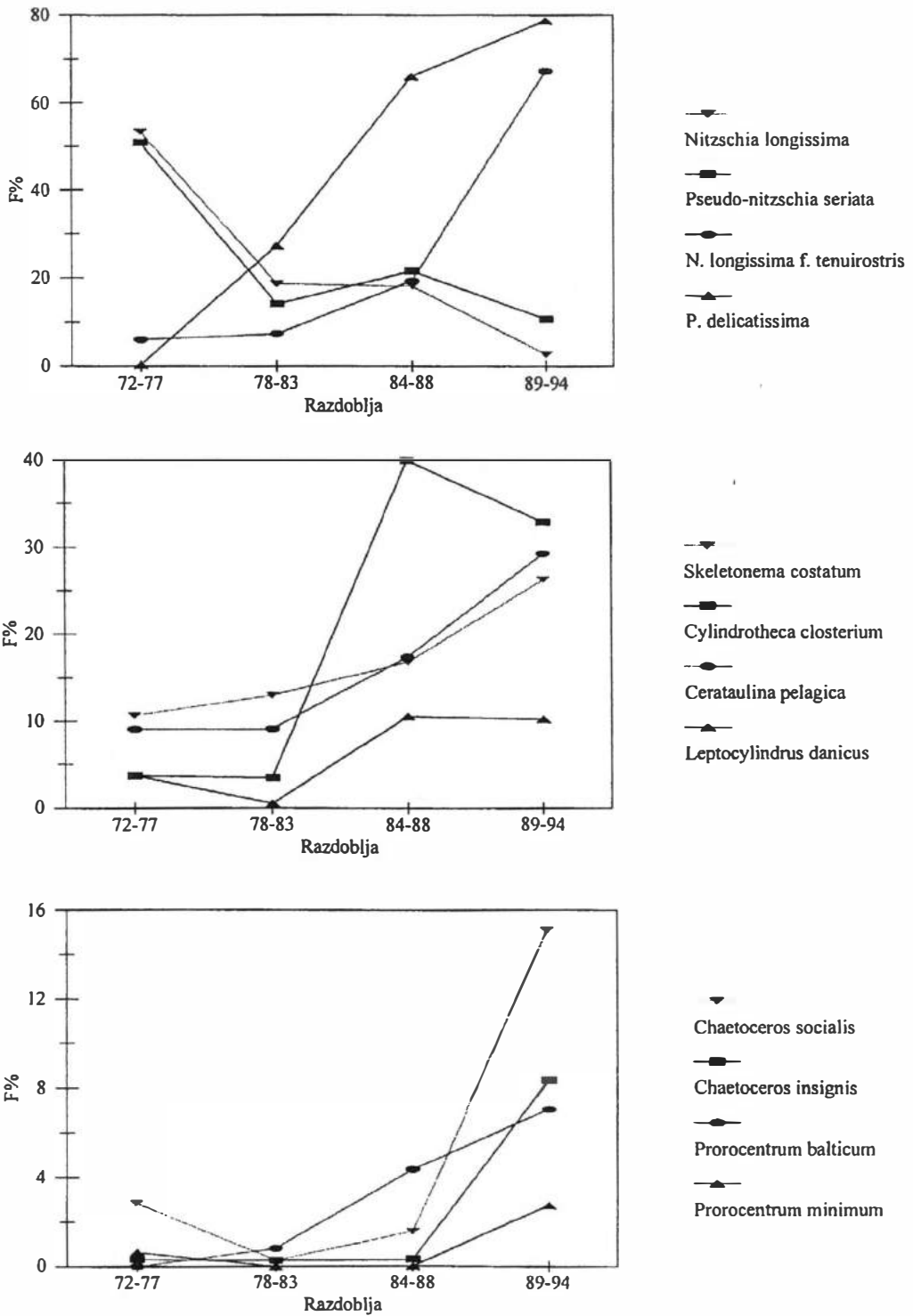
2. u skupini predstavljenoj vrstama *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Lewin & Reimann, *Cerataulina pelagica* (Cleve) Hendey i *Leptocylindrus danicus* Cleve kojima se povećala frekvencija i koncentracija (sl. 2.). Ove vrste često se opisuju kao oportunističke i karakteristične za eutrofna obalna područja (Majić, 1984). *Skeletonema costatum* je eurihalina i euritermna vrsta



Slika 1. Prirodni logaritam koncentracije stanica mikrofitoplanktona u razdoblju od 1972.–1994. godine. Krivulja opisuje godišnji prosjek prirodnih logaritama koncentracija.

koja postiže vrlo velike koncentracije stanica u povoljnim uvjetima i često je odgovorna za »cvjetanje« fitoplanktona. Njena učestalost pojavljivanja i logaritam koncentracije stanica blago su rasli tijekom posljednja 2 desetljeća, međutim kada se promatraju maksimalne koncentracije ili prosjek broja, taj je porast puno veći.

3. u skupini predstavljenoj vrstama *Chaetoceros socialis* Lauder, *Chaetoceros insignis* Pr. -Lavr., *Prorocentrum balticum* (Lochmann) Loeblich i *Prorocentrum minimum* (Pávillard) Schiller koje su se pojavile se krajem osamdesetih i početkom devedesetih godina (sl. 2.). Od njih je najznačajnija vrsta *Ch. socialis* koja je u posljednje vrijeme jedan od važnijih sudionika »cvjetanja« mora, a masovna pojava ove vrste 1988. godine već je ranije spominjana (Degobbis, 1989.; Filipić, 1990.; Revelante i Gilmartin,



Slika 2. Učestalost (F%) pojavljivanja 3 skupine vrsta fitoplanktona od 1972.–1994. godine.

1992.). Ova vrsta ima vrlo sitne stanice i teško ju je taksonomski odrediti pomoću svjetlosnog mikroskopa, tako da je *Ch. radians* koji je navođen u nekim od radova vrlo vjerojatno ta ista vrsta (Revelante i Gilmartin, 1992.).

Zaključak

Tijekom razdoblja od 1972. do 1994. godine došlo je do promjena sastava vrsta mikrofitoplanktona. Narasla je ukupna koncentracija stanica, pojavile su se nove vrste, a istisnute su neke druge. Da bi se bolje objasnile ove promjene potrebno ih je povezati s najvažnijim čimbenicima biotopa kao što su utjecaj slatkih voda, brzina regeneracije i omjer između hranjivih soli.

Zahvale

Na stručnoj pomoći se zahvaljujem dr. Danilu Degobbisu, a za pomoć u obradi podataka dr. Robertu Precaliu. Zahvaljujem se svima koji su sudjelovali u sakupljanju i obrađivanju podataka, a posebno N. Revelante, I. Pojed, B. Filipić, A. Bakota i R. Rabaku. Uzorci su uzeti pomoću istraživačkog broda *Vila Velebita* Zavoda za Istraživanje mora u Rovinju.

Literatura

- Degobbis D. (1989); Increased eutrophication of the North Adriatic Sea, second act; *Mar. Pollut. Bull.* 20 (9): 452–457
- Degobbis D., Fonda-Umani S., Franco P., Malej A., Precali R., Smoldaka N. (1995); Changes in the northern Adriatic ecosystem and the hypertrophic appearance of gelatinous aggregates; *Sci. Total Environ.* 165: 43–58
- Filipić B. (1990); »Cvjetanje mora« u sjevernom Jadranu u proljetno-ljetnom razdoblju 1988. godine; *Acta Bot. Croat.* 49: 53–61
- Filipić B., Ivančić I., Degobbis D. (1989) Dynamics of northern Adriatic phytoplankton in enrichment experiments; *Period. biol.* 91(1): 172
- Ivančić I., Degobbis D. (1998); Long-term changes of phosphorus and nitrogen compounds in the northern Adriatic sea; *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 35: 266–267
- Majić A. (1984); Characteristics of phytoplankton from some eastern Adriatic coastal localities; *Acta Adriat.*, 25 (1/2): 59–86
- Precali R. (1995); Analiza višegodišnjih ciklusa primarne proizvodnje u sjevernom Jadranu i procjena stupnja eutrofikacije; dokt. dis., Sveučilište u Zagrebu, 146 str.
- Revelante N., Gilmartin M. (1985); Possible phytoplankton species as indicators of eutrophication in the Northern Adriatic sea; *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 29,9 : 89–91
- Revelante N., Gilmartin M. (1992); The lateral advection of particulate organic matter from the delta Po region during summer stratification, and its implications for the northern Adriatic; *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 35: 191–212
- Tomas C. R. (ed.) (1993) *Marine Phytoplankton, A Guide to Naked Flagellates and Coccolithophorids*; Academic Press, 263 str.
- Tomas C. R. (ed.) (1995) *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates*, Academic Press, 598 str.
- Utermöhl H. (1958); Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. int. Ver. theor. angew. Limnol.* 17: 47–71

Autor

Danijela Mioković, dipl. inž. biologije
Zavod za istraživanje mora, Instituta »Ruđer Bošković« u Rovinju
G. Paliaga 5, Rovinj 52210, Hrvatska
e-mail: miokovic@cim.irb.hr



Rad 1.25.

Bacillariophyceae u epifitonskim zajednicama ljutka (*Cladium mariscus* Pohl.)

Katarina Caput, Anđelka Plenković-Moraj

SAŽETAK: Tijekom 1997. i 1998. godine u NP Plitvička jezera, provedena su sustavna istraživanja alga kremenjašica u epifitonskim zajednicama na živim i uginulim stabljikama ljutka (*Cladium mariscus* Pohl.). Ukupno je determinirano 137 vrsta od kojih je 50% zajedničkih na oba tipa supstrata. Na živim stabljikama ljutka determinirano je 96, a na uginulim 111 vrsta. Analizom svih uzoraka utvrđene vrste s prosječnom abundancijom $A \geq 3$ su: *Achnanthes microcephala* Grun., *A. minutissima* Kütz., *Cymbella affinis* Kütz., *C. angustata* Cl., *C. delicatula* Kütz., *Eunotia arcus* var. *uncinata* Grun., *Gomphonema gracile* Ehr., *G. olivaceum* var. *calcareum* Cl. i *Navicular cryptocephala* var. *intermedia* Grun., dok su s frekvencijom pojavljivanja $F \geq 45\%$ utvrđene vrste: *Achnanthes microcephala* Grun., *Cyclotella comta* Kütz., *Cymbella affinis* Kütz., *Eunotia arcus* Ehr. i *Navicula radiosa* Kütz. Samo na živom supstratu abundanciju ($A \geq 3$) i frekvenciju pojavljivanja ($F \geq 70$) imaju vrste: *Achnanthes microcephala* Grun. i *Cymbella affinis* Kütz., dok na uginulom supstratu s istim vrijedostima dolazi samo vrsta *Cymbella affinis* Kütz. Ukupna analiza uzoraka pokazuje da su, u epifitonskoj zajednici alga kremenjašica, brojem vrsta najzastupljeniji rodovi *Cymbella* (22 vrste) i *Navicula* (21 vrsta).

KLJUČNE RIJEČI: Bacillariophyceae, epifiton, *Cladium mariscus* Pohl., Plitvička jezera

Bacillariophyceae in Epiphytic Communities of Toetoe (*Cladium mariscus* Pohl.)

SUMMARY: Systematic research of diatom in epiphytic communities on living and dead tries of toetoe (*Cladium mariscus* Pohl.) was conducted in the Plitvice Lakes National Park during 1997 and 1998. Altogether, 137 species were determined out of which 50% of the same type of substrate. Ninety-six were determined on living toetoe tries, and 111 on dead toetoe tries. The analysis of all samples enabled determination of species with average abundance $A \geq 3$, which include *Achnanthes microcephala* Grun., *A. minutissima* Kütz., *Cymbella affinis* Kütz., *C. angustata* Cl., *C. delicatula* Kütz., *Eunotia arcus* var. *uncinata* Grun., *Gomphonema gracile* Ehr., *G. olivaceum* var. *calcareum* Cl. and *Navicula cryptocephala* var. *intermedia* Grun., while the following species were determined with frequency of occurrence $F \geq 45\%$: *Achnanthes microcephala* Grun., *Cyclotella comta* Kütz., *Eunotia arcus* Ehr., *Navicula radiosa* Kütz. The following species have abundance $A \geq 3$ and frequency of occurrence $F \geq 70\%$ solely in living substrate: *Achnanthes microcephala* Grun. and *Cymbella affinis* Kütz., while the same values for the dead substrate were detected only for *Cymbella affinis* Kütz. Total analysis of the samples shows that species *Cymbella* and *Navicula* occur in the highest numbers in epiphytic community of diatom, i.e. 22 and 21 sort respectively.

KEYWORDS: Bacillariophyceae, epiphyte, *Cladium mariscus* Pohl., Plitvice Lakes

Uvod

Sve masovnije razvoj makrofitske vegetacije i pripadajućih obraštajnih zajednica u obalnom području Plitvičkih jezera, indirektno ukazuje na povećan stupanj trofije. Prethodnim je istraživanjima (Plenković-Moraj i Caput, 1997.) utvrđen kvalitativan i kvantitativan sastav epifitonske zajednice na stabljikama živog i uginulog ljutka (*Cladidium mariscus* Pohl.). Dobiveni rezultati potakli su daljnja detaljnija istraživanja najdominantnije skupine (Bacillariophyceae) u epifitonskoj zajednici.

Materijal i metode

Fitocenološka su istraživanja provedena u svibnju i listopadu 1997. te u travnju 1998. godine, na osam lokaliteta Nacionalnog parka Plitvička jezera. Epifiton je uzorkovan sa živih i uginulih stabljika ljutka koje su sakupljane s udaljenosti 1,5 m od obale i 0,5 m ispod površine vode. Materijal je na terenu fiksiran 4% metanalom. U laboratoriju je obraštaj sa stabljike pažljivo sastrugan skalpelom, uz povremeno ispiranje supstrata destiliranom vodom. U svrhu sigurnije determinacije dijatomeja izrađeni su trajni preparati metodom po Zabelina i sur. (1951.). Vrste alga određene su pomoću ključeva Hindak i sur. (1978.), Hustedt (1985.) i Zabelina i sur. (1951.). Relativna učestalost mikrofito određena je po Knöppu (1955), indeks i stupanj saprobnosti po Weglu (1983.), a koeficijent florne sličnosti po Sørensen (1948.).

Radi jednostavnijeg prikaza velikog broja numeričkih podataka zastupljenost mikrofito prezentirana je kao frekvencija pojavljivanja vrste (F) i prosječna abundancija jedinki (A). Frekvencija pojavljivanja izražena je u% i predstavlja nalaz za određenu vrstu prema ukupnom broju pregledanih uzoraka. Abundancija broja jedinki, odnosno relativna učestalost, prikazana je raspodjelom od 1 do 7 (1 = pojedinačno; 7 = masovno).

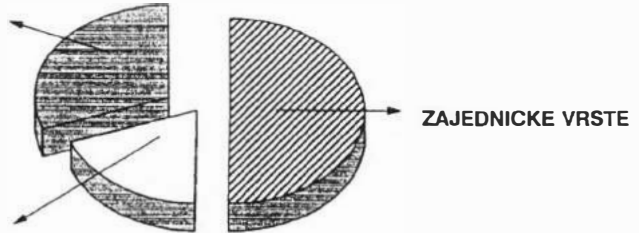
Rezultati i rasprava

Istraživanja obuhvaćaju analizu obraštaja sa 44 stabljike ljutka (23 uginulih i 21 živih stabljika). Ukupno je determinirano 137 vrsta alga kremenjašica svrstanih u 29 rodova i dva reda. Redu Centrales pripada pet vrsta, dok su ostale predstavnici reda Penales. Od ukupnog broja determiniranih vrsta 94% pripada perifitonskim ili bentoskim vrstama, a preostale su tipični predstavnici planktona, koji su zadržani u mreži mukopolisaharidnih tvorevina perifitonskih dijatomeja (Roemer i sur., 1984.).

Provedenim je istraživanjem utvrđeno da su u epifitonskoj zajednici alga kremenjašica, brojem vrsta najzastupljeniji rodovi *Cymbella* (22 vrste) i *Navicula* (21 vrsta). Analizom svih uzoraka kao ubikvistike vrste s frekvencijom pojavljivanja $F \geq 45\%$ utvrđene su: *Achnanthes microcephala* Grun., *Cyclotella comta* Kütz., *Cymbella affinis* Kütz., *Eunotia arcus* Ehr. i *Navicula radiosa* Kütz., dok s višom abundancijom broja jedinki ($A \geq 3$) dolaze: *Achnanthes microcephala* Grun., *A. minutissima* Kütz., *Cymbella affinis* Kütz., *C. angustata* Cl., *C. delicatula* Kütz., *Gomphonema gracile* Ehr., *G. olivaceum* var. *calcareum* Cl., *Eunotia arcus* var. *uncinata* Grun. i *Navicula cryptocephala* var. *intermedia* Grun. Na oba tipa supstrata utvrđeno je 50% zajedničkih vrsta. Koeficijent florne sličnosti s obzirom na različitost podloge iznosio je $QS = 67,63\%$. Indeks saprobnosti dobiven na osnovi indikatorskih vrsta dijatomeja iznosio je 1,6 na oba tipa supstrata. Redovito je u uzorcima s uginulih stabljika ljutka utvrđen veći broj dijatomeja što je u skladu s predhodnim istraživanjima (Plenković, Moraj i

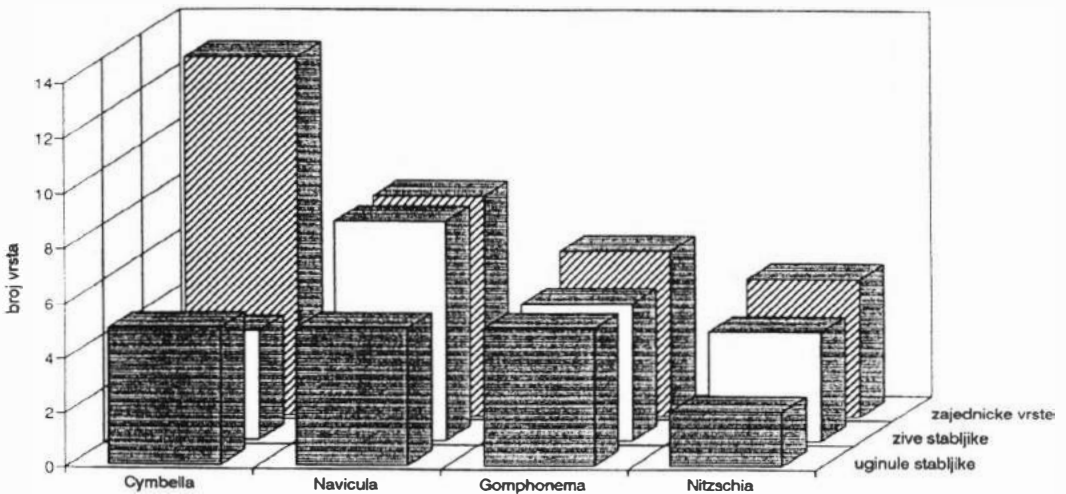
a)

UGINULE STABLJIKE
dominantni rodovi:
Navicula
Gomphonema
Cymbella
Nitzschia



ZIVE STABLJIKE
dominantni rodovi:
Cymbella
Navicula
Gomphonema

b)



Slika 1. Odnos ukupnog broja dijatomeja (a) i vrsta dominantnih rodova (b) u epifitonskoj zajednici ljutka (Plitvička jezera, 1997/98.)

Caput, 1997.). U hladnijem dijelu godine zabilježeno je 1,5 do 2 puta manji broj vrsta dijatomeja u epifitonskim zajednicama nego tijekom proljetno-ljetne sezone, a do istih rezultata dolaze Lalonde i sur. (1991) istražujući epifitonske zajednice na 11 jezera u Kanadi. Od ukupno 29 utvrđenih rodova, isključivo na živom supstratu utvrđen je rod *Stephanodiscus*, dok su rodovi *Denticula* i *Gyrosigma* utvrđeni samo na uginulim stabljikama ljutka.

U epifitonskoj je zajednici na živim stabljikama (Sl. 1. a) utvrđeno 96 vrsta (26 rodova). Brojem vrsta dominira rod *Cymbella* (18 vrsta), a subdominantni su rodovi *Navicula* (13 vrsta) i *Gomphonema* (10 vrsta). Isključivo na ovom tipu supstrata utvrđeno je 26 vrsta među kojima su sa 35% zastupljeni rodovi: *Cymbella*, *Navicula* i *Gomphonema*. S visokom frekvencijom pojavljivanja ($F \geq 70\%$) i abundancijom ($A \geq 3$) dolaze vrste *Achnanthes microcephala* Grun. i *Cymbella affinis* Kütz.

Na uginulim je stabljikama ljutka (Sl. 1. a) u epifitonskoj zajednici utvrđeno 111 vrsta dijatomeja (28 rodova), a brojem vrsta dominiraju rodovi *Cymbella* (17 vrsta) i *Navicula* (16 vrsta), dok je subdominantan rod *Gomphonema* (11 vrsta). Isključivo na uginulom tipu supstrata utvrđene su 42 vrste od kojih 56% čine rodovi: *Navicula*, *Gomphonema*, *Cymbella* i *Nitzschia*. S visokom frekvencijom pojavljivanja ($F \geq 70\%$) i abundancijom ($A \geq 3$) utvrđena je vrsta *Cymbella affinis* Kütz.

Pojedine vrste dominantnih rodova dijatomeja tijekom istraživanja (Sl. 1. b) naseljavaju isključivo određeni tip supstrata. Tako su unutar dominantnog roda *Cymbella* isključivo na živim stabljikama ustanovljene vrste: *C. aequalis* W. Sm., *C. amphicephala* Näg., *C. lanceolata* var. *notata* Wisl. et Poretzky, *C. sinuata* f. *ovata* Hust., dok su isključivo na uginulim stabljikama zabilježene vrste: *C. austriaca* Grun., *C. leptoceros* Grun., *C. sinuata* Greg. i *C. levis* Näg.

Zaključci

1. U epifitonskoj zajednici alga kremenjašica, brojem vrsta najzastupljeniji su rodovi *Cymbella* (22 vrste) i *Navicula* (21 vrsta).
2. Ubikvističke vrste s frekvencijom pojavljivanja $F \geq 45\%$ su: *Achnanthes microcephala* Grun., *Cyclotella comta* Kütz., *Cymbella affinis* Kütz., *Eunotia arcus* Ehr. i *Navicula radiosa* Kütz., dok s višom abundancijom broja jedinki ($A \geq 3$) dolaze: *Achnanthes microcephala* Grun., *A. minutissima* Kütz., *Cymbella affinis* Kütz., *C. angustata* Cl., *C. delicatula* Kütz., *Gomphonema gracile* Ehr., *G. olivaceum* var. *calcareum* Cl., *Eunotia arcus* var. *uncinata* Grun. i *Navicula cryptocephala* var. *intermedia* Grun.
3. Na uginulim je stabljikama ljutka redovito utvrđen veći broj vrsta dijatomeja.
4. U hladnijem dijelu godine broj vrsta dijatomeja u epifitonskim zajednicama manji je nego tijekom proljetno-ljetne sezone.
5. Rod *Stephanodiscus* utvrđen je isključivo na živom supstratu, dok su rodovi *Denticula* i *Gyrosigma* utvrđeni samo na uginulim stabljikama ljutka.

Literatura

- Hindak, F; Marvan, P; Rosa, K; Popovsky, J. i O. Lhotsky. 1978: Sladkovodne riasy, Slovenske Pedagogicke Nakladateljstvo, Bratislava.
- Hustedt, F. 1985: The Pennatae Diatoms. Koeltz scientific books, Koenigstein (pretsak).
- Knöpp, H. 1955: Neuere Untersuchungen ueber die Wikung von Selbstreinigung. Dt. Gewaesser-Kundl. Mitt. Sonderheft., 63–69.
- Lalonde, S. i J. A. Downing. 1991: Epiphyton biomass is realted to lake trophic status, depth and macrophyta architecture. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48: 2285–2291.
- Plenković, A. i K. Caput. 1997: Epifitonske zajednice na ljutku (*Cladium mariscus* Pohl) u području Nacionalnog parka Plitvička jezera. Zbornik sažetaka VI Kongresa biologa Hrvatske, Opatija 21. -27. rujan 1997.

- Roemer, S. C., Hoagland, K. D. i Rosowski, J. R. 1984: Development of the freshwater periphyton community as influenced by diatom mucilage. *Can. J. Bot.* 62:1799–1813.
- Sørensen, T. 1948: A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biol. Skr. (k. danske Vidensk. Sel.)* 5/4: 1–34
- Wegl, R. 1983: Index für die Limnosaprobietat. -Wasser und Abwasser. 26: 1–175.
- Zabelina, M. M; Kiselev, I. A; Proškina, A. I. i V. I. Šešukova. 1951: Opredelitelj presnovodnih vodoroslei SSSR. Diatomovie vodorosli. Gosudarstvenoe izdateljstvo Sovjetskaja nauka, Moskva.

Autori

Katarina Caput, dipl. ing., doc dr. Anđelka Plenković-Moraj
Botanički zavod Biološkog odsjeka PMF-a, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.26.

Mikrofitobentoske zajednice u hidroenergetskim sustavima rijeke Drave

Anđelka Plenković-Moraj, Katarina Caput

SAŽETAK: Tijekom 1997. godine istraživana je fitokomponenta obraštajnih zajednica u tri hidroenergetska sustava (Varaždin, Čakovec i Dubrava) na slivnom području rijeke Drave. Cilj je bio utvrditi florni sastav i sezonsku dinamiku obraštajnih zajednica te stupanj saprobnosti vodotoka na istraživanim profilima. Provedenim je istraživanjima ukupno determinirano 126 mikrofitskih vrsta od kojih je 50% zajedničkih u sva tri istraživana hidroenergetska sustava. Tijekom istraživanja na svim postajama dominiraju vrste iz skupine Bacillariophyceae. Značajniji razvoj vrsta iz skupine Cyanophyceae zabilježen je u proljeće, a Chlorophyceae u ljeto. Najviši koeficijent florne sličnosti (QS = 42%) je između HE Čakovec i HE Dubrava, a najmanji (QS = 35%) između HE Čakovec i HE Varaždin. Najviše mikrofitskih vrsta (105 vrsta) zabilježeno je u HE Varaždin, a najmanje (82 vrste) u HE Čakovec. Maksimalno razvoja jedinki utvrđen je tijekom lipnja i kolovoza. Indeks saprobnosti istraživanih vodotokova, dobiven na osnovi indikatorskih vrsta mikrofito, kreće se na svim istraživanim postajama od 2,0 do 2,3 (II klasa boniteta).

KLJUČNE RIJEČI: mikrofitobentos, dinamika, florna sličnost, indeks saprobnosti, Drava

Microphytobenthonic Communities in the Drava River Hydropower Systems

SUMMARY: During 1997, a phyto component was researched in overgrowth communities in three hydropower systems (Varaždin, Čakovec and Drava) in the Drava River watershed. The objective was to determine composition of flora and seasonal dynamics of overgrowth communities and saprobic activity level of water course in the investigated profiles. Total of 126 microphytic species were determined during the research, and 50% of them were common for all three investigated hydropower systems. All the stations were predominated by the species from group Bacillariophyceae. Significant development of group Cyanophyceae was recorded during spring, and Chlorophyceae in summer. The highest coefficient of floral similarity (QS = 42%) was determined between Čakovec HPP and Dubrava HPP, and the lowest (QS = 35%) between Čakovec HPP and Varaždin HPP. The highest number of microphytic species (105) was recorded at Varaždin HPP, and the lowest (82) at Čakovec HPP. Maximum development of individuals was determined during June and August. The saprobic activity index for researched water courses was obtained from indicator microphytae, and for all investigated stations it ranges from 2.0 to 2.3 (II class of goodness).

KEYWORDS: microphytobenthos, seasonal dynamics, floral similarity, saprobic activity index, the Drava River

Uvod

Tijekom travnja, lipnja, kolovoza i listopada 1997. godine istraživana je fitokomponenta obraštajnih zajednica u slivnom području rijeke Drave na hidroenergetskim sustavima Dubrava, Čakovec i Varaždin. Istraživanje je provedeno s ciljem da se utvrdi florni sastav obraštajnih zajednica, njihova sezonska dinamika te kakvoća vode na istraživanim profilima.

Materijal i metode

Uzorci su sakupljeni sastrugavanjem obraštaja s potopljenog drveća i kamenja. Vrste su određene prema standardnim priručnicima: Zabelina et al. (1951.), Golerbach et al. (1953.), Hausler (1982.), Hindak et al. (1978.), Lazar (1960), Fott (1971.), Komarenko & Vasiljeva (1978.). Za relativnu učestalost mikrofitita korištena je raspodjela po Knöppu (1955.), a saprobne su vrijednosti indikatorskih vrsta određene po Weglu (1983.). Indeks i stupanj saprobnosti uzoraka, na osnovi indikatorskih vrsta mikrofitita, izračunat je prema Pantle-Bucku (1955.), a relativni bonitet i relativni saprobitet po Knöppu (1955.). Usporedba florne sličnosti (QS) data je prema Sørensen (1948.).

Rezultati i rasprava

Florni sastav i saprobiološka obilježja mikrofitobentosa

Provedenim istraživanjima, u sva tri hidroenergetska sustava, ukupno je utvrđeno 126 mikrofitskih vrsta koje su pripadale odjelima: Bacteriophyta (1,7%), Cyanophyta (16,7%), Euglenophyta (2,5%), Xanthophyta (1,7%), Chrysophyta (Chrysophyceae = 1,7%, Bacillariophyceae = 58,3%), Chlorophyta (15,8%), Rhodophyta (0,8%) i Mycophyta (0,8%). Od ukupnog broja utvrđeno je 50% zajedničkih mikrofitskih vrsta u sva tri istraživana hidroenergetska sustava. Najviši koeficijent florne sličnosti QS = 42% utvrđen je između HE Čakovec i Dubrava, a najmanji QS = 35% između HE Čakovec i Varaždin. U prostornom rasporedu vrsta obraštajnih zajednica najveći broj mikrofitita (105 vrsta) utvrđen je u HE Varaždin, a najmanji (82 vrste) u HE Čakovec.

Hidroenergetski sustav HE Čakovec

Na četiri istraživana profila (3Č, 4Č, 5Č i 6Č) ukupno je determinirano 88 vrsta. Najveći broj mikrofitita (66 vrsta) utvrđen je na postaji 3Č, a najmanje vrsta (26) na postaji 5Č. U obraštaju dominiraju Bacillariophyceae s 54,4%, dok su subdominantne skupine Cyanophyta i Chlorophyta zastupljene sa 17,7%. Odjel Bacteriophyta zastupljen je s dvije, Euglenophyta s tri, a Xanthophyta i Mycophyta s jednom vrstom. Najviša florna sličnost (QS = 34%) utvrđena je između postaja 3Č i 6Č.

Kvalitativna i kvantitativna analiza obraštajnih zajednica na istraživanom profilu pokazuje da su s visokom abundancijom broja jedinki (rel. učestalost ≥ 5) na svim postajama utvrđene vrste: *Cymbella ventricosa*, *Fragilaria capucina* i *Navicula minima*. Na pojedinim postajama uočeno je i masovnije prisustvo vrsta: *Nitzschia palea* i *Synedra ulna* (postaja 3Č), *Vaucheria sp.*, *Achnanthes affinis* i *Cymbella austriaca* (postaja 4Č), *Microspora quadrata* (postaja 5Č), *Melosira varians*, *Navicula minima*, *N. viridula*, *Stigeoclonium tenue* i *Spirogyra sp.* (postaja 6Č).

Na čitavom je profilu utvrđen najveći broj vrsta kao i najviša abundancija broja jedinki tijekom mjeseca lipnja, dok je najmanji broj vrsta i najniža abundancija utvrđena

u listopadu. Stupanj saprobnosti kreće se od 2,0 (β -mezosaprobnostni stupanj) u lipnju do 2,4 (β - α mezosaprobnostni stupanj) u kolovožu, a relativni bonitet od 70% do 91%.

Hidroenergetski sustav HE Dubrava

Tijekom mjeseca travnja, lipnja i kolovoza istraživani su florni sastav obraštajnih zajednica HE Dubrava na četiri profila (3D, 4D, 5D i 6D). Od ukupno 98 determiniranih vrsta na ovim profilima, najveći broj ili 76 mikrofiti utvrđeni su na postaji 3D, a najmanje vrsta ili 58 mikrofiti na postaji 5D. U obraštaju dominiraju Bacillariophyceae sa 62%, dok je subdominantna skupina Chlorophyta zastupljena s 18%. Odjel Cyanophyta zastupljen je s 12, Bacteriophyta i Xanthophyta s dvije, a Euglenophyta i Rhodophyta s jednom vrstom. Najviša florna sličnost (QS = 40%) utvrđena je za postaje 5D i 6D.

Kvalitativna i kvantitativna analiza obraštajnih zajednica na istraživanom profilu pokazuje da su s visokom abundancijom broja jedinki (rel. učestalost ≥ 5) na svim postajama utvrđene vrste: *Phormidium uncinatum*, *Achnanthes affinis*, *Cymbella affinis*, *Diatoma vulgare*, *Synedra ulna* i *Ulothrix zonata*. Na pojedinim postajama uočeno je i masovnije prisustvo vrsta: *Achnanthes microcephala*, *Diatoma vulgare* var. *capitulatum*, *Melosira granulata*, *Scenedesmus obliquus* i *Ulothrix tenerrima* (postaja 3D), *Phormidium tenue*, *Tribonema viride*, *Fragilaria capucina* i *Batrachospermum moniliforme* (postaja 4D), *Melosira varians*, *Cladophora* sp. i *Microspora quadrata* (postaja 5D), *Phormidium autumnale*, *Achnanthes minutissima*, *Cymbella ventricosa*, *Navicula viridula*, *Microspora quadrata* i *M. tumida* (postaja 6D).

Na čitavom je profilu utvrđen najveći broj vrsta kao i najviša abundancija broja jedinki tijekom lipnja i kolovoza, dok je najmanji broj vrsta i najniža abundancija utvrđena u listopadu. Veće odstupanje pokazuje jedino postaja 5D na kojoj je značajnija kvantitativna prisutnost mikrofiti u obraštaju podjednaka tijekom travnja i kolovoza, dok je najslabija u lipnju.

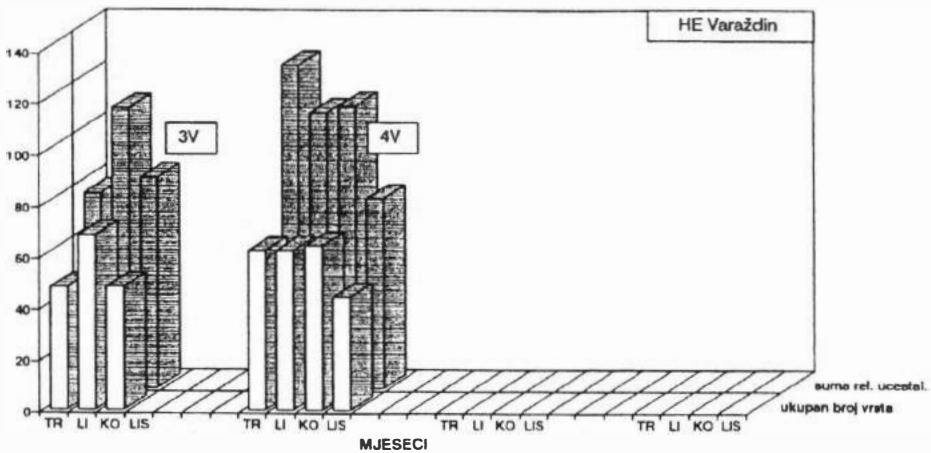
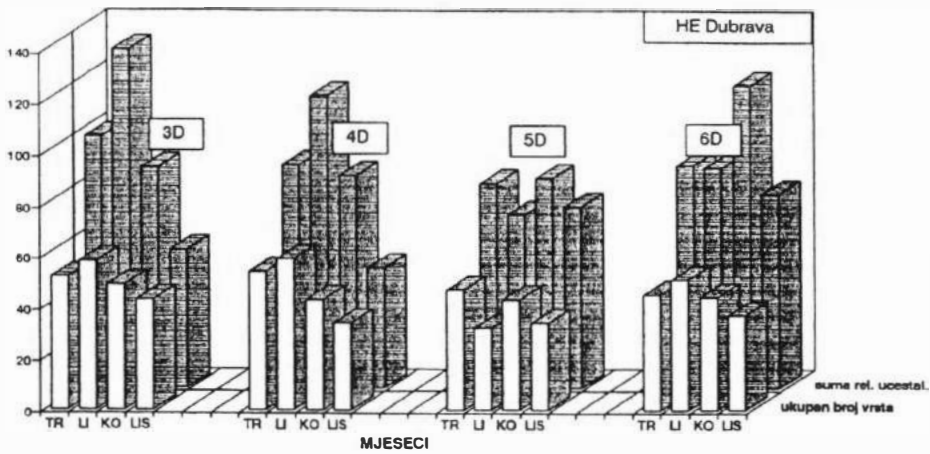
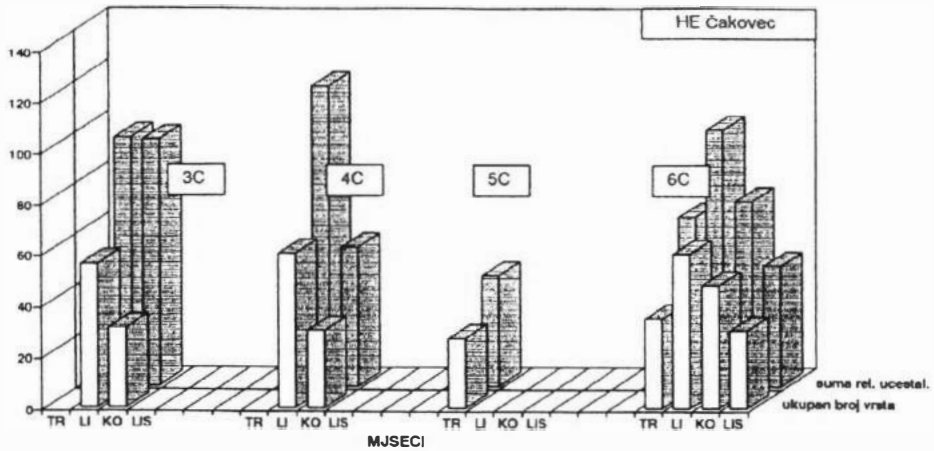
Stupanj saprobnosti kreće se od 1,9 (β -mezosaprobnostni stupanj) u lipnju do 2,3 (β -mezosaprobnostni stupanj) u kolovožu uz relativni bonitet od 57% do 91%. Povišeni indeks saprobnosti utvrđen je na postaji 4D i kretao se je od 2,3 do 2,6 ili β - α mezosaprobnostni stupanj.

Hidroenergetski sustav HE Varaždin

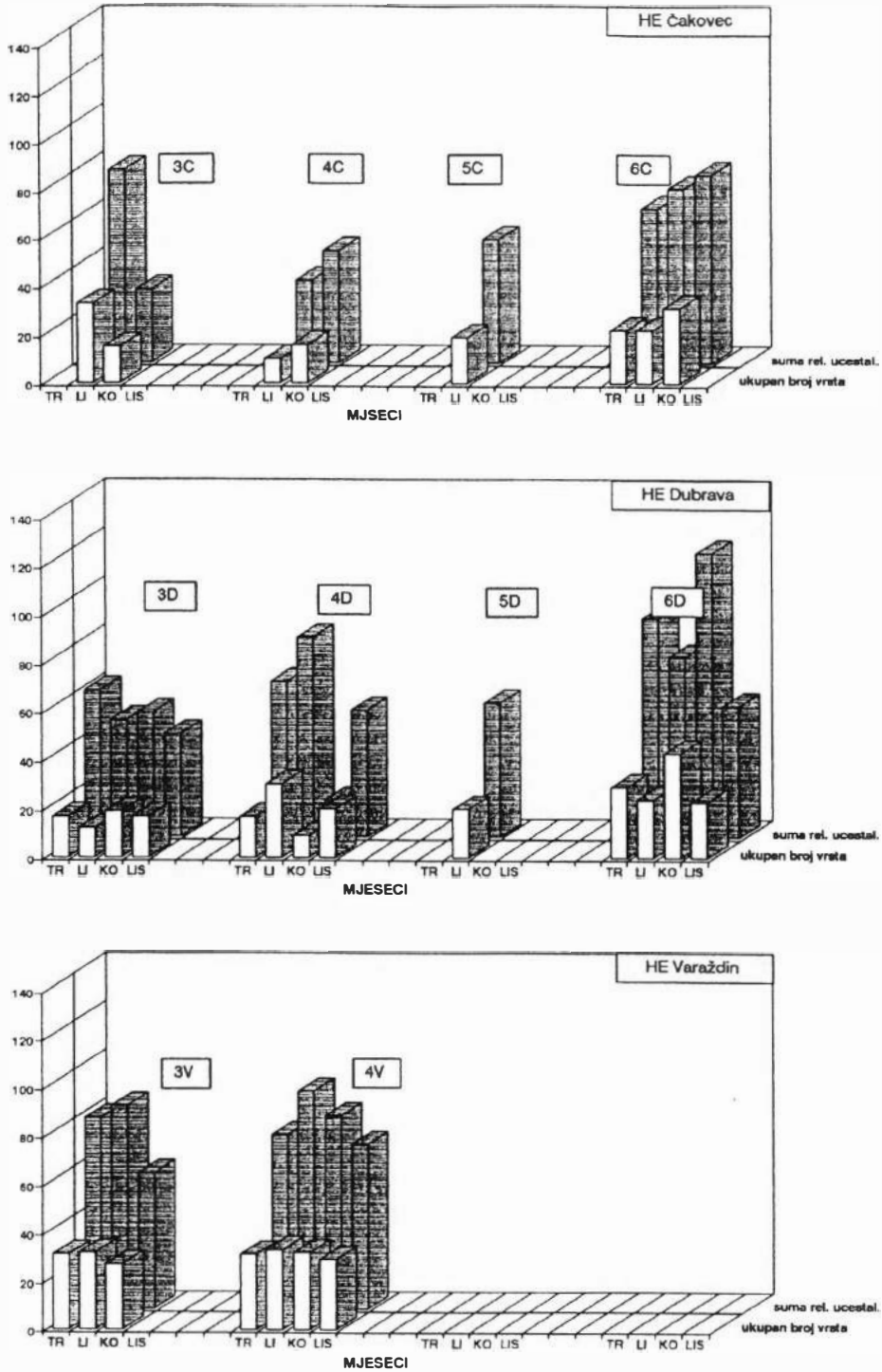
Tijekom mjeseca lipnja istraživani su florni sastav obraštajnih zajednica HE Varaždin na dva profila (3V i 4V). Od ukupno 105 determiniranih vrsta na ovom profilu, 92 mikrofiti su utvrđeni na postaji 3V, a 91 na postaji 4V. U obraštaju dominiraju Bacillariophyceae sa 67,7%, dok su subdominantne skupine Cyanophyta i Chlorophyta zastupljene sa 16%. Florna sličnost između postaja iznosi 22%.

Na postaji 3V s višim relativnim učestalostima (≥ 5) utvrđene su vrste: *Cocconeis placentula*, *Diatoma vulgare*, *Melosira varians* i *Synedra ulna*, a na postaji 4V vrste: *Lyngbya kuetzingii*, *Achnanthes affinis*, *A. microcephala*, *Cocconeis placentula*, *Cymbella ventricosa*, *Fragilaria capucina*, *Melosira varians*, *M. granulata*, *Navicula viridula*, *Synedra ulna*, *Cladophora* sp. i *Spirogyra* sp.

Najintenzivniji razvoj mikrofiti u obraštaju utvrđen je tijekom mjeseca lipnja (3V) i travnja (4V), a najslabiji u travnju (3V) i listopadu (4V). Indeks saprobnosti istraživanog profila iznosio je 2,1 do 2,2 ili β -mezosaprobnostni stupanj uz relativni bonitet od 71% do 86%. Provedena uporedba kvantitativnog (Sl. 1. i 2.) sastava obraštajnih zajednica istraživanih hidroenergetskih sustava u odnosu na 1996. godinu ukazuju na povećan broj mi-



Slika 1. Odnos ukupnog broja i abundancije jedinki mikrofitu u obraštaju istraživanih postaja HE Čakovec, HE Dubrava i HE Varaždin tijekom 1997. godine (Legenda: TR = travanj, LI = lipanj, KO = kolovoz, LIS = listopad)



Slika 2. Odnos broja vrsta i abundancije jedinki mikrofitu u obraštaju istraživanih postaja HE Čakovec, HE Dubrava i HE Varaždin tijekom 1996. godine (Legenda: TR = travanj, LI = lipanj, KO = kolovoz, LIS = listopad)

krofitskih vrsta, a time i njihove abundancije u obraštaju svih profila tijekom 1997. godine. Ova su odstupanja najvjerojatnije uzrokovana promjenom kako hidroloških, ekoloških i bioloških parametara na istraživanom području tako i primjenom modernijih analitičkih sustava u interpretaciji podataka. Treba naglasiti da u 1997. godini nisu uočena značajnija odstupanja u kvalitativnom sastavu obraštajnih zajednica istraživanih profila u odnosu na 1996. godinu.

Zaključak

1. Analiza strukture mikrofitu u obraštaju na sva tri istraživana hidroenergetska sustava ukazuje na raznolik kvalitativni sastav što se očituje i u relativno niskom postotku florne sličnosti.
2. Na svim postajama tijekom istraživanja brojem vrsta i abundancijom jedinki dominira skupina Bacillariophyceae.
3. Sezonska dinamika mikrofitu pokazuje značajniji razvoj vrsta iz skupine Cyanophyceae u proljeće, a Chlorophyceae u ljeto.
4. Maksimalni broj mikrofitskih vrsta kao i abundancije broja jedinki utvrđen je u lipnju i kolovozu, a minimum u listopadu.
5. Na osnovi indikatorskih vrsta mikrofitu dobiveni indeks saprobnosti kreće se na svim istraživanim postajama od 2,0 do 2,3 (II klasa boniteta), a na postaji 4D on iznosi 2,4–2,6 (II–III klasa boniteta).

Literatura

- Fott, B. 1971: Algenkunde. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Golerbach, M. M.; Kosinskaja, E. K. i V. I. Poljanski. 1953: Sinzelenije vodorosli. Gos. Izd. Sovjetskaja nauka, Moskva.
- Hausler, J. 1982: Schizomycetes, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena
- Hindak, F.; Marvan, P.; Rosa, K.; Popovsky, J. i O. Lhotsky. 1978: Sladkovodne riasy, Slovenske Pedagogicke Nakladateljstvo, Bratislava.
- Knöpp, H. 1955: Neuere Untersuchungen ueber die Wikung von Selbstreinigung. Dt. Gewaesser-Kundl. Mitt. Sonderheft., 63–69
- Komarenko, L. E. & I. I. Vasiljeva. 1978: Presnovodnie zelenie vodorosli vodoemov Jakutii. Izd. Nauka, Moskva.
- Lazar, J. 1960: Alge Slovenije, SAZU, Ljubljana
- Pantle r. & H. Buck. 1955: Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Besondere Mitteilung und Deutschen Gewässerkundlichen 12:135–143.
- Sørensen, T. 1948: A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. Biol. Skr. (k. danske Videsk. Sel.) 5/4: 1–34
- Wegl, R. 1983: Index für die Limnosaprobiet. -Wasser und Abwasser. 26: 1–175.
- Zabelina, M. M.; Kiselev, I. A.; Proškina, A. I. & V. I. Šešukova. 1951: Opređelitelj presnovodnih vodorosli SSSR. Diatomovie vodorosli. Gosudarstvenoe izdateljstvo Sovjetskaja nauka, Moskva.

Autori

Doc dr. Anđelka Plenković-Moraj

Katarina Caput

Botanički zavod Biološkog odsjeka PMFa, Sveučilišta u Zagrebu, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb



Rad 1.27.

Bioceniotska struktura fitoplanktonske zajednice rijeke Drave

Andelka Plenković-Moraj

SAŽETAK: Tijekom 1997. godine, u sklopu ekološkog monitoringa hidroenergetskih sustava Čakovec, Dubrava i Varaždin provedena su istraživanja mrežnog fitoplanktona s ciljem da se utvrdi stupanj saprobnosti fitoplanktonske zajednice i procjeni klasa boniteta vode. Rezultati daju uvid u florni sastav, sezonsku dinamiku i vertikalnu distribuciju mrežnog fitoplanktona na istraživanim profilima. Provedenim je istraživanjima utvrđeno 99 mikrofitskih vrsta. Na svim postajama tijekom godine dominiraju vrste skupine Bacillariophyceae, a sudominantne skupine su Chlorophyta (HE Čakovec i HE Dubrava) i Cyanophyta (HE Varaždin). Koeficijent florne sličnosti između istraživanih profila kreće se od 33% do 35%. Najveći broj mikrofitskih vrsta utvrđen je na profilu HE Čakovec, a najmanji u HE Varaždin. Maksimalna gustoća fitoplanktona utvrđena je u pravilu tijekom mjeseca lipnja i kolovoza, a minimalna u travnju i listopadu. Redovito prisutne s visokom abundancijom su vrste: *Asterionella formosa* Hass., *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Melosira italica* Kütz. Bonitet vode istraživanih profila, dobiven na osnovi analize mrežnog fitoplanktona, pripada I-II i II klasi boniteta.

KLJUČNE RIJEČI: fitoplankton, florna sličnost, indeks saprobnosti, Drava

Structure of Phytoplankton Community from the River Drava

SUMMARY: Phytocomponent of net plankton community from the Drava River drainage (hydroenergetic power plant Čakovec, Varaždin, and Dubrava) was investigated during the 1997. The purpose was to establish floral composition, their similarity, and seasonal distribution of phytoplankton, like as saprobity degree of water on investigated profiles.

During the period of investigation the total number of 99 species were found. The Bacillariophyceae was dominant group, while subdominant were Cyanophyceae (HE Varaždin), and Chlorophyceae (HE Čakovec, and Dubrava).

The quotient of similarity were ranged from 33% to 35%. The highest number of species were found in HE Čakovec, and the lowest in HE Varaždin. During June and August the maximal number of individuals were found, while the minimum were established in April and October. Permanently present with higher abundance were species: *Asterionella formosa* Hass, *Fragilaria crotonensis* Kitt, and *Melosira italica* Kütz. The index of saprobity, based on indicator species found out in plankton community during the investigation were ranged from 2.0 to 2.3 (moderately pure).

KEYWORDS: phytoplankton, floral similarity, index of saprobity, river Drava

Uvod

Tijekom travnja, lipnja, kolovoza i listopada 1997. godine, u sklopu ekološkog monitoringa hidroenergetskih sustava Čakovec, Dubrava i Varaždin provedena su istraživanja mrežnog fitoplanktona s ciljem da se utvrdi stupanj saprobnosti planktonske za-

jednice i procjeni klasa boniteta vode. Rezultati daju uvid u florni sastav, sezonsku dinamiku i vertikalnu distribuciju mrežnog fitoplanktona na istraživanim profilima.

Materijal i metode

Uzorci mrežnog fitoplankton sakupljani su jednom mjesečno s različitih dubina što je uvjetovano razinom vodostaja u vrijeme istraživanja. Uzorkovanje je izvršeno filtriranjem 10 l vode kroz planktonsku mrežicu veličine oka 36 mm. Voda je crpljena pomoću vodene pumpe. Svi su uzorci fiksirani 4% formaldehidom, nakon čega je filtrat centrifugiran i koncentriran na određeni volumen. Apsolutna učestalost fitoplanktonskih vrsta (broj stanica/l) dobivena je na osnovi izbrojenih stanica pojedinih vrsta u komorici s milimetarskom mrežicom površine 1 cm^2 i volumena 0,05 ml. Zastupljenost nitastih, kolonijalnih i cenobijalnih oblika izračunat je kao zbroj stanica koje ga izgrađuju.

Vrste algi određene su prema priručnicima: Golerbach et al. (1953.), Komarenko & Vasiljeva (1978.), Zabelina et al. (1951.), Hindak et al. (1978.). Indikatorske vrijednosti utvrđenih vrsta definirane su po Weglu (1983.). Za ocjenu saprobioloških obilježja zajednice fitoplanktona temeljem sastava mikrofitita korišten je Pantle-Buckov (1955.) indeks saprobnosti. Koeficijent florne sličnosti (QS) izračunat je po Sørensen (1948).

Rezultati i rasprava

Florni sastav i saprobiološka obilježja fitoplanktona

Provedenim istraživanjima mrežnog fitoplanktona, u akvatoriju rijeke Drave, utvrđeno je ukupno 99 mikrofitskih vrsta iz odjela Cyanophyta (14 vrsta), Pyrrhophyta (3 vrste), Euglenophyta (3 vrste), Chrysophyta (53 vrste) i Chlorophyta (26 vrsta). Na svim postajama tijekom istraživanja dominiraju vrste skupine Bacillariophyceae, a sudominantne su Chlorophyta (HE Čakovec i HE Dubrava) i Cyanophyta (HE Varaždin). Broj prisutnih vrsta, kao osnovni pokazatelj biocenotičke raznolikosti fitoplanktona, varira prostorno i vremenski tako da je najveći broj mikrofitita (90 vrsta) utvrđen u sustavu HE Čakovec, a najmanji (67 vrsta) u sustavu HE Dubrava. Koeficijent florne sličnosti između istraživanih profila kreće se od 33% do 35%.

Hidroenergetski sustav HE Čakovec

Na tri istraživane postaje (1Č, 1aČ i 2Č) hidroenergetskog sustava Čakovec ukupno je determinirano 90 vrsta iz skupina: Cyanophyta (11 vrsta), Pyrrhophyta (3 vrste), Euglenophyta (3 vrste), Chrysophyta (48 vrsta) i Chlorophyta (25 vrsta).

Analiza distribucije fitoplanktona tijekom istraživanja pokazuje da su s abundancijom od $\geq 2,5 \times 10^3$ stanica/l na svim profilima prisutne vrste: *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Melosira italica* i *Sphaerocystis planctonicum*. Na pojedinim postajama uočeno je i masovnije prisustvo vrsta: *Dinobryon divergens*, *Melosira varians* i *Synedra ulna* var. *danica* (1Č), *Phormidium corium*, *Peridinium cinctum* i *Dinobryon divergens* (1aČ), *Oscillatoria limnetica*, *Melosira granulata* i *Chaetonema irregulare* (2Č).

Ukupan broj stanica kretao se je od 0,4 do $7,8 \times 10^4$ /l. Najmanji broj mikrofitita (19 do 28 vrsta) i najniža abundancija ($0,4$ do $1,5 \times 10^4$ stanica/l) utvrđeni su tijekom listo-

pada. Najviše mikrofiti (52 do 57 vrsta) kao i najviša abundancija (4 do $7,8 \times 10^4/l$) utvrđena je tijekom lipnja i kolovoza. Odstupanje je utvrđeno na postaji 1C na kojoj je najmanji broj mikrofiti (31 vrsta) s najvišom abundancijom (4×10^4 stanica/l) utvrđen tijekom travnja. Povećana abundancija fitoplanktona ($3,2 \times 10^4$ stanica/l) tijekom hladnijeg dijela godine rezultat je najmasovnijeg kvalitativnog prisustva mikrofiti (51 vrsta) posebice iz skupine Bacillariophyceae. Na osnovi indikatorskih vrijednosti utvrđenih fitoplanktonskih vrsta indeks saprobnosti kreće se od 1,7 do 2,0 (I-II i II klasa), a relativni bonitet od 89% do 99%.

Hidroenergetski sustav HE Dubrava

Na tri istraživane postaje (1D, 2D i 5D) hidroenergetskog sustava Dubrava ukupno je determinirano 67 vrsta mikrofiti iz skupina: Cyanophyta (11 vrsta), Pyrrhophyta (3 vrste), Chrysophyta (38 vrsta) i Chlorophyta (15 vrsta).

Analiza distribucije fitoplanktona tijekom istraživanja pokazuje da su s abundancijom od $\geq 1,4 \times 10^3$ stanica/l prisutne vrste: *Gomphosphaeria lacustris*, *Mycrocystis aeruginosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Melosira varians*, *M. granulata*, *M. italica* i *Sphaerocystis planctonicum* (1D i 5D), dok su uz već navedene, na postaji 2D utvrđene i: *Asterionella formosa*, *Diatoma elongatum*, *Fragilaria capucina*, *Melosira granulata* i *Synedra acus* s abundancijom od $\geq 3 \times 10^3$ stanica/l.

Ukupan broj stanica kretao se od 0,2 do $13,5 \times 10^4/l$. Najmanji broj mikrofiti i najniža abundancija jedinki utvrđeni su tijekom listopada (1D i 5D) izuzev postaje 2D gdje je minimum utvrđen u lipnju. Najviše mikrofitskih vrsta utvrđeno je tijekom lipnja, a najviše abundancije broja jedinki tijekom lipnja (5D) i kolovoza (1D i 2D). Na osnovi indikatorskih vrijednosti utvrđenih fitoplanktonskih vrsta indeks saprobnosti kreće se od 1,7 do 2,1 (I-II i II klasa), a relativni bonitet od 87% do 100%.

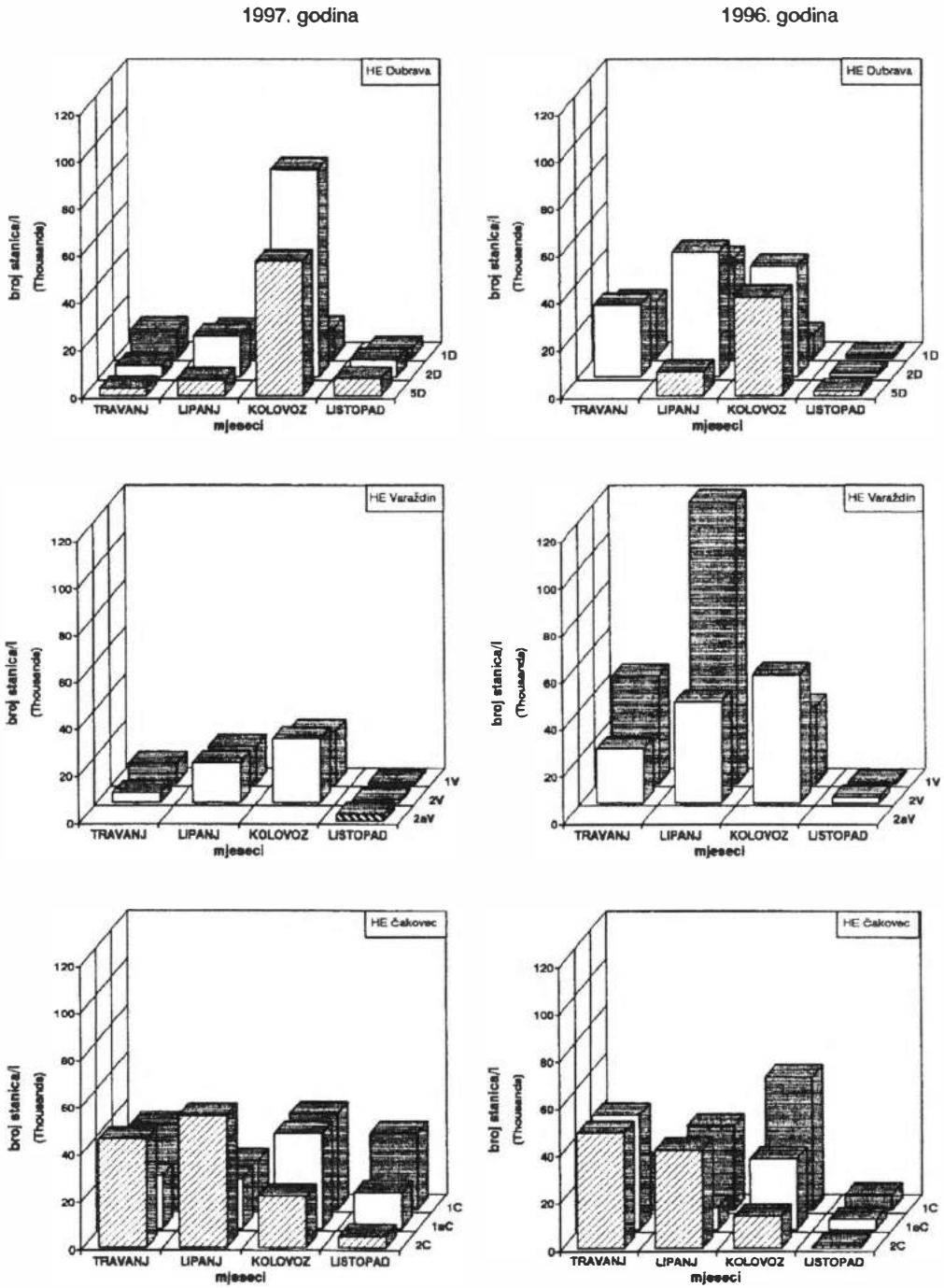
Hidroenergetski sustav HE Varaždin

Na tri istraživane postaje (1V, 2V i 2aV) hidroenergetskog sustava Varaždin ukupno je determinirano 60 vrsta iz skupina: Cyanophyta (6 vrsta), Pyrrhophyta (2 vrste), Chrysophyta (44 vrsta) i Chlorophyta (8 vrsta).

Analiza distribucije fitoplanktona tijekom istraživanja pokazuje da su s abundancijom od $\geq 1,6 \times 10^3$ stanica/l na postajama 1V i 2V prisutne vrste: *Oscillatoria agardhii*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Melosira italica*, *M. granulata*, *Sphaerocystis planctonicum* i *Gomphosphaeria lacustris*, dok je na postaji 2aV s abundancijom od $\geq 1,2 \times 10^3$ stanica/l prisutna jedino vrsta *Asterionella formosa*.

Ukupan broj stanica kretao se od 0,6 do $27 \times 10^3/l$. Najmanji broj mikrofiti i najniža abundancija utvrđena je tijekom travnja (1V) i listopada (2Vi 2aV), a najveći broj vrsta i najviša abundancija broja jedinki tijekom kolovoza. Na osnovi indikatorskih vrijednosti utvrđenih fitoplanktonskih vrsta indeks saprobnosti kreće se od 1,6 do 1,8 (I-II i II klasa), a relativni bonitet od 89% do 100%.

Provedena uporedba kvalitativnog (Sl. 1.) i kvantitativnog sastava fitoplanktonskih zajednica istraživanih hidronergetskih sustava tijekom 1996. i 1997. godine u pravilu ne pokazuju znatnija odstupanja. Izuzetak predstavlja isključivo kvantitativan sastav fitoplanktonske zajednice na postaji 1V tijekom travnja i lipnja 1996. godine kada je utvrđen masovan razvoj vrsta: *Oscillatoria agardhii*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria capucina* i *Sphaerocystis planctonicus*, koje su tijekom 1997. godine prisutne s



Slika 1. Odnos ukupnog broja stanica/l mikrofitских vrsta u planktonu istraživanih postaja HE Čakovec, HE Varaždin i HE Dubrava u 1997. i 1996. godini

manjim brojem jedinki. Treba naglasiti da u 1997. godini nisu uočena odstupanja u kvalitativnom sastavu fitoplanktonskih zajednica istraživanih profila u odnosu na 1996. godinu, dok su neznatnija kvantitativna odstupanja posljedica promjenjivosti kako hidroloških, ekoloških i bioloških parametara na istraživanom području tako i primjene modernijih analitičkih sustava u interpretaciji podataka.

Zaključak

1. Analiza strukture fitoplanktona u sva tri istraživana hidroenergetska sustava tijekom 1997. godine ukazuje na relativno raznolik kvalitativni sastav posebice HE Čakovec u odnosu na HE Dubrava i HE Varaždin.
2. Na svim postajama tijekom istraživanja redovito dominiraju vrste iz skupine Bacillariophyceae. Redovito prisutne s visokom abundancijom broja jedinki na svim profilima su vrste: *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis* i *Melosira italica*.
3. Maksimalna gustoća fitoplanktona na sva tri istraživana profila utvrđena je tijekom mjeseca lipnja i kolovoza, a minimalna u travnju i listopadu.
4. Indeks saprobnosti na svim profilima kreće se u granicama od 1,7 do 2,1. Bonitet vode istraživanih profila akvatorija rijeke Drave, dobiven na osnovi analize mrežnog fitoplanktona, pripada I-II i II klasi boniteta.

Literatura

- Golerbach, M. M.; Kosinskaja, E. K. & V. I. Poljanski. 1953: Sinzelenije vodorosli. Gos. Izd. Sovjetskaja nauka, Moskva.
- Hindak, F.; Marvan, P.; Rosa, K.; Popovsky, J. & O. Lhotsky. 1978: Sladkovodne riasy, Slovenske Pedagogicke Nakladateljstvo, Bratislava.
- Komarenko, L. E. & I. I. Vasiljeva. 1978: Presnovodnie zelenie vodorosli vodoemov Jakutii. Izd. Nauka, Moskva.
- Pantle, R. & H. Buck. 1955: Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Besondere Mitteilung und Deutschen Gewässerkundlichen 12:135–143.
- Sørensen, T. 1948: A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. Biol. Skr. (k. danske Videsk. Sel.) 5/4: 1–34.
- Wegl, R. 1983: Index fuer die Limnosaprobिताet. -Wasser und Abwasser. Beitrage zur Gewaesserforschung 26: 1–175.
- Zabelina, M. M.; Kiselev, I. A.; Proškina, A. I. & V. I. Šešukova. 1951: Opređelitelj presnovodnih vodoroslei SSSR. Diatomovie vodorosli. Gosudarstvenoe izdateljstvo Sovjetskaja nauka, Moskva.

Autor

Doc. dr. Anđelka Plenković-Moraj

Botanički zavod Biološkog odsjeka PMFa, Sveučilišta u Zagrebu, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 1.28.

Gibanje vode u prirodi – značenje i istraživanje

Vladimir Patrčević, Siniša Maričić

SAŽETAK: Simbolička značenja vode u ljudskoj civilizaciji mogu se svesti na tri dominantne teme: izvor života, sredstvo očišćenja i središte obnavljanja. Ove tri navedene teme susreću se u najdrevnijim predajama stvarajući najrazličitije zamišljene, a istovremeno i najsmislenije kombinacije. Varijacije različitih kultura na ove temeljne teme produbljuju dimenzije i nijanse simbolike vode, međutim u svim je kulturama voda ishodište i provodnik cijelog života. Kao dar sa neba voda je simbol plodnosti te od islama do Japana sredstvo obrednog čišćenja. Simbol je i taoističke mudrosti jer *u nje nema opiranja*; slobodna je i bez spona, pa teče slijedeći nagib tla.

Međutim voda se kao uostalom i svi simboli, može promatrati na dva strogo oprečna gledišta. Voda je izvor života i izvor smrti, ona stvara i razara i ta se podvojenost nalazi na svim razinama. Ona je simbol nesvjesnih energija, bezobličnih sila duše, tajnovitih i nepoznatih motivacija, nadahnuće pisaca i pjesnika koji pišu istančane varijacije na temu bistrih voda, proljetnih voda, tekućica, zaljubljenih voda, dubokih, usnulih, mrtvih, suzdržanih, krotkih i silovitih voda koja su različita lica tog simbola što se zrcali.

Vodi se treba približiti emotivno, racionalno, sa ljubavlju, poštovanjem, odgovornošću, strahopoštovanjem, sa iskonskom željom da se upozna i očuva onakvom kakvu nam je priroda podarila.

KLJUČNE RIJEČI: hidrološki ciklus, sistem, otjecanje, hidrološki proces, racionalni model

Movement of Water in Nature - Significance and Research

SUMMARY: Symbolical meaning of water for human civilization might be reduced to three predominant references - source of life, means of purification and media of regeneration. These three references are encountered in the ancient traditions forming a variety of imaginary as well as rational combinations. Contribution of different cultures to these fundamental topics widens the extent and shades of water symbolism. However, in all cultures water is the source and carrier of life. As a gift from heaven, water is symbol of fertility. From Islam to religion of Japan it is the means of ritual washing. It is also the symbol of taoist wisdom because it does not resist, it is free and unbounded, it runs respecting the slopes of soil.

Water, as any other symbol, might be contemplated from two opposed standpoints. It is the source of life and cause of death, it makes and brakes, and this split is encountered at any level. It is a symbol of unconscious energies, formless power of soul, secretive and unknown motivations, inspiration to writers and poets pondering over fresh waters, spring waters, running waters, enchanted waters, deep, sleeping, dead, constrained, and forceful waters which are different mirror images of the same symbol.

Water should be approached emotionally, rationally, with love, respect, responsibility, reverence, with true desire to know it and preserve it as it is given to us by nature.

KEYWORDS: hydrological cycle, system, runoff, hydrological process, rational model

1. Uvod

Život koji je na Zemlji čini se nastao igrom slučaja i pojavljuje se na veoma malom dijelu zemljinog prostranstva, u uskom sloju zraka, vode i tla, ne bi bio moguć bez prisustva vode u bilo kojem obliku. Taj tanki sloj u odnosu na cjelokupnu masu Zemlje nazivamo biosferom. Ista obuhvaća sve vodne prostore te oceane i mora sa najdubljom točkom na Pacifiku do 11521 m dubine kao hidrosferom, zatim površinu kontinentata sa najvišom točkom Mount Everest od 8848 m kao litosferom, te troposferu do cca 11 km visine kao najaktivnijeg sloja atmosfere.

Svi dijelovi biosfere danas se nalaze na dohvat čovjeku i pod utjecajem su njegovog djelovanja. Prosječna dubina svjetskog mora iznosi 3795 m a prosječna visina kopna 875 m. Ako bi sva voda koja se nalazi u biosferi bila prevedena u tečni oblik i ravnomjerno se rasporedila po Zemljinoj površini, prekrila bi Zemlju vodenim omotačem dubokim cca 3,5 km. Nepravilnost Zemljine kore dozvolila je da se cca 30% površine pretvori u kontinente sa raznolikom strukturom i morfologijom litosfere. Život koji se razvio na tim prostorima ostao je zavisian od hidrosfere.

Računa se da količina vode u hidrosferi (UNESCO, 1978) iznosi 1386 milijuna km^3 vode. Od toga je približno 1351 milijuna km^3 ili 97,5% zaslanjena voda sadržana u oceanima, morima, slanim jezerima i podzemnoj vodi na velikoj dubini. Ostatak od 2,5% ili cca 35 milijuna km^3 vode sačinjavaju slatke vode sadržane u obliku polarnog leda i snijega (69,6%), podzemne vode (30,1%), vode u jezerima i močvarama (0,29%), voda kao vlažnost zemljišta (0,05%), voda u atmosferi (0,04%), voda u vodotocima (0,006%), te biološka voda u flori i fauni (0,003%).

Očito da svježja voda koja je najpotrebija za život, čini veoma mali dio od sveukupne količine vodenih zaliha na Zemlji. Pri tome je najznačajnija ne toliko ta statička koliko dinamička raspodjela vode, odnosno ona voda koja učestvuje u stalnom kretanju kroz hidrološki ciklus. Oko 505 000 km^3 vode evaporacijom godišnje isparuje iz oceana, i najveći dio pada kao kiša natrag u ocean. Pri tome po kontinentima padne 119 000 km^3 vode u obliku kiše, snijega, grada ili rose (oborine). Veći dio te vode sa kontinentata ponovno isparuje u vidu evaporacije i transpiracije, dok približno 44 700 km^3 otječe površinskim vodotocima, te cca 2 200 km^3 podzemnim otjecanjem u mora i oceane. Ako uzmemo u obzir svu količinu vode koja postoji na Zemlji nema bojazni da bi nastala oskudica vodom. Međutim već danas postoji oskudica upotrebljive vode – vode koja nije slana ili zagađena – na mnogim dijelovima našeg planeta, pa i naše zemlje. Osim toga priroda dosta hirovito raspoređuje tu izmjenu vode u hidrološkom ciklusu. Dok u nekim tropskim krajevima vodeni talog, odnosno oborina u godini dana iznosi više od 20 m^3 (Cherrapunji – Indija), u nekim drugim krajevima gotovo uopće nema oborina (pustinja Attacama u Čileu, dijelovi Sahare ili pustinja Namib u Južnoj Africi).

Posebno je interesantno zabilježiti da atmosfera kao dio prostora retencije vode, može sadržavati cca 12 900 km^3 vode u obliku vodene pare, dok je ukupno godišnje isparivanje hidrosfere 577 000 km^3 vode. Dakle približno u prosjeku se voda u atmosferi izmijeni 45 puta godišnje ili svakih devet dana putem ciklonalnih poremećaja atmosfere iznad oceanskih prostora, pri čemu se premještanjem tih ciklona preko kontinentata dio oborina prenese i na kopnene prostore.

Svakako da je dio od ukupne mase vode, potreban za život čovjeka sadržan u vodnim resursima kopna i to prvenstveno u površinskim (vodotoci, jezera) i podzemnim re-

tencijama (podzemna voda). Kvalitetne, upotrebljive površinske vode je sve manje, jer je intenzitet zagađivanja iznad sposobnosti samoprečišćavanja vodotoka. Time čovjeku ostaju uglavnom još uvijek nezagađeni podzemni vodni resursi, sadržani u plićim ili dubljim podzemnim retencijama na ograničenim prostorima koji se obnavljaju horizontalnim i vertikalnim cirkulacijama vode u hidrološkom ciklusu. Pri tome potrebe za vodom rastu, posebno u područjima intenzivnog razvoja poljoprivrede, gdje su od posebne važnosti pliće podzemne vode i voda sadržana u vlažnosti zemljišta.

Neravnomjernost raspodjele vode je i ovdje prisutna. Neki prostori su prezasićeni vodom koju treba odvoditi, dok su neki prostori deficitarni vodom u određenoj fazi hidrološkog ciklusa. U sveukupnosti proučavanja režima podzemnih voda, naročito u ravničarskim, poljoprivrednim područjima, posebno važno mjesto uzimaju vertikalni procesi u hidrološkom ciklusu, kao dominantni. Za ukupnu vodnu bilancu vremenskog razdoblja veličine sezone ili mjeseca vertikalni procesi u hidrološkom ciklusu predstavljaju daleko značajniji elemenat prihranjivanja podzemnih voda od horizontalnih. Izuzetak od toga čini samo usko područje u blizini površinskog vodotoka gdje je režim podzemnih voda direktno u zavisnosti od režima površinskog tečenja, te površinskog i podzemnog otjecanja.

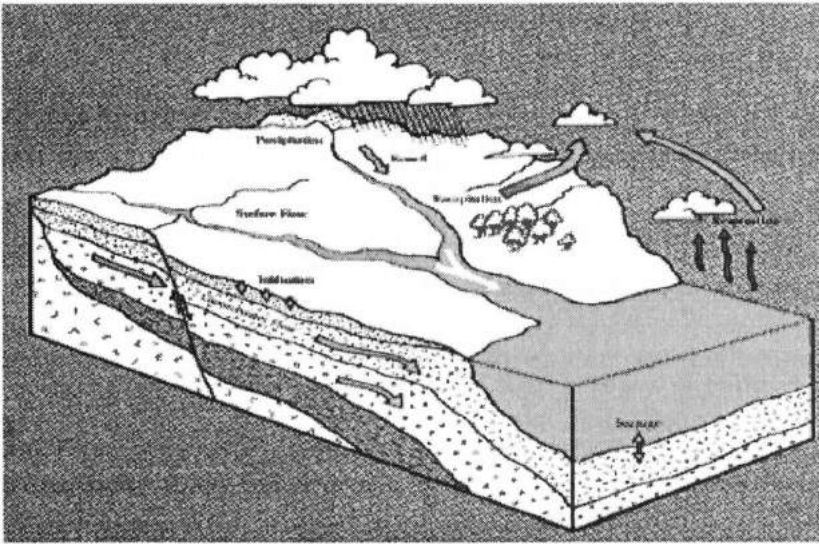
Može se reći da je najveći dio poljoprivrednog gospodarstva naše zemlje pretežno pod utjecajem vertikalnih procesa u hidrološkom ciklusu, odnosno da je vodna bilanca podzemnih voda na tim prostorima direktno u zavisnosti od oborina, infiltracije te evapotranspiracije, kao glavnih predstavnika vertikalnih hidroloških procesa u hidrološkom ciklusu. Sva tri procesa su od osnovnog značenja za prihranjivanje ili obnavljanje podzemnih voda. Upoznavanje fizike tih procesa, kao i njihovih veličina u određenim vremenskim razdobljima od suštinskog su značenja za dobro gospodarenje podzemnim vodama. Režim podzemnih voda na takvim prostorima kao jedno od područja djelatnosti hidrologije, predstavlja osnovicu za sva daljnja proučavanja problematike podzemnih voda, njezinog iskorištavanja ili zaštite. Čimbenici koji utječu na taj režim, odnosno koji uzrokuju dinamičke promjene količine i kvalitete podzemnih voda na takvim prostorima, predstavljaju sintezu brojnih prirodnih parametara.

Najdinamičniji i sa najznačajnijim utjecajem na režim podzemnih voda, su hidrološki i meteorološki parametri. Njihovo djelovanje se ogleda u stalnoj oscilaciji nivoa vode u podzemlju i promjeni vlažnosti zemljišta iznad toga nivoa. Upoznavajući sredinu u kojoj se ti procesi odigravaju, kao i same procese, moguće je definirati vodnu bilancu podzemne vode, kao njezinu kvantitativnu veličinu u određenom vremenu.

Potpunije upoznavanje tih hidroloških procesa i prirodnih zakona gibanja vode od atmosfere do podzemlja i obrnuto, moguće je jedino istraživačkim radom, direktnim mjerenjem na posebnim mjernim stanicama, opremljenim instrumentima za mjerenje hidroloških i meteoroloških parametara, koji dominantno utječu na promjenu režima podzemnih voda.

2. Hidrološki ciklus kao sistem

Svako akademsko izlaganje o hidrologiji kao znanosti koja se bavi procesima gibanja vode u prirodi nezaobilazno počinje od hidrološkog ciklusa (slika 1.) kao središta hidroloških događanja. Hidrološki ciklus nema početka ni kraja već se kontinuirano odvija u prostoru i vremenu zemljine hidrosfere, odnosno zoni od 15 km visine atmosfere i cca 1 km dubine litosfere. Osnovni hidrološki procesi u tome ciklusu su



Slika 1. Šema hidrološkog ciklusa

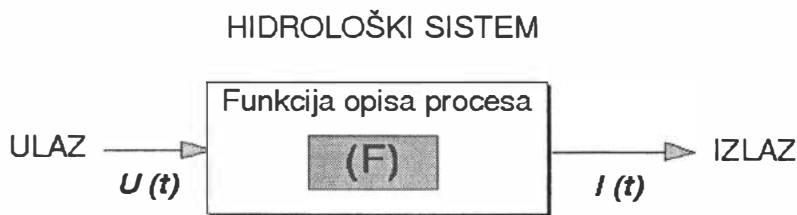
evaporacija sa slobodne vodne površine (oceani, mora, jezera, rijeke, prirodne i umjetne akumulacije), evaporacija sa površine zemljišta (gola zemljišta, vegetacija, objekti), evaporacija sa nivoa podzemnih voda, transpiracija biljnog pokrova, površinsko otjecanje, infiltracija, efektivna infiltracija do nivoa podzemne vode, podzemno otjecanje te oborine u svim njezinim oblicima. U suštini hidrološki ciklus je vrlo kompleksan proces u prirodi i možda nikada u potpunosti neće biti upoznat. Naravno današnji doseg hidrološke znanosti može opisivati cijeli ili pojedine dijelove ciklusa određenim hidrološkim modelima odnosno konceptom sistema. Pri tome se pod hidrološkim sistemom podrazumijeva skup povezanih dijelova hidroloških procesa koji učestvuju u sistemu. Dakle hidrološki ciklus može biti prikazan kao sistem sastavljen od pojedinačnih procesa kao što su oborine, isparivanje, otjecanje, infiltracija, te drugi procesi koji u njemu učestvuju. Ti procesi mogu biti izdvojeni u određene podsisteme i odvojeno se proučavati. Upoznavanje cijelog sistema moguće je provesti hidrološkom analizom tih podsistema te konačnom sintezom dobivenih saznanja i rezultata.

Osnovni konceptualni pristup analizi i sintezi navedenih hidroloških sistema može se prikazati slikom 2. Kako su u hidrologiji svi procesi uglavnom vremenski zavisni, to se ulaz $U(t)$ i izlaz $I(t)$ iz hidrološkog sistema mogu opisivati vremenski zavisnim promjenljivim veličinama. Time se šematski prikaz sistema može zamijeniti transformacionom jednačbom:

$$U(t) = F \cdot I(t) \quad (2.1)$$

gdje je simbol F predstavlja neki racionalni model koji opisuje odabrani hidrološki proces u sistemu ili često nazivan kao funkcija transformacije.

Ako vezu ulaza $U(t)$ i izlaza $I(t)$ iz sistema možemo prikazati nekom matematičkom funkcijom odnosno algebarskom jednačbom tada je simbol F algebarski operator odnosno algoritam. Teorijski modeli prikazuju sistem u matematičkom obliku, pri če-



Slika 2. Konceptualni prikaz hidrološkog sistema

mu je sistemski operator jedna ili skup jednadžbi koje povezuju ulazne i izlazne hidrološke promjenljive kao funkcije vremena i prostora.

Dakle konceptualni pristup hidrološkom sistemu sadrži tri glavna dijela:

- ulaz u sistem
- izlaz iz sistema $I(t)$
- racionalni model ili funkciju (F) sistema

Obzirom da se hidrološki ciklus odvija u atmosferi, na zemljinoj površini te ispod zemljine površine, to se cjeloviti hidrološki sistem koji ga predstavlja može generalno podijeliti na sljedeće podsisteme:

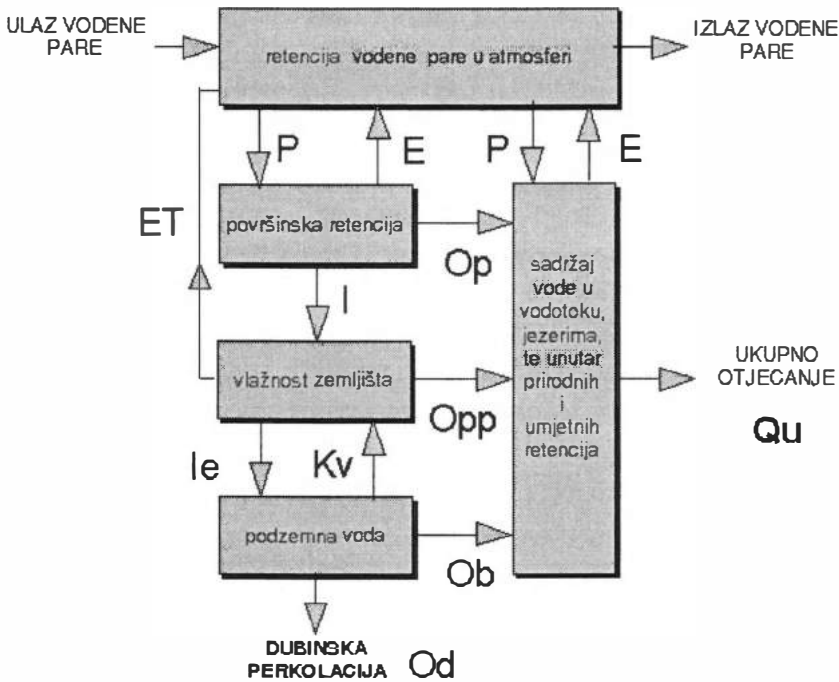
- sistem gibanja vode u atmosferi
- sistem gibanja vode na površini zemljišta
- sistem gibanja vode ispod zemljine površine

Gibanje vode kroz hidrološki ciklus je prostorno gibanje. Međutim podjelom cjelovitog sistema na navedene podsisteme moguće je parcijalno razmatrati gibanje vode kao ravninsko, odnosno dvodimenzionalno. Pri tome se takvo dvodimenzionalno gibanje vode, u sistemu može podijeliti na horizontalnu i vertikalnu komponentu, odnosno na takozvane horizontalne i vertikalne procese u hidrološkom ciklusu. Analizom podsistema gibanja vode na površini zemljišta dominantne su horizontalne komponente, dok su za analizu podsistema gibanja vode u prizemnom sloju atmosfere, kao i gibanja vode ispod površine zemljišta dominantne vertikalne komponente opisane vertikalnim hidrološkim procesima.

3. Istraživanje vodne bilance

Pod vodnom bilancom u hidrologiji smatramo kvantitativni rezultat analize hidroloških procesa, kao dijelova hidrološkog ciklusa, u zbirnom obliku na nekom određenom prostoru u određenom vremenskom razdoblju.

Osnovni hidrološki procesi od kojih dominantno ovisi vodna bilanca svakog prostora su oborine kao ulaz (U), te isparivanje i otjecanje u svim njihovim oblicima kao izlaz (I) vode sa tog prostora. Pri tome voda u obliku oborine iz atmosfere na zemljinu površinu, gdje dijelom ispariva, dijelom se transformira u površinsko otjecanje, a dijelom u infiltraciju te podpovršinsko i podzemno otjecanje. Konačni rezultat tih procesa u određenom vremenskom razdoblju uočavamo u promjeni vodnih rezervi razmatranog prostora (ΔW), koja se očituje u povećanom akumuliranju ili njenom iscrpljivanju. U ulazne elemente vodne bilance spadaju sve vrste atmosferskih oborina, dok u izlazne elemente spadaju svi vidovi isparivanja i otjecanja. Na taj način se vodna bi-



Slika 3. Šematski prikaz vodne bilance

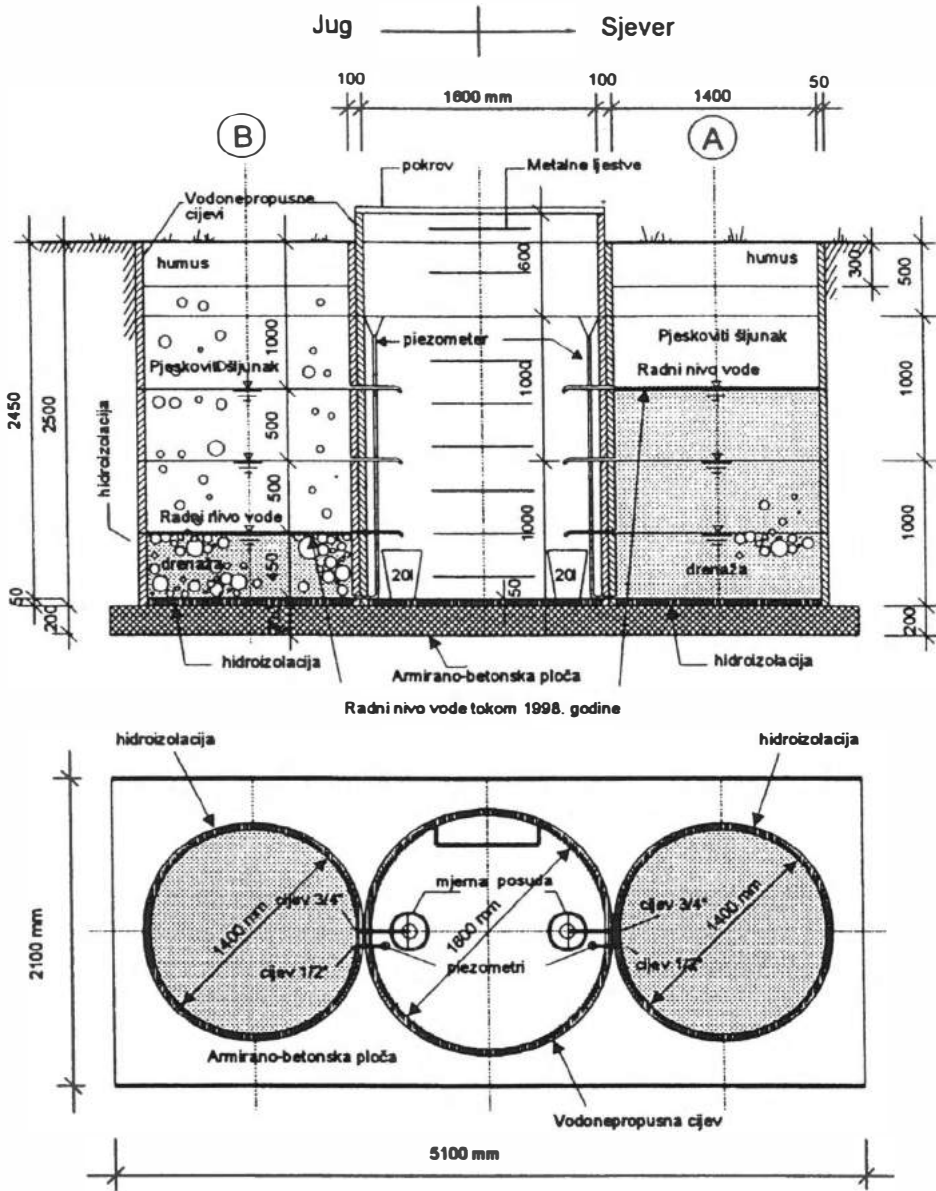
lanca analizira kao rezultat zajedničkog djelovanja svih procesa u hidrološkom ciklusu, odnosno djelovanja njihovih vertikalnih i horizontalnih komponenta (slika 3.). Proces u hidrološkom ciklusu koji pripadaju horizontalnim komponentama, pod dominantnim su utjecajem hidrodinamičkih čimbenika, dok su vertikalni procesi svojim komponentama uglavnom pod utjecajem termodinamičkih čimbenika i molekularnih sila.

Korišćenje vodne bilance kao znanstvene metode istraživanja hidroloških procesa temelji se na primjeni zakona održanja mase. Na taj način moguće je analizirati svaki dio zemljine površine, neovisno o njezinoj veličini i vremenskoj dimenziji. Za opisanje većine hidroloških procesa koriste se osnovni zakoni mehanike fluida, primjenjeni na hidrološke sisteme, odnosno zakon održanja mase, količine gibanja i energije. Zakon održanja mase je najčešći fizički zakon korišten u hidrologiji za upoznavanje prirodnih procesa u hidrološkom ciklusu. Zakon održanja mase u integralnom obliku može se prikazati preko ukupne mase sadržane unutar hidrološkog sistema:

$$m = \iiint \rho dV \quad (3.1)$$

pri tome se pod hidrološkim sistemom može smatrati ograničeni prostor (slika 4) koji u konačnom kontrolnom volumenu (V) sadrži fluid čija se masa (m) može izmijenjivati kroz kontrolnu površinu sistema (A) koja omeđuje volumen. Zakon održanja mase ne dozvoljava izvor ili ponor mase u sistemu, odnosno veličina ukupne promjene mase u sistemu u vremenu (dt) jednaka je nuli:

POKUSNA STANICA "VARKOM" - VARAŽDIN



Slika 4. Hidrološki sistem infiltrimetara

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d}{dt} \iiint \rho dV = 0 \tag{3.2}$$

Ako postoji dotjecanje mase u sistem njezino istjecanje iz sistema kroz kontrolnu površinu, tada zakonu održanja mase dodajemo i uvjet neprekinutosti mase izraženu Reynoldsovim transportnim poučkom. Pri tome dakle, promjenu mase u kontrolnom volumenu, uslijed njenog gibanja kroz hidrološki sistem možemo prema Reynoldsu pisati kao:

$$\frac{d}{dt} \iiint \rho dV = \iiint \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \iint \rho v dA \quad (3.3)$$

pri čemu je:

$$\iiint \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \iint \rho v dA = 0 \quad (3.4)$$

Odnosno, promjena mase u jedinici vremena u kontrolnom volumenu sistema mora biti jednaka ukupnoj količini mase koja protječe kroz površinu koja omeđuje kontrolni volumen. Protjecanje mase vrši se vektorom protoke mase, odnosno fluksom mase (ρv). Količina mase koja protječe kroz kontrolnu površinu (A) iznosi:

$$\iint \rho v dA \quad (3.5)$$

Tako dolazimo do matematičkog prikaza tečenja nepromijenjive (konzervativne) mase ili jednadžbe kontinuiteta za nestacionarno gibanje realnog fluida. Za slučaj gibanja fluida konstantne gustoće jednadžba (3.4) se može napisati u obliku:

$$\frac{d}{dt} \iiint dV + \iint v dA = 0 \quad (3.6)$$

pri čemu prvi član jednadžbe (3.6) na lijevoj strani predstavlja promjenu mase fluida u vremenu (dt) izraženu volumenski, spremljenu ili sadržanu u kontrolnom volumenu sistema. Tu veličinu možemo označiti sa (W), odnosno:

$$\iiint dV = W \quad (3.7)$$

Drugi član u jednadžbi (3.6) predstavlja ukupno istjecanje mase iz kontrolnog volumena sistema kroz kontrolnu površinu a koje može biti prikazano preko veličina ulaza mase u sistem $U(t)$ i izlaza mase iz sistema $I(t)$ u vremenu (dt), izraženo volumenski, odnosno:

$$\iint v dA = \iint_{\text{izlaz}} v dA + \iint_{\text{ulaz}} v dA \quad (3.8)$$

ili

$$\iint v dA = I(t) - U(t) \quad (3.9)$$

Uvrštavanjem izraza (3.7) i (3.9) u jednadžbu (3.6) dolazimo do opće poznate jednadžbe kontinuiteta za nestacionarno gibanje fluida konstantne gustoće u obliku:

$$\frac{dW}{dt} + I(t) - U(t) = 0 \quad (3.10)$$

odnosno:

$$\frac{dW}{dt} = U(t) - I(t) \quad (3.11)$$

Ukoliko se promatra stacionarno stanje, odnosno kada nema promjene sadržaja mase u sistemu ($W = \text{konstantno}$), dobivamo drugi član u jednadžbi (3.6) jednak nuli:

$$\iint v dA = 0 \quad (3.12)$$

dobivamo stanje kada je istjecanje mase iz sistema jednako utoku mase u sistem odnosno:

$$U(t) = I(t) \quad (3.13)$$

Takvo stacionarno stanje sistema nazivamo zatvorenim sistemom. Kod istraživanja promjene u sistemu između dva određena vremenska stanja, derivacija lijeve strane jednadžbe (3.11) može se približno zamijeniti gradijentom $\Delta W/\Delta t$ odnosno možemo napisati:

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} = U(t) - I(t) \quad (3.14)$$

Pri tome su dimenzionalno ΔW u $[\text{m}^3]$, $U(t)$ i $I(t)$ u $[\text{m}^3/\text{s}]$. U jednadžbi (3.16) sve su varijable dimenzionalno iste $[\text{m}^3]$ i jednadžba može biti primjenjena kao metoda proučavanja većine hidroloških procesa. Jednadžba (3.16) u hidrologiji se naziva osnovnom jednadžbom vodne bilance.

$$\Delta W = U(t)\Delta t - I(t)\Delta t \quad (3.15)$$

$$U - I = \pm \Delta W \quad (3.16)$$

Korišćenje metode svakako je ograničeno uvjetom zatvorenosti odabranog sistema. Također je potrebno uspostaviti stacionarno stanje u sistemu ($\Delta W = 0$) preko osrednjenih hidroloških procesa u dovoljno dugačkom vremenskom razdoblju.

Primjenom metode i direktnim mjerenjem te hidrološkom analizom čimbenika vertikalne vodne bilance podzemnih voda, na pokusnoj stanici »Varkom« koja je 1988. godine postavljena u krugu vodocrpilišta grada Varaždina (slika 4.), tokom istražnih radova upoznati su procesi efektivne infiltracije i stvarne evapotranspiracije karakteristični za aluvij rijeke Drave i klimatsko područje sjeverozapadnog prostora Republike Hrvatske.

Rezultat istraživanja je postavka i definiranje funkcije transformacije hidrološkog sistema vezano uz vertikalnu interakciju atmosfere i podzemne vode do dubine od 2 m. Određen je nelinearni regresioni model stvarne evapotranspiracije (ETA) u obliku:

$$ETa = 0,105P \cdot t^{0,728} \quad (\text{mm/mj}) \quad (3.17)$$

model efektivne infiltracije (I_e):

$$I_e = P (1 - 0,105t^{0,728}) \quad (\text{mm/mj}) \quad (3.18)$$

pri čemu su: P – mjesečna oborina (mm)

t – srednja mjesečna temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$)

4. Zaključak

Istražnim radovima na hidrološkom sistemu »Varkom«, ustanovljeno je da su isparivanja (evapotranspiracija) i infiltracija, glavni elementi vertikalne vodne bilance sistema. Time je analiza sistema provedena u cilju određivanja nelinearnog regresionog modela, koji zadovoljavajuće opisuje obadva hidrološka procesa, za sistem infiltrometra sa dubinom podzemne vode na 200 cm i to:

- stvarnu evapotranspiraciju (ETa)
- efektivnu infiltraciju (Ie)

Uvažavajući dva osnovna preduvjeta, da je za pojavu procesa evapotranspiracije, nužna prisutnost vlažnost (P) i energije (t) u sistemu, analizom i sintezom rezultata mjerenja na pokusnoj stanici, dobiven je model VARKOM za određivanje aktualne evapotranspiracije (ETa) i efektivne infiltracije (Ie) hidrološkog sistema vezanog uz aluvij rijeke Drave.

Model je vrlo prikladan za korištenje u svakodnevnoj hidrološkoj praksi jer zahtijeva poznavanje samo količine mjesečnih oborina i srednjih mjesečnih temperatura zraka na prostoru, za koji je potrebno odrediti aktualnu mjesečnu evapotranspiraciju ili efektivnu mjesečnu infiltraciju.

Literatura

- Bober, W., Kenyon, R.: *Fluid Mechanics*, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1980.
- Chevalier, J., Gheerbrant, A.: *Rječnik simbola*, Nakladni Zavod, Zagreb, 1983.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W.: *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 1988.
- Dooge, J. C. I.: *The hydrologic cycle as a closed system*, IASH Bull., vol. 13, no. 1, pp. 58–68, 1968.
- Patrčević, V.: *Hidrološki istražni radovi na eksperimentalnoj stanici Varkom – Varaždin*, Godišnji izvještaji, Građevinski fakultet, Sveučilišta J. J. Strossmayera, Osijek, 1999.
- Supek, R.: *Ova jedina Zemlja*, Globus, Zagreb, 1973.

Autori

Doc. dr. sc. Vladimir Patrčević, dipl. ing. građ.

Asist. mr. sc. Siniša Maričić, dipl. ing. građ.

Građevinski fakultet, Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku, Drinska 16a, 31 000 Osijek

Tema 2.

OCEANOGRAFSKA I HIDROGRAFSKA PROBLEMATIKA JADRANSKOG MORA

Voditelji teme:

prof.dr.sc. DAMIR VILIČIĆ i dr.sc. ZVONKO GRŽETIĆ



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 2.01.

Hrvatski Jadran u sklopu novog teritorijalnog ustroja

Josip Riđanović, Ivica Rendulić, Vjekoslav Šimunović

SAŽETAK: Zakonom o područjima županija, gradova i općina u Republici Hrvatskoj, koji je donio Zastupnički dom Sabora Republike Hrvatske na sjednici 17. siječnja 1997. godine nastupile su velike i važne promjene u organizaciji prostora naše domovine, posebice u regiji Jadrana.

U radu se daju podaci prema stanju 20. svibnja 1998. godine. Obradeni su:

1. prostorni pojam i obuhvat hrvatskog Jadrana,
2. duljina i razvedenost obale na kopnu Hrvatske,
3. duljina i razvedenost obala otoka,
4. koeficijent razvedenosti hrvatske obale i
5. druge veličine koje su značajne za održivi razvitak i daljnji tok gospodarskih procesa u Hrvatskoj.

KLJUČNE RIJEČI: Hrvatski Jadran, teritorijalni ustroj, županija, koeficijent razvedenosti obale

Croatian Adriatic from the Viewpoint of the New Territorial Organisation

SUMMARY: The law of the new territorial organisation of the Republic of Croatia according to counties (županija) was promoted on January 17th 1997. With the implementation of this Law great significant changes appeared in spatial organisation of the Republic of Croatia and especially in it's Adriatic region.

According to the data on May 20th 1998, this article deals with:

1. The spatial concept of Croatian Adriatic,
2. The length and indentation of Croatian coastline,
3. The length and indentation of Croatian island's coastlines,
4. Indentation coefficient of total coastline of Croatian Adriatic and,
5. Other values important for the sustainable development and processes of development of the Republic of Croatia in general.

KEYWORDS: Croatian Adriatic, territorial organisation, county, coastline indentation coefficient

Pregled glavnih istraživanja

Prva sustavna istraživanja duljine i razvedenosti obala Jadranskog mora potječu iz početka 20. stoljeća (Sobieczky, 1911.). »Razvedenost istarskih i dalmatinskih otoka« objavio je Šenoa (1913.). Rubić (1925.) je obradio duljinu obale, broj otoka i luka Države Slovenaca Hrvata i Srba. Isti autor (Rubić, 1952.) je objavio geografsku mo-

nografiju »*Naši otoci na Jadranu*«. Tri godine kasnije izašla je publikacija »*Razvedenost obale i otoka Jugoslavije*« (Hidrografski institut, 1955.). Stražičić (1970.) objavio je članak »*Otok Mljet – prilog poznavanju obalne razvedenosti*«. Godine 1987. (Službeni list SFRJ) donesen je Zakon o obalnom moru i epikontinentalnom pojasu SFRJ. Taj se Zakon primjenjuje i na hrvatski Jadran. Iste godine Stražičić (1987.) je objavio novu klasifikaciju otoka, otočića i hridi ili grebena u Jadranskom moru. Na geološkoj karti Hrvatske formata razglednice Dragaš i suradnici (1990.) predočili su najveću površinu Republike Hrvatske koja iznosi 110 569 km².

Zakon o područjima županija, gradova i općina izašao je 29. prosinca 1992. godine. Preliminarne podatke za površinu Republike Hrvatske prvi su podastri Francula i suradnici (1993.). Klemenčić (1993.) je dao nove podatke o površini Republike Hrvatske (89 738 km²). Lapaine (1993.) i suradnici su digitalizacijom obalne crte kopna, otoka i granica općina Hrvatske s karte u mjerilu 1:1 000 000 izračunali i prvi objavili površinu hrvatskog Jadrana i otoka. Riđanović i Bićanić (1993.) su iste godine digitalizacijom s karte u mjerilu 1:500 000 dobili nove podatke o površinama sadašnjih općina na hrvatskom Jadranu. Statistički ljetopis Hrvatske 1993. donosi podatak da je otočje Palagruže u sastavu općine Lastovo. Godine 1995. izašla je nova karta Republike Hrvatske s predodžbom županija, gradova i općina u mjerilu 1:500 000, odnosno II. izmijenjeno izdanje. Bertić (1995.) je u Hrvatskom zemljopisu prikazao kartografski pregledno suvremene županije Republike Hrvatske i dao podatke o njihovim površinama; za primorske županije iskazao je posebice i pripadajuću površinu u sklopu obalnog mora. Bertić (1996.) je objavio i »*Najnovije promjene u teritorijalno-upravnom ustrojstvu Republike Hrvatske*«, samo sa starim podacima za pripadajuće površine pojedinih županija unutar obalnog mora. Iz Statističkog ljetopisa Hrvatske 1998. godine preuzeti su podaci o broju općina, gradova i površina odgovarajućih županija u sklopu hrvatskog Jadrana.

Metoda rada

Digitalizacijom karte Republike Hrvatske s područjima županija, gradova i općina u mjerilu 1:500 000 koju su izdali Ministarstvo obrane Republike Hrvatske i Uprava za graditeljstvo, a tiskana je u Zavodu za kartografiju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 1995. II. izmijenjeno izdanje, dobiveni su novi podaci o površinama općina koje izlaze na obalu Jadranskog mora. Mimo površina općina na kopnenom dijelu Hrvatske koje izlaze na obalu Jadranskog mora izračunate su i površine općina na moru do vanjske granice teritorijalnog mora hrvatskog Jadrana.

Rezultati i rasprava

Jadransko more je glavni izvor i najveći obujam vode za Hrvatsku. Jadranska potolina je izdužena od SZ prema JI i slijedi osnovni karakteristični dinarski geotektonski smjer. Geografsku strukturu Jadrana određuju i upotpunjuju brojčani podaci o najvažnijim prostornim veličinama.

Duljina Jadranskog mora između Maranske lagune u blizini Venecije (Italija) i ušća rijeke Butrintit (Albanija) iznosi 870 km (470 M). Širina Jadranskog mora na potezu Stobreč (Hrvatska) - Vasto (Italija) je 216,7 km (117 M). Prosječna širina Jadrana je 159,3 km (86 M). Najveća službena dubina Jadranskog mora od 1233 m je izmjerena u južnom dijelu na poprečnom profilu Budva (Crna Gora) - Fasano (Italija). Najveća

visina na kopnu prema novoj izmjeri je 1893 m u planinskom sklopu Orjena. Jadran je preko Otrantskih vrata povezan s Jonskim i Sredozemnim morem. Površina Jadranskog mora, uključujući i otoke, iznosi 138 595 km², a bez otoka površina iznosi 135 418 km². Obujam Jadranskog mora zaprema 34 836 km³. Izobata od 200 m obilježava površinu mora od 36 180 km². Ako se ta brojka odbije od ukupne površine Jadranskog mora (138 595 km²) preostalih 102 415 km² ili 73,9% je površina plićaka.

Oko tri četvrtine Jadranskoga mora je dakle na šelfu, u dubinama manjim od 200 metara. Jadran je malo i plitko more, jer obuhvaća samo 4,6% od površine Sredozemnog mora.

Raspodjela dubina u Jadranu dobro ocrtava reljef podmorja. Dva su dijela izrazita. Jugoistočni sektor od crte Zadar - Ancona prema Otrantskim vratima mnogo je dublji i zaprema više od 90% obujma Jadranskog mora. Sjeverozapadno od crte Pula - Ancona ističe se plićak koji obuhvaća jedva 2% od ukupne zapremine Jadrana.

Na obale Jadranskog mora izlaze ponajprije Hrvatska, potom Italija, Albanija, Crna Gora, Slovenija, Bosna i Hercegovina te Grčka.

Velike su razlike u duljini obale kod pojedinih zemalja koje izlaze na Jadransko more.

HRVATSKA je prema duljini otočnih obala od 4 058 km ili 97,2% bez premca prva na Jadranskom moru.

U Statističkom ljetopisu Republike Hrvatske 1998. objavljen je točan podatak (5 835,3 km) za ukupnu duljinu obala na hrvatskom Jadranu. Grešku koju je objavio Sobietzcky (1911.) i ostali autori, Šenoa (1913.), Rubić (1925., 1952.) te Hidrografski Institut JRM (1955.) ispravio je Stražičić (1970.).

Metode rada se tijekom vremena usavršavaju. Primjenom novih tehnologija dobivaju se točniji podaci koje bi trebalo uključivati ponajprije u stručno-znanstvenim raspravama, posebice u nastavnom procesu, ali i u svakodnevnoj praksi rada županija, općina, gradova i organa mjesne uprave.

HRVATSKA je prema ukupnoj duljini obala (otočnih i na kopnu) od 5 835,3 km daleko ispred svih jadranskih država i pripada joj sa 74% p r v o mjesto na Jadranskom moru, tablica 1.

HRVATSKA raspoloža s najduljom kopnenom obalom na Jadranu. Od 3 737 km kopnenih obala Jadranskog mora unutar granica Republike Hrvatske je 1 777,3 km ili 48%.

Na drugom mjestu je Italija s 1 249 km, na trećem mjestu je Albanija s 396 km, na četvrtom Crna Gora s 249 km, na petom Slovenija s 44,5 km i na šestom Grčka bez kopnenih obala na Jadranskom moru. Hrvatskoj pripada najviše, 48%, Italiji 33%, Albaniji 11%, Crnoj Gori 6,7%, Sloveniji 1,2% te Bosni i Hercegovini 0,1% kopnene obale na Jadranu, tablica 1.

Promijenila se i veličina koeficijenta razvedenosti hrvatske obale, tablica 2. *Koeficijent razvedenosti (K) je brojčani odnos između stvarne duljine i najkraće ili zračne udaljenosti mjeren izravno od početne do završne točke na obali. Zračna udaljenost između krajnjih točaka, to jest od ušća rijeke Dragonje u Piranskom zaljevu do rta Oštre na ulazu u Bokokotorski zaljev, iznosi približno 526 km. Stvarna duljina obala hrvatskog Jadrana je oko 5 835,3 km. Koeficijent razvedenosti hrvatske obale je 11. Nejveća razvedenost uopće karakteristična je za fjordovske obale. Koeficijent razvedenosti tih obala je 20.*

Tablica 1.

Duljina obala zemalja u okviru Jadranskog mora (duljina u km)						
Zemlja	Kopno	%	Otoci	%	Ukupno	%
HRVATSKA	1 777,3	48	4 058	97,2	5 835,3	74
Italija	1 249,0	33	23	0,5	1 272,0	16
Albanija	396,0	11	10	0,3	406,0	5
Crna Gora	249,0	6,7	11	0,3	260,0	3,3
Slovenija	44,5	1,2	–	–	44,5	0,5
Bosna i Hercegovina	21,2	0,1	–	–	21,2	0,3
Grčka	–	–	73	1,7	73,0	0,9

Tablica 2.

Razvedenost obala zemalja u okviru Jadranskog mora		
Zemlja	Zračna crta	Koeficijent razvedenosti
HRVATSKA	526	11,10
Bosna i Hercegovina	2	10,50
Grčka	19	3,84
Crna Gora	92	2,83
Slovenija	17	2,62
Albanija	265	1,53
Italija	926	1,37

HRVATSKA je prema koeficijentu razvedenosti najrazvedenija obala na Jadranu i ubraja se među reljefno najrašćlanjenije obale svijeta, tablica 2.

HRVATSKA je prema predočenim značajkama najtipičnija i prirodno najosebujnija zemlja na Jadranu.

Geografska struktura Jadranskog mora geološki je vrlo mlada. Današnje obale su nastale pozitivnim oscilacijama razine mora u doba holocena. Prvotni krški reljef je potopljen i uz obalu Hrvatske pojavili su se brojni otoci međusobno raščlanjeni čudesnim zaljevima.

Prema teritorijalno-upravnom ustroju Republike Hrvatske od 17. siječnja 1997. godine na obale hrvatskog Jadrana izlaze 7 županija, 79 općina i 40 gradova, tablica 3.

Najveće promjene u regiji Jadrana nastale su između Splitsko-dalmatinske i Dubrovačko-neretvanske županije. Otočje Palagruže s odgovarajućom površinom teritorijalnog mora priključeni su općini Lastovo (SLjH - '93., str. 470). Proširen je zatim prostorni obuhvat Zadarske županije na moru uključenjem središnjeg i južnog dijela otoka Paga. Grad Pag i novoosnovana općina Poveljana, teritorijalne jedinice koje su prije bile u Ličko-senjskoj, sada su u Zadarskoj županiji.

Dubrovačko-neretvanska županija obuhvaća samo 3,2% ili 1 782 km² Hrvatske, tablica 3. S udjelom na moru (11 128,44 km²) površina joj je povećana na 12 731,57 km². U Dubrovačko-neretvanskoj županiji od 17 jedinica mjesne uprave 14 je na moru. To su općine: 1. Cavtat, 2. Srebrno, 3. Slano, 4. Ston, 5. Janjina, 6. Trpanj, 7. Orebić, 8. Lumbarda, 9. Vela Luka, 10. Lastovo, 11. Babino Polje, 12. Smokvica i 14. Vlaka-Slivno. Od 5 gradova 4 su također na moru: 1. Dubrovnik, 2. Korčula, 3. Ploče i 4. Opuzen.

Dubrovačko-neretvanska županija, iako zaprema najmanji dio kopna Hrvatske, novim teritorijalno-upravnim ustrojem dobila je najveću površinu na Jadranskom moru. *Dubrovačko-neretvanska županija prema geografskom smještaju je najjužnija i pučinska, a prema geografskom položaju najmaritimniji dio hrvatskog Jadrana.*

Splitsko-dalmatinska županija prostire se na 4 524 km² ili 8% kopna Hrvatske i druga je prema ukupnoj površini od 6 862,48 km² na hrvatskom Jadranu, tablica 3. U Splitsko-dalmatinskoj županiji ustrojeno je ukupno 39 općina i 16 gradova. Dvadeset općina izravno izlazi na obalu Jadrana. To su: 1. Marina, 2. Seget Donji, 3. Okrug Gornji, 4. Okrug, 5. Podstrana, 6. Dugi Rat, 7. Brela, 8. Baška Voda, 9. Tučepi, 10. Podgora, 11. Gradac, 12. Grohote na Šolti, 13. Milna na Braču, 14. Sutivan, 15. Postira, 16. Pučišća, 17. Selca, 18. Bol, 19. Nerežišća, 20. Sućuraj na Hvaru i 21. Jelsa. Od 16 gradova 11 je na moru: 1. Split, 2. Solin, 3. Kaštela, 4. Trogir, 5. Omiš, 6. Makarska, 7. Supetar, 8. Hvar, 9. Stari Grad, 10. Vis i 11. Komiža.

Primorsko-goranska županija zaprema površinu 3 590 km² ili 6,3% kopnenog dijela Hrvatske. S udjelom na moru površina joj je povećana na 5 893,44 km². U toj je županiji bilo najmanje promjena. Od ukupno 21 općine i 14 gradova 10 općina izlazi na obalu Jadrana. To su: 1. Mošćenička Draga, 2. Lovran, 3. Matulji, 4. Kostrena, 5. Omišalj, 6. Malinska, 7. Dobrinj, 8. Vrbnik, 9. Punat i 10. Baška. Od 14 gradova 10 ih je izravno na moru: 1. Rijeka, 2. Opatija, 3. Bakar, 4. Kraljevica, 5. Crikvenica, 6. Novi Vinodolski, 7. Krk, 8. Rab, 9. Cres i 10. Mali Lošinj.

Zadarska županija obuhvaća 3 643 km² ili 6,4% Hrvatske. U županiji osnovano je 26 općina i 6 gradova. 18 općina izlazi na obalu Jadrana. To su: 1. Povljana na Pagu, 2. Vir, 3. Privlaka, 4. Ražanac, 5. Starigrad, 6. Posedarje, 7. Novigrad, 8. Bibinje, 9. Sukošan, 10. Sveti Filip i Jakov, 11. Pakoštane, 12. Preko, 13. Kali, 14. Kukljica, 15. Pašman, 16. Tkon, 17. Sali i 18. Jasenice. Od 6 gradova 5 su na moru: 1. Zadar, 2. Biograd n/m, 3. Pag, 4. Nin i 5. Obrovac.

U Zadarskoj županiji, unatoč smanjenja na kopnu (više od 40%) povećana je površina na moru za 235 km².

Istarska županija obuhvaća 2 813 km² ili 5% kopna Hrvatske. S udjelom na moru povećana joj je ukupna površina na 4 850,94 km². U županiji je ustrojeno 29 općina i 9 gradova, od toga 11 općina na moru: 1. Brtonigla, 2. Sveti Lovreč, 3. Vrsar, 4. Bale, 5. Vodnjan, 6. Medulin, 7. Ližnjan, 8. Marčana, 9. Barban, 10. Raša i 11. Kršan. Od devet gradova, šest gradova izlazi na more: 1. Umag, 2. Novigrad, 3. Poreč, 4. Rovinj, 5. Pula i 6. Labin.

Šibensko-kninska županija zauzima 2 994 km² ili 5,3% Hrvatske. Organizirana je u 12 općina i 5 gradova. Četiri općine izlaze izravno na obalu Jadrana. To su: 1. Pirovac, 2. Tisno, 3. Primošten i 4. Rogoznica. Dva su grada samo na moru: 1. Šibenik i 2. Vodice.

Tablica 3.

Hrvatski Jadran u sklopu teritorijalnih jedinica prema ustroju 17. siječnja 1997., stanje 20. svibnja 1998.					
Dijelovi županija	Broj općina i gradova na moru	Površine općina i gradova s izlazom na Jadran			Površina županija bez udjela mora
		na moru	na kopnu	ukupno	
Dubrovačko-neretvanska	14 + 4	11 128,44	1 603,13	12 731,57	1 782
Splitsko-dalmatinska	21 + 11	4 944,13	1 918,35	6 862,48	4 524
Primorsko-goranska	10 + 10	4 338,62	1 554,82	5 893,44	3 590
Zadarska	18 + 5	3 845,00	1 537,80	5 382,80	3 634
Istarska	11 + 6	3 581,00	1 269,94	4 850,94	2 813
Šibensko-kninska	4 + 2	2 689,00	973,62	3 662,62	2 994
Liško-senjska	1 + 2	541,00	1 059,94	1 600,94	5 350
	79 + 40	31 067,19	9 917,60	40 984,79	

Najzanimljivija hidrografska specifičnost Šibensko-kninske županije su Kornati, najmnogobrojnija i najusitnjenija skupina čudesnih i jedinstvenih otoka na hrvatskom Jadranu (Riđanović i Šimunović, 1995).

Ličko-senjska županija zahvaća površinu 5 350 km² ili 9,5% kopna Hrvatske. U županiji je ustrojeno 8 općina i 4 grada. Na obalu Jadrana izlazi samo općina Karlobag i dva grada: 1. Senj i 2. Novalja na otoku Pagu.

Ličko-senjska županija, prema novom upravno-teritorijalnom ustroju, povećana je za 1 607 km² ili 43% i najveća je površinom na kopnu Hrvatske.

Hrvatski Jadran zaprema prostor obalnog mora od sredine Piranskog zaljeva (ušće rijeke Dragonje) na sjeverozapadu do Oštrog rta, zapravo sredinom vanjskog dijela Bokotorskog zaljeva na jugoistoku s prekidom od 21,2 km duljine obale kod Neuma.

Hrvatski Jadran osim mora obuhvaća i površine općina i gradova koje prema novom teritorijalnom ustroju od 17. siječnja 1997. kao jedinice mjesne uprave izlaze izravno na obalu Jadranskog mora.

Površina hrvatskog Jadrana, izračunata na taj način iznosi 40 984,79 km².

Od ukupne površine 75,8% ili 31 067,19 km² je more, dok je 24,2% ili 9 917,6 km² na kopnenoj obali Hrvatske.

Prevladavajući udio mora u svim jedinicama koje izlaze izravno na obalu hrvatskog Jadrana, prema upravno-teritorijalnom ustroju od 17. siječnja 1997., od kapitalne je važnosti za održivi razvitak i daljnje društveno-gospodarske procese u državi Hrvatskoj.

Zaključak

1. Hrvatski Jadran zauzima prostor obalnog mora od sredine Piranskog zaljeva na sjeverozapadu do Oštrog rta, točnije sredinom vanjskog dijela Bokotorskog zaljeva na jugoistoku s prekidom od 21,2 km duljine obale kod Neuma.
2. Hrvatska je prema duljini otočnih obala od 4 058 km ili 97,2% bez premca prva na Jadranskom moru.
3. Hrvatska je prema ukupnoj duljini obala (otočnih i na kopnu) od 5 835,3 km daleko ispred svih jadranskih država i pripada joj sa 74% prvo mjesto na Jadranskom moru.
4. Hrvatska raspolaže s najduljom kopnenom obalom na Jadranu. Od 3 737 km kopnenih obala Jadranskog mora 1 777,3 km ili 48% je unutar granica Republike Hrvatske.
5. Hrvatska je prema koeficijentu razvedenosti (11) najrazvedenija obala na Jadranu i ubraja se među reljefno najrašćlanjenije obale svijeta.
6. Na obale hrvatskog Jadrana prema novom teritorijalnom ustroju izlaze 7 županija, 79 općina i 40 gradova.
7. Dubrovačko-neretvanska županija s ukupnom površinom od 12 731,57 km² zauzima najveći dio hrvatskog Jadrana.
8. Šibensko-kninskoj županiji pripadaju Kornati, najmnogobrojnija i najusitnjenija skupina čudesnih otoka na hrvatskom Jadranu.
9. Površina hrvatskog Jadrana iznosi 40 984,79 km². Od ukupne površine 75,8% ili 31 067,19 km² je more, dok je 24,2% ili 9 917,6 km² na kopnenoj obali Hrvatske.
10. Hrvatska je prema predloženim značajkama najtipičnija i prirodno najosebujnija zemlja na Jadranu.

Literatura

- Bertić, I. (1995.): Županije kao hrvatska tradicija. Hrvatski zemljopis, 8, Zagreb, 9–15.
- Bertić, I. (1996.): Najnovije promjene u teritorijalno-upravnom ustrojstvu Republike Hrvatske. Geografski horizont, 2/1996., 14–26, Zagreb, 1997.
- Dragaš, M., Jagačić, T., Britvić, V., Skansi, R. i R. Perica (1990.): Geološka karta Hrvatske. Hrvatsko geološko društvo. Zagreb.
- Frančula, N., Lapaine, M. i N. Vučetić (1993.): Površina Republike Hrvatske na temelju digitaliziranih granica općina. 38. međunarodni godišnji skup KoREMA. Zagreb, 26.–28. 04. 1993.; 372–375.
- Hidrografski institut JRM (1955.): Razvedenost obale i otoka Jugoslavije. Split, 65.
- Klemenčić, M. (1993.): Croatia – Past and Present; Location, Position, Territory, Borders, Regions. Acta Geographica Croatica 28., 23–38.
- Lapaine, M., Frančula, N. i N. Vučetić (1993.): Površina hrvatskog mora i otoka. Zbornik radova. CAD sekcija Saveza društava arhitekata Hrvatske. Zagreb, 47–52.
- Republika Hrvatska (1995.): Područja županija, gradova i općina. Mjerilo 1:500 000. Izdavač: Ministarstvo obrane Republike Hrvatske; Uprava za graditeljstvo. Proizvođač: Geodetski fakultet, Zagreb. II. izmijenjeno izdanje.
- Riđanović, J. i Z. Bičanić (1993.): Hrvatski Jadran i novi teritorijalni ustroj. Acta Geographica Croatica 28., 85–97.
- Riđanović, J. i V. Šimunović (1995.): Hidrogeografske specifičnosti Kornata. Simpozij: Nacionalni park Kornati, općina Tisno u Županiji Šibenskoj. Murter, Tisno, Kornati, Šibenik, 2.–7. listopada 1995. Ekološke monografije 7, 23–38.

- Rubić, I. (1925.): Dužina obale, broj otoka i luka Države S. H. S. *Geografski vestnik*, 1., 52–55.
- Rubić, I. (1952.): *Naši otoci na Jadranu*. V. izdanje. Split, 167.
- Službeni list SFRJ (1987.): Zakon o obalnom moru i epikontinentalnom pojasu SFRJ. 49, 1211–1216.
- Sobieczky, A. (1911.): Die Kstenentwicklung des stereichisch-Ungarischen Monarchie. *Mitteilungen aus dem Gebiete des Seewesens*. Band 39. Pola.
- Statistički ljetopis Republike Hrvatske (1993.), Državni zavod za statistiku. Zagreb.
- Statistički ljetopis Republike Hrvatske (1998.), Državni zavod za statistiku. Zagreb.
- Stražičić, N. (1970.): Otok Mljet – prilog poznavanju obalne razvedenosti. *Geografski glasnik*, 32., 161–169.
- Stražičić, N. (1987.): Prirodno-geografske značajke kao poticajni i ograničavajući faktori razvoja jadranskih otoka. *Pomorski zbornik*, 25.
- Šenoa, M. (1913.): Razvedenost istarskih i dalmatinskih otoka. Rad JAZU, knjiga 198.
- Zakon o područjima županija, gradova i općina u Republici Hrvatskoj. *Narodne novine*, broj 90/92, 2/93, 58/93, 90/93, 10/94, 68/95, 69/95, 10/97, 124/97 i 68/98, Zagreb.



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 2.02.

Termohalini odnosi i raspodjela planktona u estuariju rijeka Zrmanje (listopad 1998.)

**Zrinka Burić, Damir Viličić, Mirko Orlić, Ante Smirčić, Frano Kršinić,
Zvonko Gržetić, Katarina Caput**

SAŽETAK: Visoko-stratificirani estuariji tipični su za Sredozemlje, gdje nastaju u uvjetima male plime i oseke. Do ušća u Novigradsko more, rijeka Zrmanja stvara estuarij dug oko 13 km. Područje estuarija ekološki je slabo istraženo, prirodnoznanstveno gotovo nepoznato. U listopadu 1998. godine, izmjerena je fina vertikalna raspodjela slanosti i temperature pomoću CTD sonde na osam postaja, na profilu od Velebitskog kanala do središnjeg dijela estuarija. Oštra haloklina dijeli vodeni stupac na bočati sloj iznad halokline i na morski sloj ispod halokline. Zbog dotoka hladnije riječne vode, termoklina se poklapa s haloklinom. Niska površinska slanost u Novskom ždrilu pokazuje snažno površinsko istjecanje riječne vode prema Velebitskom kanalu. Raspodjela fitoplanktona duž estuarija je nejednolika i odražava promjene termohalinih odnosa. U bočatom sloju iznad halokline, zastupljene su slatkovodne vrste, a ispod halokline dominiraju morske vrste. Najveća gustoća mikrofitoplanktona (dijatomeje i dinoflagelati sa stanicama 20 m), određena je u Novigradskom moru i uz ušće. Gustoća fitoplanktona maksimalna je neposredno ispod halokline, gdje se također nakuplja sitniji nanoplankton (2–10 m). Gustoća nauplija (ličinaka kopepoda, mikrozooplankton) najveća je u moru, a populacije se protežu u estuarij ispod halokline. Obilježja estuarija rijeke Zrmanje protežu se na velik dio Novigradskog mora i Velebitskog kanala.

KLJUČNE RIJEČI: Fitoplankton, zooplankton, estuarij, Zrmanja, Jadransko more

Thermohal Relations and Distribution of Plankton in the Zrmanja River Estuary (October 1998)

SUMMARY: Highly stratified estuaries are typical for the Mediterranean where they are formed during low rising and falling tide. Upstream the Novigrad Sea mouth, the Zrmanja River forms about 13 km long estuary. The estuary area is poorly researched from the environmental aspect, and as regards the aspect of natural sciences it is almost unknown. In October 1998, fine vertical salinity and temperature distribution was measured with CTD probe in eight stations, on a profile going from the Velebit Channel to the central part of the estuary. Sharp halocline divides the water column into the brackish layer above the halocline and the marine layer below the halocline. The inflow of colder river water causes that thermocline and halocline coincide. Low surface salinity in the Novsko Ždrilo gulf indicate strong surface runoff of the river water toward the Velebit Channel. The distribution of phytoplankton along the estuary is uneven and reflects changes in thermohal relations. In the brackish layer above the halocline, fresh water species are present, and below halocline the marine species predominate. The highest density of microphytoplankton (diatomeae and dinoflagellata with cells >20 mm) was detected in the Novigrad Sea and by the river mouth. Density of phytoplankton is maximum immediately below halocline, where the finer nanoplankton (2–10 mm) is building up. Density of nauplius (copepoda larvae, microzooplankton) is highest in sea and the

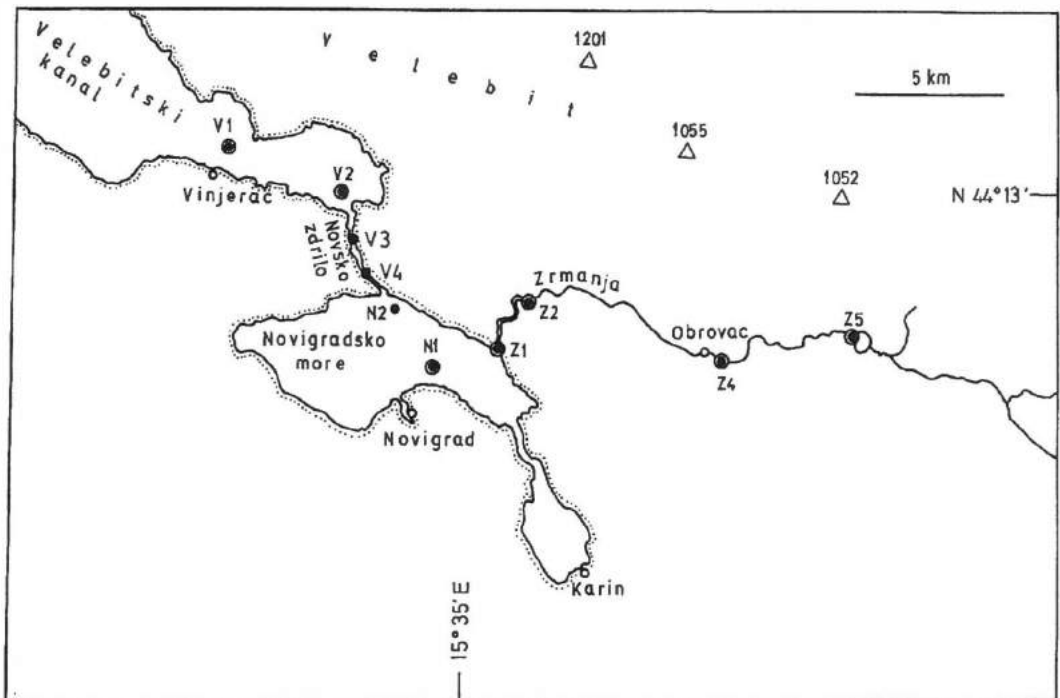
populations reach to the estuary under the halocline. The Zrmanja River estuary characteristics involve the large part of the Novigrad Sea and Velebit Channel.

KEY WORDS: phytoplankton, zooplankton, estuary, Zrmanja River, Adriatic Sea

Uvod

Obalno more uz ušće rijeke Zrmanje položeno je između planinskog lanca Velebita koji se pruža uz obalu mora sa sjeverne strane i prostrane sjeverno-dalmatinske zaravni (Friganović, 1961.) s južne i istočne strane. Područje čini zrazito razveden i složen hidrogeomorfološki sustav (Fritz, 1972.) u kojem more ulazi duboko u kopno i pod snažnim je utjecajem oborinskih voda. Novigradsko more, Karinsko more i Velebitski kanal čine tri odvojena bazena (sl. 1.), duboko usječena u kopno, međusobno povezana uskim tjesnacima – Karinskim i Novigradskim ždrilom. U središnjem dijelu spomenutog sustava, uz sjevernu obalu Novigradskog mora nalazi se ušće rijeke Zrmanje. Područje sliva Zrmanje zahvaćeno je jakom erozijom (Vodička i Šturlan, 1991.). Oborinska voda ponire u porozno krško podzemlje u širem zaleđu Velebita i izvire u more kroz potpovršinske izvore (vrulje) u Velebitskom kanalu, Novigradskom moru i u estuariju Zrmanje.

Fizičko-kemijski i biološki procesi u području kontakta krških rijeka i mora su uglavnom nepoznati. Ekološka svojstva u ušću rijeke Zrmanje, Karinskom i Novigradskom moru, te bližnjem (jugoistočnom dijelu) Velebitskog kanala slabo su istražena, uglavnom nepoznata. Područje je zanimljivo jer danas još uvijek nije prisutan antropogeni utjecaj. To može omogućiti otkrivanje ekoloških mehanizama u jedinstvenim, u svije-



Slika 1. Karta istraživanog područja i položaj postaja

tu neponovljivim uvjetima. Prije početka složenijih istraživanja donosimo preliminarne podatke o termohalnim odnosima i strukturi planktonskih populacija, u listopadu 1998. godine, u razdoblju velikog protoka rijeke Zrmanje.

Od postojećih podataka, na raspolaganju su stariji radovi o nekim kemijskim i hidrografskim karakteristike rijeke Zrmanje (Petrik, 1969.), estuarija Zrmanje (Buljan, 1969.), te o sezonskoj raspodjeli fitoplanktona i mikrozooplanktona u Novigradskom moru, Karinskom moru i obližnjem dijelu Velebitskog kanala (Kršinić, 1980., 1987.; Viličić, 1989., Viličić i Stojanovski, 1987.). Podaci za sjeverozapadni dio Velebitskog kanala publicirani su u okviru istraživanja Kvarnerske regije (Škrivanić i Barić, 1979.).

Metode

Dana 11. listopada 1998. godine izmjerena je fina vertikalna raspodjela slanosti i temperature pomoću CTD sonde (Sea Bird Electronics Inc, USA) na osam postaja, na profilu od Velebitskog kanala do Novigradskog mora i estuarija (sl. 1.).

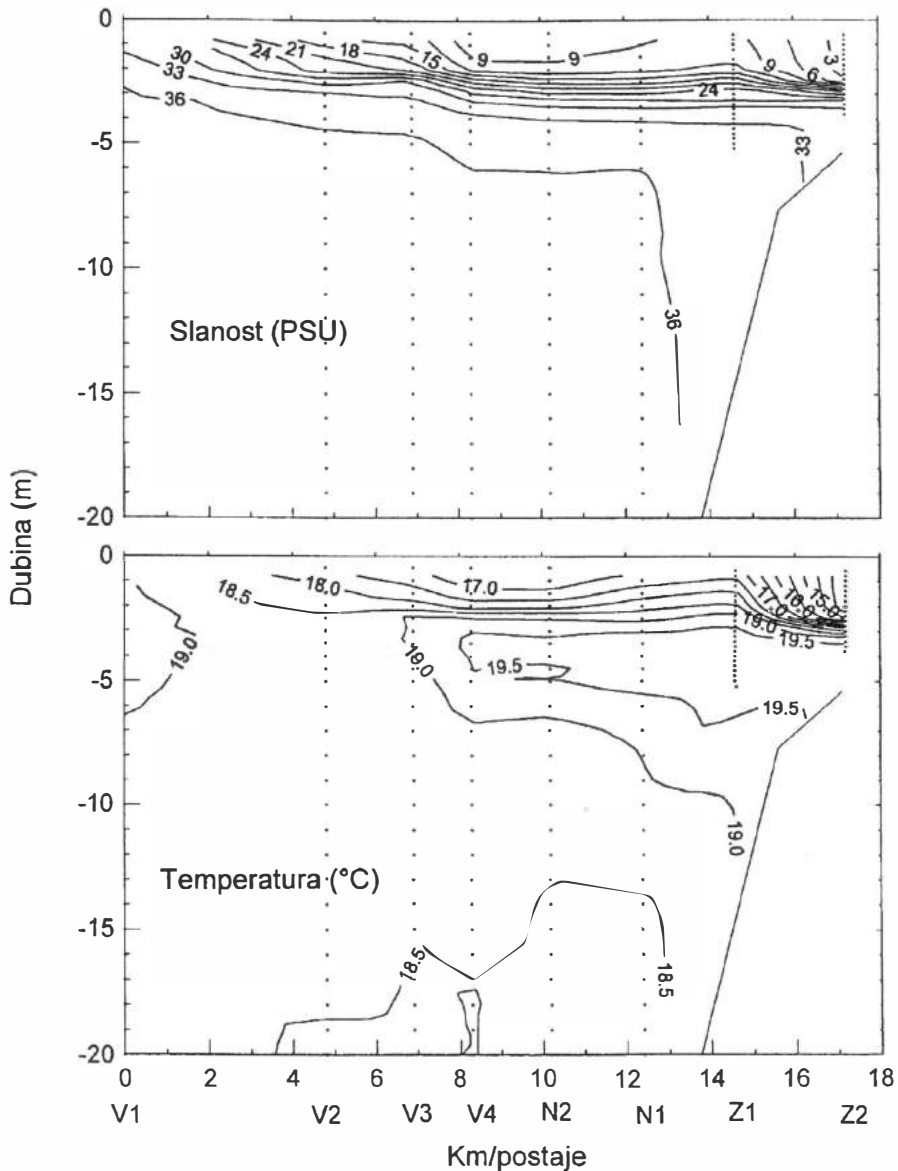
Uzorci fitoplanktona uzimani su na sedam postaja od Velebitskog kanala do akumulacije hidroelektrane »Velebit«, Niskinovim crpcem, fiksirani su 2% otopinom formaldehida (2% konačna koncentracija), a gustoća populacija određena je brojanjem stanica pomoću inverznog mikroskopa (Utermöhl, 1958.).

Rezultati i diskusija

Oštra haloklina u estuariju Zrmanje dijeli vodeni stupac na bočati sloj iznad halokline i na morski sloj ispod halokline (sl. 2.), po čemu se estuarij Zrmanje može klasificirati kao visoko stratificirani sustav. Stratifikacija termohalinih svojstava slična je kao u estuariju rijeke Krke (Legović et al., 1991.a). Gradijent slanosti od $25,78 \text{ m}^{-1}$ izmjeren je u sloju između 2,4 i 3,4 m na postaji Z2. Niska površinska slanost u Novskom ždriću (7 do 13 na postajama V3 i V4) pokazuje snažno istjecanje riječne vode prema Velebitskom kanalu. Prema tome, estuarska obilježja protežu se na Novigradsko more i Velebitski kanal. Zbog dotoka hladnije riječne vode, termoklina se poklapa s haloklinom.

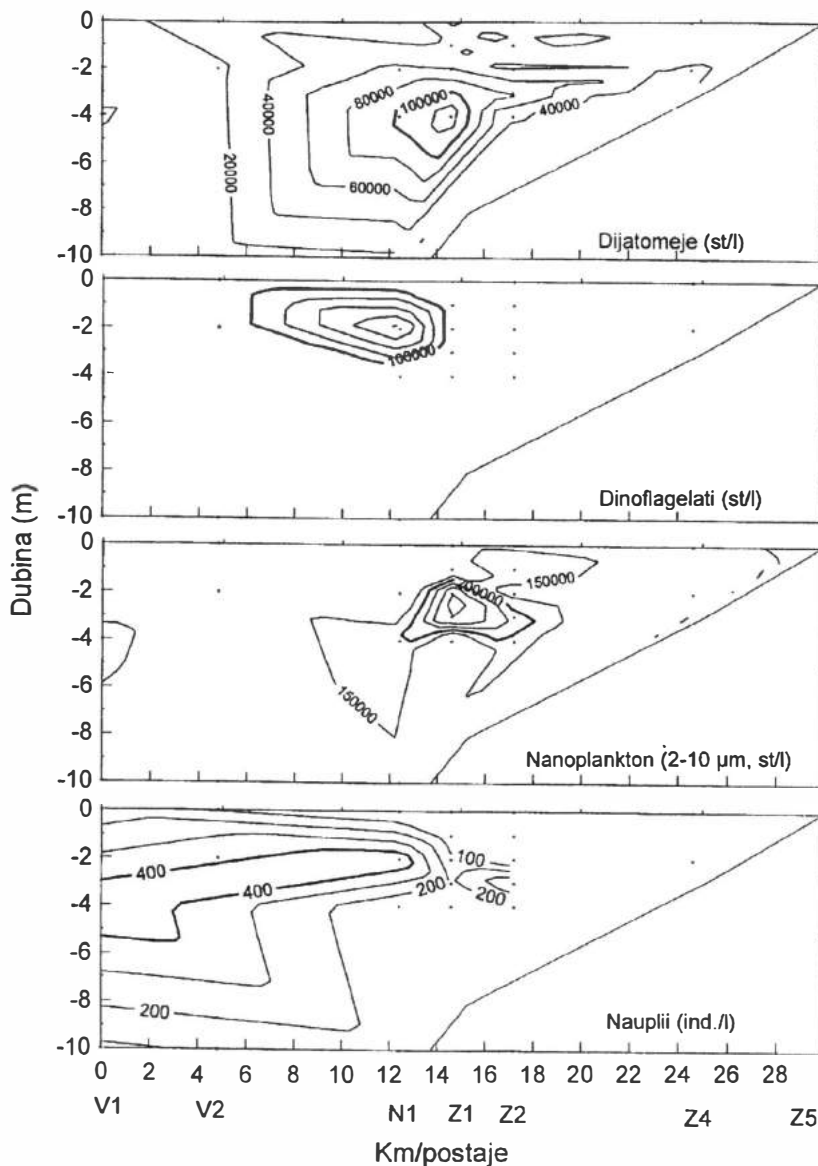
Raspodjela fitoplanktona duž profila od Velebitskog kanala do rijeke Zrmanje (akumulacije hidroelektrane »Velebit«) je nejednolika i odražava promjene termohalinih odnosa. U bočatom sloju iznad halokline, zastupljene su slatkovodne vrste, čija se gustoća populacija smanjuje prema moru. Ispod halokline dominiraju morske vrste, čija se gustoća populacija povećava prema moru. Gustoća stanica pojedinih taksona najveća je uz haloklinu. Vertikalna stratifikacija slatkovodnih i morskih vrsta indirektno pokazuje položaj halokline, što je u skladu s mjerenjima sondom. Podaci o vertikalnoj raspodjeli fitoplanktona u estuariju Zrmanje pokazuju sličnosti s rezultatima iz estuarija rijeke Krke (Viličić et al., 1989.).

Podpovršinski temperaturni maksimum u estuariju posljedica je postojanja apsorpcije sunčevog zračenja s jedne strane i ograničene vertikalne izmjene topline u području halokline s druge strane. Osim toga, na taj maksimum može utjecati i nakupljanje suspendiranih čestica uz haloklinu i selektivna apsorpcija sunčeve energije. Sve je to primijećeno i u drugim estuarijima krških rijeka uz istočnu obalu Jadrana, u Krki (Legović et al., 1991.b) i Ombli (Viličić et al., 1995.).



Slika 2. Raspodjela slanosti i temperature duž istraživanog profila, u listopadu 1998.

Utvrđene su promjene gustoće stanica mikrofitoplanktona (diatomeja i dinoflagelata) i nanoplanktona duž istraživanog profila (sl. 3.). Maksimalna gustoća mikrofitoplanktona (diatomeja i dinoflagelata) zabilježena je u Novigradskom moru (N1) i uz ušće (Z1) i to neposredno ispod halokline. Prema taksonomskom sastavu, tamo dominira diatomeja *Thalassiosira* sp., silikoflagelat *Dictyocha octonaria* i dinoflagelat *Prorocentrum micans*. Potpovršinski maksimum u ušću pokazuje također sitniji nanoplankton (2–10 m). Gustoća slatkovodne, planktonske alge *Dinobryon* i slatkovodnih diatomeja, najveća je u estuariju iznad halokline, te se smanjuje prema moru, jer slatkovodne alge ugibaju duž halokline (Viličić et al., 1989., Legović et al., 1996.).



Slika 3. Raspodjela fitoplanktona i mikrozooplanktona duž 28 km dugog istraživog profila od Velebitskog kanala i Novigradskog mora do estuarija Zrmanje i akumulacije hidroelektrane »Velebit« (Z5), u listopadu 1998.

Gustoća mikrozooplanktona najveća je u Novigradskom moru, a populacije se protežu u estuarij ispod halokline.

Termohalini odnosi i izmjena vodenih masa u istraživom području od izuzetne su važnosti za razvoj populacija planktonskih organizama, trofičke odnose i transport materije u ekosistemu, pa istraživanja treba nastaviti. Dobiveni rezultati mogu poslužiti za odabiranje mjera zaštite ovog jedinstvanog ekosustava.

Literatura

- Buljan, M., 1969: Neka hidrografska svojstva estuarnih područja rijeke Krke i Zrmanje. Krš Jugoslavije 6, 303–331.
- Friganović, M., 1961: Polja gornje Krke. Radovi Geogr. inst. Sveuč. Zagreb, sv.3.
- Fritz, F., 1972: Razvitak gornjeg toka rijeke Zrmanje. Krš Jugoslavije 8, 1–16.
- Kršinić, F., 1980: Kvalitativna i kvantitativna istraživanja tintinida uz istočnu obalu Jadranskog mora. Acta Adriat. 21, 19–104.
- Kršinić, F., 1987: Tintinnines (Ciliophora, Oligotrichida, Tintinnina) in eastern Adriatic bays. Estuar. Coast. Shelf Sci. 24, 527–538.
- Legović, T., Gržetić, Z., Smirčić, A., 1991a: Effects of wind on a stratified estuary. Mar. Chem. 32, 153–161.
- Legović, T., Gržetić, Z., Žutić, V., 1991b: Subsurface temperature maximum in a stratified estuary. Mar. Chem. 32, 163–170.
- Legović, T., Žutić, V., Viličić, D., Gržetić, Z., 1996: Transport of silica in a stratified estuary. Mar. Chem. 53, 69–80.
- Petrik, M., 1969: Karakteristike voda na dinarskom kršu. Krš Jugoslavije 6, 563–581.
- Škrivanić, A., Barić, A., 1979: Cruises of the research vessel »Vila Velebita« in the Kvarner region of the Adriatic Sea. IV. Distribution of the primary nutrients. Thalassia Jugosl. 15, 61–88.
- Utermöhl, H., 1958: Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 9, 1–38.
- Viličić, D., 1989: Phytoplankton population density and volume as indicators of eutrophication in the eastern part of the Adriatic Sea. Hydrobiologia 174, 117–132.
- Viličić, D., Stojanowski, L., 1987: Phytoplankton response to concentration of nutrients in the central and southern Adriatic Sea. Acta Adriat. 28, 73–84.
- Viličić, D., Legović, T., Žutić, V., 1989: Vertical distribution of phytoplankton in a stratified estuary. Aquat. Sci. 51, 31–46.
- Viličić, D., Jasprica, N., Carić, M., 1995: Estuarij rijeke Omble: »cvjetanje fitoplanktona, eutrofikacija i zaštita. Zbornik radova 1. Hrvatske konferencije o vodama, Dubrovnik, 24.–27. svibnja 1995, 497–506.
- Vodička, V., Šturlan, J. (izd.), 1991: Vode Hrvatske. Hrvatska vodoprivreda, Zagreb.

Autori

Zrinka Burić¹, Damir Viličić¹, Mirko Orlić², Ante Smirčić³, Frano Kršinić⁴, Zvonko Gržetić³, Katarina Caput¹

¹ Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb

² Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek, Geofizički zavod »A. Mohorovičić«, Horvatovac bb., Zagreb

³ Državni hidrografski institut, Zrinsko-Frankopanska bb., Split

⁴ Institut za oceanografiju i ribarstvo, Laboratorij za ekologiju planktona, 20000 Dubrovnik



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 2.03.

Raspodjela ugljikohidrata u sjevernom Jadranu tijekom razdoblja ljetne stratifikacije

Senka Terzić, Nataša Tepić, Ivana Jeličić, Marijan Ahel

SAŽETAK: U zadnja dva desetljeća u sjevernom Jadranu su učestale pojave intenzivnih ljetnih »cvjetanja« mora pri čemu nastaju velike količine sluzavih nakupina. Glavni organski sastojak sluzavih nakupina su ugljikohidrati fitoplanktonskog porijekla te je opravdana pretpostavka da dinamika ugljikohidrata u sjevernom Jadranu igra važnu ulogu u njihovom nastajanju. U ovom radu prikazani su rezultati višegodišnjeg istraživanja (1994.–1998.) raspodjele ugljikohidrata tijekom stratificiranog razdoblja koje obuhvaća hidrografski vrlo različite situacije, posebno glede intenziteta stvaranja organskih agregata. Pri tom je poseban naglasak stavljen na promatranje odnosa raspodjele ugljikohidrata i dinamike fitoplanktona. Rezultati ukazuju da akumulacija ugljikohidrata tijekom ljeta započinje intenzivnom fitoplanktonskom aktivnošću u stabilnom bočatom sloju (0–5 m) koji se, zbog pojačanih slatkovodnih donosa, ponekad formira u čitavom području sjevernog Jadrana. Međutim, tijekom razdoblja stvaranja makroagregata (ljetno 1997.) povišena koncentracija uočena je i u dubljim slojevima u kojima je fitoplanktonska biomasa bila srazmjerno niska. Rezultati kemotaksonomskog praćenja fitoplanktona ukazuju da ključnu ulogu u regulaciji koncentracije ugljikohidrata kao i stvaranju sluzavih nakupina imaju dijatomeje.

KLJUČNE RIJEČI: ugljikohidrati, pigmenti, sjeverni Jadran, makroagregati, dijatomeje

Distribution of Hydrocarbons in the Northern Adriatic during Summer Stratification Period

SUMMARY: During the last two decades, the Northern Adriatic has frequently been exposed to intensive summer blooming which generates large quantities of mucous accretions. The main organic component of such mucous accretions are hydrocarbons of phytoplankton origin, so it is justified to assume that the dynamics of hydrocarbons in the Northern Adriatic plays an important role in their production. This paper presents the results of a research which was conducted for a number of years (1994–1998). The research focused on hydrocarbons distribution during the stratified period encompassing situations which are hydrographically very different, particularly with respect to intensity of organic aggregate production. Attention was particularly paid to monitoring of relation between hydrocarbons and phytoplankton dynamics. The results indicate that accumulation of hydrocarbons during summer starts with intensive activity of phytoplanktons in a stable brackish layer (0–5 m) which is sometimes formed along the entire Northern Adriatic area due to intensified fresh water relations. However, during the period of macroaggregate production (summer 1997) increased concentration was also detected in deeper layers where the biomass of phytoplanktons was relatively low. The results of chemotaxonomic monitoring of phytoplankton indicate that the key role in regulation of hydrocarbons concentration and production of mucous accretion is played by diatomeae.

KEYWORDS: hydrocarbons, pigments, Northern Adriatic, macroaggregates, diatomeae

Uvod

Ugljikohidrati predstavljaju jednu od najvažnijih frakcija otopljenog organskog ugljika u moru. Neke mikroalge, posebno dijatomeje, proizvode znatne količine ekstracelularnih polisaharida¹⁻³. Polisaharidi su uključeni u procese međusobnog povezivanja čestica te imaju važnu ulogu u stvaranju velikih organskih agregata u vodenom stupcu. Velike sluzave nakupine (mukus), koje su tijekom ljeta 1988., 1989., 1991. te 1997. godine prekrivale i po nekoliko tisuća kvadratnih kilometara sjevernog Jadrana⁴⁻⁶, sastojale su se uglavnom od visokoumrežene ugljikohidratne tvari. Premda je opće prihvaćeno da je glavni razlog povremene hiperprodukcije ugljikohidrata (CHO) u sjevernom Jadranu akumulacija ekstracelularnog organske tvari pretežno dijatomejskog porijekla⁶, pouzdani podaci o njihovoj koncentraciji i prostornoj raspodjeli u vodenom stupcu objavljeni su tek u posljednje vrijeme⁷⁻¹⁰. Koncentracija CHO u sjevernom Jadranu kreće se u vrlo širokom rasponu ($170-1550 \mu\text{gCL}^{-1}$), a najviše su vrijednosti izmjerene za vrijeme intenzivnog dijatomejskog »cvjetanja«⁸⁻¹⁰. Glavnina CHO bila je u otopljenom obliku, a prosječan udio CHO u otopljenom organskom ugljiku (DOC) bio je oko 20%¹⁰.

Faganeli et al.¹¹ su ukazali na dobru korelaciju između CHO vezanih na čestice (PTCHO) i fitoplanktonske biomase u Tršćanskom zaljevu. Koncentracija PTCHO bila je uglavnom niža od $100 \mu\text{g L}^{-1}$, osim u razdoblju stvaranja makroagregata, a PTCHO su u razdoblju stratificiranog vodenog stupca predstavljali oko 6% ukupnog POC-a¹². Cilj ovog rada je opisati raspodjelu CHO u sjevernom Jadranu te međusobni odnos ugljikohidrata i fotosintetskih pigmenata tijekom nekoliko razdoblja ljetne stratifikacije kako bismo pokušali uočiti neke od uzroka hipertrofne proizvodnje sluzi. Pri tom je načinjena usporedba situacija zabilježenih u ljeto 1997., kada je došlo do stvaranja sluzi te u dvjema godinama kada nije došlo do nastanka te pojave (1994. i 1998.).

Eksperimentalni dio

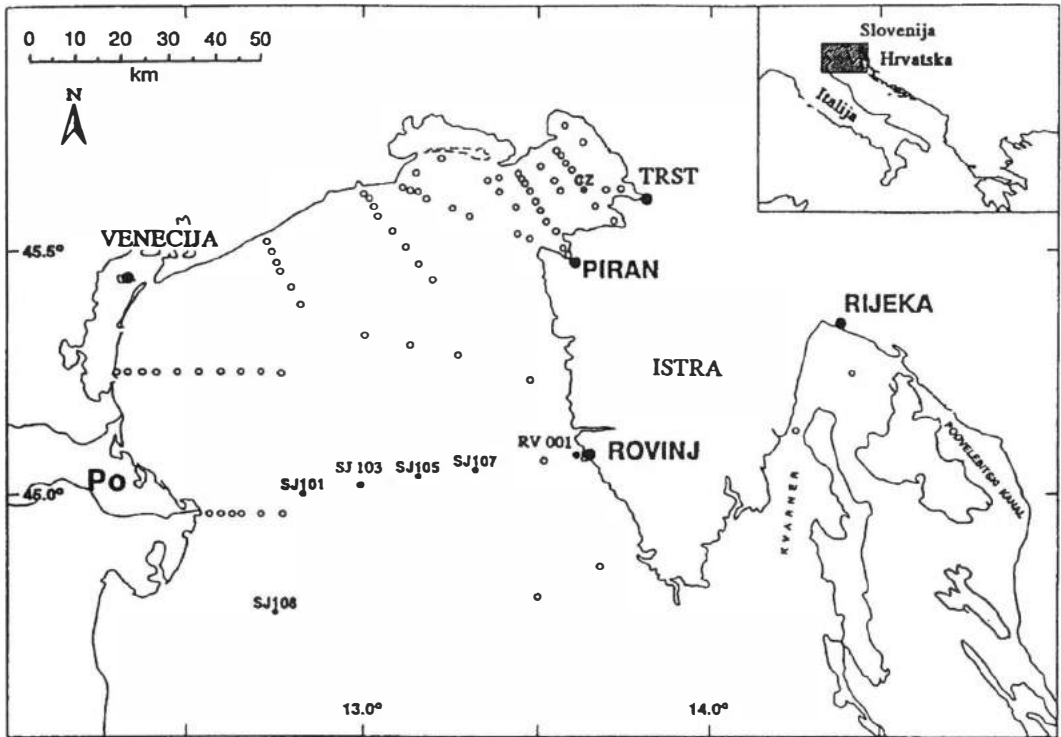
Područje rada i uzorkovanje

Sjeverni Jadran je plitki poluzatvoreni bazen (maksim. dubina 35 m) u kojem se, zbog velikih slatkovodnih dotoka (rijeka Po i druge sjevernotalijanske rijeke), stvaraju izraziti fizičko-kemijski i biološki gradijenti u pravcu od zapadne prema istočnoj obali (slika 1.).

Uzorci za određivanje CHO i fitoplanktonskih pigmenata uzeti su, stoga, na transektu Rovinj-Po zbog njegove reprezentativnosti u smislu stvaranja eutrofikacijskih gradijenata, posebno u razdoblju uspostavljanja ljetne stratifikacije vodenog stupca. Uzorkovanje je načinjeno s istraživačkog broda »Vila Velebita«, a uzorci su uzimani jednom mjesečno tijekom ljeta 1994., 1997. i 1998. na 6 postaja na 5–6 dubina (0, 5, 10, 20, 30 m i blizu dna).

Određivanje ugljikohidrata i fotosintetskih pigmenata

Koncentracija CHO određena je primjenom spektrofotometrijske metode s 3-metil-2-benzotiazolinon hidrazon hidrokloridom (MBTH)¹³. Koncentracija monosaharida određena je izravno, dok je koncentracija ukupnih ugljikohidrata određena nakon prethodne hidrolize ($100 \text{ }^\circ\text{C}/3,5 \text{ h}$) uzoraka u 1.7 M HCl ¹⁴. Koncentracija otopljenih polisaharida dobivena je iz razlike koncentracije ukupnih otopljenih ugljikohidrata i



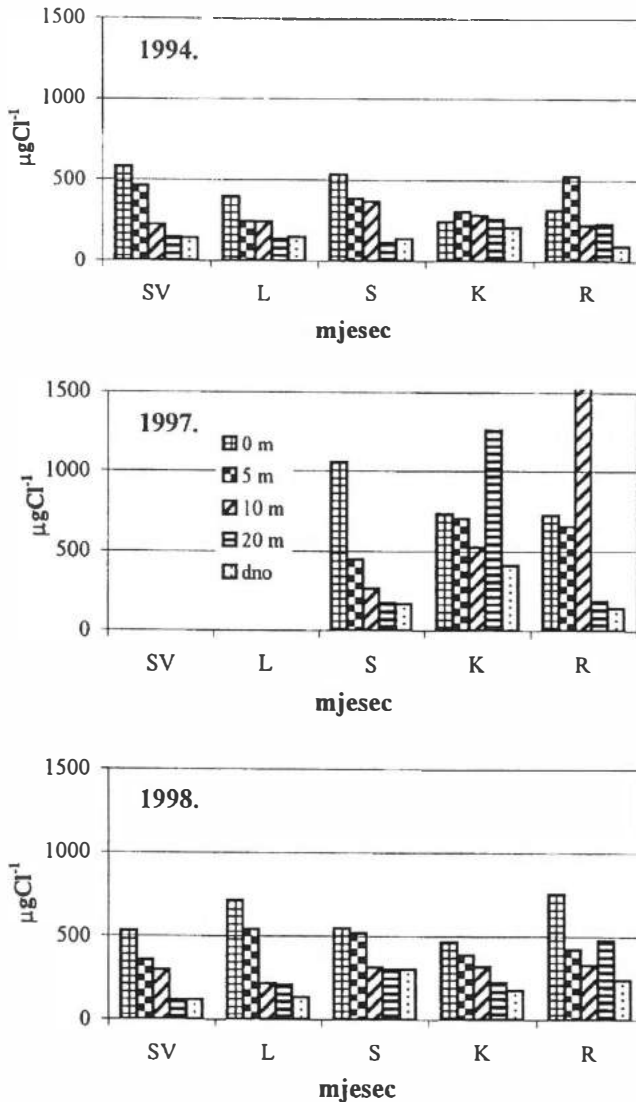
Slika 1. Sjeverni Jadran s naznačenim mjestima uzorkovanja

monosaharida. Sve su analize načinjene u duplikatu, a koncentracija ugljikohidrata izražena je ekvivalentima ugljika po litri uzorka ($\mu\text{gC l}^{-1}$).

Fitoplanktonska dinamika praćena je određivanjem biomarkerskih pigmenata primjenom tekućinske kromatografije visoke djelotvornosti (HPLC). Ova se metoda u posljednje vrijeme vrlo uspješno primjenjuje za specifično određivanje različitih klorofilnih i karotenoidnih pigmenata u moru. Koncentracija klorofila *a* (chl *a*) upotrebljava se za procjenu ukupne fitoplanktonske biomase, dok se upotrebom karakterističnih pigmenata (biomarkera) dobiva uvid u zastupljenost pojedinih fitoplanktonskih skupina u ukupnoj biomasi¹⁵.

Rezultati i rasprava

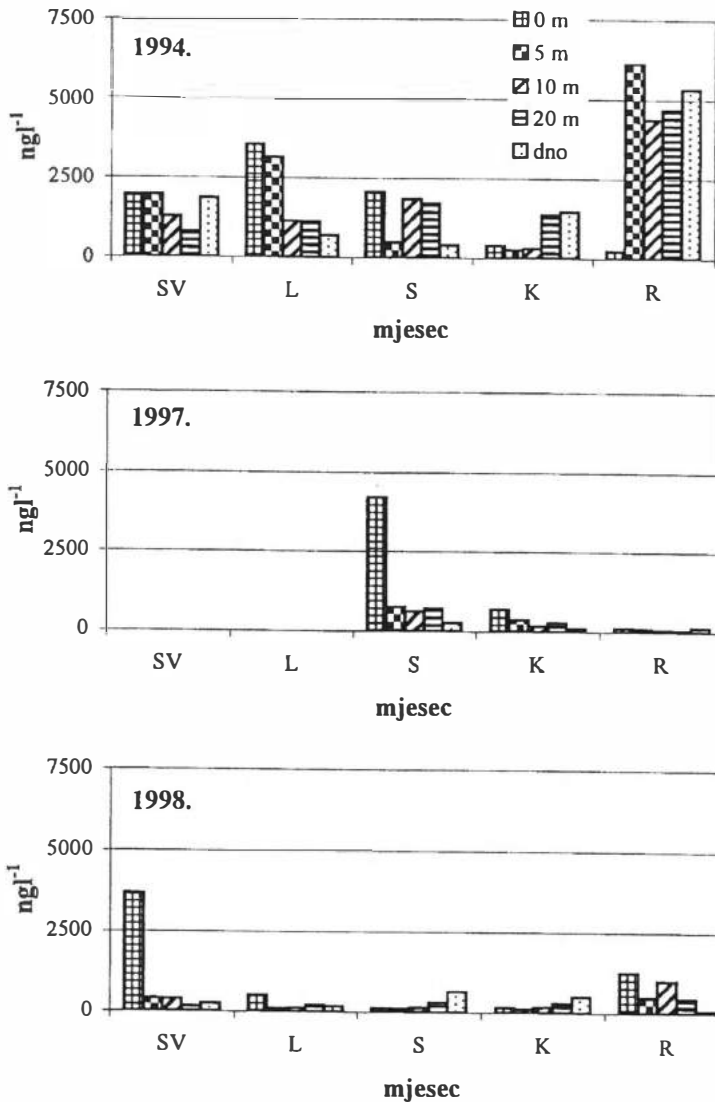
Istražena je prostorna i vertikalna raspodjela ugljikohidrata i fotosintetskih pigmenata u sjevernom Jadranu tijekom razdoblja ljetne stratifikacije u godini kada je došlo do hiperprodukcije sluzi (1997.) te u dvjema godinama kada do te pojave nije došlo (1994. i 1998.). Sva su tri razdoblja bila karakterizirana izrazitim koncentracijskim gradijentima koncentracije klorofila *a* i ugljikohidrata s udaljavanjem od zapadne obale. Takva je raspodjela rezultat pojačanog slatkovodnog unosa hranjivih soli na zapadnoj obali. U najzapadnijem eutrofnom dijelu sjevernog Jadrana fitoplanktonska su »cvjetanja« češća i intenzivnija nego u ostalim dijelovima. Zbog toga je postaja SJ 108 (slika 1.) najprikladnija za ilustraciju odnosa dinamike fitoplanktona i akumulacije CHO te je na slici 2. prikazana raspodjela CHO na toj postaji. Prikazane vrijed-



Slika 2. Raspodjela ukupnih ugljikohidrata na postaji SJ108 tijekom 1994., 1997. i 1998. godine

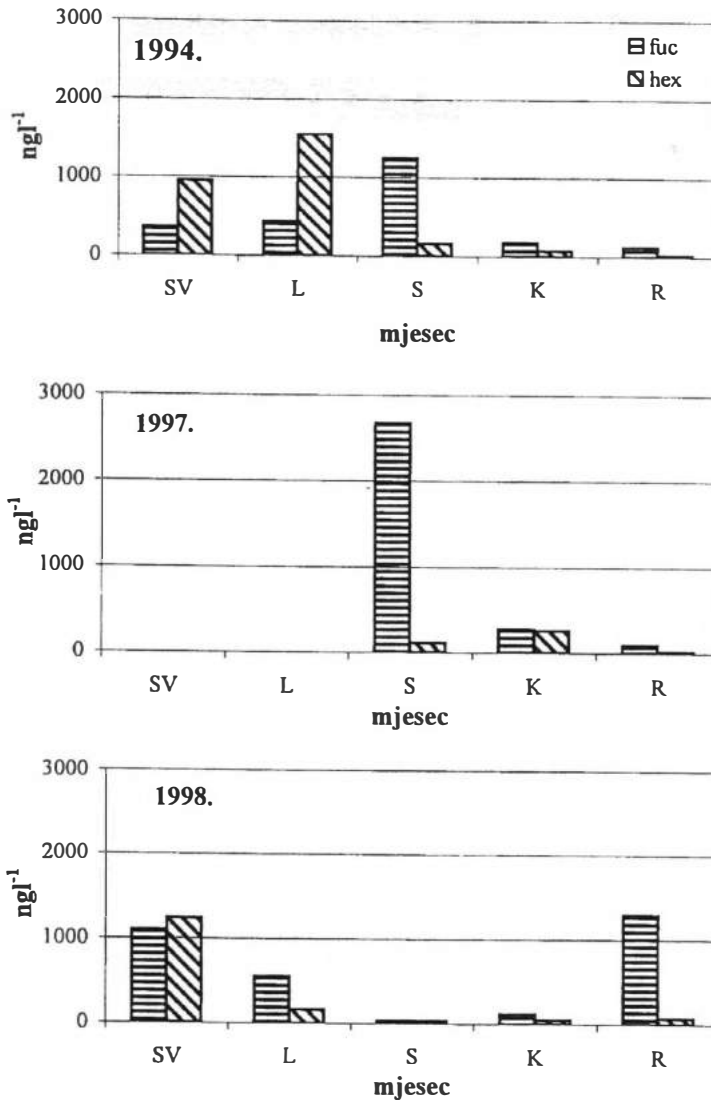
nosti predstavljaju ukupnu koncentraciju CHO (otopljeni i partikulatni monosaharidi i polisaharidi). Koncentracija monosaharida (MCHO) bila je znatno niža od koncentracije polisaharida (PCHO) tijekom sva tri razdoblja, a u sastavu ukupne koncentracije ugljikohidrata (TCHO) prevladavali su otopljeni CHO (>70%). Jedino je u srpnju 1997. godine koncentracija partikulatnih CHO (PTCHO) u površinskom sloju bila srazmjerno visoka ($530 \mu\text{gCl}^{-1}$), čineći tako 50% TCHO na toj dubini. Tako visoka koncentracija PTCHO u ovom je slučaju bila rezultat srazmjerno visoke koncentracije dijatomejske biomase (slike 3. i 4.) u tankom površinskom sloju te postaje

Koncentracija CHO varirala je u širokom rasponu vrijednosti ovisno o godini, mjestu i dubini uzorkovanja. Tijekom ljeta 1994. i 1998. godine ukupna koncentracija CHO



Slika 3. Raspodjela klorofila a (chl a) na postaji SJ108 tijekom 1994., 1997. i 1998. godine

kretala se u rasponu 90–750 μgCl^{-1} , pri čemu je više od 80% vrijednosti bilo ispod 500 μgCl^{-1} (slika 2). Koncentracija TCHO bila je signifikantno viša u gornjih 5 m vodenog stupca (245–750 μgCl^{-1}) u odnosu na onu u dubljim slojevima (90–480 μgCl^{-1}). Za razliku od tih godina u ljetu 1997. godine došlo je do intenzivne proizvodnje i akumulacije sluzi na većem dijelu sjevernog Jadrana. Te je godine došlo do porasta koncentracije TCHO i to najprije u površinskom sloju, a zatim i na većim dubinama (slika 2). Prosječna koncentracija TCHO ($680 \pm 670 \mu\text{gCl}^{-1}$) u tom je razdoblju bila dvostruko viša u odnosu na preostale dvije godine ($280 \pm 140 \mu\text{gCl}^{-1}$ u 1994.; $360 \pm 170 \mu\text{gCl}^{-1}$ u 1998.).



Slika 4. Raspodjela fukoksantina (fuco) i heksanoiloksifukoksantina (hex-fuco) na postaji SJ108 tijekom 1994., 1997. i 1998. godine

Vertikalna raspodjela CHO, posebno u godinama bez pojave sluzi, ukazuje na izravnu vezu njihove koncentracije i biomase fitoplanktona, uz izrazit maksimum u površinskom sloju (slika 3). U godinama bez pojave sluzi (1994. i 1998.) pojačani protok rijeke Po tijekom kasnog proljeća/ranog ljeta 1994. i 1998. godine rezultira porastom biomase fitoplanktona, posebno u gornjih 5 m vodenog stupca (slika 3). Premda su u sastavu biomarkerskih pigmenta u to vrijeme zastupljeni i neki drugi pigmenti, udjelom fukoksantina (fuco), koji je karakterističan za dijatomeje te 19-heksanoilfukoksantina (hex-fuco) karakterističnog za primnezioficeje, može se objasniti najveći dio (60–80%) fitoplanktonske biomase. Zbog toga se prikazom ovih dvaju pigmenta mogu uspješno prikazati osnovne promjene fitoplanktonske populacije u odabranom

razdoblju (slika 4.). Smanjenje slatkovodnog donosa u ljetnim je mjesecima (srpanj-/kolovoz) dovodi do pada koncentracije chl *a* u gornjem sloju vodenog stupca uz istodobni porast regeneracijskim procesima potaknute autotrofne biomase u pridnom sloju (slika 3.). Za razliku od srpnja 1994. godine, kada je do manjeg dijatomejskog »cvjetanja« došlo samo na manjem dijelu sjevernojadranskog bazena (postaja SJ 108) u srpnju 1997. su hranjivim solima bogate vode rijeke Po potakle nastanak snažnog dijatomejskog »cvjetanja« (fuco; slika 4.) u površinskom sloju većeg dijela sjevernog Jadrana. Koncentracija klorofila *a* u površinskom sloju postaje SJ108 bila je, pri tom, izrazito visoka za ovo doba godine (4200 ng l^{-1} ; slika 3.). Za razliku od preostalih dviju godina koncentracije chl *a* bila je i u kolovozu 1997. najviša u površinskom sloju vodenog stupca, a srazmjerno visok omjer fuco/hex-fuco ($\cong 1$) odraz je daljnje visoke zastupljenosti dijatomeja u sastavu fitoplanktonske populacije. Nasuprot tome, u kolovozu 1994. i 1998. godine uočena je tipična vertikalna raspodjela fitoplanktona s maksimumom u pridnom sloju. Unos svježih hranjivih soli zbog porasta protoka rijeke Po u rujnu 1994. i 1998. potakao je dijatomejsko »cvjetanje« različitog intenziteta u sjevernom Jadranu, dok je u istom razdoblju 1997. došlo do pada koncentracije biomase u odnosu na ljetne mjesece te godine.

Usporedba sezonske raspodjele CHO (slika 2.) i fitoplanktonskih pigmentata (slike 3. i 4.) ukazuje da do najveće akumulacije CHO dolazi zbog odumiranja intenzivnih dijatomejskih »cvjetanja« u površinskom sloju. Iako mehanizmi koji dovode do stvaranja makroagregata nisu još u potpunosti razjašnjeni rezultati prikazani u ovom radu potvrđuju pretpostavku da na pojavu sluzavih nakupina svakako utječe primarna proizvodnja u stvaranje i izlučivanje organske tvari bogate ugljikom.

Literatura

- Myklestad S., 1974. Production of carbohydrates by marine planktonic diatoms. I. Comparison of nine different species in culture. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 15, 261–274.
- Decho, A. W., 1990. Microbial exopolymer secretion in ocean environments: their role(s) in food webs and marine processes. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 28: 73–153.
- Myklestad, S., O. Holm-Hansen, K. M. Varum & B. E. Volcani, 1989. Rate of release of extracellular amino acids and carbohydrates from marine diatom *Chaetoceros affinis*. *J. Plankton Res.* 11: 763–773.
- Marchetti, R., M. Iacomini, G. Torri & B. Focher, 1989. Caratterizzazione preliminare degli essudati di origine fitoplanctonica raccolti in Adriatico nell'estate 1989. *Acqua-aria*.8: 883–887.
- Stachowitsch, M., N. Fanuko & M. Richter, 1990. Mucus aggregates in the Adriatic Sea: An overview of stages and occurrences. *Mar. Ecol.* 11: 327–350.
- Deggobis, D., S. Fonda-Umani, P. Franco, A. Malej, R. Precali & N. Smolaka, 1995. Changes in the Northern Adriatic ecosystem and the hypertrophic appearance of gelatinous aggregates. *Sci. Tot. Environ.* 165: 43–58.
- Ahel, M., S. Terzić & I. Jeličić, 1998. Distribution patterns of monosaccharides and polysaccharides in the northern Adriatic. *Rapp. Comm. int. Mer Medit.*, 35:220
- Terzić, S., 1996. Biogeokemija autohtone organske tvari u neritičkim područjima Sredozemlja: fotosintetski pigmenti i ugljikohidrati. *Disertacija. Sveučilište u Zagrebu.* pp 177.
- Terzić, S. & M. Ahel, 1998, Distribution of carbohydrate during a diatom bloom in the northern Adriatic. *Croatica Chem. Acta* 71: 245–262.

- Terzić, S., M. Ahel, G. Cauwet & A. Malej, 1998. a Group-specific phytoplankton biomass/dissolved carbohydrate relationships in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic). *Hydrobiologia* 363: 191–205.
- Faganeli J., N. Kovač, H. Leskovšek & J. Pezdič, 1995. Sources and fluxes of particulate organic matter in shallow coastal waters characterised by summer macroaggregate formation. *Biogeochemistry* 1–18.
- Posedel, N. & J. Faganeli, 1991. Nature and sedimentation of suspended particulate matter during density stratification in shallow coastal waters (Gulf of Trieste, northern Adriatic). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 77: 135–145.
- Johnson, K. M. & J. M. Sieburth, 1977. Dissolved carbohydrates in seawater I. A precise spectrophotometric method for monosaccharides. *Mar. Chem.* 5: 1–13.
- Senior, W. & L. Chevolut, 1991. Studies of dissolved carbohydrates (or carbohydrate-like substances) in an estuarine environment. *Mar. Chem.* 32: 19–35.
- Jeffrey S. W., R. F. C. Mantoura & S. W. Wright (eds), 1997. *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods*. UNESCO Publishing, Francuska, 661 pp.

Autori

dr. Senka Terzić

Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Ruđer Bošković«, Bijenička 54, 10000 Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 2.04.

Praćenje kvalitete obalnoga mora – projekt Vir - Konavle

Tomislav Zvonarić, Ante Barić

SAŽETAK: Program Kontrola kvalitete obalnoga mora – projekt Vir - Konavle započeo je 1976. godine za potrebe bivšeg Općeg vodoprivrednog poduzeća iz Splita, a sadašnjih »Hrvatskih voda« Sektora za zaštitu voda i mora od zagađenja iz Zagreba.

Svrha je poduzetih istraživanja bila dobivanje uvida u stanje kvalitete obalnoga mora na području od otoka Vira do Cavtata. Namjena je istraživanja bila da se sustavnim praćenjem kvalitete mora utvrde eventualne promjene uzrokovane antropogenim djelovanjem.

Istraživanjem su obuhvaćena obalna područja Zadra, Šibenika, Splita, Ploča i Dubrovnika. Uz to su usporedno obavljana istraživanja na postaji Stončica (kod otoka Visa) koja je poradi udaljenosti od antropogenoga utjecaja korištena kao referentna postaja.

Istraživanja su uglavnom obavljana u ljetno-jesenskim terminima, dok se zadnjih 6 godina obavljaju sezonska krstarenja i mogu se grupirati u pet tematskih cjelina: klimatske osobine područja, fizikalne i kemijske osobine morske vode (temperatura, slanost, gustoća, prozirnost, suspendirana tvar, hranjive soli, pH, sadržaj otopljenoga kisika); biološke osobine mora (fitoplankton, zooplankton, bakterioplankton, bentoske životne zajednice, obalna naselja riba, glavonožaca i rakova, bakterije); anorganska (teške kovine) i organska (poliaromatski ugljikovodici) zagađivala; i dinamika vodenih masa (morske struje i numerički hidrodinamički modeli).

KLJUČNE RIJEČI: biota, Jadran, obalno more, sediment, zagađenje

Territorial Sea Quality Monitoring - Vir - Konavle Project

SUMMARY: The Territorial Sea Quality Monitoring – Vir - Konavle Project was initiated in 1976 to meet the needs of the former Water Resources Management Agency from Split (now Croatian Waters, Water and Sea Pollution Control Sector from Zagreb).

The research was initiated in order to determine quality of the territorial sea on the stretch from the Island of Vir to the town of Cavtat. The research was aimed at systematic monitoring of sea quality and detecting of any changes caused by human activity.

The research encompassed territories of the towns and cities of Zadar, Šibenik, Split, Ploče and Dubrovnik. Concurrently, the research was conducted at the Stončica station (Island of Vis) which was used as referent station because it is remote from any human impact.

The researches were mainly conducted during summer and autumn, while in the last six years topical seasonal cruises were undertaken, focusing on climate characteristics of the region, physical and chemical characteristics of the sea water (temperature, salinity, density, turbidity, suspended matter, nutritious salts, pH value, DOC), biological characteristics of the sea (phytoplankton, zooplankton, bacterioplankton, benthos communities, coastal habitats of fish, cephalopoda, and crabs, bacteria), anorganic (heavy metals) and organic (polyaromatic hydrocarbons) pollutants, and water mass dynamics (currents and numerical hydrodynamic models).

KEYWORDS: human impact, biota, sea water, sediment, pollution

Program Vir - Konavle

Program Kontrola kvalitete obalnoga mora – projekt Vir - Konavle započet je 1976. godine i sufinanciran od bivšeg Općeg vodoprivrednog poduzeća iz Splita, odnosno »Hrvatskih voda«. Svrha je programa bila dobivanje uvida u stanje kvalitete obalnoga mora na području od otoka Vira do Cavtata. Sustavnim se praćenjem kvalitete mora željelo utvrditi eventualne promjene u eko-sustavu mora uzrokovane prirodnim procesima, odnosno antropogenim djelovanjem.

Istraživanjem su obuhvaćena područja ispred većih gradova: Zadra (od Petrčana do Sukošana), Šibenika (od Vodica do Primoštena), Splita (od Divulja do Omiša), Ploča (od Gradca do Malog Stona) i Dubrovnika (od Slanog do Cavtata). Uz to su usporedno obavljana istraživanja na postaji Stončica (kod otoka Visa) koja je poradi udaljenosti od antropogenoga utjecaja korištena kao referentna postaja.

U početku su istraživanja uglavnom obavljana u ljetno-jesenskim terminima, dok se zadnjih 6 godina obavljaju sezonska krstarenja. Program istraživanja uključuje velik broj parametara koji su grupirani u pet tematskih cjelina: klimatske osobine područja, fizikalne i kemijske osobine morske vode (temperatura, slanost, gustoća, prozirnost, suspendirana tvar, hranjive soli, pH, sadržaj otopljenoga kisika); biološke osobine mora (fitoplankton, zooplankton, bakterioplankton, bentoske životne zajednice, obalna naselja riba, glavonožaca i rakova, bakterije); anorganska (teške kovine) i organska (poliaromatski ugljikovodici) zagađivala; i dinamika vodenih masa (morske struje i numerički hidrodinamički modeli).

Kvaliteta obalnoga mora

Na osnovi analize termohalinih svojstava, odnosno *hidrografskih parametara* (temperatura, slanost, gustoća), na cijelom istraživanom području mogu se izdvojiti tri različite cjeline. Postaje ispred Šibenika i Ploča su pod najintenzivnijim utjecajem dotoka slatkih voda s kopna. Nešto slabiji utjecaj kopna je na postajama ispred Splita i Zadra, dok je najmanje izražen na postaji ispred Dubrovnika, gdje je dominantan utjecaj otvorenoga mora^(1,2).

Analiza pokazatelja *optičkih osobina* morske vode (prozirnost, sadržaj suspendirane tvari) pokazuje da je u tijeku cijelog razdoblja, u pravilu, prozirnost bila najniža u Šibenskom zaljevu, a najviša na dubrovačkom području⁽¹⁾. Koncentracije suspendirane tvari bile su umjerene za obalno područje, ali s velikom varijabilnošću na nekim postajama. Smanjena je prozirnost bila izražena u područjima s velikom gustoćom fitoplanktonske populacije kao što su Šibenski i Kaštelanski zaljev.

Analiza koncentracija *hranjivih soli* pokazala je da su Šibenski i Kaštelanski zaljev bili najopterećeniji s hranjivim solima, jer je očigledan trend rasta koncentracija nitrata i nitrita tijekom godina, uz čestu pojavu visokih vrijednosti koncentracija i ostalih hranjivih soli^(1,2).

Slijedeća postaja po opterećenosti s hranjivim solima bila je ispred Ploča, područja koje prima značajne količine slatke vode rijekom Neretvom.

Općenito je, s kemijskog gledišta, uočeno da je koncem 1980-ih bio očigledan porast stupnja eutrofikacije na cijelom istočnojadranskom obalnom području, što su, osim povećanih koncentracija hranjivih soli, potvrdili i rezultati bioloških istraživanja⁽¹⁾.

Međutim, rezultati istraživanja u razdoblju od 1993. do danas su ukazali na trend stagnacije, pa i poboljšanja većine mjerenih parametara⁽²⁾.

Rezultati istraživanja *fitoplanktona* potvrdili su naprijed navedeni trend kontinuiranog porasta razine eutrofikacije na svim lokacijama, osim na području Dubrovnika, gdje još uvijek prevladava utjecaj otvorenog mora nad utjecajem s kopna⁽¹⁾.

Najveće su promjene uočene na području Kaštelanskoga zaljeva i obalnih voda grada Splita, gdje je porast eutrofikacije neposredno prouzročen s porastom dotoka gradskih otpadnih voda. Došlo je do promjene strukture fitoplanktonske zajednice koja je, iz tipično dijatomejske, poprimila obilježja zajednice flagelatnog tipa, svojstvene područjima s visokim organskim opterećenjem. Prema kriterijima za kategorizaciju trofičkog stanja nekog sustava⁽³⁾, temeljenim na koncentraciji klorofila a i gustoći fitoplanktonskih stanica, područje *ispred Splita i Ploča je uvršteno u eutrofičnu kategoriju voda, područje Šibenskoga zaljeva je uvršteno u supereutrofičnu kategoriju, dok su područja ispred Zadra i Dubrovnika uvrštena u mezotrofične, odnosno čak oligotrofične sustave*⁽²⁾.

Višegodišnja *istraživanja biomase zooplanktona* pokazala su visoke prosječne vrijednosti na svim postajama i one su se kretale između 7,1 i 8,0 mg/m³^(1,2). Eutrofikacija se je očitovala posebno u visokim vrijednostima zooplanktonske biomase kroz cijelo toplije razdoblje godine – s maksimumima u srpnju i kolovozu, što je neuobičajeno za umjereni pojas u kojem se Jadran nalazi.

Kvalitativni sastav zooplanktona po skupinama nije se izmijenio kroz istraživano razdoblje.

Izrazito visoke vrijednosti gustoće zooplanktona nađene su također u toplijem dijelu godine (kao i biomasa) i posljedica su eutrofikacije priobalnih voda. Sastav dominantne skupine Copepoda nije se izmijenio ali su se bitno promijenili odnosi među vrstama. Dominantna vrsta *Acartia clausi* bila je postotno sve više zastupljena, pa su te vrijednosti povremeno dosezale čak 90% od ukupnog broja svih ostalih vrsta. Maksimalne vrijednosti gustoće kopepoda su se javljale u ljetnim mjesecima (srpanj i kolovoz), što je također neuobičajeno^(1,2).

Na svim postajama najbrojnije su bile neritske (priobalne) vrste, a povremena prisutnost vrsta otvorenog mora ukazivala je na pojačani utjecaj otvorenih voda na priobalje. Najviše vrsta, koje su zastupljenije na otvorenom moru, nađeno je na postaji ispred Dubrovnika.

Istraživanja utjecaja onečišćenja mora na *bentoske životne zajednice* provode se sustavno već od 1976. godine na područjima: Zadar - Vir, Šibenik, Split, Neretvanski kanal - Klek - Neum i Dubrovnik te Makarske (samo u tijeku 1977.–1978. godine).

Poznato je da je biljna komponenta (fitobentos) pogodna za određivanje utjecaja zagađivanja na eko-sustav mora, jer je vrlo osjetljiva na stresove izazvane od različitih tipova onečišćenja. Prve promjene kvalitativnog sastava koje se zapažaju u florističkom i faunističkom sastavu istraživanih biocenoza, ili njihovih sastavnih dijelova, kao posljedica štetnog utjecaja onečišćenja mora je smanjenje broja vrsta, odnosno razjedinjavanje njihovih naselja. Nestaju i gube prostor uglavnom stenovalentne vrste, a na njihovo mjesto se naseljavaju otpornije eurivalentne vrste, od kojih je većina iz statističko ekološke supergrupe tionitrofilnih vrsta alga i pojedine faunističke vrste⁽⁴⁾.

Na osnovi se podataka dobivenih *florističkom i fitocenološkom analizom* epilitskoga dijela uzoraka sastojina vodećih plitkovodnih vrsta roda *Cystoseira*, na obalnomu području od Zadra do Dubrovnika, može zaključiti sljedeće^(1,2):

- Sastojine su cistozira bile dobro razvijene na svima istraživanim područjima.
- Najveće su promjene u sastavu i građi sastojina cistozira, a koje su izazvane onečišćenjem mora, utvrđene na područjima Splita i Zadra. Na to su ukazali podaci o svojstama iz ekološke nadskupine ETNsl (alge onečišćenih voda) koje su na spomenutim područjima najbrojnije i koje su razmjerno visokim vrijednostima srednje ukupne pokrovnosti i kvantitativne dominacije te ekološke nadskupine, prouzročile i najveće promjene u istraživanim sastojinama cistozira. U promjeni sastava tih su sastojina, zbog razmjerno visokih vrijednosti srednje ukupne pokrovnosti pojedinih svojti i stupnjevim nazočnosti, najviše sudjelovale vrste *Ulva rigida*, *Gigartina acicularis*, i *Dictyopteris polypodioides*.

Kvalitativno-kvantitativni je *sastav makrozoobentosa* u uzorcima plitkovodnih alga roda *Cystoseira* izravno ovisan o fizičkim svojstvima staništa (vrsta morskoga dna, nagib staništa, izloženost valovima i morskim strujama), kao i o blizini grada, luke i industrijskih postrojenja koji mijenjaju kvalitetu mora. Istraživanja su kvalitativno-kvantitativnog sastava makrozoobentosa pokazala stalnost kvalitete mora i uobičajenu situaciju karakterističnu za plitkovodne priobalne lokalitete koji se nalaze pod određenim utjecajem navedenih sadržaja.

Kvalitativno-kvantitativnom analizom sastava *obalnih naselja riba, glavonožaca i jestivih vrsta rakova* u zadnjem desetogodišnjem razdoblju na području od Zadra do Dubrovnika⁽¹⁾ ustanovljeno je sljedeće:

- u lovinama mreža poponica evidentirano je 78 vrsta riba, 4 vrste glavonožaca i 11 vrsta rakova;
- najbrojnije i težinski najbolje zastupljene vrste od riba bile su: *Scorpaena porcus* (škrpun), *Symphodus tinca* (lumbrak), *Diplodus annularis* (špar) i *Serranus scriba* (pirka); od rakova uglavnom *Maja crispata* (rakovica mala), a od glavonožaca *Sepia officinalis* (sipa).

Bogatije lovine glede težine postizavane su u sjevernijem dijelu istraživanog područja (zadarsko i šibensko područje), a najslabije u Malostonskom zaljevu i izrazito siromašne kod Dubrovnika, dakle u južnom dijelu istraživanog područja⁽¹⁾. *Lovine mreža poponica opadaju neprekinuto na svim područjima duž istočnojadranske obale, čak i na onim otočnim, znatno udaljenim od kopna i velikih gradskih središta*⁽⁵⁾

Analizom masene kakvoće lovina dobijeno je da je čak 60,5% pripadalo kategoriji »vrlo slabih« (<0,5 kg/mreži), 25,6% kategoriji slabih (0,5–0,8 kg/mreži), a svega 13,9% kategoriji dobrih lovina (0,8–1,5 kg/mreži). *Ovi podaci jasno ukazuju na biološko siromaštvo čitavog istraživanoga područja*⁽⁶⁾, čak i viškog akvatorija koji ne pokazuje znatnije razlike ni u kakvoći ni količini ostvarenih lovina.

Analizom je sadržaja *heterotrofnih bakterija* u vodenome stupcu, kao dobroga pokazatelja stupnja eutrofikacije pojedinoga područja, ustanovljeno da su najviše vrijednosti gustoće heterotrofnih bakterija u pravilu određivane *na području Šibenika, Kaštelanskog zaljeva i Ploča*, dok su znatno niže vrijednosti utvrđene na užemu području Zadra i Splita⁽²⁾. Očito je da su područja Šibenika, Kaštelanskog zaljeva i Ploča pod jakim utjecajem kopna, odnosno visoke koncentracije heterotrofnih bakterija ukazuju na povećano prisustvo organskih tvari koje u spomenuta područja dospi-

jevaju vodama s kopna. Dakle, sva nabrojena područja mogu se, prema vrijednostima za gustoću heterotrofnih bakterija, svrstati u umjereno eutrofizirana.

Analiza rezultata višegodišnjeg praćenja *sanitarne kvalitete* obalnoga mora na području od Vira do Konavala pokazala je da su gradske luke i druge lokacije u koje se ulijevaju otpadne vode bez prethodnog pročišćavanja glavni izvori fekalnog zagađenja koji ugrožavaju rekreacijske zone na tim područjima. Rekreacijske zone bile su najugroženije na području Kaštelanskoga zaljeva i Splita te Šibenika, dok je sanitarna kvaliteta priobalnog mora na području Zadra i Dubrovnika bila nešto povoljnija.

Analizom sadržaja i raspodjele *teških metala* u sedimentima^(1,2) ustanovljeno je da su se najviše koncentracije gotovo svih ispitivanih metala nalazile u prirodno zatvorenim bazenima s ograničenom sposobnošću samopročišćavanja (Šibenski, Kaštelanski i Gruški zaljev), koji su još uvijek opterećeni s nekontroliranim ulazom raznih vrsta zagađivala. Međutim, ohrabrujuće je da ipak koncentracije nekih metala (antimon, arsen, mangan) u tim zaljevima pokazuju laganu tendenciju pada tijekom ispitivanog razdoblja. Isto tako, zahvaljujući prirodnoj zatvorenosti tih zaljeva, postaje otvorenog mora su još uvijek nezagađene teškim metalima.

Glede *organskih zagađivala* može se zaključiti da je problem zagađivanja obalnog mora ispred Zadra, Šibenika, Splita, Ploča i Dubrovnika s deterdžentima i fenolima zapravo kroničan, a u Šibenskom zaljevu i splitskom području je dostignuta vrlo visoka razina zagađenja. Ovakva slika je ustanovljena još i prije 1984. godine i ona se i dalje održava⁽³⁾.

S policikličkim aromatskim ugljikovodicima situacija je nešto drukčija. Naime, na postajama ispred Šibenika i Splita morska voda je onečišćena s ovim zagađivalima, dok su na glavnim postajama ostalih područja PAH-ovi prisutni u tolerantnim iznosima.

Zaključak

Iz dosadašnjih istraživanja proizlazi da je najlošija situacija u Šibenskom, Kaštelanskom i Gruškom zaljevu te ispred Ploča i Splita.

Znatno povoljnija situacija je na širem području Zadra, izvan Šibenskog zaljeva, u makarskom primorju te dubrovačkom području, izuzimajući Gruški zaljev koji se zbog manjeg volumena može naći u težoj situaciji od Šibenskog, pa čak i Kaštelanskog zaljeva.

No, zbog poznatih događaja iz naše nedavne prošlosti, od 1992. godine pa do danas, u istraživanim obalnim eko-sustavima uočen je trend poboljšanja. Takvo stanje može se objasniti smanjenim opterećenjem industrijskim otpadnim vodama i još uvijek izostankom prave turističke sezone, jer je poznato da dosadašnji kopneni izvori onečišćenja obalnoga mora uglavnom nisu uklonjeni. Izuzetak je uže gradsko područje Splita gdje je, puštanjem u rad gradskog kolektora, utvrđeno očito poboljšanje sanitarne kakvoće mora u obalnom području Bračkog kanala.

Navedena činjenica samo potvrđuje nužnost nastavljanja ovakvih sezonskih istraživanja poradi ustanovljavanja antropogenih opterećenja i njihovih utjecaja na prirodne promjene u tijeku višegodišnjih ciklusa.

Literatura

1. Analiza rezultata istraživanja projekta »Vir - Konavle« za razdoblje od 1984. do 1991. godine s prijedlogom programa budućih istraživanja – Biblioteka Instituta za oceanografiju i ribarstvo – Split 1992.
2. Kontrola kakvoće obalnoga mora *Projekt Vir - Konavle* – Godišnja izvješća za razdoblje od 1995. do 1998. god. Biblioteka instituta za oceanografiju i ribarstvo – Split
3. Zhaoding Wang, 1989. Evaluation of water quality in the Zhuijiang estuary, China. In: *Red Tides, Okaichi T., Anderson M. D. and Nemoto T. eds., Elsevier Sc. Publ., New York, pp 109–112.*
4. C. F. Boudouresque, 1984. Groupes ecologiques d'algues marines et phytocenoses benthiques en Méditerranée nord – occidentale: un revue. *Giorn. Bot. Ital., 118(Suppl.2): 7–42.*
5. I. Jardas, A. Pallaoro, 1989. Neki pokazatelji opadanja biološkog bogatstva priobalnog područja Jadrana (1960.–1988.), *Pogledi 19(1): 159–176.*
6. I. Jardas, A. Pallaoro, M. Kraljević, J. Dulčić, P. Cetinić, 1998. Long-term changes in biodiversity of the coastal area of the Eastern Adriatic: fish, crustacean and cephalopoda communities, *Periodicum Bilogorum, vol. 100, No.1: 19–28.*
7. Procjena utjecaja na okoliš nautičko-turističkog centra u Gružu – Split, lipanj 1991. Biblioteka Instituta za oceanografiju i ribarstvo – Split, Inv. br. 172.

Autori

Uč. sc. Tomislav Zvonarić

Dr. sc. Ante Barić

Institut za oceanografiju i ribarstvo, p. p. 500, Šetalište Ivana Meštrovića 63, 21 000 Split

Telefon: (021) 358 688; Telefax: (021) 358 650; e-mail: zvonaric@izor.hr; e-mail: baric@itor.hr



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad. 2.05.

Vertikalna raspodjela klorofila *a* u otvorenom moru južnoga Jadrana

Nenad Jasprica

SAŽETAK: Vertikalna raspodjela koncentracije klorofila *a* analizirana je u ovisnosti o hidrografskim svojstvima vodenog stupca na profilu između Barija (Italija) i Dubrovnika (Hrvatska), te na seriji postaja ispred Dubrovnika. Raspon koncentracija klorofila *a* u stupcu mora na profilu Bari-Dubrovnik 1989–1990. iznosi 0,01–0,45 mg m⁻³, a na postajama otvorenog mora ispred Dubrovnika u toplijem razdoblju 1998. godine 0,01–0,19 mg m⁻³. Potpovršinski maksimum koncentracije klorofila *a* (SCM) utvrđen je u toplijem razdoblju godine na oba istraživana profila. Najčešće je smješten ispod eufotičkog sloja i termokline, u sloju između 50 i 75 m. SCM nije utvrđen u jesenskom razdoblju, iako je gradijent gustoće bio relativno visok.

KLJUČNE RIJEČI: fitoplankton, klorofil *a*, prozirnost, južni Jadran

Vertical Distribution of Chlorophyll *a* Concentration in the Open Sea of the Southern Adriatic

SUMMARY: Vertical distribution of chlorophyll *a* concentration was analyzed related to hydrographic characteristics of the water column in the profile between Bari (Italy) and Dubrovnik (Croatia), and on a series of stations near Dubrovnik. Concentration of chlorophyll *a* in the sea column at the Bari-Dubrovnik profile for the period 1989–1990 ranged from 0.01 to 0.45 mg m⁻³, and in the open sea stations near Dubrovnik during the warmer period of 1998 it was 0.01–0.19 mg m⁻³. Subsurface chlorophyll *a* concentration maximum (SCM) was detected during the warmer period of year on both monitored profiles. Most often, it is located under the euphotic stratum and thermocline, in the stratum between 50 and 75 m. SCM has not been detected in autumn, although the gradient of density was relatively high.

KEYWORDS: chlorophyll *a*, SCM, Southern Adriatic

Uvod

Južni Jadran je složeni ekosustav koji komunicira sa ostalim dijelovima Jadranskog mora, a kroz Otrantska vrata sa istočnim Mediteranom. Otrantski prag koji dijeli Južnojadransku kotlinu od Jonskog mora, te hidrometeorološke prilike u Mediteranu važni su činitelji koji određuju dinamiku izmjene vodenih masa u južnom Jadranu. Ulazna struja prevladava duž istočne obale, a izlazna struja duž zapadne obale Jadrana (Zore-Armanda, 1968.), dok je u središnjem dijelu južnog Jadrana prisutan ciklonalni vrtlog (Orlić et al., 1992.).

Istraživanje fitoplanktonske biomase u otvorenom moru južnoga Jadrana zaopčeto je početkom šezdesetih godina (Shushchenia, 1961.), a posebno je intenzivirano u razdoblju 1980.–1990. Biomasa fitoplanktona u otvorenom južnom Jadranu najčešće je bila izražena ukupnim staničnim volumenom (Viličić, 1985., 1989.) i količinom or-

ganskog ugljika (Viličić i Jasprica, 1990.), dok je malo detaljnih podataka o koncentraciji klorofila *a* (Smoldlaka, 1982., Viličić i Fanuko, 1983./1984.). Marasović i Pucher-Petković (1988.) utvrdile su u srednjem i južnom Jadranu povećanje koncentracije klorofila *a* pri dubinama većim od 40 m, a ta je pojava u literaturi poznata kao potpovršinski maksimum koncentracije klorofila *a* (SCM) (Gould, 1987.).

Cilj rada bio je analizirati raspodjelu koncentracije klorofila *a* u ovisnosti o hidrografskim svojstvima vodenog stupca na profilu između Barija (Italija) i Dubrovnika (Hrvatska), te na seriji postaja otvorenog mora ispred Dubrovnika.

Materijal i metode

Slanost i temperatura mjereni su multisonđama SEA Bird Electronics Inc., USA, odnosno Hydronaut, Italija. Procjena prozirnosti mora izvršena je uranjanjem u more bijele Secchijeve ploče promjera 30 cm, a kompenzacijska dubina je izračunata prema Stricklandu (1958.).

Za određivanje koncentracije ukupnog klorofila *a* filtrirano je 500 ml morske vode kroz Whatman GF/F filtere. Dodatnih 500 ml profiltrirano je kroz planktonsku mrežicu veličine okaca 20 μm , a zatim preko staklenog filtera radi određivanja koncentracije klorofila *a* u nanoplanktonskoj veličinskoj kategoriji (<20 μm). Koncentracija klorofila *a* određena je fluorometrijskom metodom (Strickland i Parsons, 1972.) pomoću 112 Turner Design fluorometra.

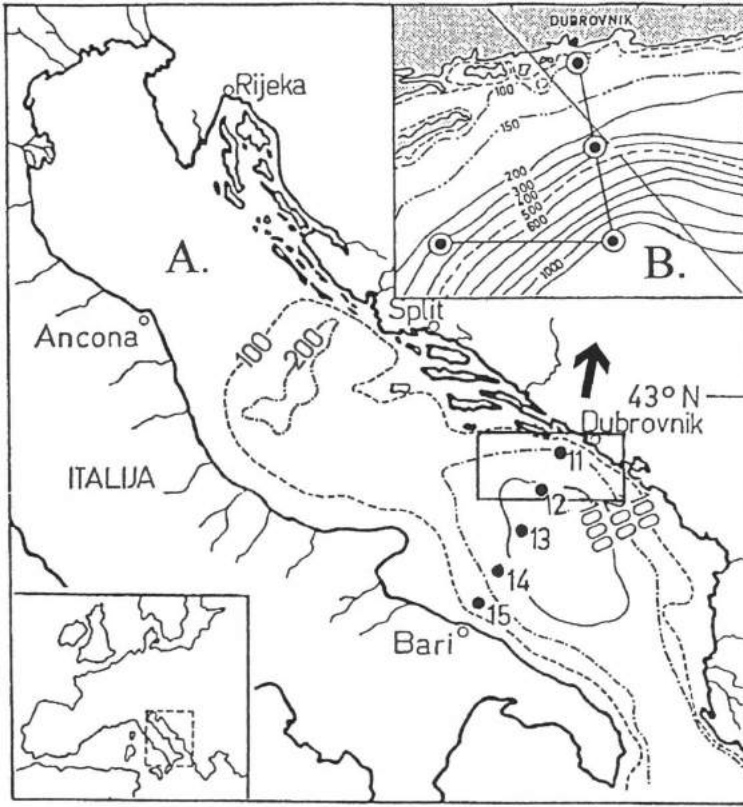
Uzorci na profilu Bari-Dubrovnik sakupljeni su u srpnju i studenom 1989., te u ožujku i svibnju 1990. na krstarenjima m/b »Andrija Mohorovičić«, a na otvorenom moru ispred Dubrovnika u svibnju, kolovozu i rujnu 1998. m/b »Bios«. Položaj postaja je označen na sl. 1. A i B.

Rezultati i rasprava

Vetikalna raspodjela temperature, slanosti i koncentracije klorofila *a* u vodenom stupcu 0–100 (–150) m na otvorenom moru južnoga Jadrana prikazana je na sl. 2. i 3. Vidljivost bijele Secchijeve ploče bila je 1989.–1990. 12–25 m, a 1998. godine 13–25 m. Najmanja prozirnost (<13 m) bila je u studenom i ožujku na postajama uz zapadnu obalu Jadrana. Kompenzacijska točka, na temelju podataka o prozirnosti, bila je raspona 30–63 m. Na temelju višegodišnjih mjerenja, prosječna prozirnost mora u oligotrofnim vodama otvorenog južnoga Jadrana iznosila je 22–27 m (Domjan i Smirčić, 1992).

U četiri terenska izlaska na profilu Bari-Dubrovnik uočena su tri različita razdoblja stabilnosti vodenog stupca. U srpnju i studenom 1989. vodeni stupac je bio izrazito stratificiran, u ožujku 1990. izmiješan, a u svibnju iste godine utvrđen je početak stratifikacije. U toplijem razdoblju 1998. godine na profilu ispred Dubrovnika, u sva tri terenska izlaska, vodeni stupac je bio termički i halino dobro stratificiran.

Maksimalni temperaturni gradijent u srpnju (0,62 $^{\circ}\text{C m}^{-1}$) i studenom 1989. (0,203 $^{\circ}\text{C m}^{-1}$) bio je na središnjoj postaji profila (postaja 13). Termoklina je u srpnju bila u sloju između 10 i 20 m, a u studenom između 20 i 50 m. U srpnju je površinska slanost na profilu Dubrovnik-Bari bila u rasponu 37,51–38,73 psu, a haloklina je bila u sloju između 10 i 20 m. Niže vrijednosti slanosti (<37,90 psu) i maksimalni vertikalni gradijent (0,048 psu m^{-1}) uz zapadnu obalu profila, te položaj halokline između 20 i 30 m

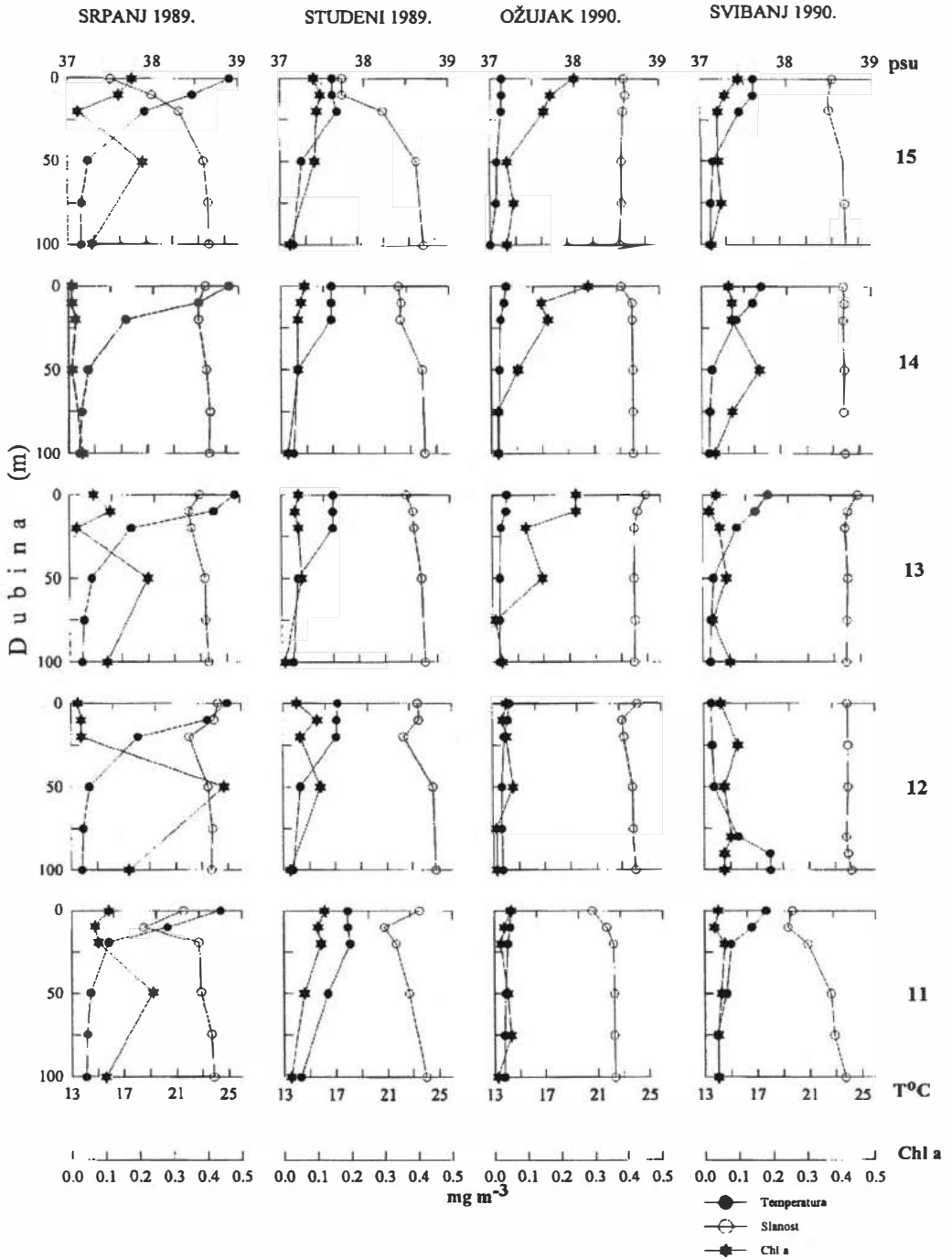


Slika 1. Položaj istraživanih postaja u južnom Jadranu (A – krstarenje m/b »A. Mohorovičić«; B – krstarenje m/b »Bios«)

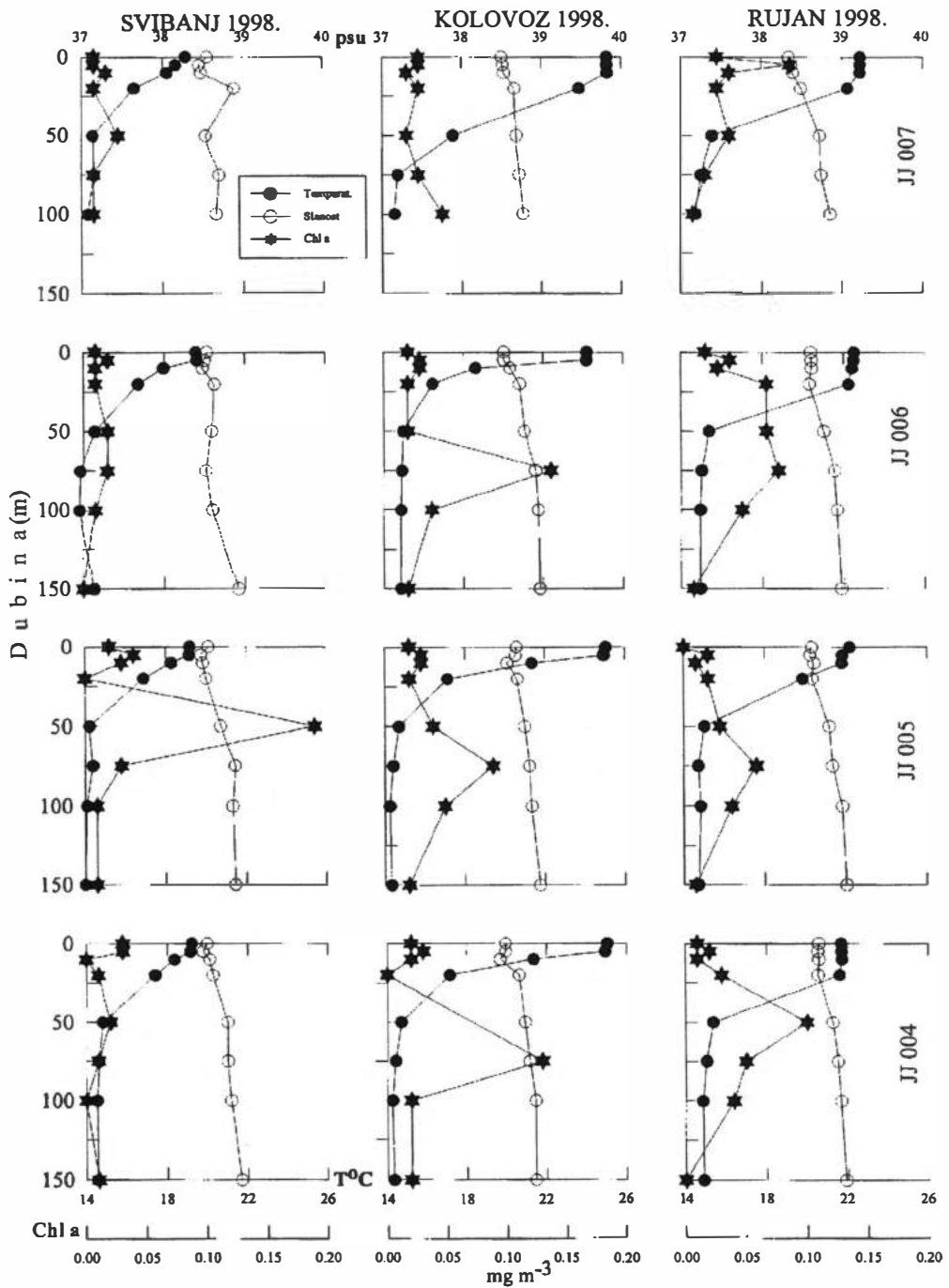
bile su značajke vodenog stupca u studenom. Gradijenti slanosti u ožujku i svibnju 1990. bili su manji od $0,036 \text{ psu m}^{-1}$.

Koncentracija klorofila *a* na profilu Bari-Dubrovnik 1989.–1990. bila je raspona $0,01\text{--}0,45 \text{ mg m}^{-3}$, a na postajama otvorenog mora ispred Dubrovnika $0,01\text{--}0,19 \text{ mg m}^{-3}$. Udio nanoplanktona u ukupnoj koncentraciji klorofila *a* bio je raspona 71–100%, a najveći u ožujku (>83%). Potpovršinski maksimum koncentracije klorofila *a* (SCM) utvrđen je na oba istraživana profila u sloju između 50 i 75 m, i to isključivo u toplijem razdoblju godine (svibanj-kolovoz), kada je vodeni stupac bio najbolje termički i halino stratificiran. Korelacija između SCM i udjela nanoplanktona u ukupnoj koncentraciji klorofila *a* nije utvrđena. SCM je najčešće bio smješten ispod termokline, dok se njegova prisutnost u većini slučajeva nije mogla izravno dovesti u vezu s položajem halokline. SCM nije utvrđen u studenome, iako je gradijent gustoće bio relativno visok ($0,16 \text{ kg m}^{-3} \text{ m}^{-1}$). Općenito, SCM je bio slabije izražen na postajama bliže obalama (15, 11; JJ007).

Porast gustoće populacija mikrofitoplanktona u SCM (75 m) utvrđen je samo u kolovozu na postajama JJ 006 i JJ 004 profila ispred Dubrovnika. Glavninu populacije mikrofitoplanktona u tom sloju sačinjavale su vrste *Leptocylindrus danicus* Cl (84%) i *Pseudo-nitzschia* spp. (75%).



Slika 2. Vertikalna raspodjela temperature, slanosti i klorofila *a* na profilu Bari-Dubrovnik



Slika 3. Vertikalna raspodjela temperature, slanosti i klorofila *a* na profilu ispred Dubrovnika

SCM ima važnu ulogu u protoku tvari u pelagijalu (Laws et al., 1987.). Akumulacija fitoplanktonske biomase u SCM može poslužiti u objašnjenju relativno visoke produkcije nekih područja u Mediteranu (Sournia 1973). Pojava SCM pokušava se objasniti nizom faktora, a pojedinačnih univerzalnih uzroka i mehanizama nastajanja, koji bi bili zajednički za sva geografska područja i sezonska razdoblja, ne postoje (Cullen, 1982.). Venrick et al. (1973.) konstatiraju da lokalni mehanizmi uvjetuju pojavu SCM, a ta konstatacija i danas vrijedi kao istina.

SCM je u sjevernom Jadranu utvrđen pri dubinama 35–65 m (Gilmartin i Revelante, 1988.), a u južnom Jadranu u proljeće (travnju) u sloju 50–75 m (Marasović i Pucher-Petković, 1988.). U razdoblju stratifikacije u sjeverozapadnom Mediteranu (Katalonsko more) SCM je utvrđen u sloju 40–60 m (Latasa et al., 1992.), a u istočnom Mediteranu (Egipat, Izrael) 75–125 m (Dowidar, 1984., Kimor et al., 1987.). Estrada et al. (1993.) nalaze u sjeverozapadnom Mediteranu dobro razvijeni SCM tijekom većeg dijela godine, a njegov položaj u velikoj je pozitivnoj korelaciji s položajem nitrakline i maksimalnih koncentracija nitrita. Nesrazmjer između porasta koncentracije klorofila *a* i gustoće populacija fitoplanktona moguće je objasniti visokom relativnom količinom klorofila *a* po stanici fitoplanktona i/ili prisustvom malih stanica u populacijama. Relativna količina klorofila *a* po stanici je promjenljiva varijabla, a ovisi o fiziološkom stanju stanice, svjetlosnim uvjetima i o stupnju degradacije i lizije populacije (cf. Bidigare et al., 1989.). U Malostonskom zaljevu relativna količina klorofila *a* po stanici u doba stratifikacije ($0,28-0,6 \times 10^{-6}$ klorofila *a* st.⁻¹) je značajno manja nego u razdoblju miješanja ($0,7-2,0 \times 10^{-6}$ klorofila *a* st.⁻¹) (Jasprica i Carić, 1997.). Male stanice (netekatni flagelati, kokolitoforidi) često, dodatkom fiksativa, mijenjaju svoj oblik ili se razaraju, što ima za posljedicu potcjenjivanje stvarne gustoće populacija.

SCM u južnom Jadranu se pojavljuje ispod eufotičkog sloja. Više autora (npr. Revelante i Gilmartin, 1973., Gould, 1987.) opisuju SCM u sloju do kojeg dopire 1,0–0,1% površinske svjetlosti. Detaljna analiza fitoplanktonskih vrsta pokazati će da li se i u kojoj mjeri razlikuju populacije između SCM i površinskog dobro osvijetljenog sloja. Moguća je prisutnost fitoplanktonskih vrsta koje su adaptirane na smanjenu količinu svjetlosti. Stanice u SCM su fotosintetički aktivne, ali njihovo metaboličko stanje nije još dovoljno poznato. Aktivnost herbivora u osvijetljenom sloju je, također, faktor koji može prividno povećati koncentraciju klorofila *a* pri dubinama većim od 50 m.

Literatura

- Bidigare, R. R., Morrow, J. H., Kiefer, D. A. (1989) Derivative analysis of spectral absorption by photosynthetic pigments in the Western Sargasso Sea. *J. Mar. Res.* 47, 323–341.
- Cullen, J. J. (1982) The deep chlorophyll maximum. Comparing vertical profiles of chlorophyll *a*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39, 791–803.
- Domjan, N., Smirčić, A. (1992) Some characteristics of the sea water transparency of the Adriatic Sea during the period from 1956 to 1990. *Rapp. Comm. int. Mer Mdit.* 33, 332.
- Dowidar, N. M. (1984) Phytoplankton biomass and primary productivity of the southeastern Mediterranean. *Deep-Sea Res.* 31, 983–1000.
- Estrada, M., Marras, C., Latasa, M., Berdalet, E., Delgado, M., Riera, T. (1993) Variability of deep chlorophyll maximum characteristics in the Northwestern Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 92, 289–300.

- Gilmartin, M., Revelante, N. (1988) Observations on the relative contribution of pico- and nano-plankton to the subsurface chlorophyll maximum in the Northern Adriatic Sea. *Rapp. Comm. int. Mer Mdit.* 31, 225.
- Gould, R. W. (1987) The deep chlorophyll maximum in the world ocean: a review. *The Biologist* 66, 4–13.
- Jasprica, N., Carić, M. (1997) A comparison of phytoplankton biomass estimators and their environmental correlates in the Mali Ston Bay (Southern Adriatic). *P. S. Z. N. I.: Mar. Ecol.* 18, 35–50.
- Kimor, B., Berman, T., Schneller, A. (1987) Phytoplankton assemblages in the deep chlorophyll maximum layers off the Mediterranean coast of Israel. *J. Plankton Res.* 9, 433–443.
- Latasa, M., Estrada, M., Delgado, M. (1992) Plankton-pigment relationship in the Northwestern Mediterranean during stratification. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 88, 61–73.
- Laws, E. A., DiTullio, G. R., Redalje, D. G. (1987) High phytoplankton growth and production rates in the North Pacific subtropical gyre. *Limnol. Oceanogr.* 34, 905–918.
- Marasović, I., Pucher-Petković, T. (1988) Deep chlorophyll maximum in the Adriatic. *Rapp. Comm. int. Mer Mdit.* 31, 226.
- Orlić, M., Gačić, M., La Violette, P. E. (1992) The current and circulation of the Adriatic Sea. *Oceanol. Acta* 15, 109–124.
- Revelante, N., Gilmartin, M. (1973) Some observations on the chlorophyll maximum and primary production in the eastern North Pacific. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 58, 819–834.
- Shushchenia, L. M. (1961) The chlorophyll content in plankton of the Aegean, Ionian and Adriatic seas. *Okeanologiya* 1, 1039–1045.
- Smodlaka, N. (1982) Andrija Mohorovičić 1974–1976. Izvještaji i rezultati oceanografskih istraživanja Jadranskog mora, 221–228. HIRM, Split.
- Sournia, A. (1973) La production primaire planctonique en Méditerranée. *Essai de mise a jour. Bull. t. Comm. Mdit. Special issue* 5, 1–128.
- Strickland, J. D. H. (1958) Solar radiation penetrating the ocean. A review of requirements, data and methods of measurement, with particular reference to photosynthetic productivity. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 15, 453–493.
- Strickland, J. D. H., Parsons, T. R. (1972) A practical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Board Can. Bull.* 167, 1–310.
- Venrick, E. L., McGowan, J. A., Mantyla, A. W. (1973) Deep maxima of photosynthetic chlorophyll in the Pacific Ocean. *Fish. Bull.* 71, 41–52.
- Viličić, D. (1985) A phytoplankton study of southern Adriatic waters near Dubrovnik for the period from June 1979 to July 1980. *CENTRO* 1, 35–56.
- Viličić, D. (1989) Phytoplankton population density and volume as indicators of eutrophication in eastern part of the Adriatic Sea. *Hydrobiologia* 174, 117–132.
- Viličić, D., Fanuko, N. (1983/1984) A study of phytoplankton in offshore waters of southern Adriatic, January 1980. *Nova Thal.* 6, 67–82.
- Viličić, D., Jasprica, N. (1990) Raspodjela biomase fitoplanktona u Jadranskom moru u srpnju 1984. *Pomorski zbornik* 28, 631–641.
- Zore-Armanda, M. (1968) The system currents in the Adriatic Sea. *Stud. Rev. Gen. Fish. Council. Medit.* 34, 1–48.

Autor

Dr. sc. Nenad Jasprica

Institut za oceanografiju i ribarstvo, pp. 83, 20101 Dubrovnik

E-mail: jasprica@labdu.izor.hr

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 2.06.

Molarni omjeri hranjivih soli u estuarijima rijeka Zrmanje i Omble

Marina Carić, Damir Viličić, Nenad Jasprica

SAŽETAK: Molarni omjeri hranjivih soli, važni su regulatori rasta fitoplanktona. Određeni su u proljeće, ljeto i jesen 1998. u stratificiranim estuarijima rijeka Zrmanje i Omble. Koncentracije hranjivih soli značajno su veće ($P < 0.05$) u estuariju rijeke Zrmanje nego u estuariju Omble. Razlike u koncentracijama hranjivih soli odražavaju se na molarne omjere. Molarni omjeri između reaktivnog silicija i reaktivnog fosfora (Si:P), te reaktivnog silicija i ukupnog anorganskog dušika (Si:UAN) u estuariju Zrmanje su veći nego u estuariju Omble, čime se objašnjava povećana gustoća dijatomeja u estuariju Zrmanje.

KLJUČNE RIJEČI: hranjive soli, molarni omjeri, estuariji, Jadransko more

Molar Ratios in the Zrmanja and Ombla Estuaries

SUMMARY: Molar ratios of nutritious salts which are important regulators of phytoplankton growth were determined in stratified estuaries of the Zrmanja and Ombla Rivers in spring, summer and autumn of 1998. Concentrations of nutritious salts are considerably higher ($P < 0.05$) in the Zrmanja estuary. Differences in concentrations reflect on molar ratios. High molar ratios Si:P and Si:UAN in the Zrmanja estuary explain high density of diatomeae population. On the opposite, low density of diatomeae population in the Ombla estuary is probably caused by low molar ratios of Si:P and Si:UAN.

KEYWORDS: nutritious salts, molar ratios, estuaries

Uvod

Rijeka Zrmanja stvara estuarij dug oko 13 km. Estuarij rijeke Omble pripada malim estuarijima, dužina mu je 4 km. Zbog malih varijacija između plime i oseke, oba estuarija pripadaju skupini visoko stratificiranih estuarija. Fizičko-kemijski i biološki parametri u oba estuarija nedostavno su istraživani. Molarni omjeri hranjivih soli, koji se smatraju važnim regulatorima rasta fitoplanktona, prvi put su izračunati u ovim estuarijima. Hipoteza »resource-ratio« je vertikalna Tilmanova teorija kompeticije (Tilman, 1977.) objašnjava promjene u sastavu vrsta, na temelju resursnih omjera. Tilman (1982.) pod resursima smatra bilo koju supstanciju ili faktor koje organizam troši za rast, uključujući i svjetlosnu energiju. Među najvažnijim regulatorima rasta fitoplanktona smatraju se molarni omjeri reaktivnog silicija i reaktivnog fosfora (Si:P), ukupnog anorganskog dušika i reaktivnog fosfora (UAN:P), reaktivnog silicija i ukupnog anorganskog dušika (Si:UAN), reaktivnog silicija i indeksa svjetlosti (Si:IS) i ukup-

nog anorganskog dušika i indeksa svjetlosti (UAN:IS), dok je rezervni resurs omjer nitrata i amonijaka ($\text{NO}_3:\text{NH}_4$).

U ovom su radu uspoređivani molarni omjeri najvažnijih, kao i rezervnih, regulatora rasta fitoplanktona, u proljeće, ljeto i jesen 1998., u estuarijima krških rijeka Zrmanje i Omble.

Materijal i metode

Mjerenja su obavljena u svibnju, kolovozu i rujnu na postajama u donjem dijelu estuarija (Sl. 1.). Uzorci su uzimani Niskinovim crpcem. Slanost je određena standardnom titracijskom metodom. Koncentracije hranjivih soli određivane su standardnim oceanografskim metodama (Strickland i Parsons, 1972.). Indeks svjetlosti (IS) izračunat je prema Sommeru (1993.).

Rezultati i rasprava

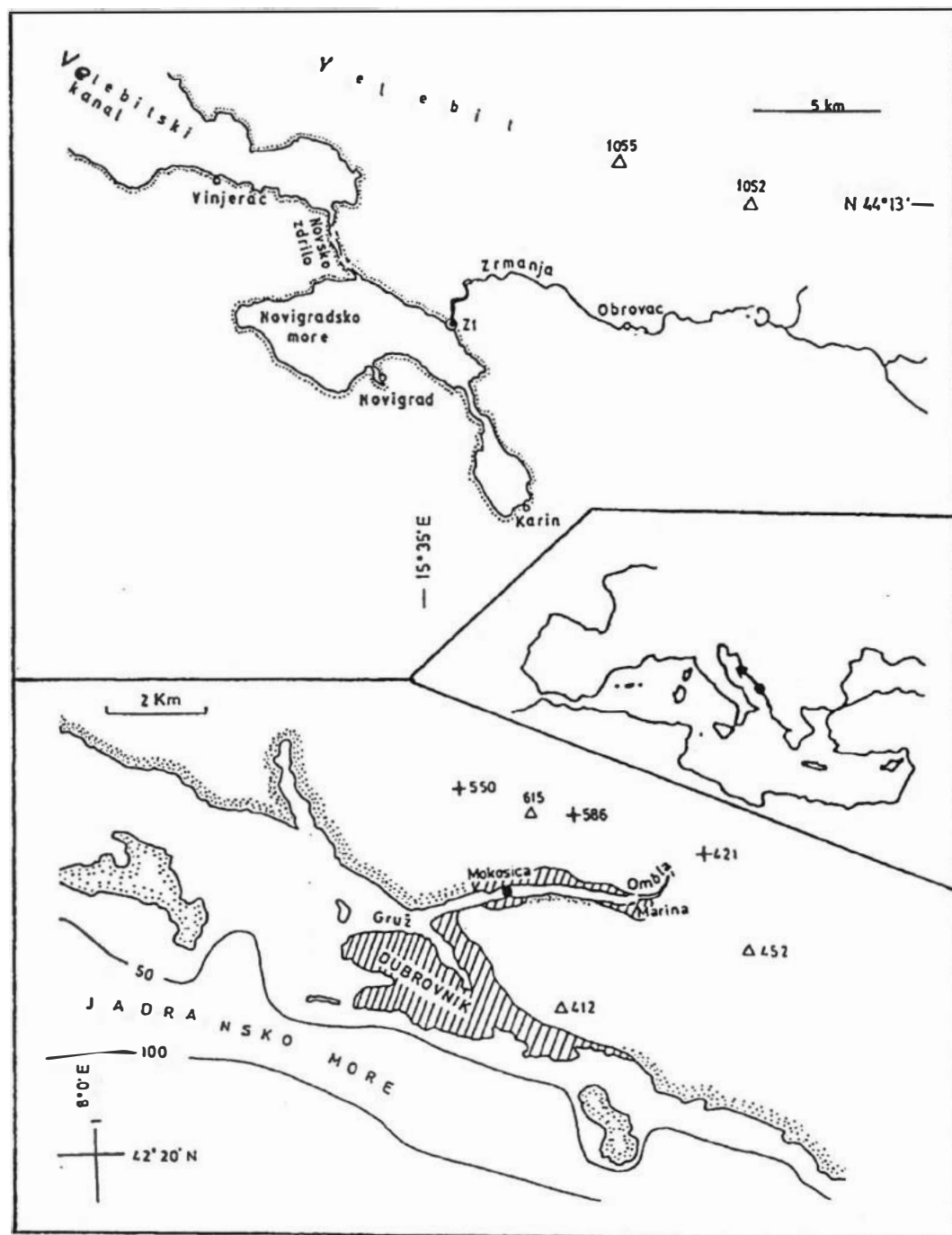
Vodeni stupac u oba estuarija oštrom je haloklinom raslojen u dva sloja, gornji bočati i donji morski. Najveći gradijent slanosti utvrđen je u svibnju u sloju od površine do dva metra dubine; u Zrmanji $10,5 \text{ psu m}^{-1}$, a u Omble $2,5 \text{ psu m}^{-1}$.

Dotoci slatke vode odražavaju se na koncentraciju i raspodjelu hranjivih soli unutar vodenog stupca (Sl. 2.). U cijelom vodenom stupcu, a poglavito u samom površinskom sloju, koncentracije ukupnog anorganskog dušika (UAN), reaktivnog fosfora i reaktivnog silikata značajno su veće ($P < 0,05$) u estuariju rijeke Zrmanje. Minimalne koncentracije hranjivih soli u estuarijima Zrmanje i Omble iznosile su za reaktivni silikat $2,72 \mu\text{M}$ i $0,36 \mu\text{M}$; za UAN $0,78 \mu\text{M}$ i $0,45 \mu\text{M}$ i za reaktivni fosfor $0,04 \mu\text{M}$ i $0,01 \mu\text{M}$.

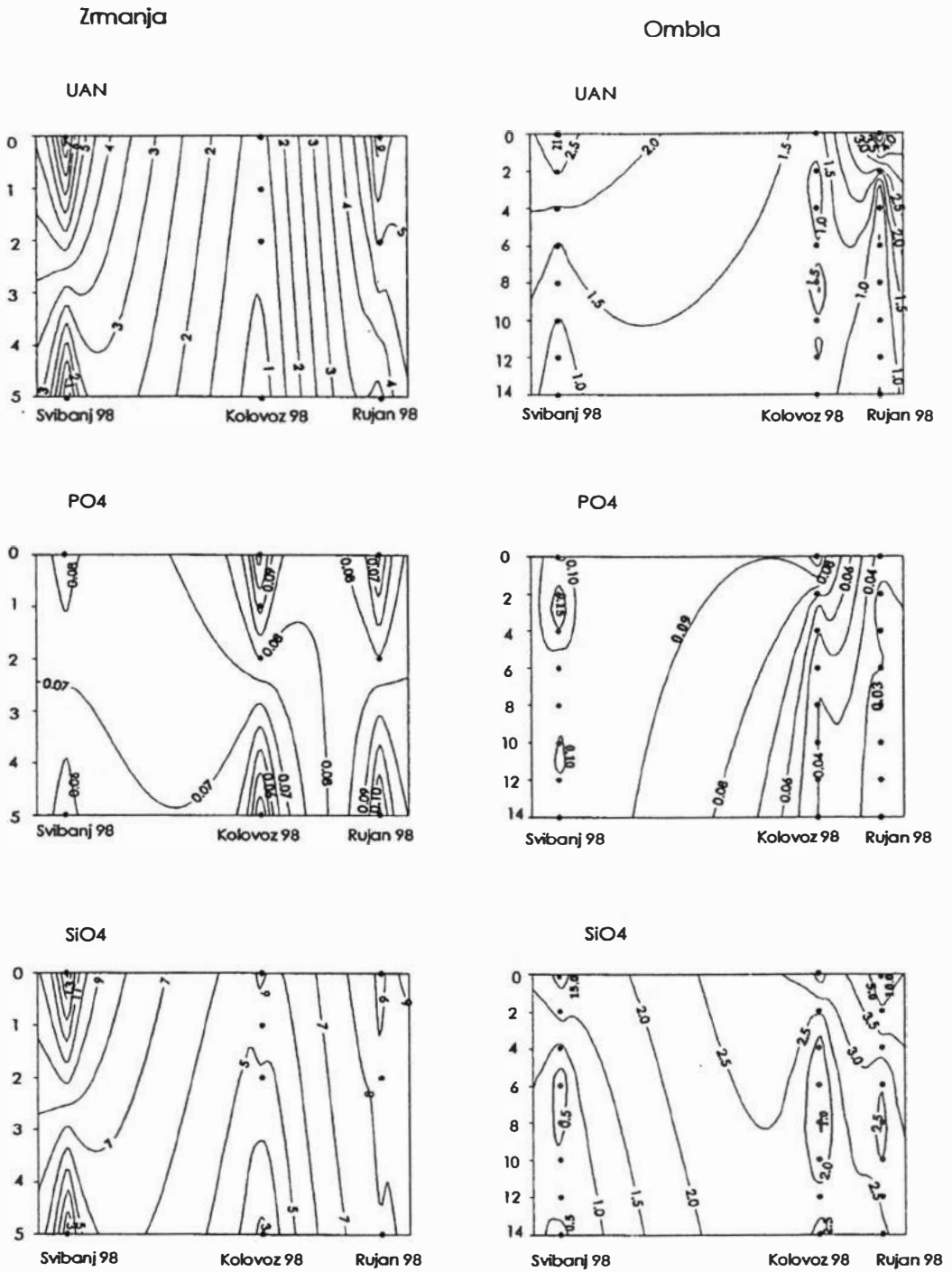
Potrebne količine fosfora, dušika i silicija za ishranu fitoplanktona su poznate u literaturi (Kohl i Niklisch, 1988., Sommer, 1991.). Prema tim podacima, u estuariju rijeke Zrmanje koncentracije hranjivih soli, čak i njihovi minimumi, zadovoljavaju potrebe za prehranu fitoplanktona. Naprotiv, u estuariju rijeke Omble minimalne koncentracije hranjivih soli nedostatne su za rast fitoplanktona. Također, većina izmjerenih koncentracija UANA i reaktivnog silikata ne zadovoljavaju potrebe fitoplanktona.

Odnos molarnih omjera Si:P, UAN:P, Si:UAN, Si:IS, UAN:IS i $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ u estuarijima rijeka Zrmanje i Omble prikazani su na slici 3. U svibnju u Zrmanji, kod visokih omjera Si:P i Si:UAN, u gustoći populacija mikrofitoplanktona dominirale su dijatomeje ($1,5 \times 10^5$ stanica Γ^{-1}). Daljnji porast dijatomeja u kolovozu, uzrokuje pad molarnih omjera svih hranjivih soli. U rujnu povećanje koncentracija UAN, nastalo isključivo kao posljedica povećanja koncentracije nitrata, i reaktivnog silikata, odražava se u povećanju molarnih omjera većine hranjivih soli. U Omble niža gustoća populacija dijatomeja ($2,6 \times 10^4$ stanica Γ^{-1}), vjerojatno je posljedica niskih omjera Si:P i Si:UAN omjera. što se podudara s podacima iz literature (Sommer, 1996.).

IS u svibnju, zbog nedostatka podataka o prozirnosti mora, nije prikazan. Preko omjera Si:IS i UAN:IS možemo indirektno procijeniti postoji li kompeticija u odnosu na svjetlo između pojedinih fitoplanktonskih vrsta. Te omjere nije moguće koristiti na razini viših taskonomskih kategorija (Sommer, 1994., Makulla i Sommer, 1993.).



Slika 1. Karta istraživanog područja i položaj postaja



Slika 2. Raspodjela koncentracije hranjivih soli (mol dm^{-3}) u estuarijima rijeka Zrmanje i Omble u svibnju, kolovozu i rujnu 1998.

U ovom radu prikazani su preliminarni podaci, a cilj narednih istraživanja bit će detaljna analiza flornog sastava fitoplanktona, kako bi se za svaku vrstu mogli utvrditi optimalni omjeri resursa.

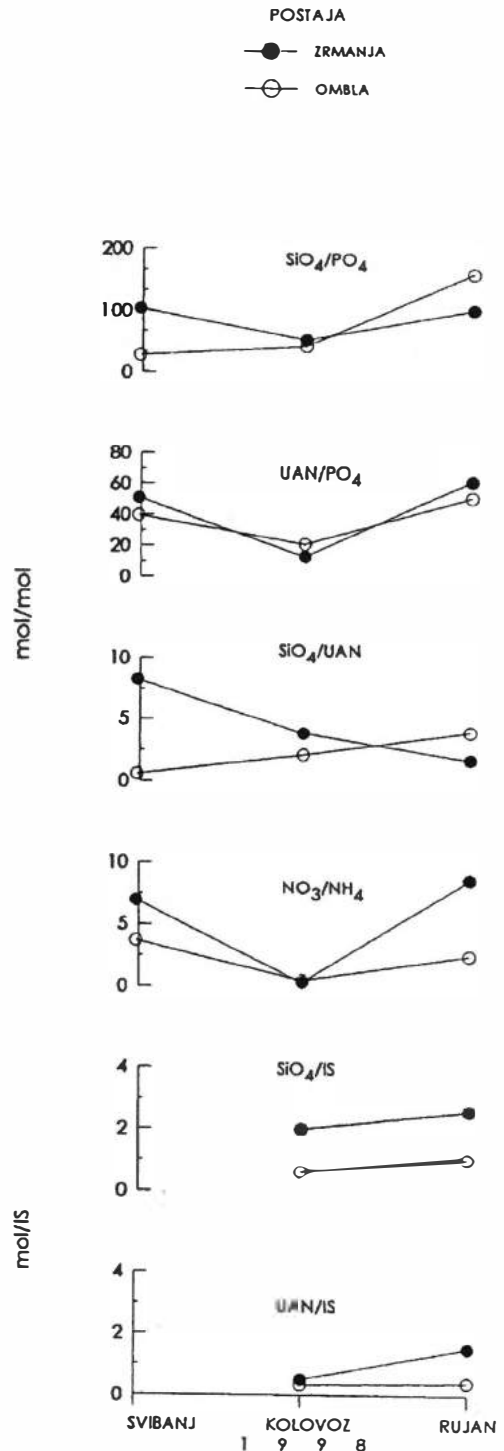
Literatura

- Kohl, J. G., Niklisch, A., 1988. Ökophysiologie der Algen. Akademie Verl. Berlin.
- Makulla, A., Sommer, U., 1993. Relationships between resource ratios and phytoplankton species composition during spring in five north German lakes. *Limnol. Oceanogr.* 38, 846–856.
- Sommer, U., 1991. The application of the Drop-model of nutrient limitation to natural populations of phytoplankton. *Verh. Internat Verein Limnol.* 24, 791–794.
- Sommer, U., 1993. Phytoplankton competition in Plußsee: A field test of the resource-ratio hypothesis. *Limnol. Oceanogr.* 38, 838–845.
- Sommer, U., 1994. The impact of light intensity and daylength on silicate and nitrate competition among marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 39, 1680–1688.
- Sommer, U., 1996. Plankton ecology: The past two decades of progress. *Naturwissenschaften* 83, 293–301.
- Strickland, J. D. H., Parsons, T. R., 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Bd. Can. Bull.* 167., 1–310.
- Tilman, D., 1977. Resource competition between planktonic algae: An experimental and theoretical approach. *Ecology* 58, 338–348.
- Tilman, D., 1982. Resource competition and community structure. Princeton Univ. Press, Princeton.

Autori

Marina Carić¹, Damir Viličić² i Nenad Jasprica¹
¹ Institut za oceanografiju i ribarstvo, Laboratorij za ekologiju planktona, pp.83, 20101 Dubrovnik

² Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb
 E-mail: caric@labdu.izor.hr



Slika 3. Resursni omjeri u estuarijima rijeka Zrmanje i Omble u svibnju, kolovožu i rujnu 1998.

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 2.07.

Atmosferski unos anorganskog dušika u hrvatsko priobalje

Višnja Šojat, Dunja Borovečki, Vesna Đuričić

SAŽETAK: U priobalju Hrvatske i na otocima potrebno je sustavno provoditi praćenje kakvoće zraka, vode i tla. Zaštitu ekosustava i održivi razvitak moguće je ostvariti smislenim prostornim planiranjem. U ovom radu razmatran je unos anorganskog dušika iz nitrata i amonijaka dobivenog kemijskom analizom iz dnevnih uzoraka oborine. Statistički su obrađeni podaci o količini oborine, kiselosti oborine (pH-vrijednosti) te dušika određenog u obliku nitrata i amonijaka iz dnevnih uzoraka i to s priobalnih postaja Zadar i Dubrovnik i visinske postaje Zavižan – Velebit (koja se nalazi u sklopu EMEP i MEDPOL programa) za razdoblje 1981.–1995. godine. Na količinu i kakvoću oborine utječe velik broj čimbenika, te stoga ona pokazuje prostornu i vremensku promjenjivost.

KLJUČNE RIJEČI: kisele kiše, taloženje, dušikovi spojevi, okoliš, zaštita

Atmospheric input of Inorganic Nitrogen to the Croatian Coastal zone

SUMMARY: Monitoring of water, air and soil is to be continued along the Croatian coast and islands. Ecosystem protection and sustainable development may be realised by reasonable special planning. In this work the atmospheric input of inorganic nitrogen from NO_3^- and NH_4^+ has been analysed as well as precipitation quality expressed by pH-value for Zadar, Dubrovnik and Zavižan stations for the period from 1981 till 1995. For the observed period the annual deposition of nitrogen separately from NO_3^- and NH_4^+ as well as total has been calculated. Atmospheric observations in the different parts of world pointed out SO_4^{2-} , NO_3^- and Cl^- as the most important anions on influencing precipitation pH-value. This fact is especially important for forest ecosystem because precipitation can cause rinsing of nutritious substances out of water and soil. Quality and quantity of precipitation is very important for the areas were it is used as a drinking water. A great number of factors effect the quantity and quality of precipitation therefore it shows spatial and time variability.

KEYWORDS: acid rain, deposition, nitrogen components, environment, protection

Uvod

Monitoring atmosfere ali i ostalih dijelova biosfere, postao je nužnim pratiocem svakog društvenog razvitka. Za ocjenu utjecaja onečišćenja iz udaljenih izvora emisije značajno je praćenje i proučavanje kakvoće oborine (Bajić Vidič, 1997.). Ono je posebno značajno za područja gdje se oborine koriste kao voda za piće i navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta (udaljeni Jadranski otoci i priobalna naselja gdje nema drugih izvora vode) te za šumske ekosustave (Reuthera i Kirchnera, 1990.).

Tijekom zadnjeg desetljeća DHMZ je počeo aktivno sudjelovati u izučavanju kiselog taloženja, što je bilo usmjereno na utjecaj kiselih kiša i drugih štetnih tvari na šume i

priobalje (Bajić, Đuričić, 1995., Vidič, 1995., Eškinja i dr., 1996., Alebić-Juretić, Šojat, 1997., Šojat, Borovečki, 1995., Šojat i dr., 1996., Požar-Domac i dr., 1998. itd.). U svrhu praćenja kakvoće oborine određuju se njezina svojstva i sastav i to: kiselost-pH vrijednost, električna provodljivost – $\mu\text{s/cm}$, sadržaj sulfata, nitrata, klorida, amonijaka, natrija, kalija, kalcija i magnezija – mg/L . Za potrebe izučavanja taloženja koristi se količina oborine ($\text{mm} = \text{L/m}^2$) sakupljena standardnim kišomjerom (po Hellmanu) koji se u pravilu nalazi pokraj sakupljača uzoraka oborine za kemijsku analizu.

U ovom radu razmatrana je količina oborine, kiselost – pH vrijednost, količina anorganskog dušika iz nitrata i amonijaka u razdoblju 1981.–1991. za Dubrovnik, a za Zavižan i Zadar razdoblje 1981–1995. godine.

Materijali i metode

Mjerna mjesta za sakupljanje i proučavanje kvalitete oborine nalaze se na glavnim meteorološkim postajama: Zavižan – Velebit koja je smještena na jugozapadnoj padini ispod vrha Vučjak, a okružena je vrhuncima koji je nadvisuju u smjeru jugoistoka do jugozapada, dok su smjerovi od jugozapada do sjeveroistoka otvoreni prema moru ($\varphi = 44^\circ 49'$, $\lambda = 14^\circ 59'$, $H = 1594 \text{ m n/v}$ – ruralno područje), Zadar 150 m od morske obale, s otvorenim pogledom u svim smjerovima, 300 m prema istoku nalazi se marina, dok se s druge strane nalaze obiteljske kuće i hoteli ($\varphi = 44^\circ 8'$, $\lambda = 15^\circ 13'$, $H = 5 \text{ m n/v}$ – urbano područje, utjecaj kućnih i industrijskih izvora emisije), Dubrovnik, direktno otvoren u svim smjerovima, osim prema zapadu gdje se uzdiže brdo Srđ ($\varphi = 42^\circ 39'$, $\lambda = 18^\circ 5'$, $H = 42 \text{ m n/v}$ – ruralno područje), nema značajnih izvora emisije. Uzorci oborine su 24-satni sakupljeni u meteorološkom terminu od 7 do 7 sati, po "bulk" metodi. Tako sakupljeni uzorci kiše sadrže i dio suhog – gravitacionog taloženja što prema literaturi može iznositi i do 20%. Za analizu korištene su metode propisane za provedbu EMEP programa (EMEP Data Report 1989 i EMEP/CCC Report 2/91, NILU, Lillestrom, 1991.).

Rezultati i rasprava

Rezultati fizikalno-kemijskog sastava i količine oborine podvrgnuti su obradi osnovnim statističkim metodama. U tablici 1. za promatrano razdoblje 1981.–1991. za Dubrovnik, Zadar i Zavižan naveden je ukupan broj dana s oborinom, ukupna količina oborine, broj kemijski analiziranih uzoraka, te udio analizirane količine u odnosu na ukupnu oborinu.

Tablica 1. Ukupan broj dana s oborinom (N_U) ukupna količina oborine (ΣRR u mm), broj kemijski analiziranih uzoraka (N_{AU}), udio analizirane količine oborine u odnosu na ukupnu ($RR_A\%$) u razdoblju 1981.–1995., za postaje Zavižan, Zadar i Dubrovnik

Mjerna postaja	N_U	ΣRR	N_{AU}	$\frac{\Sigma RR}{RR_{AU}} \%$
Zavižan	2260	29257.2	2111	98.5
Zadar	1144	9352.8	684	73.5
Dubrovnik	1194	10698.3	769	87.2

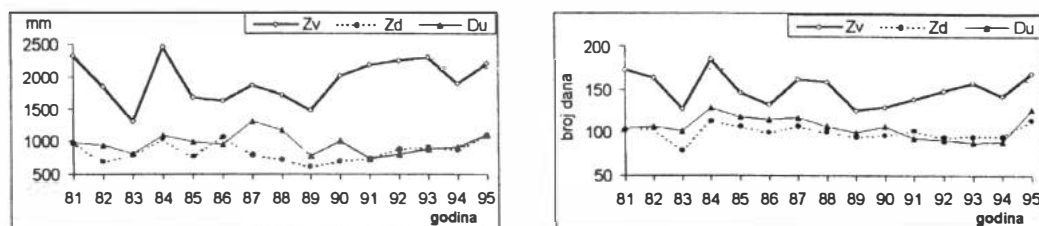
Proučavanje oborine (količine i kemijskog sastava) složen je proces i pokazuje prostornu i vremensku promjenljivost. Mnogobrojni čimbenici utječu na oborinu od stanja atmosfere do samog područja gdje se nalazi kišomjer. Godišnja količina oborine nije jednoliko raspoređena na sve mjesece ni godišnja doba. U hladnijem dijelu godine u razdoblju listopad–ožujak, padne veći dio oborine. To je jedna od karakteristika maritimnog ili sredozemnog oborinskog režima. Udio oborine koja padne u hladnom dijelu godine povećava se u smjeru sjever-jug, i od otoka prema obali (Milković, 1998.). Problem mjerenja količine oborine izražajniji je porastom nadmorske visine zbog jakog vjetrova i vijavica (Mileta, 1995.).

Na slici 1. prikazana je ukupna godišnja količina oborine i godišnji broj kišnih dana u istraživanom razdoblju. Zavižan je imao najveću količinu po prikazanim godinama, kao i najveći broj dana s oborinom $\geq 0,1$ mm što je i razumljivo s obzirom na orografiju terena i planinski tip klime. Količina se kretala od oko 1400 mm (1983. godine) do 2500 mm (1984.). Od priobalnih postaja, Dubrovnik ima veću količinu (800–1250 mm) od Zadra (600–1000 mm).

Iz prikupljene količine oborine u tablici 2. prikazana je statistička obrada kiselosti oborine tj. pH vrijednosti prikazane su u tablici 2., relativna učestalost na slici 3., dok se volumno otežane srednje vrijednosti po godinama nalaze na slici 4. Sve tri postaje (Zavižan, Zadar i Dubrovnik) pod utjecajem su kiselih oborina, što znači da je izmjerena pH vrijednost bila niža od 5,60 koja se smatra graničnom vrijednosti za kisele oborine.

Tijekom promatranog razdoblja najniža dnevna pH vrijednost oborine zabilježena je na Zavižanu u iznosu od 3,71, dok je u Zadru bila 4,01 a u Dubrovniku 4,08. Maksimalne vrijednosti kretale su se od 8,24 u Dubrovniku, 7,63 na Zavižanu do 7,60 u Zadru. Rezultati Dubrovnika pod velikim su utjecajem morskih aerosola osobito za vrijeme južnih vjetrova koji su vrlo česti. U Zadru također s jedne strane imamo utjecaj aerosola s mora a u drugom slučaju djelovanje lokalnih izvora emisije (promet, industrija, kućna ložišta).

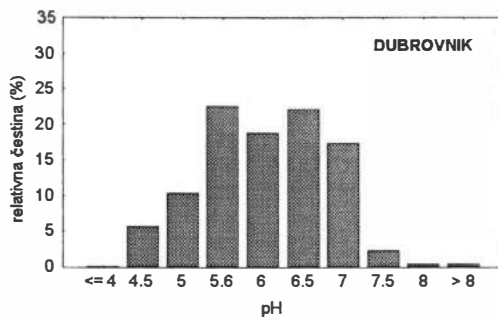
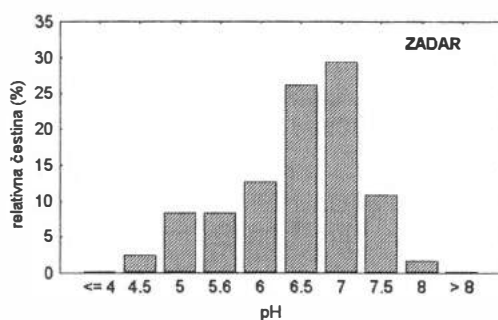
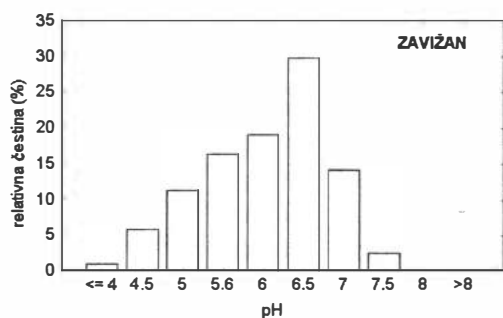
Naša prethodna istraživanja sjevernog priobalja (Đuričić, 1989.; Vidič, 1992.; Đuričić, Bajić, Šojat, 1996.; Šojat i dr., 1996.; Alebić-Juretić, Šojat, 1997.) ukazuju na pojavu najveće kiselosti oborine u Rijeci koja je pod velikim utjecajem lokalnih štetnih i opasnih izvora emisije kojemu se još pridružuje onečišćenje uzrokovano daljinskim prijenosom iz susjednih zemalja. U razdoblju 1981.–1995. u Rijeci na meteorološkoj postaji Kozala zabilježeno je 50% kiselih oborina, Puli, Senju, Zadru oko 20%, a na



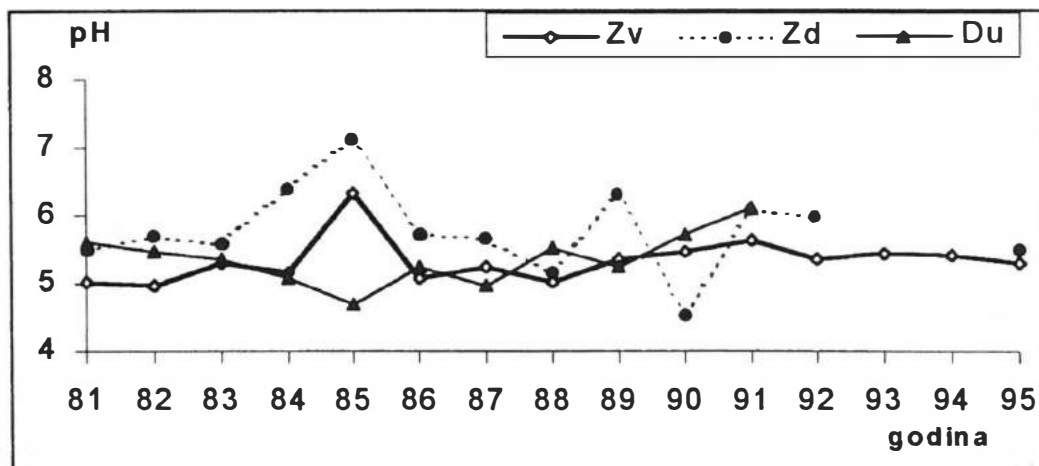
Slika 1. Ukupna godišnja količina oborine (mm) – lijevo i godišnji broj dana s oborinom $\geq 0,1$ mm – desno za Zavižan, Zadar i Dubrovnik u razdoblju 1981.–1995.

Tablica 2. PH vrijednosti oborine za uzorke koji zadovoljavaju kriterij ionske ravnoteže u razdoblju 1981.–1995. Broj uzoraka – N, srednja volumna vrijednost – X_{SVV} standardna devijacija – σ ; varijabilnost (%); – standardna devijacija izražena u% srednje vrijednosti; minimalne vrijednosti – min; maksimalne vrijednosti – max, percentili – C_{25-99}

Parametar	Zavižan	Zadar	Dubrovnik
N	749	119	213
X_{SVV-pH}	5,26	5,50	5,12
σ	0,75	0,78	0,77
Variab %	14,30	14,20	15,00
min	3,71	4,01	4,08
max	7,63	7,60	8,24
C_{25}	5,30	5,84	5,30
C_{50}	5,96	6,32	5,86
C_{75}	6,36	6,80	6,40
C_{90}	6,70	7,18	6,75
C_{95}	6,90	7,30	6,99
C_{99}	7,20	7,54	7,38



Slika 2. Razdioba relativne učestalosti pH vrijednosti (%) za Zadar i Zavižan za razdoblje 1981.–1995. te Dubrovnik 1981.–1991.



Slika 3. Srednje godišnje volumne pH vrijednosti za razdoblje 1981.–1991., Dubrovnik, 1981.–1995. Zadar i Zavižan

ruralnim postajama Zavižan i Dubrovnik između 34 i 39%. Slika 2. prikazuje najveću relativnu učestalost pH vrijednosti između 6 i 7. Tako Zavižan ima učestalost od 30% kod pH vrijednost 6,0–6,5, Zadar 29% kod pH vrijednosti 6,5–7,0 i Dubrovnik 23% kod pH vrijednosti 5,0–5,6 i 6,0–6,5.

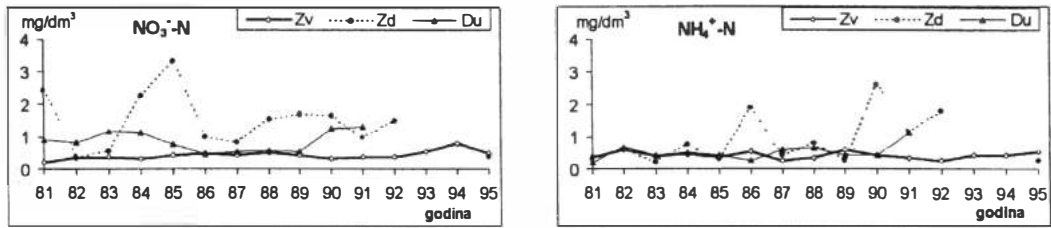
Srednje godišnje pH vrijednosti variraju od godine do godine kod svake postaje. Najveće varijacije primjećuju se u Zadru a najmanje na Zavižanu. Zavižan i Zadar ukazuju na nagli porast pH vrijednosti u 1985. godini, a Dubrovnik u 1990. i 1991. (kada se mjerenja prekidaju zbog ratnih djelovanja agresora).

U tablici 3. prikazani su statistički parametri anorganskog dušika koji se u oborini nalazi u obliku nitrata ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) i amonijaka ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) izražene u mg/L.

Nakon statistički razmatranih parametara anorganskog dušika na slici 4. prikazane su volumne koncentracije po godinama.

Tablica 3. Koncentracija dušika (mg/L) iz nitrata i amonijaka za uzorke koji zadovoljavaju kriterij ionske ravnoteže, 1981.–1995. (N = broj uzoraka; X_{svv} = srednja volumna vrijednost, s = standardna devijacija; variab. (%) = standardna devijacija izražena u% srednje vrijednosti; min = minimalne vrijednosti (mg/L); max = maksimalne vrijednosti (mg/L))

Postaje	Zavižan		Zadar		Dubrovnik	
	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$
N	732	704	116	70	202	202
$X_{\text{svv}}(\text{vw})$	0,42	0,45	1,33	0,60	0,78	0,50
σ	0,73	0,50	1,80	0,86	1,29	0,88
Variab. (%)	174	111	135	143	165	176
min	0,01	0,01	0,08	0,03	0,07	0,01
max	8,26	3,61	11,10	4,22	10,00	7,31



Slika 4. Srednje godišnje volumno otežane vrijednosti dušika iz nitrata (lijevo) i amonijaka (desno) (mg/L) za Zavižan, Zadar, 1981.–1995. i Dubrovnik, 1981.–1991.

Na postajama Zadar i Dubrovnik veće su koncentracije dušika iz nitrata nego na Zavižanu, dok su koncentracije iz amonijaka najveće u Zadru. Unos dušika oborinom bio je manji na ruralnim postajama Zavižan i Dubrovnik nego u Zadru koja prema kriteriju Svjetske meteorološke organizacije spada u "impact" postaju. To su one postaje koje su pod direktnim utjecajem lokalne emisije.

Da bi dobili uvid u količinu istaloženog anorganskog dušika (g/m^2) iz nitrata i amonijaka moramo koncentraciju pomnožiti s količinom oborine, što je prikazano na slici 5. po godinama.

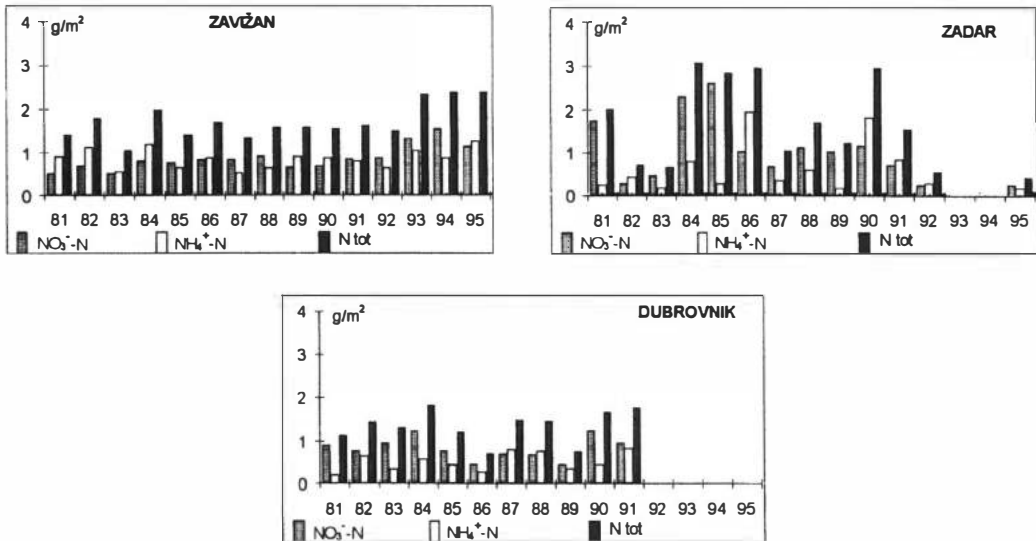
Istraživanja pokazuju da taloženje opada od sjevera prema jugu. Na visinskoj postaji Zavižan u razdoblju 1993.–1995. ukupno taloženje dušika iznosilo je između $1\text{--}2 \text{ g/m}^2$. Kako Zavižan nije na udaru lokalnih izvora emisije, to ukazuje na utjecaj regionalnih i udaljenih izvora onečišćenja. Ukupno godišnje taloženje u Zadru variralo je od $0,5 \text{ g/m}^2$ do 3 g/m^2 . Zadar pokazuje kombinirani utjecaj lokalnih izvora i daljinskog prijenosa onečišćenja. Dubrovnik ukazuje na najniže ukupno godišnje taloženje dušika sa iznosom od $0,6 \text{ g/m}^2$ do $1,8 \text{ g/m}^2$.

Na mjernim postajama Zavižan, Zadar i Dubrovnik unos anorganskog dušika iz nitrata kretao se od $0,2 \text{ g/m}^2$ do $2,8 \text{ g/m}^2$ što je uglavnom unutar dozvoljenih godišnjih kritičnih granica ($1\text{--}2 \text{ g/m}^2$, Acid Magazine, 1987.). Jedino je u Zadru u 1984. i 1985. količina istaloženog dušika iz nitrata bila veća od dozvoljenog.

Zaključak

Praćenje kakvoće oborine značajno je za procjenu donosa onečišćenja iz udaljenih izvora emisije. U ovom radu prikazan je jedan od elemenata koji utječu na kakvoću oborine – anorganski dušik koji se u oborini nalazi u obliku nitrata i amonijaka.

U svezi proučavanja unosa anorganskog dušika oborinom u jadransko priobalje statistički su obrađeni podaci količine oborine, kiselosti – pH vrijednosti i taloženja dušika iz nitrata, amonijaka i ukupno (g/m^2) s postaja Zavižan (EMEP, MEDPOL program), Zadar i Dubrovnik u razdoblju 1981.–1995. Rezultati pokazuju da je kiselost oborine veća na ruralnim postajama Zavižan i Dubrovnik gdje je udio kiselih oborina iznosio između 34% i 39%, dok je u Zadru bio 20%. Međutim, ukupan unos anorganskog dušika bio je najveći u Zadru, gdje je u pojedinim godinama bio i iznad dozvoljenih kriterija. Naša prethodna istraživanja dijela sjevernog priobalja (Rijeka, Senj) ukazuju na najveći unos onečišćenja oborinom na području Rijeke što je i objašnjivo s obzirom na lokalnu emisiju uz utjecaj daljinskog prijenosa onečišćenja.



Slika 5. Godišnje taloženje dušika iz nitrata, amonijaka i ukupno (g/cm^2) za razdoblje 1981.–1995. godinu sa postaja Zavižan, Zadar i Dubrovnik

Kakvoća i količina oborine od velikog su značaja za naše otoke i mnoga sela gdje predstavlja jedini izvor vode za piće. Kemija oborine složen je proces, a ovisan je o emisiji štetnih tvari, meteorološkim čimbenicima, klimatskim promjenama i o mnogim teško odredivim utjecajima.

Za potrebe održivog razvitka i dalje treba usavršavati praćenje onečišćenja zraka. Uz suvremenu opremu za prikupljanje i analizu uzoraka (automatski uređaji za prikupljanje oborine, analizatori i dr.) treba na više mjernih mjesta u Hrvatskoj uvesti praćenje čestica – aerosola, ozona, ugljik dioksida, teške metale, hlapive organske tvari bez metana (NMVOC), kako bismo dobili uvid u njihovu prostornu raspodjelu. Sustavno praćenje djelovanja onečišćenja na čovjeka, ekosustave voda i šuma, nužan je preduvjet planiranja i razvitka gospodarstva na našem prostoru.

Literatura

- Alebić-Juretić, A., V., Šojat: Kemijski sastav oborine na dvije postaje u Rijeci, Priopćenja Prvog hrvatskog znanstvenog-stručnog skupa o Zaštiti zraka '97, Crikvenica, 16.–18. listopada, 1997, 409–413.
- Bajić, A., V. Đuričić: Precipitation Chemistry and Atmospheric Processes in the Forested Part of Croatia; Water, Air and Soil Pollution, 85 (1–4), 1995, 1955–1960.
- Bajić, A., S. Vidič: "Primjena metode analize trajektorija za potrebe praćenja stanja okoliša", Priopćenja Prvog hrvatskog znanstvenog-stručnog skupa o Zaštiti zraka '97, Crikvenica, 16.–18. listopada 1997, 416–422.
- Đuričić, V., S. Vidič: Acid precipitation at the northern Adriatic, Airborne pollution of the Mediterranean Sea, Report and Proceedings of the Second WMO/UNEP Workshop, MAP Technical Reports Series No.64, UNEP, Athens 1992, 137–155.
- Đuričić, V., A., Bajić, V., Šojat: Značajke kvalitete oborine na riječkom području u različitim sinoptičkim situacijama, Priopćenja simpozija Prirodoslovna istraživanja riječkog područja, Rijeka, 23.–26. listopada 1996, 181–189.

- Eškinja, I., Z. Šoljić, S. Švel-Cerovečki, M. Eškinja, V. Šojat: Sources and Fate of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Ambient Air of Urban and Rural Croatian Sites, *Intern. Journ. Environ. Analytical Chem.*, 63, 1996, 251–268.
- Mileta, M.: Oborina od magle na Velebitu, *Zbornik radova*, 1. Hrvatske konferencije o vodama, Dubrovnik, 24.–27. svibnja, 1995, 513–520.
- Milković, J.: Oborina na otocima i obali, *Zbornik radova*, Okrugli stol Voda na hrvatskim otocima, Hvar, 1998, 83–98.
- Požar-Domac, A., T. Bakran-Petricioli, P. Filipić, A. Jaklin, N. Leder, J. Mužinić, G. Olujić, A. Pallaoro, G. Sinovčić, A. Smirčić, I. Šimunović, V. Šojat, S. Vidič, M. Vučetuć, V. Vučetić, E., Zahtila, D., Zavodnik, N., Zavodnik: The Silba Marine Park – preliminary research of the main characteristics of the area, establishment of specially protected area, and marine park managing organisation, *Periodicum Biologorum*, 1, 100, 1998, 7–18.
- Reuther, M., M. Kirchner: *Waldschadenforschung in Bayern*, Projektgruppe Bayern zur Erforschung der Wirkung von Umwelt schadstoffen (PBWU), München, 1990.
- Scudlark, J. R. and T. M. Church: Atmospheric input of inorganic nitrogen to Delaware Bay. *Estuaries*, 4, 16, 1993, 747–759.
- Šojat, V., D. Borovečki: Kemijski sastav i svojstva oborine na meteorološkim postajama Rijeka, Senj i Šibenik, *Zbornik radova* 1. Hrvatske konferencije o vodama, Dubrovnik, 24–27. svibnja 1995., 561–568.
- Šojat, V., S. Vidič, G. Hrabak-Tumpa, D. Borovečki: Acid precipitation in Kvarner Area region. *Zbornik radova međunarodnog kongresa Energija i zaštita okoliša*, Opatija, 23.–25.10 1996, 471–478.
- Šojat, V., D. Borovečki: Kemijska svojstva i sastav oborine na pomorsko meteorološkoj postaji Split-Marjan, *Zbornik radova Simpozija Kaštela*, Kaštel Stari, 30. rujna – 3. listopada 1998., u tisku
- Vidič, S., V. Šojat: Precipitation chemistry monitoring in Croatia (1981–1994), EMEP/CCC – Report 3/96 str. 231–233 (Edited by Gry Larsen and Jan Schaug) "EMEP Workshop on Quality Assurance of Measurements" Berlin, Germany, November 20–23, 1995. Izdavač: Norwegian Institute for Air Research N-2007 Kjeller, Norway.

Autori

Mr. sc. Višnja Šojat, dipl. inž. bioteh., D. Borovečki, dipl. inž. kem., V. Đuričić, dipl. inž. fizike
DHMZ, Zagreb, Grič 3



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 2.08.

Ekstremna kolebanja razine Jadranskog mora

Ivica Vilibić, Nenad Leder, Ante Smirčić

SAŽETAK: U ovom radu su prikazana neka svojstva ekstremnih kolebanja razine mora u periodu 1955.–1997., analizirajući podatke mareografskih postaja u Rovinju, Bakru, Splitu i Dubrovniku. U tom periodu raspon kolebanja ekstremnih razina mora je iznosio 228 cm u Rovinju, 199 cm u Bakru, 153 cm u Splitu i 129 cm u Dubrovniku. Procjena raspona ekstremnih vrijednosti koristeći teoriju ekstrema je dala vrijednosti od 231 cm u Rovinju, 211 u Bakru, 167 u Splitu i 141 u Dubrovniku. Ove vrijednosti, kao i vrijednosti ekstremnih maksimalnih i minimalnih vrijednosti imaju vrlo veliku važnost pri hidrotehničkim djelatnostima na moru i u podmorju, kao i na djelatnosti u obalnom području. Utjecaj pojedinih procesa na pojavu ekstremnih maksimalnih razina mora, a to su, uz plimotvornu silu, prvenstveno djelovanje vjetrova i tlaka zraka, je opisan analizirajući pojavu izuzetno visokih razina mora u prosincu 1997., kada su se, osim porasta razine mora, javile i slobodne oscilacije – seši – koje, superponirajući se na ostale procese, mogu dovesti i do plavljenja obalnih područja u sjevernom Jadranu.

KLJUČNE RIJEČI: Jadran, razina mora, ekstremi, sile uzročnice

Extreme Oscillations of the Adriatic Sea Level

SUMMARY: The present paper describes some characteristics of extreme sea level oscillations during the period 1955–1997. The data from Rovinj, Bakar, Split and Dubrovnik mariographic stations were analyzed. Extreme sea level oscillation ranges during this period were 228 cm for Rovinj, 199 cm for Bakar, 153 cm for Split, and 129 cm for Dubrovnik. The extremes range estimate performed after the theory of extremes gave the following results: 231 cm for Rovinj, 211 cm for Bakar, 167 cm for Split and 141 cm for Dubrovnik. These values, as well as the extremes of maximum and minimum values, are of particular importance for hydrotechnical off-shore (on and under the sea) and on-shore activities. The paper describes relation between particular processes and extreme maximum sea levels, including rising tide force, wind and air pressure, and analyzed the phenomenon of extremely high sea levels during December 1997, when the sea level increase was accompanied by free oscillations – seiche – which, superimposed on other processes, may cause flooding of coastal areas at the Northern Adriatic.

KEYWORDS: the Adriatic, sea level, extremes, cause forces

Uvod

Pojave ekstremnih razina Jadranskog mora, napose pojave maksimalnih razina Jadranskog mora u sjevernom Jadranu, bile su predmetom brojnih istraživanja znanstvenika već od početka ovog stoljeća. Naročito je poznata pojava »acqua alta« u Veneciji, no plavljenje obalnih područja se bilježi i na drugim dijelovima jadranske obale. Stoga su napisani brojni radovi u svrhu određivanja i izdvajanja utjecaja pojedinih parametara na kolebanje razine mora (npr. Leder, 1988; Vilibić et al., 1998.).

Analiza kolebanja razine Jadranskog mora na dužim vremenskim skalama je, s obzirom da je prikupljen zadovoljavajuće dug niz podataka, predmet istraživanja zadnjih godina. Tako npr. Vilibić (1998.) opisuje kolebanje godišnje i polugodišnje oscilacije u Jadranu, te pomoću regresijske analize izdvaja utjecaj varijacija tlaka zraka na razinu mora. Orlić i Pasarić (1994.) i Orlić (1995.) analiziraju trendove promjene razine Jadranskog mora, te izvode zaključak da se regionalne promjene razine Jadrana uzrokovane meteorološkim i termohalinskim procesima superponiraju na svjetski porast razine mora (npr. Vilibić, 1997.), te je stoga zabilježeno usporavanje rasta razine Jadranskog mora. Vilibić i Leder (1996.) analiziraju kolebanje razine Mediteranskog mora koristeći spektralnu i krosspektralnu analizu, te na taj način izdvajajući pojedina oscilatorna gibanja, dok Vilibić et al. (1997.) analiziraju podatke mareografa Split, te određuju anomalne epizode i trendove promjene razine mora u posljednjih četrdesetak godina. Naposljetku, Vilibić et al., (1996.) analiziraju i procjenjuju pojavu ekstremnih kolebanja razine mora u Rovinju, Splitu i Dubrovniku, a neki njihovi rezultati će biti prikazani u ovom radu.

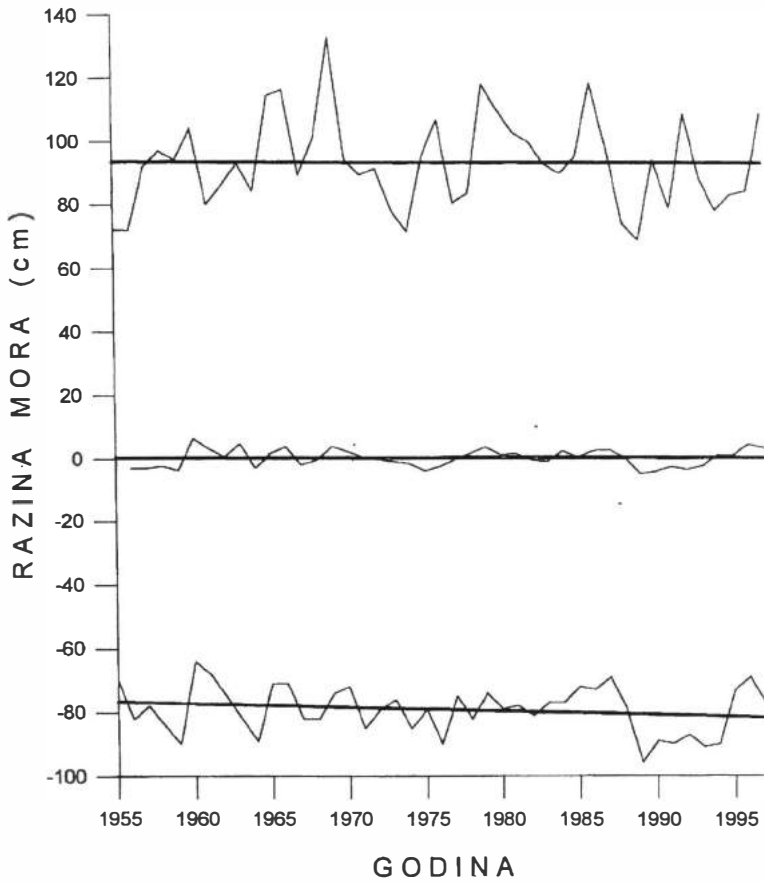
Ovaj rad ima za predmet analizu ekstremnih kolebanja razine mora koristeći podatke mareografa u Rovinju, Bakru, Splitu i Dubrovniku u periodu 1955.–1997. Nadalje, pri procjeni ekstremnih povratnih vrijednosti koristit će se teorija ekstrema (prema Vilibić et al., 1996.), a naposljetku će se analizirati pojava visokih razina mora u prosincu 1997 (prema Raicich et al., 1999.).

Analiza ekstremnih kolebanja

Ponajprije, ovdje će biti analizirani podaci ekstremnih i srednjih godišnjih razina mora prikupljeni na mareografskim postajama u Rovinju, Bakru, Splitu i Dubrovniku. Sve postaje kontinuirano obavljaju mjerenja od 1955. (1956.) godine pa do danas, s prekidima od najviše nekoliko dana (osim Dubrovnika gdje je tijekom 1991. i 1992. godine prekid trajao 4 mjeseca).

Slike 1. prikazuje maksimalne, minimalne i srednje razine mora na postaji Rovinj u odnosu na srednju razinu mora u razdoblju 1955–1997. Također su ucrtani pravci linearne regresije za sve nizove podataka. Raspon kolebanja razine mora (razlika između apsolutnog maksimuma i minimuma) u danom periodu iznosi 129 cm u Dubrovniku, 153 cm u Splitu, 199 cm u Bakru i 228 cm u Rovinju. Linearni trendovi maksimuma, srednjih vrijednosti i minimuma dani su u tablici 1. Godišnji maksimumi slijede trend smanjenja u Rovinju i Splitu, dok u Dubrovniku i Bakru postoji trend povećanja maksimuma. Smanjenje maksimuma u Splitu naročito je zanimljivo, jer se to smanjenje uočava u periodu 1972.–1995. Vilibić et al. (1996.) uspoređuju podatke susjednih mareografa Split-luka i Split-Marjan, te zaključuju da je smanjenje posljedica javljanja drugačijih meteoroloških uvjeta u području srednje Dalmacije (između ostalog i rijeđa pojava snažnog jugozapadnog vjetrova) koji su vladali u tom razdoblju.

Godišnje minimalne razine mora imaju trend snižavanja na svim postajama, što je rezultat češćeg javljanja snažnih anticiklonalnih polja tijekom zime u razdoblju 1989.–1993. (vidi npr. Pasarić i Orlić, 1992.). Najveći negativni linearni trend se uočava u Bakru (–29.3 cm), te je vjerojatno uzrokovan povećanjem amplituda seša Bakarskog i Riječkog zaljeva. Ovo bi, nadalje, rezultiralo i povećanjem godišnjih maksimuma, što je u skladu s opažanjima (trend godišnjih maksimuma u Bakru iznosi 17,4 cm/100 god).

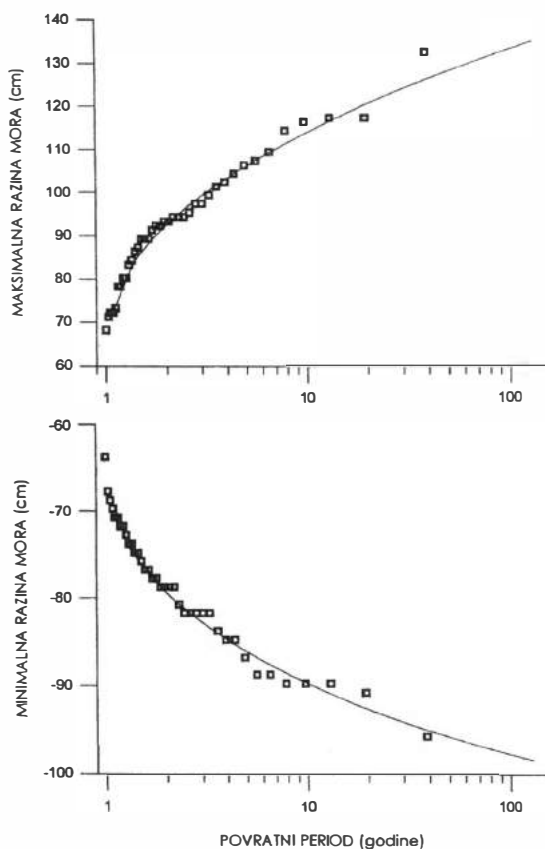


Slika 1. Vremenski niz godišnjih maksimalnih, srednjih i minimalnih razina mora u Rovinju

Srednje godišnje vrijednosti imaju negativni linearni trend na svim postajama, osim u Dubrovniku (0,8 cm/100 god). Prema tome, umjesto očekivanog porasta razine mora što bi bilo u skladu s globalnim trendovima, zabilježen je blagi pad razine mora, što je vjerojatno posljedica meteoroloških i termohalinskih klimatskih fluktuacija u području Jadrana i Mediterana (Orlić, 1995.).

Tablica 1. Linearni trendovi godišnjih maksimalnih, srednjih i minimalnih razina mora u razdoblju 1955–1997 uz hrvatsku obalu Jadrana

	trend maksimalnih vrijednosti (cm/100 god)	trend srednjih vrijednosti (cm/100 god)	trend minimalnih vrijednosti (cm/100 god)
ROVINJ	-4.1	-1.2	-11.6
BAKAR	17.4	-0.8	-29.3
SPLIT	-21.3	-5.2	-11.8
DUBROVNIK	5.2	0.8	-2.3



Slika 2. Procjena pojave maksimalnih i minimalnih razina mora u Rovinju za povratne periode do 100 godina (prema Vilibić et al., 1996.)

Što se tiče procjene pojave ekstremnih razina mora, one su procijenjene koristeći metodu prikazanu u mnogim radovima npr. Vilibić et al. (1996.). Prikaz povratnih maksimalnih i minimalnih vrijednosti za postaju Rovinj u razdoblju 1955.–1993. (prema Vilibić et al., 1996.) dan je na slici 2., dok je procjena maksimalnih i minimalnih razina mora u odnosu na srednju vrijednost za povratni period od 100 godina dana u tablici 2.

Prema teoriji ekstrema, u periodu od 100 godina pojavit će se maksimalna razina mora od 133 cm u Rovinju, 120 cm u Bakru, 99 cm u Splitu te 74 cm u Dubrovniku u odnosu na srednju razinu mora. Istovremeno, očekivani maksimalni raspon u Rovinju iznosi 231 cm, u Bakru 211 cm, u Splitu 167 cm te u Dubrovniku 141 cm.

Pojava maksimuma u prosincu 1997.

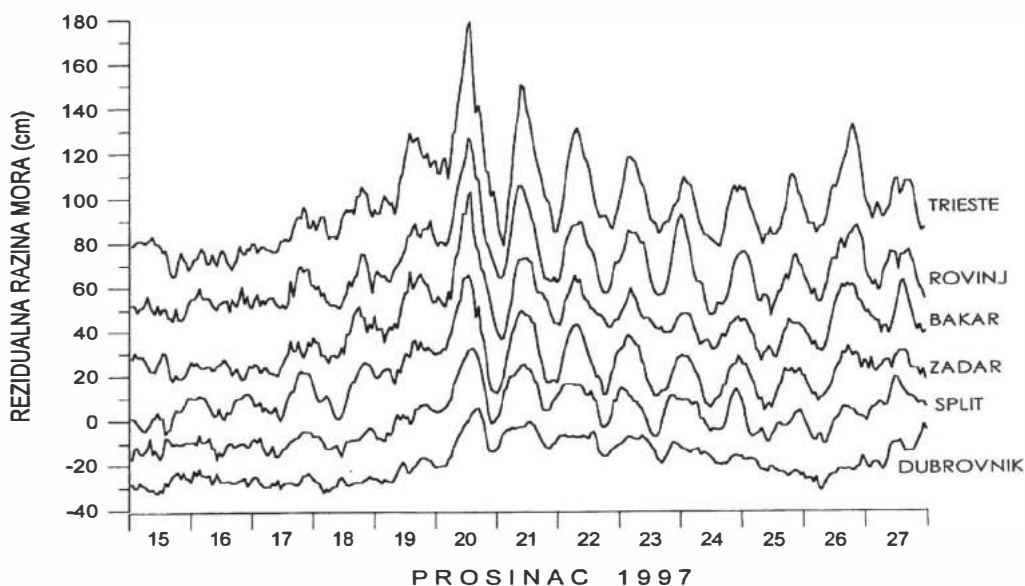
Kao primjer analize pojave maksimalnih razina mora uzet će se epizoda iz druge polovice prosinca 1997. godine, detaljno prikazana u radu Raicich et al. (1999.). Naime, dana 20. prosinca 1997., područje Jadrana se našlo pod utjecajem hladne fronte, što je vidljivo iz podataka tlaka zraka. Središte ciklone se premještalo preko sjevernog Jadrana prema sjeveroistoku, a gradijenti u tlaku između južnog i sjevernog Jadrana (oko desetak hPa) su uzrokovali pojavu snažnog juga dana 19. i 20. prosinca, koje je bilo naročito jako nad srednjim i južnim Jadranom. Nakon prolaska fronte, vjetar je

Tablica 2. Procijenjeni iznosi maksimalnih i minimalnih razina mora u odnosu na srednju razinu mora čija se pojava očekuje jednom u 100 godina

	maksimalna razina mora u 100 god (cm)	minimalna razina mora u 100 god (cm)
ROVINJ	133	-98
BAKAR	120	-91
SPLIT	99	-68
DUBROVNIK	74	-67

naglo oslabio te je imao male iznose brzina sve do 26. prosinca, kao posljedica slabog gradijenta tlaka nad Jadranom.

Kao posljedica utjecaja tlaka zraka i vjetra, razina mora je rasla od 18. do 20. prosinca, naročito u sjevernom Jadranu. Slika 3. predstavlja vremenski slijed rezidualne razine mora, odnosno komponente kolebanja razine mora koja nije pod utjecajem plimotvorne sile. Neposredno prije prolaska i za vrijeme prolaska fronte razina mora je naglo porasla kao posljedica naglog pada tlaka zraka, te pojave snažnog jugozapadnog vjetra. Prilikom prolaska fronte, zbog nagle promjene brzine vjetra, razina mora je počela oscilirati, i to s periodom od 21,2 h što je vrijednost osnovnog moda jadranskog seša. Na sreću, ovaj maksimum se nije poklopio s pojavom maksimalnog plimnog vala u sjevernom Jadranu, tako da nije bilo većih posljedica za obalnu infrastrukturu. No, ova epizoda predstavlja dobar primjer pojave procesa koji mogu uzrokovati ekstremne maksimalne razine mora, a to su: direktan utjecaj tlaka zraka i vjetra, koji



Slika 3. Vremenski niz rezidualnih razina mora uz istočnu obalu Jadrana zabilježenih u prosincu 1997. (prema Raicich et al., 1999.). Nizovi su vertikalno pomaknuti radi preglednijeg grafičkog prikaza

mogu u sjevernom Jadranu uzrokovati povišenje razine mora od preko 80 cm (npr. Leder, 1988.), te naknadnu pojavu slobodnih oscilacija – seša – koje mogu imati amplitudu i do 1 m (npr. Cerovečki et al., 1997.). Nadalje, pojava maksimalnih razina mora se najčešće javlja u razdoblju prosinac-siječanj, kada su razine mora u prosjeku najveće (vidi npr. Vilibić et al., 1997.), što je posljedica razbijanja termokline i širenja vodenog stupca u periodu listopad-prosinac.

Zaključci

Poznavanje ekstremnih kolebanja razina mora je nužno pri projektiranju i radovima svake vrste na moru, u podmorju te uz obalu. Ovaj rad daje kvantitativne vrijednosti maksimalnih i minimalnih vrijednosti razine mora uz hrvatsku obalu Jadrana. Procijenjene maksimalne razine mora u stogodišnjem periodu iznose 133 cm u Rovinju, 120 cm u Bakru, 99 cm u Splitu te 74 cm u Dubrovniku u odnosu na srednju razinu mora. Istovremeno, očekivana minimalna razina mora u Rovinju iznosi 98 cm, u Bakru 91 cm, u Splitu 68 cm te u Dubrovniku 67 cm ispod srednje razine mora. Nadalje, na primjeru epizode iz prosinca 1997. godine, kada su se pojavile visoke razine Jadranskog mora, opisan je utjecaj meteoroloških parametara na njihovu pojavu u domeni prisilnih i slobodnih oscilacija.

Literatura

- Cerovečki I., Orlić M., Hendershott M. C. (1997): *Decay of the Adriatic seiches and energy loss to the Mediterranean*, Deep-Sea Research I, **44**, 2007–2029.
- Leder N. (1988) *Storm surges along the east coast of the Adriatic sea*, Acta Adriatica, **29**, 5–20.
- Orlić M. (1995): *Vodostaj Jadranskog mora i klima*, 1. Hrvatska konferencija o vodama, Zbornik radova, Dubrovnik, 553–559.
- Orlić M., Pasarić M. (1994): *Vodostaj Jadranskog mora i globalne klimatske promjene*, Pomorski zbornik, **32/94**, Rijeka, 481–501.
- Pasarić M., Orlić M. (1992): *Response of the Adriatic sea level to the planetary-scale atmospheric forcing*, Geophysical Monograph 69, IUGG 11, 29–39.
- Raicich F., Orlić M., Vilibić I., Malačić V. (1999): *A case study of the Adriatic seiche (December 1997)*, Il Nuovo Cimento C, in press.
- Vilibić I. (1997): *Global sea level rise? New techniques of measuring the absolute sea level*, Geofizika, **14**, 119–131.
- Vilibić I. (1998): *Variations of the Sa and Ssa tides in the Adriatic Sea*, Acta Adriatica, **39** (1), 53–60.
- Vilibić I., Leder N. (1996): *Long-term variations of Mediterranean Sea level calculated by spectral analysis*, Oceanologica Acta, **19**, 599–607.
- Vilibić I., Leder N., Smirčić A. (1998): *Forced and free response of the Adriatic sea level*, Il Nuovo Cimento C, **41**, 439–451.
- Vilibić I., Leder N., Smirčić A., Gržetić Z. (1997): *Dugoročne promjene razine mora na hrvatskoj obali Jadrana*, In: Tisuću godina prvoga spomena ribarstva u hrvata (urednik B. Finka), HAZU, Zagreb, 437–445.
- Vilibić I., Smirčić A., Leder N. (1996): *Analiza ekstremnih vrijednosti visine razine mora na hrvatskoj obali Jadrana u razdoblju 1955–1995*, Izvanredne meteorološke i hidrološke prilike u Hrvatskoj, **19**, 125–130.

Autori

Ivica Vilibić, Nenad Leder, Ante Smirčić
Hrvatski hidrografski institut, Zrinsko Frankopanska 161, 21000 Split



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 2.09.

Izmjere dubina istočnog Jadrana tijekom 16.–19. stoljeća

Mithad Kozličić

SAŽETAK: Povijest istraživanja dubina istočnog Jadrana započinje izradom Barentsove karte iz 1595., a znanstveni pristup počinje C. F. Beautemps-Beaupréovom izmjerom 1806. i 1808.–1809., odnosno definitivnim ustrojem Hidrografskog zavoda u Puli 1869. god. Tim povijesnim datumima, povijest hidrografskih istraživanja hrvatskog Jadrana ubraja se u sami vrh analognih istraživanja u svjetskim okvirima. Tim i drugim problemima bavi se ovaj članak.

KLJUČNE RIJEČI: dubine mora, Istočni Jadran, kartografija, plovidba, povijest, Hrvatska

16th–19th Century Depth Surveys in the Eastern Adriatic

SUMMARY: History of investigating depths in the Eastern Adriatic has not evolved in a straight line, which is also true of other segments of history in this sea basin. However, since this basin has been a maritime route of global importance, the surveys were marked by gradual progress. The first step was Barents's map from 1595, while scientific progress should be measured from C.F. Beautemps-Beaupré's surveys from 1806, 1808–1809, or rather after the Hydrographic Institute was founded in Pula in 1869. These historically relevant dates place the history of hydrographic research of the Croatian Adriatic among the very top researches worldwide. This paper considers these and other topics.

KEYWORDS: sea depth, Eastern Adriatic, cartography, navigation, history

Uvod

Jadransko je more duboko uvučeno u europski kontinent. Rano se počelo koristiti kao važan prometni koridor preko kojeg je Europa bila povezana s Afrikom i Azijom. Glavni plovidbeni put tim morem već tisućljećima vodi uz njegovu istočnu obalu, budući da su uz nju zemljopisni i oceanografski čimbenici plovidbe bitno povoljniji nego uz zapadnu (Kojić, 1967.; Kozličić, 1996.a; Lakoš, 1985.). Jedan od njih su dubine mora. Njihovo se poznavanje, unatoč izvanrednoj važnosti za sigurnost plovidbe, tijekom stoljeća postupno unapređivalo.

Prve podatke o dubinama Jadranskog mora nude portulani, rukopisi na pergameni, počevši od kasnog srednjeg vijeka, preciznije od početka 14. stoljeća do kraja 16. stoljeća (Biadene et al., 1990.; Kozličić, 1995.a; Kretschmer, 1909.; Muljačić, 1971.). To su iskustveni podaci nastali samoinicijativnim bilježenjem pojedinih revnosnih kape-tana.

Iznimno važna prekretnica u pomorskoj kartografiji Jadrana bio je tisak na papiru G. A. Vavassoreove karte 1539. god. (Kozličić, 1999.). Bila je to prva pomorska karta priređena za širu uporabu putem drvtiska, omogućila je bitno pojeftinjenje reprodukcije plovidbenih karata u odnosu na ranije ručno rađene na pergamentu. Međutim, Va-

vassoreova karta ne donosi dubine mora. To ne čine ni izolarske karte priređene u obliku manjih atlasa i tiskane tijekom druge polovice 16. stoljeća, čiji su autori G. F. Camocio 1571., S. Pinargenti 1573., G. Franco 1579., A. Degli Oddi 1584., G. Rosaccio 1592. (Kozličić, M., 1995.a).¹

Povijesni pregled

Prvi se put dubine Jadrana ističu na karti tiskanoj u Amsterdamu 1595. god. Njezin je autor nizozemski polarni istraživač i znameniti pomorac W. Barents (Kozličić, M., 1995.b; Nordenskiöld, A. E., 1897.). Osobito je zanimljiva činjenica da u nazivu njezina prvog izdanja iz 1595. izrijekom stoji kako je ona »Hidrografska karta«. ² Sadržajem to tek djelomično potvrđuje. U središnjem dijelu je kartografiran Jadran, dočim su u gornjem desnom planovi luka i važnijih plovidbenih područja istočnog, a u donjem lijevom kutu analogno za zapadni Jadran. Među tim planovima samo dva imaju obilježene dubine: Rovinj u Istri (*De hauen Rouigno in Istria*) i luka Pomena na Mljetu (*De hauen S. Pedro de Molata*). Kod zadnje, Pomene, dubine su prikazane kao niz brojeva smjera SW – NE, što znači da su bile registrirane sistematskom izmjerom uz pomoć olovnice.³ Osim toga, u samoj je luci pridodano još nekoliko podataka (svi u sežnjima).⁴ K tome je istaknuto i sidro kao konvencionalni znak sidrišta. Za Rovinj su date najvažnije dubine između luke, otoka Sv. Ivana na pučini i okolnog manjeg otočja; iznova s dodatkom sidra kao znaka sidrišta.

1 Izvornici: Camocio, G. F., *Isole famose, porti, fortezze, e terre marittime sottoposte alla Ser.^{ma} Sig.^{ria} di Venetia, ad altri Principi Christiani, et al Sig.^{or} Turco, novame.^{te} poste in luce*, Venezia, 1571. (Arheološki muzej, Split); Franco, G., *Carte geografiche*, Venezia, 1579. (Hrvatski državni arhiv, Zagreb); Pinargenti, S., *Isole che sono da Venetia nella Dalmatia e per tutto l'Arhchipelago fino a Constantinopoli (...)*, Venezia, 1573. (Znanstvena knjižnica, Pula); Rosaccio, G., *Viaggio da Venetia, a Costantinopoli Per Mare, e per Terra, insieme quello di Terra Santa (...)*, Venetia, 1592. (Arheološki muzej, Split; Nacionalna i sveučilišna knjižnica, Zagreb).

2 Naslovnica prvog izdanja 1595. godine: *Tabula Hydrographica, / In qua Italiae, orae maritimae; Item Venetiae, Istriae, Dalmatiae, / Slauoniae, Graeciae, et orae maritimae Corfu, Chephaloniae, et adia- / centium Insularum: earum etiam omnium quae in Mari / Supero habentur: necnon & portus, Promontoria profunda & / Syrtes, Portusitem praecipui, topographice Summa diligentia / designantur a Giulielmo Barentsono / (...)*, Amsterdam, 1595. Drugo izdanje između 1637. i 1662. god. ima izmijenjenu naslovnicu: *TABVLA / SINVS VENETICI. / In qua Italiae orae maritimae, item Venetiarum, Dalmatiae, / Slavoniae, Graeciae comprehenduntur: ut et insulae in eodem si- / nu celebriores ut Corfinium, et Chephalonia, illiq. locorum ad- / jacentes et dispersae in mari supero insulae; nec non portus prae- / cipui, promontoria, profunda et Syrtes, locaque quae in hoc / tractu mare alluit. /... / Amstelodami, / Apud Ioannem Ianßonium*. Primjerak prvog izdanja poznat je iz literature (Kozličić, 1995b; Nordenskiöld, 1897), a primjerak drugoga ima Sveučilišna knjižnica u Splitu.

3 Izmjeru dubina olovnicom, uz istodobno uzimanje uzorka dna kako bi se doznala njegova kvaliteta radi sidrenja, načelno poznaje već Herodot u 5. stoljeću prije Krista. On u svojoj »Povijesti« u svezi delte rijeke Nil među ostalim ima i ovo zabilježeno: »Kad doploviš lađom na jedan dan udaljenosti (oko 60 M – op. MK) od kopna i kad oboriš olovno sidro, podignut ćeš na njemu blato s dubine od 11 sežanja. To dokazuje da rijeka tako daleko nanosi zemlju« (*Herod.* 2,5).

4 Tijekom povijesti dubine su se najčešće izražavale u sežnjima. Razlog tome je u načinu njihova mjerenja. Sežanj ili hvat je mjera koja se dobije između krajeva prsta širom raširenih ruku, te prosječno iznosi oko 1,9 m. Kod izmjere dubine vode olovnicom s utegom, takvu je mjeru bilo najlakše primijeniti, jer se uteg pomoću konopa izvlačio iz vode ručno. Nipošto slučajno, prvi je primjenjuje još Herodot u 5. st. prije Krista – *Herod.* 2,5.

Razlog isticanja tih luka na takav način leži u činjenici da su one bile iznimno važne za tadašnji sustav jedrenjačke plovidbe Jadranom (Kozličić, 1996.a). Rovinj je bio ljetno okupljalište brodova koji su uz pomoć pilota, kad se pojavi povoljan vjetar, produživali put Venecije, ili pak niz istočni Jadran (Barbalić, 1962.). Pomena je imala sličnu funkciju za južni Jadran. Tu su usidreni boravili brojni jedrenjaci čekajući povoljan vjetar bilo da su željeli ploviti na NW ili prema SE i Sredozemlju (Kozličić, 1995.a).

U kontekstu takvih spoznaja može se zaključiti da je značenje tih luka bilo onaj čimbenik koji je rezultirao smišljenom izmjerom dubina, barem se to nedvojbeno može ustvrditi za Pomenu. I više od toga. Barentsova karta ne samo da je prva koja uopće donosi dubine Jadrana, nego i ona koja jamči da je njihova izmjera već tada bila teorijski i praktično moguća na sustavan način, ali za vrlo ograničene dijelove mora. O tome nesumnjivo svjedoči i uporaba pridjeva »hidrografski« u njezinoj naslovnici.

Slabljenje konjunktura na Mediteranu tijekom većeg dijela 17. stoljeća na uštrb povećanja broja oceanskih plovidbi prema Amerikama, privremeno će rezultirati smanjenjem učestalosti jadranskih navigacija, a to umanjnjem tražnje kartografskih i drugih plovidbenih priručnika. K tome, na obali i zaleđu tog akvatorija u to će se doba voditi krvave borbe s Turcima (Kozličić, 1996.b). Stabiliziranjem razgraničenja s područjima pod Turcima, uz istodobno oživljavanje mediteranske i jadranske pomorske trgovine, rezultat će novim kartografskim ostvarenjima. Monumentalno djelo V. M. Coronellija iz kraja 17. stoljeća, donijet će pregršt novog kartografskog materijala, ponajviše o istočnom Jadranu (Kozličić, 1995.a).⁵ Međutim, kad seradio dubinama, Barentsovi planovi ostat će za njegov materijal nedostižni ciljevi. U tom je pogledu Coronellijevo djelo dekadencija. Ono malo podataka o dubinama koje donosi nedvojbeno pokazuje da slijedi u to doba prevaziđenu portulansku fazu opisa i kartografiranja Jadrana. Npr. na regionalnoj karti Dubrovačke Republike (Kozličić, 1995.a, str. 268), za luku Gruž donijet će posredan podatak: *P. ° S. Croce / Capace di / 100 Galee*, tj. da je kapacitet te luke takav da može primiti flotu od 100 galija. Kako su galije brodovi za koje je potrebna minimalna dubina mora 5 i više metara, posredno se priopćilo i taj podatak. Na karti zadarskog okružja (Kozličić, 1995.a, str. 251–252), za Privlački gaz (prolaz između poluotoka Privlaka i otoka Vir), zabilježit će da je to *Passaggio di Barche piccole*, tj. prolaz za brodice. U naravi tako i jest, budući da su tu najveće dubine tek 3,5 metra. Suprotno, na generalnoj karti Jadrana (Kozličić, 1995.a, str. 237), za luku Pesaro na zapadnoj obali donosi srednju dubinu od 7, a za Anconu 30 sežanja. Slični numerički podaci zabilježeni su na njegovoj regionalnoj karti Boke kotorske (Kozličić, 1995.a, str. 271). Tu se za ulaz u zaljev (između rta Oštra i otoka Mamula) daje *35 passi d'Acqua*, tj. dubina oko 70 m, a ona je tu stvarno oko 77 m; između otoka Mamule i otočića Mala Gospa uz poluotok Lušticu ističe se 18 sežanja ili oko 36 m, dočim današnje karte imaju 37 m.

Istinski pomak od Barentsove razine s kraja 16. stoljeća nastaje uplivom u jadransku kartografiju francuskih znanstvenika u drugoj polovici 18. stoljeća, sljednika C. F. Cassini de Thyrija i njegovih unapređenja u kartografiji (Kozličić, 1996.b). Prvi od

⁵ Izvornici: Coronelli, V. M., *Mari, Golfi, Isole, Spiaggie, Porti, Citta, Fortezze, Ed altri Luoghi Dell'Istria, Quarner, Dalmazia, Albania, Epiro, e Livadia (...)*, vol. III-IV, Venetia, 1688. (Arheološki muzej, Split); *Corso Geografico Universale (...)*, Venetia, 1693. (Povijesni arhiv, Zadar); *Isolario dell'Atlante Veneto (...)*, Venetia, 1696. (Nacionalna i sveučilišna knjižnica, Zagreb).

njih, J. A. A. Roux, u svojem albumu mediteranskih luka iz 1764.,⁶ donosi planove luka istočnog Jadrana. Među njima su Poreč, Vis, Split i karta Boke kotorske (Kozličić i Lozić, 1994.). Dubine pretežno ističe u sežnjima (*brasse*), a ponegdje i stopama (*piéd*). Prema kartografiranom, vidljivo je da su mjerene u pravoj crti, prema tome sustavno i organizirano. Iste 1764. tiskao je i svoj album pomorskih karata Mediterana, među kojima i Jadrana.⁷ Najadranskoj, premdaje generalna, po prvi put u povijesti kartografiranja tog mora dato je i obilje informacija o dubinama, pa su jedno i drugo, njegov album planova luka i plovidbene karte, doista bitni pomak u kartografiranju dubina tog mora.

Drugi je izvor djelo iz 1771. francuskog hidrografa J. N. Bellina, začetnika francuske znanstvene hidrografije (Kozličić i Lozić, 1994.).⁸ Repertoar planova lukasistaknutim skupovima dubina bitno je veći nego u Rouxa. To su: Poreč, Pula, Bakarski zaljev, Split, Vis, Stonski kanal, Polača na Mljetu, zapadni dio Lastova (Ubli, Velji i Mali Lago) i Boka kotorska.

Treći izvor, nastao na pod utjecajem Rouxova djela, ali i s uplivom W. Barentsova načina prikazivanja za pomorca zanimljive zemljopisne građe, jest generalna karta Jadrana V. de Lucija prvi put tiskana 1792. god.⁹ Slično Barentsu, u centralnom dijelu ima prikaz Jadrana, a uz rubove panorame, planove luka te krupnije karte pojedinih plovidbeno težih područja. Za sve kartografirane sadržaje ističe dubine u sežnjima.

Međutim, stvarni napredak u znanstvenom pogledu nastat će tek istraživanjem C. F. Beautemps-Beaupréa.¹⁰ Tek tom prigodom, u doba francuske vlasti na ovoj obali, otpočet će sistematska znanstvena hidrografska izmjera istočnog Jadrana od Piranskog zaljeva do Splita, u prvoj 1806., i od Boke kotorske do ušća Neretve, u drugoj kampanji 1808.–1809. godine (Kozličić, 1995.c; Idem, 1995.d). I on temeljnu pozornost povećuje lukama, ali se ne zanemaruje ni obalno more. Dubine mjeri olovnicom, uzima podatke o kvaliteti dna, brzini i smjeru morskih strujanja, te registrira razinu magnetske varijacije, pri čemu su izmjere strujanja i varijacije prve takve u istočnojadranskoj povijesti pomorstva.

Rezultati do kojih će doći bit će, uz H. Smithova i G. Marienieva istraživanja dvadesetih godina tog 19. stoljeća, temelj za izradbu prvoga velikoga pravog atlasa plovid-

6 Izvornik: Roux, J. A. A., *Recueil. Des Principaux Plans, des Ports et Rades de la Mer Méditerranée Extraits (...)*, Marseille, 1764. (Pomorski muzej, Dubrovnik). Djelo je do sredine 19. stoljeća tiskano desetak puta. Dio izdanja čuva Sveučilišna knjižnica u Splitu (Kozličić, M. – Lozić, V., 1994).

7 Izvornik: Roux, J. A. A., *Carte de la Mer Méditerranée en Douze Feuilles (...)*, Marseille, 1764. (Pomorski muzej, Dubrovnik; Zavod za znanstveni rad HAZU, Split).

8 Izvornik: Bellin, J. N., *Description Géographique du Golfe de Venise et de la Morée*, Paris, 1771. (Sveučilišna knjižnica, Split; Zavičajni muzej, Rovinj).

9 Izvornik: Lucio, V. de, 1809, *Nuova carta del Mare Adriatico ossia Golfo di Venezia (...)*, Trieste, 1809. (Pomorski muzej, Dubrovnik; Znanstvena knjižnica, Zadar). Spomenuto prvo izdanje iz 1792. navodi Marieni u svojem peljaru Jadrano – *Portolano del Mare Adriatico*, redatore G. Marieni, Milano, 1830. (Povijesni arhiv, Zadar).

10 Izvornik za kampanju 1806. godine: Beautemps-Beaupré, C. F., *Rapport sur les rades, Ports et Mouillages de la Côte Orientale du Golfe de Venise. Visites en MDCCCVI (...)*. (Nacionalna i sveučilišna knjižnica, Zagreb). Izvornik kampanje 1806. skupa s opisom rezultata polučenih u drugoj kampanji 1808.–1809. objelodanjen je: Beautemps-Beaupré, C. F., *Rapports sur les rades, ports et mouillages de la côte orientale du golfe de Venise. Visités en 1806, 1808 et 1809, par ordre de l'empereur, Annales hydrographiques*, Paris, 1849, 32–21.

benih karata Jadrana priređenog i tiskanog u Milanu 1824. god. (Kozličić, 1996.b).¹¹ Kako se ništa bolje neće izraditi narednih desetljeća, atlas će biti uz minimalna aktualiziranja iznova tiskan polovicom 19. stoljeća.

Kontinuirane znanstveno utemeljene hidrografske izmjere rezultirat će od ustrojenja Hidrografskog zavoda (*Hydrographisches Amt*) u Puli, čiji je direktni sljednik današnji Državni hidrografski institut u Splitu. Taj se Zavod počinje formirati 1862., a već 1866.–1869. realizirana je prva velika hidrografska izmjera Jadrana u njegovoj organizaciji. Rezultati izmjere bit će objelodanjeni na plovidbenim kartama i u brojnim publikacijama pulskog Zavoda i bečkog Vojnozemljopisnog instituta počevši od te 1869. god. (Puh, 1991.). Sve će to predstavljati novo i ujedno završno poglavlje u povijesti izmjera dubina našeg mora. Rezultati do kojih se došlo, pa i u onoj zadnjoj austrougarskoj izmjeri 1906.–1910., važni su i za suvremenu plovidbu Jadranskim morem.

Temeljem prethodne raščlambe treba zaključiti da se u povijesti izmjera dubina istočnog Jadrana, u odnosu na sadašnju 1999. god., može prepoznati nekoliko međaša: (1) W. Barents, 1595., tj. prije 404 godine prvi put u povijesti istočnog Jadrana donosi sistematiziran prikaz rezultata izmjere dubina za luke Rovinj i Pomenu; (2) J. A. A. Roux, 1764., prije 235 god. uz dubine luka ističe i identične podatke za cjelinu Jadranskog mora; (3) C. F. Beautemps-Beaupré, završetnom svoje hidrografske izmjere istočnog Jadrana 1809., tj. prije 190 godina, inaugurira znanstveno hidrografsko istraživanje istočnog Jadrana; pulski Hidrografski zavod, završetkom prve sveobuhvatne sistematske hidrografske izmjere Jadranskog mora 1869., tj. prije 130 godina, začinje takve izmjere koje će potrajati do danas.

K tome, već krajem 16. stoljeća mjerenje dubina kao dio hidrografske izmjere u teorijskom smislu bilo je većim dijelom poznato. Za praktičnu primjenu tih spoznaja, a ta ima smisla jedino kad je sistematska, nedostajao je organizirani napor države uz osiguranje dostatnih finacijskih sredstava za pokriće troškova angažiranja velikog broja stručnjaka, brodova i druge nužne opreme. Uvod u taj praktični aspekt predstavljaju radovi Rouxa i Bellina, njegovu prvu realizaciju Beautemps-Beaupréova istraživanja, a njihov kontinuitet ide tek od austrougarskim izmjera.

Takvim povijesno relevantno ustvrđenim datumima, povijest hidrografskih istraživanja hrvatskog Jadrana ubraja se u sami vrh analognih istraživanja u svjetskim okvirima.

Literatura

- Barbalić, R. F., 1962, Pomorstvo Istre, *Pomorski zbornik*, vol. II, Zagreb, 1517–1534.
- Biadene, S. et al., 1990, *Carte da navigar. Portolani e carte nautiche del Museo Correr 1318–1732*, Venezia, 1990.
- Kojić, B., 1967, Značenje Jadranskog mora kao svjetskog plovnog puta, *Pomorski zbornik*, 5, pp. 1–32.
- Kozličić, M., Lozić, V., 1994, *Starije zemljopisne karte u Sveučilišnoj knjižnici u Splitu*, Split.
- Kozličić, M., 1995a, *Monumenta cartographica maris Adriatici Croatici. Kartografski spomenici hrvatskog Jadrana. (Izbor karata, planova i veduta do kraja 17. stoljeća)*, Zagreb.

¹¹ Izvornik: *Carta di cabottaggio del mare Adriatico*, Milano, 1824. (Povijesni arhiv, Zadar). Atlas je priređen u Mercatorovoj kartografskoj projekciji.

- Kozličić, M., 1995b, Neke naznake uz splitski primjerak Barentsove karte Jadrana, *Radovi Filozofskog fakulteta u Zadru*, 34 (21), 185–198.
- Kozličić, M., 1995c, Risultati delle ricerche sull'Istria del 1806 del Beauteemps-Beaupré. (Contributo alla storia della marineria e della cartografia della costa occidentale dell'Istria), *Atti del Centro di ricerche storiche*, 25, Trieste - Rovinj, 41–138.
- Kozličić, M., 1995d, Beauteemps-Beaupré o Jadrano 1806. godine, *Pomorski zbornik*, 33, 259–279.
- Kozličić, M., 1996a, Plovidba Jadrano 14.–16. stoljeća u putničkim izvješćima, *Radovi Filozofskog fakulteta u Zadru*, 35 (22), 257–279.
- Kozličić, M., 1996b, Povijesni razvoj kartografiranja hrvatskih zemalja, *Glasnik Društva bibliotekara Split*, 4, 12–22
- Kozličić, M., 1999, »Tabella« G. A. Vavassorea – tehnologijska prekretnica u pomorskoj kartografiji Jadrana 16. stoljeća. *Međunarodni znanstveni skup – Društvo i tehnologija 99*, Opatija - Rijeka, (u tisku).
- Kretschmer, K., 1909, *Die italienischen Portolane des Mittelalters. Ein Beitrag zur Geschichte der Kartographie und Nautik. Mit einer Kartenbeilage*, Berlin.
- Lakoš, S., 1985, Sadašnji i budući plovidbeni putovi na Jadrano, *Pomorski zbornik*, vol. 23, Rijeka, 1985, pp. 333–353.
- Muljačić, Ž., 1971, Naša obala u najstarijim talijanskim portulanima, *Pomorski zbornik*, vol. 9, Zadar, 1971, pp. 131–153.
- Nordenskiöld, A. E., 1897, *Periplus. An Essay on the Early History of Charts and Sailing-Directions*, Stockholm.
- Puh, E., 1991, Zvezdarnica u Puli, 1871.–1991., *Histria Historica*, 13–14.

Autor

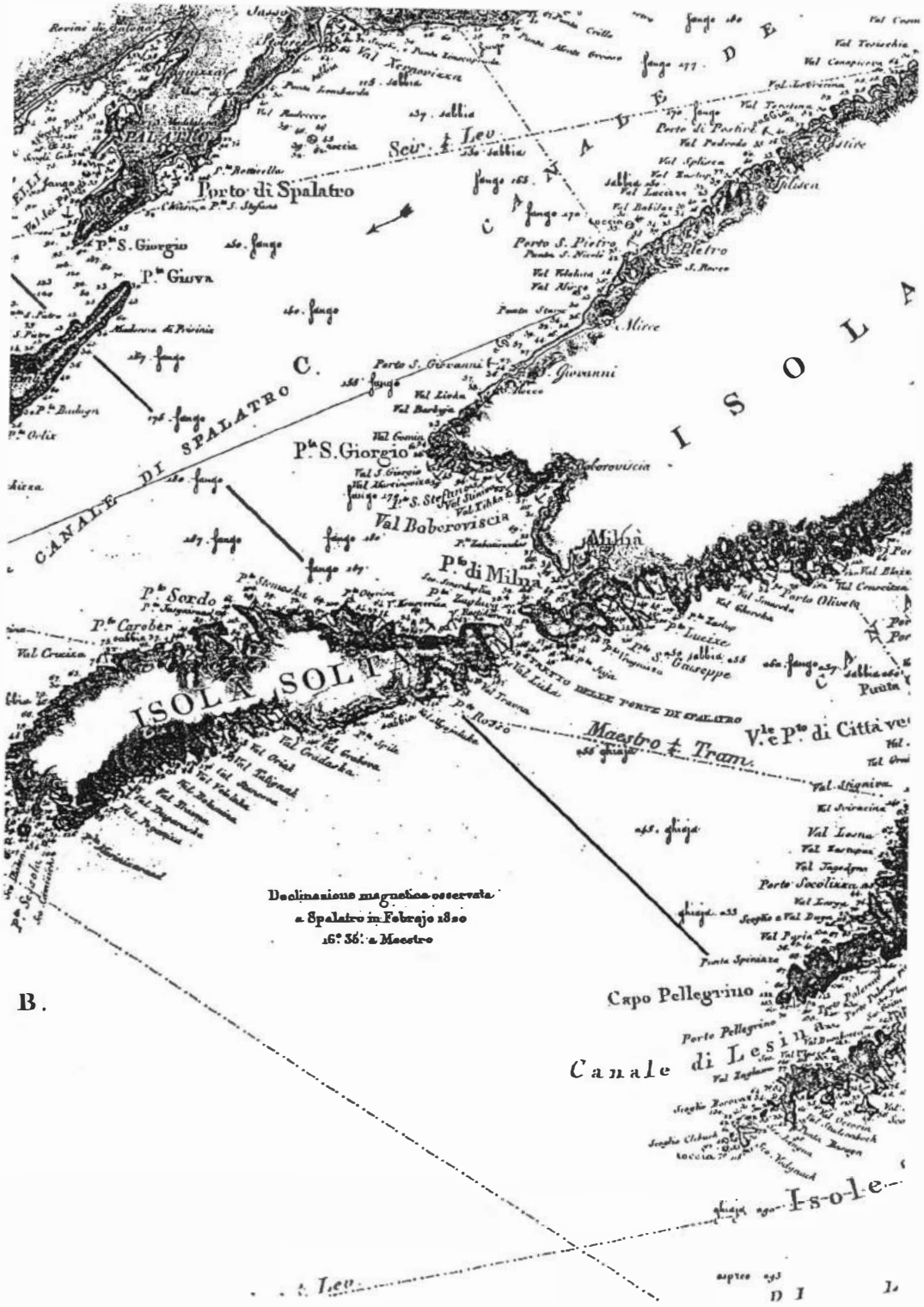
Prof. dr. sc. Mithad Kozličić

Filozofski fakultet, Odsjek za povijest, Obala kralja Petra Krešimira IV. broj 2, 23000 Zadar, Hrvatska

Kontakt (kućna) adresa:

21000 Split, Getaldićeva 31/X

Tel.-fax. 021-313-187.



B.

Akvatorij Splita. Isječak s Carta di cabottaggio del mare Adriatico, Milano, 1824. (Povijesni arhiv, Zadar).

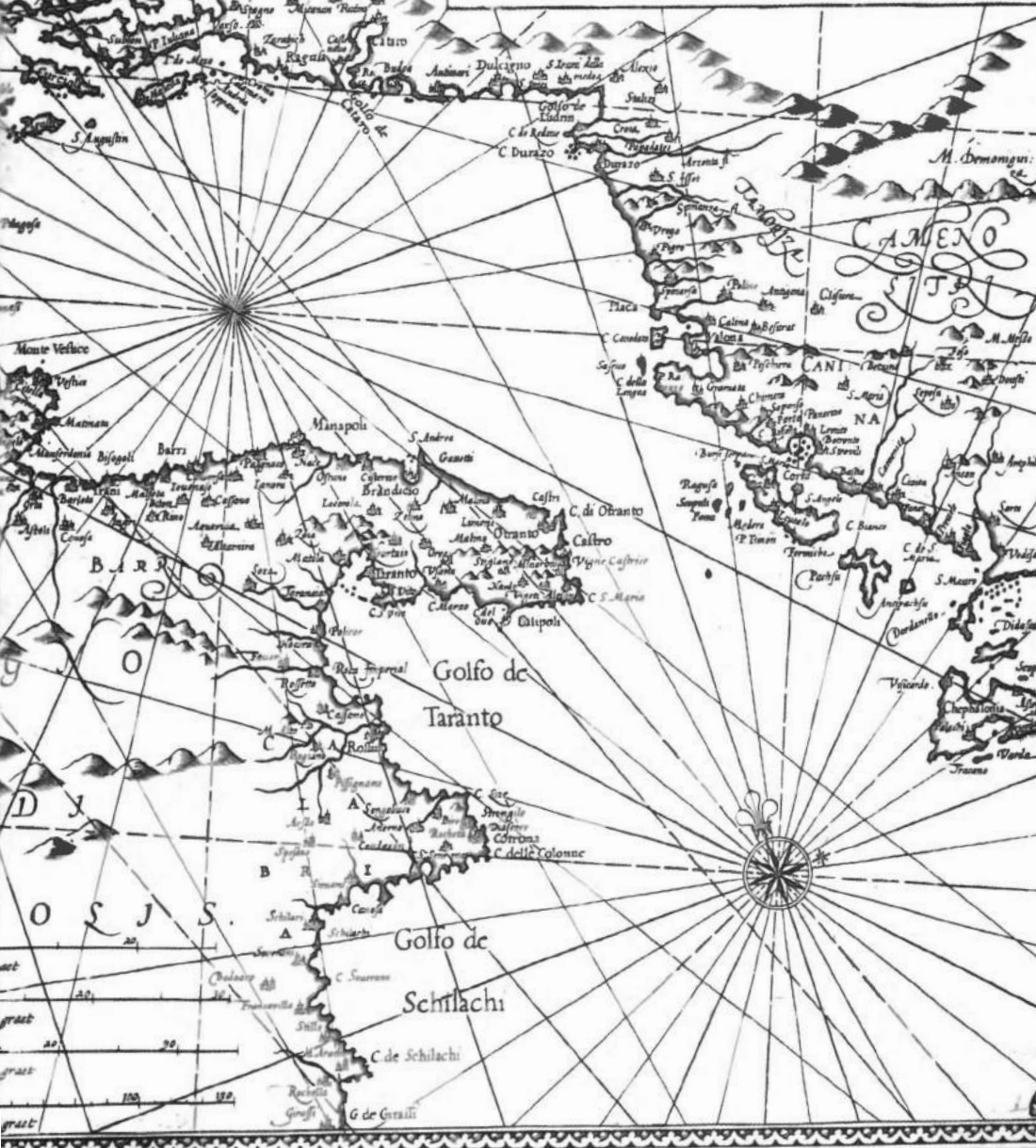
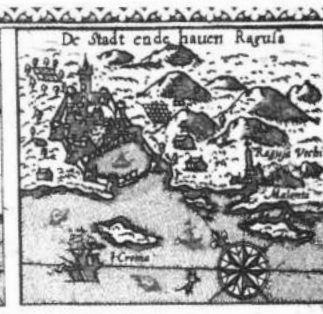


TABVLA
SINVS VENETICI,

In quâ Italia orie maritima, item Venetiarum, Dalmaticæ, Sclavoniæ, Græciæ comprehenduntur: ut et insule in eodem sinu celeberrimæ ut Corfuam, et Cephalonia, illiusque locorum adiacentes et dispersæ in mari supere insule, nec non portus præcipua, promontoria, profunda et Syrtis, locaque quæ in hoc tractu mare aliui.

Amstelodami,
Apud Ioannem Ianssonium

N A
Duyfische mylen 1722
Spaansche mylen 1722
Key en Fra mylen 1722
Iudische mylen 1722



WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 2.10.

Oceanografska i hidrografska istraživanja u funkciji projektiranja podmorskih ispusta otpadnih voda

Fani Bojanić, Nenad Leder, Ante Smirčić, Ivica Vilibić

SAŽETAK: U ljeto 1994. godine organiziran je interdisciplinarni eksperiment u smislu istraživanja oceanografskih i hidrografskih parametara nužnih za određivanje lokacije podmorskog ispusta (difuzora) otpadnih voda gradova Zadra i Biograda. Istraživanja su sadržavala mjerenja fizičkih (morske struje, temperatura, slanost i gustoća mora, razina mora), kemijskih (O_3 , hranjive soli) i bioekoloških (bentos, primarna proizvodnja, bakterioplankton, indikatori fekalnog zagađenja) parametara. Zadarski i Pašmanski kanal, s obzirom na njegove dimenzije i geografsku poziciju, predstavlja osjetljiv ekosistem, što se pokazalo prilikom analize mjernih parametara. Naime, analizom strujnog polja uočena je pojava ciklonalnih i anticiklonalnih vrtloga u Zadarskom kanalu koji mogu uzrokovati uzdizanje (upwelling) i poniranje (downwelling) vode, kao i akumulaciju polutonata. Upwelling može imati za posljedicu uzdizanje polutonata na površinu mora te, stoga zagađenje obale dok downwelling uzrokuje spuštanja termokline (piknoklina) na veće dubine, te ako je difuzor postavljen preplitko, polutanti mogu biti ispušteni iznad termokline i tako dospjeti na površinu. Mjerenja su pokazala da ciklonalni poremećaji mogu homogenizirati stupac vode do dubine oko 30 m. Nadalje uočena je pojava unutarnjih Kelvinovih valova s peridom od oko 4 dana, koji mogu imati značajan utjecaj na horizontalnu disperziju polutanata. Analizom kemijskih i bioekoloških parametara utvrđena je degradacija pridnenih zajednica u blizini grada kao posljedica dosadašnjeg ispuštanja otpadnih voda, no u ostalom području kanala nisu zabilježene promjene ovih parametara kao posljedica zagađenja otpadnim vodama. Rezultati provedenih mjerenja temelj su za ocjenu osjetljivosti akvatorija Zadarskog i Pašmanskog kanala, a s tim u svezi uvjet za određivanje potrebnog stupnja čišćenja otpadnih voda.

KLJUČNE RIJEČI: oceanografsko-hidrografska mjerenja, morske struje, ispust

Oceanographic and Hydrographic Research as Support to Offshore Outfall Design

SUMMARY: In summer 1994, an interdisciplinary experiment was set up aimed at research of oceanographic and hydrographic parameters necessary for determination of location of an offshore outfall for the cities of Zadar and Biograd. The researches included measurement of physical (sea current, temperature, salinity and density, sea level), chemical (O_3 , nutritious salts), and biological (benthos, primary production, bacterioplankton, faecal contamination indicators) parameters. Due to its size and geographical position, the Zadar and Pašman Channel is a sensitive ecosystem, as the analysis of monitored parameters confirmed. The stream field analysis revealed cyclonic and anticyclonic vortexes in the Zadar Channel which might cause upwelling and downwelling of water and accumulation of pollutants. Upwelling could have as consequence rising of pollutants to the sea surface and pollution of the coast, while downwelling causes lowering of thermocline (pycnocline) to larger depths and, if the outfall is positioned in a too shallow location, the pollutants may be released above the thermocline and reach the surface. The measurements have shown that cyclonic disturbances may cause ho-

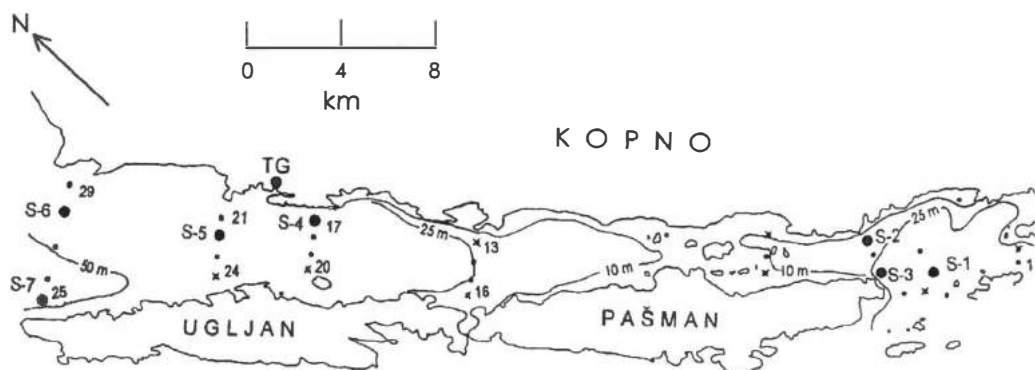
mogenization of the water column to the depth of 30 m. Additionally, occurrence of internal Kelvin waves was noticed with approximately four-day period, which could have considerable impact on horizontal dispersion of pollutants. The analysis of chemical and biochemical parameters indicated degradation of natural communities in the vicinity of the city as result of waste water discharge procedures practiced so far, while in other parts of the channel no changes in these parameters were recorded due to waste water contamination. The results of conducted measurements are used as the basis for evaluation of the Zadar and Pašman Channel basin sensitivity, and consequently for determination of requested treatment level for waste water.

KEYWORDS: oceanographic-hydrographic measurements, sea currents, outfall

Oceanografsko-hidrografska mjerenja

U ovom poglavlju će se ukratko prikazati neke karakteristike oceanografsko-hidrografskih parametara, te opisati neki procesi u moru koji imaju direktan utjecaj na širenje polutanata u moru, pa time i na izbor najpovoljnije lokacije difuzora otpadnih voda.

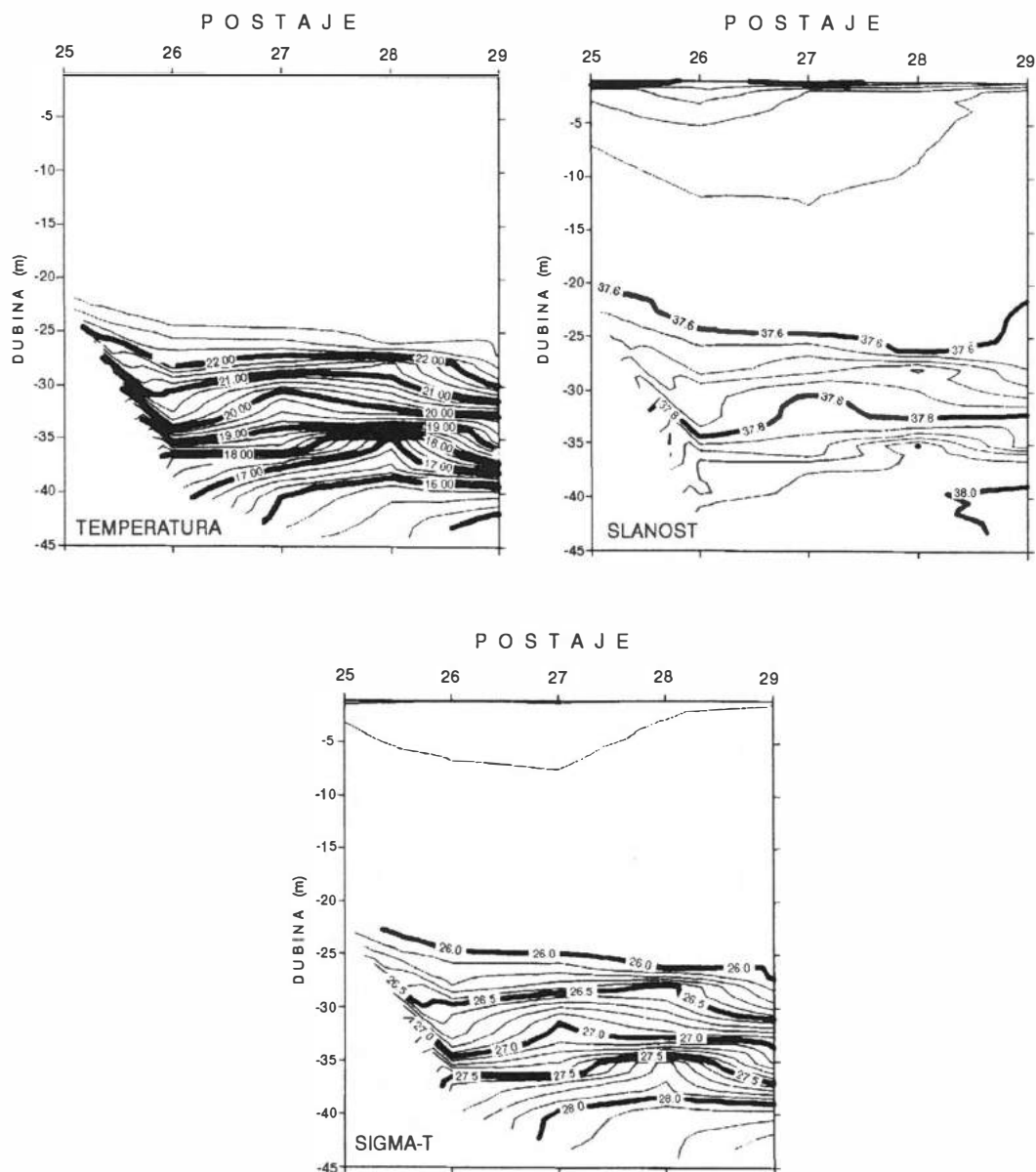
Mjerenja u Zadarskom i Pašmanskom kanalu obavljana su u ljeto 1994., i to u dva navrata. Mjerenja morskih struja su obavljana u razdobljima 28./29. lipnja – 20./21. srpnja te 24./25. kolovoza – 18./19. rujna na sedam postaja (slika 1.) u dvije razine: 2–5 m ispod površine mora i 4–5 m iznad dna. Mjerenja temperature, slanosti i gustoće mora, kao i kemijska i bioekološka uzorkovanja obavljana su u četiri navrata, za vrijeme postavljanja i vađenja strujomjernih postaja, na određenom broju postaja.



Slika 1. Prikaz pozicija mjernih postaja u Zadarskom i Pašmanskom kanalu: mjerenja temperature i slanosti obavljala su se na postajama 1 do 29, mjerenja morskih struja na postajama S-1 do S-7 te mjerenja razine mora na mareografskoj postaji Zadar (TG). Meteorološki parametri mjerili su se na postajama u Zadru (temperatura zraka, oborine, sijanje Sunca) i Šibeniku (oborine, tlak zraka, brzina i smjer vjetra)

Analiza podataka

Podaci temperature, slanosti i gustoće prikazuju razvoj te produbljivanje termokline u području Zadarskog kanala, karakteristično za područje Jadranskog mora (npr. Buljan i Zore-Armanda, 1976.). Na kraju lipnja termoklina, pa tako i pknoklina, se nalazi na dubini od 5–7 metara te nije izražena, dapače, vertikalni temperaturni gradijent je go-



Slika 2. Vertikalni presjek (a) temperature, (b) slanosti i (c) sigma-t vrijednosti na postajama 25 do 29 dana 18. rujna 1994.

tovo konstantan. U srpnju se jasno formira termoklina na dubini 8–10 m, s relativno homogenim gornjim slojem, te gradijentom većim od $1\text{ }^{\circ}\text{C/m}$. U drugoj polovici kolovoza termoklina se produbljava, što je posljedica dvaju snažnih ciklonalnih poremećaja, dok sredinom rujna, nakon relativno izraženije ciklonalne aktivnosti u prvoj polovici rujna, termoklina (piknoklina) tone na dubine 25–40 m (slika 2.).

Strujanje u Zadarskom i Pašmanskom kanalu je, zbog oblika akvatorija, usmjereno uglavnom uzduž kanala, te je uglavnom dvoslojno kao posljedica vertikalne stratifi-

kacije vodenog stupca. Nadalje, vjetar intenzivira strujanje, posebice u površinskom sloju, te može izazvati vrtložna strujanja na sjeverozapadnom ulazu u Zadarski kanal. Najveće energije se nalaze na periodima od nekoliko dana, uslijed gradijentskih te vjetrom uzrokovanih struja, dok plimne oscilacije također imaju značajne energije. Na postaji S-6 također se uočava i inercijalni maksimum energije, kao posljedica utjecaja vjetra.

Vrijednosti kemijskih parametara (O_2 i hranjivih soli) se nalaze u granicama uobičajenim za kanalska područja istočnog Jadrana. Vrijednosti kisika su prilično visoke (u prosjeku između 100–110%), tipične za nezagađene akvatorije u ljetnom periodu. Kopneni dotoci nisu značajni te ne povećavaju vrijednosti hranjivih soli, a relativno dobra izmjena vode sa susjednim akvatorijima, onemogućava njihovo nakupljanje odnosno eutrofikaciju područja.

Kvantitativno-kvalitativna analiza bentoskih životnih zajednica, odnosno podaci o zastupljenosti i rasprostranjenju biljnih i životinjskih pridnenih zajednica, upućuju na uobičajeno stanje zajednica koje se razvijaju u priobalnom dijelu hrvatske obale. Jedino na području užeg gradskog područja grada Zadra zabilježene su deformacije zajednica uzrokovane otpadnim vodama iz gradske luke, kao i drugih manjih izvora na obali. Vrijednosti indikatora fekalnog zagađenja (heterotrofne bakterije) su u cijelom području kanala dvostruko veće od vrijednosti otvorenog mora, što je posljedica izdvojenosti i topografije kanala, te se cijelo područje može okarakterizirati kao umjerenom eutrofizirano područje.

Analizom primarne proizvodnje, procijenjeno je da je dano područje i u ljetnom razdoblju prozračeno, te nije podložno ekscesnim cvatnjama. Iznimka je jedino postaja 17, gdje je zabilježena trajno povišenje biomase što je posljedica ili nepovoljne dinamike toga područja ili trajnog dotoka otpadnih voda s kopna.

Dinamika područja

Ovdje će biti prikazana neka svojstva plimne, rezidualne i vjetrovne dinamike Zadarskog i Pašmanskog kanala.

Ponajprije, plimne oscilacije strujnog polja su najznačajnije u području grada Biograda, gdje je poprečni presjek kanala najmanji, s maksimalnim iznosima plimnih struja i preko 30 cm/s. Pri tome je najintenzivnije poludnevno osciliranje (harmonijska komponenta M_2 ima amplitudu od 12 cm/s na postaji S-3). Intenzitet plimnih oscilacija slabi prema području grada Zadra i dalje prema Virskom moru, što je posljedica povećanja poprečnog presjeka kanala kao i disipacije plimne energije. U području grada Zadra oscilacije plimnih struja imaju maksimalnu amplitudu od 10 cm/s.

Rezidualna dinamika Zadarskog i Pašmanskog kanala, u razdoblju od 30. lipnja do 9. srpnja, dakle u razdoblju bez ciklonalne aktivnosti nad Jadranom, je računata metodom bezdivergentne interpolacije (Limić i Orlić, 1987.), te je polje vertikalno integriranih struja prikazano na slici 3. Uočavaju se ciklonalne odnosno anticiklonalne ćelije, koje imaju za posljedicu uzdizanje odnosno poniranje vode. U području potencijalne pozicije difuzora otpadnih voda grada Zadra javlja se anticiklonalno strujanje, što onemogućava uzdizanje polutanata s dna, barem za vrijeme smanjene ciklonalne aktivnosti. No, u slučaju kada je difuzor postavljen preplitko, odnosno kada je dubina piknokline dovoljno velika, postoji mogućnost da u kasnim ljetnim mjesecima polutanti dospiju u homogeni gornji sloj, pa bi tada vjerojatnost površinskog zagađenja bila veća.



Slika 3. Polje vertikalno intergriranih struja Zadarskog i Pašmanskog kanala u razdoblju od 30. lipnja do 9. srpnja određeno pomoću podataka i dvodimenzijskog bezdivergentnog modela.

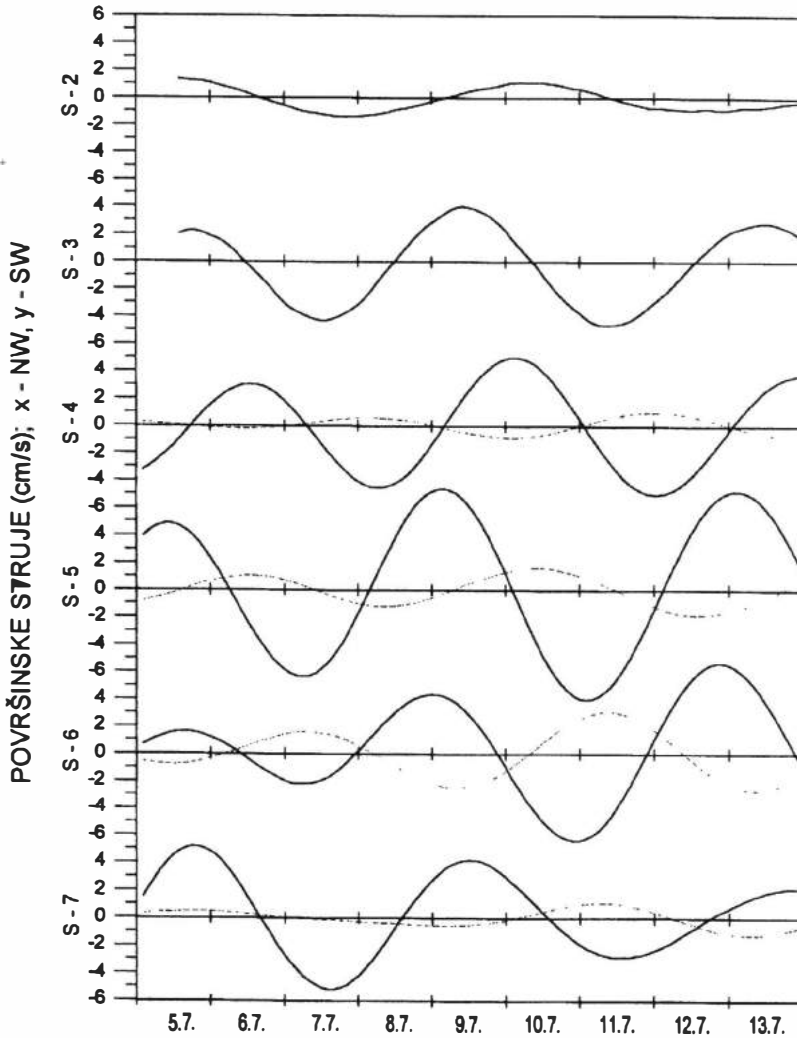
Uzdizanje i poniranje vode može također nastati kao posljedica utjecaja vjetera na dinamiku morskih masa. Tako u području sjeverozapadno od Zadra, dakle u širem dijelu Zadarskog kanala, mogu pod utjecajem juga nastati ciklonalni vrtlozi, što može dovesti do uzdizanja pridnene vode na površinu. Znajući da je, pod utjecajem juga, strujanje pridnenog sloja u tom području usmjereno prema sjeverozapadu, postojala bi mogućnost da polutanti ispušteni recimo na poziciji postaje S-5 dospiju u centar vrtloga te, prema tome, i do površine mora. No, na sreću, za vrijeme ljeta je vrlo rijetka pojava snažnog i dugotrajnog juga koje bi moglo prouzročiti takovu pojavu.

Naposljetku, u Zadarskom i Pašmanskom kanalu je opažen proces koji nije tipičan za ovako male kanalske akvatorije. Riječ je pojavi unutarnjih Kelvinovih valova (Vilibić, 1998.), s periodom od oko 4 dana i maksimalnim amplitudama struja od oko 10 cm/s (slika 4.). Ovaj proces je moguć pri vertikalno stratificiranom moru, pri čemu je gornji sloj (sloj iznad piknokline) manji od donjeg sloja (sloj ispod piknokline), da ne bi dolazilo do hiperkritičkog gušenja oscilacija u bazenu (Vilibić, 1998.). Horizontalni transport pri oscilaciji s ovako dugim periodom osciliranja je prilično velik, te može prouzročiti širenje polutanata na veliku površinu oko izvora zagađenja.

Rezultati mjerenja i projektiranja podmorskih ispusta

Prikazani način mjerenja i dobiveni rezultati nužni su u projektiranju ispusta otpadnih voda, a posebno određivanja lokacije difuzora. Za kvalitetno donesene rezultate potreban je dovoljan broj oceanografsko-hidrografskih mjerenja, tako raspoređenih u vremenskom razdoblju da uključuju period najvećeg opterećenja sustava, kao i periode smanjene prijemne moći prijemnika.

Sustavi odvodnje otpadnih voda dimenzioniraju se na maksimalno opterećenje. Obzirom na turističke kapacitete koji postoje duž cijele obale, maksimalno opterećenje kanalizacijskih sustava u primorskom području pojavljuje se ljeti. U isto vrijeme, uslijed klimatskih razloga, smanjuje se prijemna moć akvatorija obalnog mora. Mjerodavni podaci za dimenzioniranje sustava dobivaju se određivanjem sprega podataka: maksimalno opterećenje otpadnim vodama i rezultati oceanografsko-hidrografskih mjerenja. Osim »kritičnog« ljetnog razdoblja, potrebno je razmotriti i utjecaj ispuštanja otpadnih voda u obalno more pri drugim specifičnim oceanografsko-hidrografskim uvjetima. Primjer navedenom je pojava ciklonalnih vrtloga u Zadarskom kanalu nakon snažnog i dugotrajnog juga, uslijed čega može doći do izdizanja pridnenih slojeva morske vode na površinu.



Slika 4. Vremenski nizovi morskih struja površinskog sloja u srpnju filtrirani pojasnim filterom (interval propuštanja između 3,5 i 4,5 dana). Puna linija predstavlja dužkanalnu komponentu (x os je usmjerena prema sjeverozapadu), dok crkana predstavlja okomitu komponentu (y os je usmjerena prema jugozapadu)

Podaci o strujanju morskih masa na projektiranoj lokaciji difuzora ispusta dobivaju se mjerenjem na više strujomjernih postaja. Za svaku postaju potrebno je odrediti učestalost strujanja morskih masa ovisno o smjeru. Kod dimenzioniranja podmorskih ispusta kritično je strujanja prema obali. Zbog tog je mjesto ispuštanja, odnosno položaj difuzopra potrebno odrediti uz uvjet minimalne učestalosti pojave morskih struja un pridnenom sloju prema obali. Odnosno, dobar položaj mjesta ispuštanja uvjetovan je što većom učestalosti pojave morskih struja, smjera paralelnog s obalom.

Ovaj se uvjet tim više zadovoljava što je mjesto ispuštanja udaljenije od obale. Međutim to povećava investicijske troškove izgradnje, pa je moguće odrediti optimalno rješenje vrednovanjem pokazatelja cijena izgradnje i rizika.

U slučaju Zadarskog kanala lokacija podmorskog ispusta određena je uvjetom ispuštanja otpadnih voda u morske mase s glavnim strujama izlaznog smjera iz kanala. Rezultati provedenih mjerenja podloga su za određivanje prijамne moći Zadarskog kanala, koja je najmanja u njegovom jugoistočnom dijelu i povećava se prema otoku Viru.

Dobiveni podaci ujedno su i krajni uvjet za dimenzioniranje sprega objekata: uređaj za pročišćavanje – podmorski ispust. Kanalizacijski sustav grada Zadra podijeljen je u dva podsustava, Centar i Borik, koji ovisno o upravljanju i faznosti izgradnje mogu raditi posebno i kao jedinstveni sustav.

Na temelju provedenih istraživanja nužan je drugi stupanj čišćenja na uređaju Centar, s mogućnošću fazne izgradnje samo u kvantitativnom smislu. Ta sustav Borik čije je opterećenje manje od sustava Centar, te čiji se ispust nalazi u akvatoriju s povoljnijim strujama morskih masa (sjeverozapadni dio Zadarskog kanala) dovoljan je prvi stupanj čišćenja.

Literatura

- Buljan M., Zore-Armanda M. (1976): Oceanographical properties of the Adriatic Sea, *Oceanography and Marine Biology – Annal Review*, 14, 11–98.
- Limić N., Orlić M. (1987): A method for the determination of absolute geostrophic velocities in the sea, *Tellus*, 39 A, 82–94.
- Vilibić I. (1998): površinski seši i unutarnji Kelvinovi valovi Zadarskog i Pašmanskog kanala, *Magistarski rad, PMF Sveučilišta u Zagrebu*, 139. strana.

Autori

Fani Bojanić*, Nenad Leder**, Ante Smirčić** i Ivica Vilibić**

* Hrvatske vode, Vukovarska 35, 21000 SPLIT

** Hrvatski hidrografski institut, Zrinsko Frankopanska 161, 21000 SPLIT

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 2.11.

Određivanje spektra refleksije vala

Neven Kuspilić

SAŽETAK: Ispred obalnih građevina, zbog pojave refleksije, mijenja se slika valnoga polja. Visine nailazećih valova se povećavaju i moguć je poremećaj funkcionalnosti akvatorija. Stoga je nužno odrediti veličinu refleksije vala za ocjenu utjecaja građevine na promjenu valnoga polja. U radu je razrađen spektralni postupak određivanja refleksije vala. Temeljem hipoteze o ekvivalenciji Savillea, razrađene su prijenosne funkcije refleksije vala. Množenjem navedene prijenosne funkcije s valnim spektrom dobije se spektar refleksije vala. Izrađen je numerički primjer proračuna predloženim modelom. Na kraju je dana usporedba rezultata s onim dobivenim proračunom za idealne valove.

KLJUČNE RIJEČI: refleksija vala, valni spektar, Iribarrenov broj, Savilleova hipoteza o ekvivalenciji

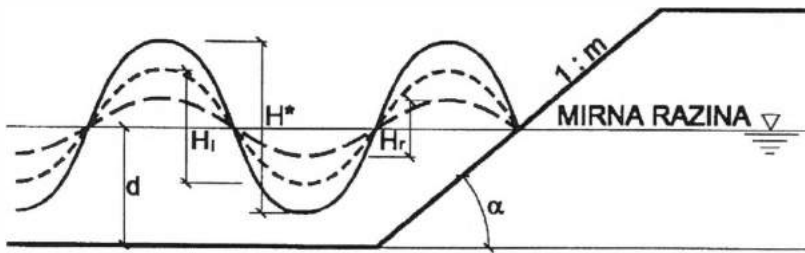
Spectral Method for Determination of Wave Reflection from Slope

SUMMARY: Determination of wave reflection from slopes of onshore structures needs to be carried out if we want to determine the impact of the structure on the wave field change. The classical engineering approach is to calculate the wave reflection from the slope by using a series of ideal waves with certain probability of occurrence. The calculated reflection is related to the occurrence probability for wave for which the reflection has been calculated. The described spectral method introduces additional quality in determination of the wave reflection since the input parameter is a wave spectrum rather than an ideal wave. Based on the Saville's equivalence hypothesis, transmission functions of wave reflection have been developed. The resulting wave reflection spectrum is obtained by multiplication of the said transmission function with the wave spectrum. Finally, the numerical example is given of a calculation conducted by use of the proposed mode, and a comparison is made using the classical approach to wave reflection from the slope.

KEYWORDS: wave reflection, wave spectrum, Iribarren's number, Saville's equivalence hypothesis

Uvod

Problem refleksije valova čest je u zatvorenim uvalama. Oglada se u povećanju valnih visina u akvatoriju. Izgradnjom obalnih građevina često se znatno pogoršava prirodna valna slika. Dodatna agitacija akvatorija uzrokovana je refleksijom valova od obalnih građevina, bilo da su one vertikalne, bilo da su kose. Reflektirani valovi superponiraju se s dolazećim valovima i obično stvaraju poteškoće za korisnike akvatorija. Isto tako mogu stvarati poteškoće na obalama. Izučavanje i točno definiranje refleksije valova je važno za definiranje funkcionalnosti akvatorija, te funkcionalnosti i stabilnosti obalnih građevina koje se nađu u zoni utjecaja reflektiranih valova.



Slika 1. Definijska skica

Hidrauličke pretpostavke proračuna refleksije valova

Proračun refleksije valova provodi se uz pretpostavku da je dubina mora d na mjestu nožice dovoljna da se lom vala ne inicira prije pokosa. Taj uvjet je zadovoljen ukoliko je dubina mora jedan i pola puta veća od visine vala, odnosno $d > 1,5 H$ [1]. Također, lom vala se može inicirati i na samom pokosu. Stoga je potrebno razlučiti granični nagib pokosa kod kojeg će se val početi lomiti, odnosno do kojeg će se val samo reflektirati od građevine. Naime, od vertikalne građevine ($\alpha = 90^\circ$), val će se reflektirati bez loma i značajnijeg gubitka energije. Ublažavanjem nagiba pokosa građevine (smanjenjem kuta α), za isti valnu visinu, valni period i valnu strminu, raste brzina čestica, brzina transporta mase i fazna brzina. Dostizanjem graničnog kuta počinje lom vala te valna energija disipira uslijed hrapavosti i turbulencije toka na pokosu. Prema Iribarrenu granični kut pokosa valova definira se kao:

$$\alpha_{gr} = \frac{8}{T} \sqrt{\frac{H}{2g}} \quad (1)$$

gdje su: T – valni period [s]
 H – valna visina [m]
 g – ubrzanje sile teže

Veličina refleksije se smanjenjem nagiba pokosa smanjuje.

Također, pri proračunu refleksije vala pretpostavlja se da je ispred pokosa građevine dno ravno i horizontalno (konstantne dubine). Na slici 1. dana je definijska skica.

Refleksija vala od pokosa za individualne valove

Refleksija vala od pokosa stavlja se u funkciju odnosa nagiba pokosa i strmosti vala definiranim Iribarrenovim brojem I_r :

$$I_r = \sqrt{\frac{g}{2\pi}} T \frac{\text{tg } \alpha}{\sqrt{H}} \quad (2)$$

gdje su: H – valna visina
 T – valni period
 α – kut nagiba pokosa.

Veličina refleksije osim o nagibu pokosa ovisi i o njegovoj hrapavosti i propusnosti. U literaturi postoje dijagrami s teorijskim koeficijentima refleksije za proračun re-

fleksije vala za glatke (uz pretpostavku da nema trenja) i nepropusne pokose. Valna visina reflektiranog vala H_r dobiva se množenjem koeficijenta refleksije K_r s valnom visinom incidentnog vala H_i , odnosno:

$$H_r = K_r H_i \quad (3)$$

Prema teoriji Michea [2], koeficijent refleksije K_r za glatke i nepropusne plohe određen je izrazom:

$$K_r = \frac{\left(\frac{H_0}{L_0}\right)_{\max}}{\left(\frac{H_0}{L_0}\right)} \quad \text{za} \quad \left(\frac{H_0}{L_0}\right) > \left(\frac{H_0}{L_0}\right)_{\max} \quad (4)$$

$$1 \quad \text{za} \quad \left(\frac{H_0}{L_0}\right) \leq \left(\frac{H_0}{L_0}\right)_{\max}$$

$$\left(\frac{H_0}{L_0}\right)_{\max} = \left(\frac{2\alpha}{\pi}\right)^{1/2} \frac{\sin^2 \alpha}{\pi}$$

gdje su: H_0 – dubokovodna valna visina
 L_0 – dubokovodna valna duljina.

Indeks max označava najveću vrijednost u valnom polju.

Proračun refleksije vala od hrapavih pokosa moguće je provesti koristeći dijagrame za glatke i nepropusne pokose i množenjem koeficijentom hrapavosti i propusnosti koji za kamenomete iznosi od 0,3 do 0,6 [2]. Također, u literaturi ([1], [3], [4], [5], [6], [7]) su dani i dijagrami koeficijenata refleksije za pokose izvedene od kamena i umjetnih blokova, dobiveni temeljem ispitivanja na modelima.

Reflektirani val se superponira s dolazećim valovima. Za definiranje valnoga polja interesantan je upravo taj superponirani val. Valna visina superponiranog vala H^* se određuje linearnim zbrajanjem incidentnog i reflektiranog, odnosno:

$$H^* = (1 - K_r)H_i \quad (5)$$

Refleksija vala od pokosa za nepravilne valove bazirana na spektralnom pristupu

Osnovna ideja proračuna refleksije vala od pokosa za nepravilne vjetrovne valove temelji se na hipotezi o ekvivalenciji Savillea [1]. Ona pretpostavlja da svaki individualni val spektra valova (komponenta valnog spektra) generira refleksiju vala jednaku refleksiji pravilnog vala istih karakteristika. U nastavku će se opisati metodologija proračuna refleksije vala za nepravilne valove. Ulazna valna klima definira se valnim spektrom $S_{\eta\eta}(\omega)$. Za svaku kutnu frekvenciju valnog spektara odredi se Iribarrenov broj za pokosa. Iribarrenov broj $Ir(\omega)$, stavljen u funkciju kutne frekvencije (ω), određuje se prema slijedećoj jednadžbi:

$$Ir(\omega) = \sqrt{\frac{2\pi g}{\omega^2}} \frac{tg \alpha}{\sqrt{2\sqrt{2S_{\eta\eta}(\omega)}}} \quad (6)$$

Nadalje, korištenjem koeficijenata refleksije vala, za pojedini Iribarrenov broj moguće je odrediti prenosne funkcije refleksije vala $TO^*_{\eta\eta}(\omega)$ za pokosu. Superponirani val ispred pokosa predstavlja zbroj spektra valova koji se reflektiraju i spektra valova koji dolaze na pokos. Odnosno, množenjem prenosne funkcije refleksije vala $TO^*_{\eta\eta}(\omega)$ $TO^*_{\eta\eta}(\omega)$ uvećane za 1 s valnim spektrom $S_{\eta\eta}(\omega)$, dobiva se superponirani spektar vala $SS^*_{\eta\eta}(\omega)$ odnosno:

$$SS^*_{\eta\eta}(\omega) = (1 + TO^*_{\eta\eta}(\omega)) S_{\eta\eta}(\omega) \quad (7)$$

Konačno je moguće odrediti značajne vrijednosti superponiranih valova H^*_{sd} , koji se za spektar superponiranih valova proračunavaju iz:

$$H^*_{sd} = 4 \sqrt{\int_0^{\alpha} SS^*_{\eta\eta}(\omega) d\omega} \quad (8)$$

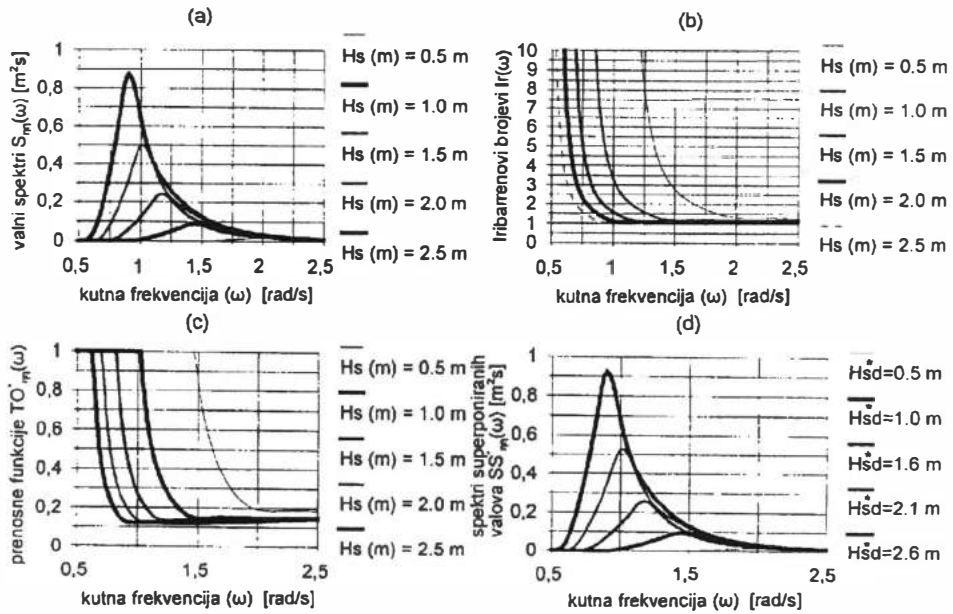
Nadalje, maksimalnu visinu superponiranog H^*_{max} , uz pretpostavku da se valne visine ravnaju prema Rayleighovoj distribuciji razdiobe [1] i [2], moguće je odrediti iz značajnih veličina množenjem koeficijentom 1,67, odnosno:

$$H^*_{max} = 1,67 H^*_{sd} \quad (9)$$

Numerički primjer

Numerički primjer izradit će se za pretpostavljenu valnu klimu definiranu preko značajnih valnih visina. Proračuni će se izraditi za dva pristupa problemu, za individualne pravilne valove i za nepravilne valove (valne spektre) prema izloženom postupku. Koristeći veličine pretpostavljenih značajnih valnih visina, izrađeni su Tabainovi [8] valni spektri dubokoga mora, koji se koriste kao standardni spektri za naše područje Jadranskoga mora. Na slici 2. (a) dan je grafički prikaz Tabainovih valnih spektara za odabrane značajne valne visine $H_s = 2,5$ m, $H_s = 2,0$ m, $H_s = 1,5$ m, $H_s = 1,0$ m i $H_s = 0,5$ m. Odabran je nagib 1:5 što je za refleksiju valova vrlo blag pokos.

Proračun refleksije nepravilnih valova baziran je na spektralnom pristupu. Ulazna valna klima definirana je spomenutim valnim spektrima $S_{\eta\eta}(\omega)$ prikazanim na slici 2. (a). Prikaz Iribarrenovih brojeva $Ir(\omega)$ za pokos dan je na slici 2. (b). Nadalje, korištenjem koeficijenata refleksije vala od hrapavih i propusnih pokosa [1], za pojedini Iribarrenov broj dobiveni su prenosne funkcije refleksije vala $TO^*_{\eta\eta}(\omega)$, što je prikazano na slici 2. (c). Na slici 2. (d) prikazani su spektri superponiranih valova $SS^*_{\eta\eta}(\omega)$ za valne spektre zadanih značajnih valnih visina: $H_s = 2,5$ m, $H_s = 2,0$ m, $H_s = 1,5$ m, $H_s = 1,0$ m i $H_s = 0,5$ m. Na istoj slici ispisane su značajne vrijednosti superponiranih valova H^*_{sd} . Usporedba rezultata proračuna dobivenih klasičnim pristupom (refleksija vala za individualne valove), te spektralnim pristupom dana je u tablici 1. U tablici su prikazani proračunati superponirani valovi klasičnim pristupom. Tako izračunate vrijednosti moguće je staviti u relaciju značajnih vrijednosti superponiranih valova. Vidljivo je da



Slika 2. Tabainovi valni spektri $S_{\eta}(\omega)$ (a), Iribarrenovi brojevi $Ir(\omega)$ (b), prenosne funkcije refleksije vala $TO_{\eta}^*(\omega)$ (c), spektri superponiranih valova $SS_{\eta}^*(\omega)$ (d)

Tablica 1. Veličine značajnih superponiranih valova za nagib pokosa 1:5 i za odabranu valnu klimu prema pristupu refleksije individualnih valova i refleksije valnoga spektra

Značajna visina incidentnog vala H_i [m]	Značajni superponirani individualni val H^* [m]	Značajni superponirani val za valni spektar H_{sd}^* [m]
0,5	0,5	0,5
1,0	1,0	1,0
1,5	1,5	1,5
2,0	2,0	2,1
2,5	2,5	2,6

su vrijednosti dobivene spektralnim pristupom nešto veće u području viših valova, što se može objasniti cjelovitijom informacijom o realnom valnom polju nego li je daje klasični restriktivan model. Relativno male razlike u veličini superponiranih valova (do 5%), dobivene po obadva postupka, rezultat su uzimanja u račun vrlo blagog pokosa (1:5).

Zaključak

Poznavanje veličine refleksije valova od obalnih građevina važno je za određivanje njenog utjecaja na akvatorij. Klasični postupak kojim se određuje veličina refleksije od pokosa uzima u račun idealne valove. Kako su idealni valovi samo restriktivan mo-

del slike valnoga polja, tako je i proračun refleksije vala klasičnim postupkom ograničen tom činjenicom. Puno realniju sliku valnoga polja daje valni spektar. Stoga proračun refleksije vala od pokosa, uzimanjem u račun valni spektar, daje točniju informaciju za određivanje utjecaja obalnih građevina na valno polje u akvatoriju. Određivanje spektra refleksije vala, a time i cjelovitijeg rezultata proračuna, moguće je korištenjem hipoteze o ekvivalenciji Savillea. Veća točnost takovog proračuna proizlazi iz činjenice da se pri proračunu koriste valni spektri koji sadrže informacije o svim komponentama realnog valnoga polja.

Literatura

- [1] Bruun, P.: Design and Construction of Mounds for Breakwaters and Coastal Protection, Developments in Geotechnical Engineering, vol. 37, Elsevier, 1985.
- [2] Shore Protection Manual, U. S. Army Coastal Engineering Research Center, Department of the Army Corps Of Engineering, 1977.
- [3] Karambas, Th. V., Browsers, E. C.: Representation of partial wave reflection and transmission for rubble mound coastal structures, Hydraulic Engineering Software VI, Sixth International Conference on Hydraulic Engineering Software, 1996. 415–423.
- [4] Dickson, W. S., Herbers, T. H. C, Thornton, E. B.: Wave Reflection from Breakwater, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE 1995, 262–268.
- [5] Wurjanto, A., Kobayashi, N.: Irregular Wave Reflection and Runup on Permeable Slopes, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE 1993, 537–557.
- [6] Issacson, M. Papps, D., Mansard, E.: Oblique Reflection Characteristics of Robble – Mound Structures, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE 1996, 1–7.
- [7] Sutherland, J., O'Donoghue, T.: Characteristics of Wave Reflecton Spectra, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE 1998, 303–311.
- [8] Tabain, T., Pretskazivanje valjanja malih brodova pri istovremenom djelovanju nepravilnih valova i vjetra, disertacija, Zagreb, 1985.

Autor

Doc. dr. sc. Neven Kuspilić, dipl. ing. građ.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb
E-mail: kuspaa@master.grad.hr

Tema 3.

ZAŠTITA I KORIŠTENJE JADRANSKOG MORA U SUSTAVU PROSTORNOG UREĐENJA NA PRINCIPIMA ODRŽIVOG RAZVITKA

Voditelji teme:

prof.dr.sc. ANTONIETA POŽAR-DOMAC i dr.sc. ANTE BARIĆ



Rad 3.01.

Elektrokemijsko određivanje otopljenog bakra(II) u prisutnosti HEPES pufera

Vlado Cuculić, Marina Mlakar, Marko Branica

SAŽETAK: »Neutralni« pufer 4-(2-hidroksietil)-1-piperazinetansulfonska kiselina, HEPES, utječe na elektrokemijske reakcije adsorbiranog kompleksa Cu(II)-salicilaldoksim, (Cu(II)-SA), na živinoj kapi. Mjerenjem metodom voltametrije s katodnim otapanjem, CSV, na elektrodi s visećom živinom kapi (HMDE) utvrđeno je da se u prisutnosti 6,5 mM HEPES (pH = 8,0) redukcijske struje kompleksa Cu(II)-SA mjerene u vodenim otopinama 0,55 M NaCl i 0,7 M NaClO₄ udvostručuju. Redukcijski potencijali pomiču se približno za 50 mV prema pozitivnijim vrijednostima. Rezultati ukazuju na elektrokemijski mehanizam kojim molekule HEPES svojom slabom adsorpcijom na živinu kap olakšavaju prijenos elektrona između živine kapi i adsorbiranog kompleksa Cu(II)-SA. Mjerena je adsorpcija HEPES, SA i kompleksa Cu(II)-SA na površinu živine kapi voltametrijom izmjenične struje (AC) izvan faze (tenzometrija) te kronokulometrijom s dvostrukim skokom potencijala. Rezultati pokazuju da se pokrivenost živine kapi kompleksom Cu(II)-SA praktično ne mijenja bez obzira na prisutnost HEPES. Dakle, ne stvara se miješani kompleks između molekula HEPES i Cu(II)-SA na živinoj kapi, tj. ne dolazi do njegove sinergetske adsorpcije na površinu elektrode.

KLJUČNE RIJEČI: vodeni sustav, HEPES, bakar(II), salicilaldoksim, CSV

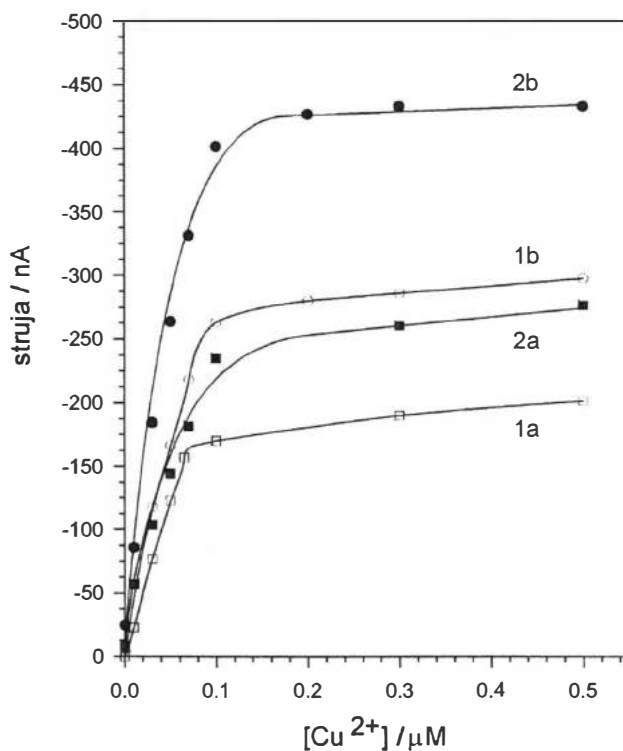
Electrochemical Determination of Dissolved Copper(II) in the Presence of the HEPES Buffer

SUMMARY: The electrochemical reactions of the copper(II)-salicylaldoxime complex (Cu(II)-SA) adsorbed into mercury drop electrode surface are influenced by "neutral" buffer 4-(2-hydroxyethyl)-1-piperazineethenesulfonic acid (HEPES). The measurements were performed on hanging mercury drop electrode (HMDE) using various electrochemical techniques. Use of cathodic stripping voltammetry technique (CSV), the presence of the HEPES buffer (pH = 8.0) increased the reduction current of the Cu(II)-SA complex twice in 0.55 NaCl and 0.7 NaClO₄ solutions, whereas the reduction potential shifted to more positive values (about 50 mV). The results obtained indicate that the weak adsorption of the HEPES buffer onto mercury drop electrode surface facilitates the electron transfer between the mercury electrode and the adsorbed Cu(II)-SA complex during the reduction process. The adsorption of the HEPES, SA and Cu(II)-SA complex onto mercury drop electrode surface was measured by an AC voltammetry and chronocoulometry with a double step potential. These experiments revealed that the surface coverage of the Cu(II)-SA complex remained unchanged regardless of the presence of the HEPES buffer. In conclusion, there is no formation of a mixed ligand complex between Cu(II)-SA and HEPES on the mercury drop electrode surface, that is a synergistic adsorption does not take place.

KEYWORDS: water system, HEPES, copper(II), cathodic stripping voltammetry

Do sada su objavljena brojna istraživanja različitim elektrokemijskim metodama i tehnikama o kemijskoj specijaciji i određivanju koncentracije otopljenih tragova metala u modelnim elektrolitnim otopinama, a posebno u prirodnim vodama¹. Dobiveni su izvrsni rezultati voltammetrijom anodnog (ASV) i/ili katodnog otapanja (CSV). Voltametrija katodnog otapanja temelji se na redukciji metalnog kompleksa koji je iz mase otopine prethodno adsorbiran (ili akumuliran) na površinu radne elektrode. Adsorpcijom je koncentracija kompleksa iona metala višestruko povećana u odnosu na onu u masi otopine². Takvim postupkom izbjegnute su druge operacije kemijske prekoncentracije, dakle i opasnosti od gubitka tragova metala ili zagađenja uzorka. Tako su opisane CSV metode za određivanje otopljenog bakra u prirodnim vodama pomoću liganada: katehola², 8-hidroksikinolina², tropolona³, 1,10-fenantrolina⁴ i salicilaldoksima⁵. Otkrivena je mogućnost povećanja osjetljivosti sinergetskom adsorpcijom upotrebom dva liganda kao što su 1,10-fenantrolin i tributilfosfat te 2-tenoiltrifluoroaceton i tributilfosfat u miješanom kompleksu s ionom bakra⁶⁻⁸. U objavljenim radovima često se koriste razni puferi koji se smatraju inertnim u kemijskim reakcijama. Upotrebljava se i 4-(2-hidroksietil)-1-piperazinetansulfonska kiselina, HEPES, koja je »zwitterion« sa svojstvima pufera u pH području od 7 do 8 radi čega se upotrebljava u mnogim fiziološkim, biološkim⁹ i kemijskim¹⁰ istraživanjima.

Neutralni pufer je potreban u mnogim istraživanjima zbog osjetljivosti mnogih reakcija na promjene pH vrijednosti otopina. Naime, u vodenim otopinama ioni vodika se natječu s prisutnim metalnim kationima u povezivanju s ligandima. U prirodnoj morskoj vodi, pri pH oko 8, ± 10,2, hidroksid ion se natječe s ostalim ligandima (organskim i anorganskim) za metalne katione. Raspodjela kemijskih oblika tragova metala jako ovisi o promjenama pH te je važno osigurati stalnu koncentraciju H⁺ iona u mjerenom sustavu. Kod raznih osjetljivih istraživanja kakva su ona biološka (in vitro) ili elektrokemijska s vrlo malim koncentracijama analita (10⁻⁷ – 10⁻⁹ M), važno je da korišteni pufer nema toksičnog utjecaja na ispitivane organizme i da su kemijski i elektrokemijski inertni, tj. da ne reagiraju s ispitivanom kemijskom vrstom u uvjetima mjerenja. Kod takvih istraživanja pretpostavlja se da je HEPES prikladan pufer, s relativno inertnim svojstvima prema analitu. Iz literature su poznate kiselinsko-bazne karakteristike ovog pufera¹¹. Određene konstante hidrolize iznose pK₁ ≈ 3 i pK₂ = 7,55 pri temperaturi od 20 °C. HEPES je u literaturi opisan kao inertan spoj koji ne stvara komplekse s metalima, naročito s bakrom. Zbog toga je bio korišten u raznim istraživanjima, kao što je određivanje utjecaja bakra na neke organizme kao što su alge⁹, određivanje tragova metala u prirodnim i modelnim vodenim sustavima^{10,12}, kemijska specijacija bakra u smislu njegovog utjecaja na žive organizme¹³ i drugim. Zbog svog puferskog djelovanja u pH području od 7–8, HEPES je pogodan za istraživanja u uvjetima prirodnih voda gdje se pH kreće oko tih vrijednosti. Opisana je primjena HEPES u određivanju tragova metala kao što su bakar⁹, kobalt i nikal¹⁰ te željezo¹² različitim elektrokemijskim metodama i tehnikama. Međutim, manjkavo je poznavanje njegova učinka na kompleksiranje metala koji se adsorbiraju na živinu kap^{10,12}. U mnogim je ispitivanjima korišten bez provjere, ali uz pretpostavku kako je potpuno kemijski i elektrokemijski neaktivan elektrolit. Međutim, detaljna istraživanja to opovrgavaju, jer je utvrđen znatan utjecaj HEPES na elektrokemijske odzive adsorbiranih kompleksa metala iz vodenih otopina na površinu živine kapi. Tako je objavljeno kako se povećava elektrokemijski odziv 2 do 4 puta kod CSV analiza otopljenih kompleksa Co(II) i Ni(II)-nioksima u morskoj vodi u prisutnosti HEPES pufera¹⁰.

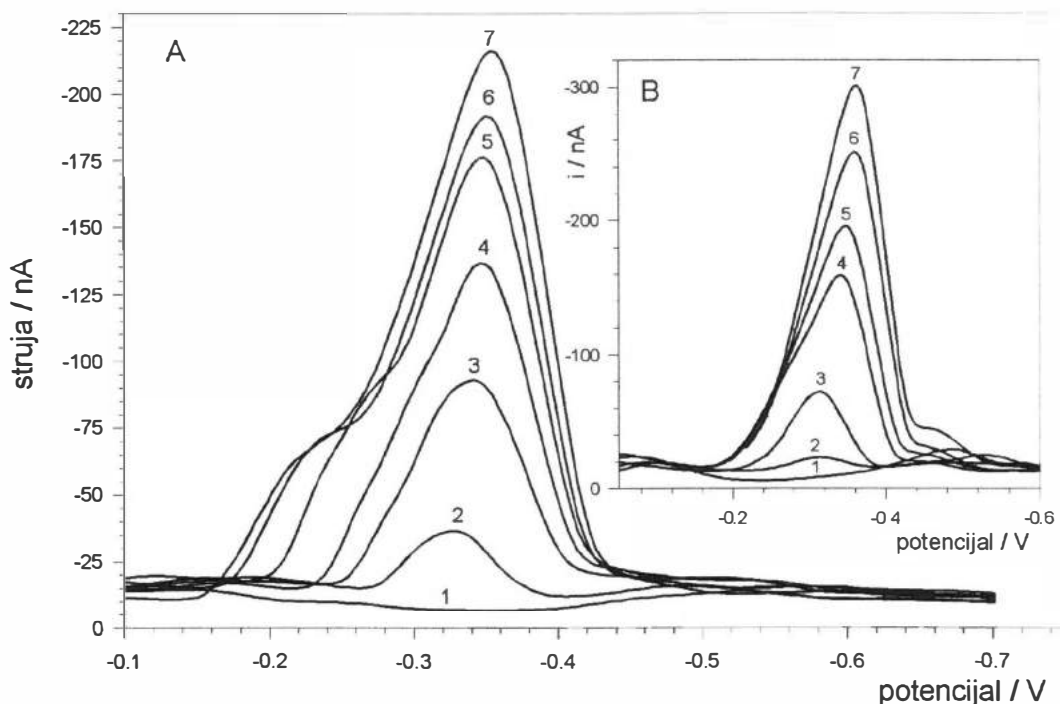


Slika 1. Ovisnost DPCSV redukcijskih struja Cu(II)-SA kompleksa o Cu(II) koncentracijama. Cu(II): 5×10^{-9} M do 5×10^{-7} M. 1) 0,55 M NaCl, 2) 0,7 M NaClO₄. (a) bez HEPES, (b) s HEPES 25 μ M SA, 6,5 mM HEPES. pH = 8,0, $E_{ak} = -0,05$ V, $t_{ak} = 300$ s, $a = 25$ mV, $v = 20$ mV/s.

U ovom radu utvrđeno je sudjelovanje »inertnog« pufera 4-(2-hidroksietil)-1-piperazinetsulfonske kiseline, HEPES, u elektrokemijskim reakcijama adsorbiranog kompleksa Cu(II)-salicilaldoksim na živinoj kapi.

Mjerenjima CSV tehnikom pokazano je kako se redukcijske struje kompleksa Cu(II)-SA, povećavaju u otopini 0,55 M NaCl za oko 50% te skoro dvostruko u otopini 0,7 M NaClO₄ (sl. 1.). Redukcijski potencijali pomiču se za približno 50 mV prema pozitivnijim vrijednostima (sl. 2.), što je izmjereno na elektrodi s visećom živinom kapi (HMDE) i to: diferencijalno pulsnom voltammetrijom s katodnim otapanjem (DPCSV), cikličkom voltammetrijom (CV) i pravokutnovalnom voltammetrijom (SWV).

Intenzitet adsorpcije Cu(II)-SA na površini živine kapi mjeren je voltammetrijom izmjenične struje (AC) izvan faze (tenzametrija). Kronokulometrijom s dvostrukim skokom potencijala pokazano je da prekrivenost površine živine kapi kompleksom Cu(II)-SA ostaje praktično ista (između 9 i $10,5 \times 10^{-11}$ mol cm⁻²), bez i u prisutnosti HEPES pufera. Međutim, rezultati ukazuju na to da HEPES pufer olakšava, odnosno ubrzava prijelaz elektrona između živine elektrode i na njoj adsorbiranog sloja Cu(II)-SA kompleksa tijekom procesa elektrokemijske redukcije. Pri tome se ne stvara miješani metalni kompleks Cu(II)-SA-HEPES koji bi se sinergetski adsorbirao na površini živine elektrode. Ovime je pokazano kako HEPES nije neutralan (inertan) pufer. Sto-



Slika 2. DPCS redukcijski voltamogrami Cu(II)-SA kompleksa u (a) 0,55 M NaCl i (b) 0,7 M NaClO₄; μ 25 M SA; [Cu(II)]/M (1) 0; (2) 1×10^{-8} , (3) 3×10^{-8} , (4) 5×10^{-8} , (5) 7×10^{-8} , (6) 1×10^{-7} , (7) 5×10^{-7} ; pH = 8,0; $E_{ak} = -0,05$ V; $t_{ak} = 300$ s; $a = 25$ mV; $v = 20$ mV/s.

ga je potrebno dobro poznavati svojstva i utjecaj takozvanih »inertnih« kemikalija u osnovnim elektrolitima radi sprečavanja krive interpretacije dobivenih rezultata i »čudnih« efekata.

Metodom CSV s ligandom salicilaldoksim (SA) moguće je pouzdano određivanje otopljenog Cu(II) u koncentracijskom rasponu od 0,32 μ g/l (5×10^{-9} M) do 32 μ g/l (5×10^{-7} M), kako u modelnim, tako i u prirodnim vodenim sustavima. Navedene koncentracije pokazuju da se ovom metodom mogu odrediti koncentracije otopljenog bakra(II) koje su unutar dopuštenih graničnih vrijednosti za svih pet vrsta voda, razvrstanih prema Uredbi o klasifikaciji voda (NN 77/98 str. 1754), koje iznose za prvu <2 μ g Cu/l i za petu vrstu voda >20 μ g Cu/l.

Literatura

1. M. Branica, M. Petek, A. Barić and Lj. Jeftić, Polarographic characterisation of some trace elements in sea water, *Rapp. Comm. int. Mer. Medit.* **1969**, *19*, 929.
2. C. M. G. van den Berg, Potentials and potentialities of cathodic stripping voltammetry of trace elements in natural waters, *Anal. Chim. Acta* **1991**, *250*, 265.
3. J. R. Donat and C. M. G. van den Berg, A new cathodic stripping voltammetric method for determining organic copper complexation in seawater, *Mar. Chem.* **1992**, *38*, 69.
4. I. Čuljak, M. Mlakar and M. Branica, Cathodic stripping voltammetry of copper-1,10-phenanthroline complex, *Electroanalysis* **1995**, *7*, 64.

5. M. L. A. M. Campos and C. M. G. van den Berg, Determination of copper complexation in sea water by cathodic stripping voltammetry and ligand competition with salicylaldehyde, *Anal. Chim. Acta* **1994**, *284*, 481.
6. M. Mlakar and M. Branica, The electrode synergistic adsorption of mixed ligand complexes. Part I. Uranium(VI)-salicylic acid/TBP system, *J. Electroanal. Chem.* **1988**, *257*, 269.
7. V. Cuculić, Adsorpcija kompleksa bakra(II) iz vodenih sustava na krutu fazu i živinu kap, *Magistarski rad*, Sveučilište u Zagrebu, **1997**.
8. V. Cuculić, M. Mlakar and M. Branica, Synergetic adsorption of copper(II) mixed ligand complexes onto the SEP-PAK C₁₈ column, *Anal. Chim. Acta* **1997**, *339*, 181.
9. M. T. S. D. Vasconcelos, M. A. G. O. Azenha and O. M. Lage, Electrochemical evidence of surfactant activity of the HEPES pH buffer which may have implications on trace metal availability to cultures *in vitro*, *Anal. Biochem.* **1996**, *241*, 248.
10. J. R. Donat and K. W. Bruland, Direct determination of dissolved cobalt and nickel in seawater by differential pulse cathodic stripping voltammetry preceded by adsorptive collection of cyclohexane-1,2-dione dioxime complexes, *Anal. Chem.* **1988**, *60*, 240.
11. T. Roig, P. Bäckman i G. Olofsson, Ionization enthalpies of some common zwitterionic hydrogen-ion buffers (HEPES, PIPES, HEPPS and BES) for biological research, *Acta Chem. Scand.* **1993**, *47*, 899.
12. E. L. Rue i K. W. Bruland, Complexation of iron(III) by natural organic ligands in the Central North Pacific as determined by a new competitive ligand equilibration/ adsorptive cathodic stripping voltammetric method, *Mar. Chem.* **1995**, *50*, 117.
13. D. M. J. Tubbing, W. Admiraal, R. F. M. J. Cleven, M. Iqbal, D. van de Meent i W. Verweij, The contribution of complexed copper to the metabolic inhibition of algae and bacteria in synthetic media and river water, *Chem. Spec. Bioavail.* **1992**, *4*, 43.

Autori

Mr. sc. Vlado Cuculić, e-mail: cuculic@ober.irb.hr

Dr. sc. Marina Mlakar, e-mail: mlakar@ober.irb.hr

Prof. dr. sc. Marko Branica, e-mail: branica@ober.irb.hr

Laboratorij za fizičku kemiju tragova, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, Bijenička c. 54, 10000 Zagreb, Hrvatska.

Tel.: 01/4680-231, 01/4561-190, fax: 01/4680-231.

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.02.

Primjena metalotioneina u svrhu biomonitoringa metala u priobalnom moru

J. Pavičić, M. Erk, D. Jurič, S. Kozar, N. Odžak, Ž. Kwokal, B. Raspor

SAŽETAK: Metalotioneini (MT) predstavljaju porodicu niskomolekularnih proteina koji imaju u organizmu sposobnost vezanja većeg broja esencijalnih kao i toksičnih metala u relativno netoksičnoj formi. Izraženo svojstvo pobudne sinteze ovog metaloproteina u odabranim tkivima indikatorskih vrsta uključujući dagnju, *Mytilus galloprovincialis*, koristi se kao pokazatelj izloženosti organizama povišenoj razini metala u programima biomonitoringa.

Rezultati elektrokemijskog određivanja koncentracija MT u termički obrađenom ekstraktu probavne žlijezde transplantiranih dagnji na odabranim postajama Kaštelanskog zaljeva kreću se unutar raspona vrijednosti 2,3–3,5 mg MT/g mokre mase tkiva i pokazuju nešto više vrijednosti u usporedbi s odgovarajućim rezultatima u dagnji iz Linskog kanala. U ovim uzorcima dobivena je dobra korelacija između razine MT i metala (Zn + Cu + Cd + Hg) što govori u prilog prihvatljivosti ovog biomarkera u kontroli zagađenja.

Mjerenja koncentracije MT spektrofotometrijskom metodom u uzorcima probavne žlijezde prirodnih populacija dagnji sa odabranih postaja srednjeg Jadrana kreću se unutar raspona 82–191 g MT/g mokre mase tkiva i znatno su više u usporedbi s rezultatima za referentnu postaju u Linskom kanalu.

Unatoč međusobnoj nepodudarnosti mjerenja primjenjenih analitičkih metoda evidentne su utvrđene razlike između razine MT na odabranim lokalitetima srednjeg Jadrana i na referentnoj postaji, zbog čega na ovom stadiju istraživanja možemo zaključiti da je svaka od dviju prikazanih metoda za određivanje MT prihvatljiva u smislu mogućnosti otkrivanja lokalnog zagađenja metalima.

KLJUČNE RIJEČI: metalotionein, biomarker, dagnje, biomonitoring, kontrola zagađenja mora, teški metali

Application of Metallothioneine in Biomonitoring of Metals in Territorial Sea

SUMMARY: Metallothioneines (MT) represent the family of low-molecular proteins which have the capacity to bound in organism a larger number of essential and toxic metals in a relatively nontoxic form. A pronounced characteristic of stimulating synthesis of this metalloprotein in selected tissues of indication sorts, including mussel (*Mytilus galloprovincialis*), is used as an indicator of organism exposure to increased level of metals in biomonitoring programs.

Results of electrochemical determination of MT concentration in thermally analyzed extract of gastric gland of grafted mussels in selected stations in the Kaštela Bay range between 2.3 and 3.5 MT/g of wet tissue weight and indicate somewhat higher values in comparison with corresponding results in the Linski Canal mussels. These samples show good correlation between MT and metal (Zn+Cu+Cd+Hg) levels, which confirms suitability of this biomarker for use in pollution control.

MT concentrations measured in gastric gland samples in natural mussels population from selected stations in Central Adriatic by spectrophotometry range between 82 and 191 mg MT/g

of wet tissue weight and are considerably higher as compared with the results for the referenced station in the Lirski Canal.

Although the results of applied analytical methods do not correspond, the differences between MT levels in selected locations in the Central Adriatic and referenced station are obvious. Therefore, in this stage of research it could be concluded that each of the two presented methods for MT level determination is acceptable for determination of local pollution caused by metals.

KEYWORDS: metallothioneine, biomarker, mussels, biomonitoring, sea pollution control, heavy metals

Uvod

Sustavno praćenje koncentracija metala u organizmima jadranskog priobalja ima u Hrvatskoj dugogodišnju tradiciju (Martinčić i sur., 1980., Monitoring UNEP, 1994.). Kao indikatorski je organizam odabrana dagnja zbog svoje rasprostranjenosti u priobalnoj zoni kao i zbog jako izražene sposobnosti ugrađivanja različitih vrsta zagađivala, uključujući metale u tragovima. Takav koncept, primjenjivan na veći broj svjetskih mora poznat je pod nazivom *mussel watch*. Kao sesilni organizam vezana je za određeno stanište zbog čega je pogodna za kontrolu zagađenja tog područja.

Klasični biomonitoring odnosi se na mjerenja koncentracije metala u odabranim tkivima pomoću osjetljivih analitičkih metoda. Primjena biomarkera u programima biomonitoringa novijeg je datuma. Mjerenje koncentracije metalotioneina (MT) u probavnoj žlijezdi dagnje spektrofotometrijskom metodom prema Viarengu i sur. (1997.) prihvaćeno je na području Mediterana kao pogodna metoda u kontroli zagađenja mora metalima.

Koncept primjene MT kao biomarkera polazi od eksperimentalno utvrđenih činjenica da količina ovog metaloproteina u tkivu dagnji koje obitavaju u zonama zagađenja višestruko premašuje bazalnu razinu MT kod dagnji iz nezagađenog okoliša, i na taj način predstavlja vremenski integrirani odgovor organizma na povišeni sadržaj metala a proporcionalna je s njegovom bioraspoloživom frakcijom u morskoj vodi (Pavičić i sur., 1987., Raspor i sur., 1987., Pavičić i sur., 1993.).

U okviru sustavnog praćenja zagađenja Sredozemnog područja uključen je MT iz probavne žlijezde dagnje kao jedan od biomarkera čija bi se primjenjivost trebala provjeriti kroz nacionalne programe biomonitoringa. Primjenom valjane statističke analize velikog broja uzoraka može se odrediti raspon bazalnih vrijednosti i odstupanja koja ukazuju na prisustvo zagađenja metalima.

U ovom ćemo radu prikazati neke od preliminarnih rezultata mjerenja MT dagnji u odabranim priobalnim lokalitetima u okviru istraživanja Kaštelanskog zaljeva i projekta Jadran koji predstavljaju tzv. »vruće točke« u blizini urbanih središta i industrijskih zona.

Prema trendu razvoja na ovom području primjenjene ekotoksikologije postoje dva osnovna pristupa pri određivanju koncentracija metala i MT na temelju uzorkovanja dagnji iz autohtonih populacija kao i uzorkovanje takozvanih transplantiranih dagnji koje su prenesene iz jedne ishodne populacije na lokalitete predviđene za uzorkovanje čime se isključuju razlike između autohtonih populacija različitih područja.

Materijal i metode

Odrasle dagnje uzorkovane su iz prirodnih populacija priobalnih lokaliteta srednjeg Jadrana ili su prenesene iz uzgajališta u Stonu (transplantirane dagnje) na odabrane postaje unutar Kaštelanskog zaljeva i uzorkovane svaka dva mjeseca.

Priprema i eluiranje uzorka probavne žlijezde dagnji za izolaciju MT pomoću tekućinske kromatografije na gel-filtracijskoj koloni (Sephadex G-75) opisani su u radovima Pavičić i sur., 1987. i 1993.

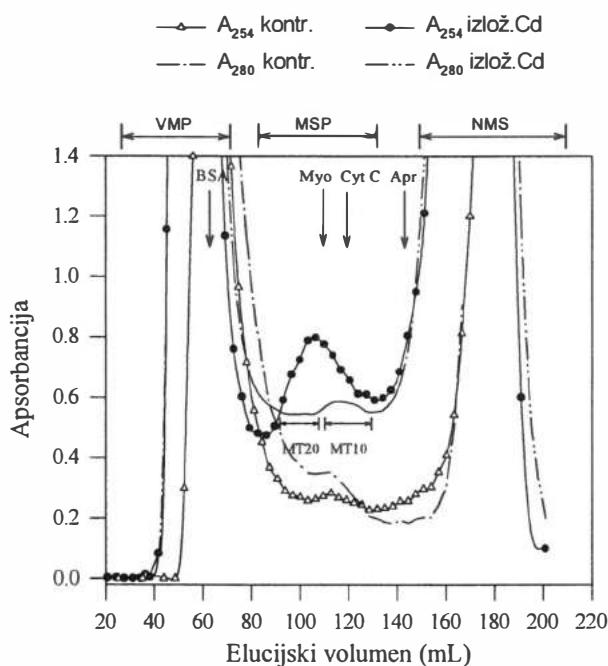
Koncentracije MT u termički obrađenom vodotopivom ekstraktu različitih tkiva dagnji, ukupnog mekog dijela (CD), škrge (ŠK) i probavne žlijezde (PŽ) određene su polarografskom metodom prema Brdički (Raspor i sur., 1987 i 1996) kao i spektrofotometrijskom metodom (Viarengo i sur., 1997). Analize metala u uzorcima ekstrakta tkiva dagnje provedene su elektrokemijski (Cd) i spektrometrijski (Zn, Cu, Hg) kao što je detaljnije opisano u radu Raspor i sur., 1999.

Rezultati i diskusija

Na slici 1. prikazani su rezultati mjerenja karakterističnih apsorbancija na 254 nm (A_{254}) i 280 nm (A_{280}) u elucijskom profilu (Sephadex G-75) uzoraka probavne žlijezde kontrolnih dagnji iz Limskog kanala i dagnji izloženih djelovanju kadmija u morskoj vodi (200 $\mu\text{g/L}$; 14 dana). Opaža se da je apsorbancija na 254 nm kao pokazatelj kadmij-merkaptidne veze, svojstvene za metalotioneine izraženija u induciranim dagnji što ukazuje na sintezu znatne količine MT, kao odgovor na izlaganje povišenoj razini kadmija. Također se opaža da je kod kadmijem induciranih dagnji visoki maksimum apsorbance A_{254} pomaknut prema oblicima MT dimera (MT-20), dok je u kontrolnim dagnjama omjer između MT-20 i MT-10 (MT monomer) oblika znatno niži u usporedbi s dagnjama induciranim kadmijem.

Na slici 2. prikazani su rezultati kvantitativnog određivanja MT i teških metala u termički obrađenim ekstraktima tkiva transplantiranih dagnji sa odabranih postaja Kaštelanskog zaljeva (ispred Inavinila i hotela Palace). Koncentracije MT u ukupnom mekom dijelu dagnji, škragama i probavnoj žlijezdi određene su polarografskom metodom. Od odabranih tkiva najviše su koncentracije metala i MT utvrđene u probavnoj žlijezdi dagnji, zatim slijedi cijela dagnja dok su u škragama određene nešto niže koncentracije na obadvije postaje. Utvrđena je i prilično dobra korelacija između molarnih koncentracija ukupnog metala (Cd + Hg + Cu + Zn) i MT ($r = 0,81$) u ekstraktima tkiva, što govori u prilog prihvatljivosti kvantitativnog određivanja MT kao biomarkera u svrhu kontrole sadržaja metala u indikatorskim organizmima. Na svakoj od odabranih postaja opaža se nakon dvomjesečnog razdoblja između uzorkovanja (u prosincu 1997.) povišenje razine MT koje odgovara zimskom maksimumu (3,2 i 3,5 mg MT/g mokre mase tkiva) uzevši u obzir trend daljnjeg opadanja razine MT tijekom nastavljanja dvomjesečnih uzorkovanja uključujući lipanj. Ove promjene u razini MT možemo pripisati fiziološkim promjenama tijekom godišnjeg ciklusa školjkaša (Viarengo i sur., 1997., Bordin i sur., 1997.). Usporedba dobivenih rezultata s odgovarajućim određivanjima razine MT u probavnoj žlijezdi dagnji iz Limskog kanala ($2,1 \pm 0,4$ mg MT/g mokre mase tkiva; Pavičić i sur., 1993.).

Rezultati kvantitativnog određivanja MT spektrofotometrijskom metodom (Viarengo i sur., 1997.) u probavnoj žlijezdi autohtonih dagnji uzorkovanih sa priobalnih lokaliteta srednjeg Jadrana prikazani su na slici 3. (uzorkovanje u rujnu i prosincu 1998.). Izmjerene vrijednosti (82–191 $\mu\text{gMT/g}$ mokre mase tkiva) nalaze se unutar granica vrijednosti za razinu MT u dagnji sa talijanske obale Jadrana (Viarengo i sur., 1997.). Opažaju se odstupanja na pojedinim postajama premda zbog malog broja mjerenja (2–4) ove razlike nisu na razini statističke značajnosti. Ipak, u usporedbi sa referentnom postajom u Limskom Kanalu te vrijednostima za sjeverni Jadran i dubrovačko



Slika 1. Izolacija MT iz probavne žlijezde kontrolnih i kadmiju izloženih dagnji primjenom tekućinske kromatografije na koloni punjenoj *Sephadex-om G-75*. Na temelju mjerenja karakterističnih apsorbancija A_{254} i A_{280} u području razlučivanja za metalotioneine (MSP) označeni su monomerni (MT-10) i dimerni (MT-20) oblici.

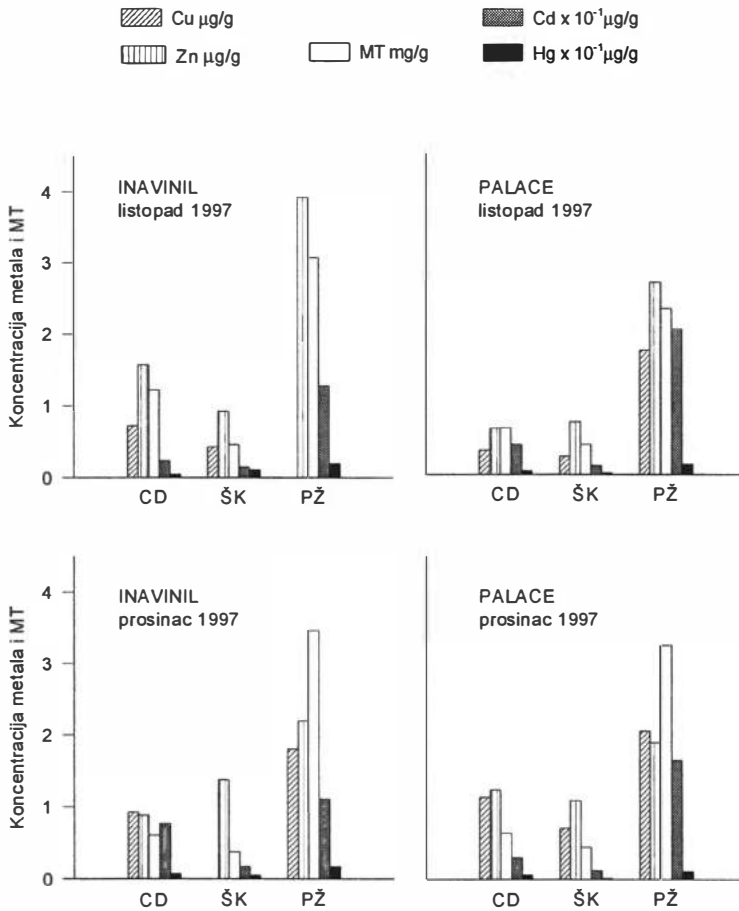
područje koja su suradnici CIM-a Rovinj izmjerili istom metodom (Projekt Jadran; Biomarkeri prethodni izvještaj 1998.) naši su rezultati određivanja MT za »vruće točke« srednjeg Jadrana znatno viši. Ipak za konačnu ocjenu izloženosti spomenutog akvatorija zagađenju teškim metalima potrebno je izvršiti provjeru metoda određivanja različitih laboratorija na istim uzorcima (interkalibracija), kao što je bilo provedeno prije 4 godine u okviru projekta Med-Pol (FAO/UNEP).

Usporedimo li rezultate mjerenja dviju metoda opaža se da je razine MT polarografskim određivanjem znatno viša u odnosu na spektrofotometrijska mjerenja. Ovo se opažanje podudara s literaturnim podacima (Bordin i sur., 1997., Viarengo i sur., 1997.) i moglo bi se najvećim dijelom pripisati razlikama u posebnom postupku pripreme uzoraka za svaku od prikazanih metoda (Geret i sur., 1998.)

Zaključci

Potvrđena je mogućnost korištenja MT iz probavne žlijezde dagnji u programima biomonitoringa kao pokazatelja izloženosti organizama povišenoj razini metala u priobalnom moru.

Usporedbom mjerenja koncentracija MT u dagnjama na odabranim postajama Srednjeg Jadrana s rezultatima dobivenim na referentnoj postaji (Limski kanal) možemo zaključiti da je svaka od dviju prikazanih kvantitativnih metoda za određivanje MT prihvatljiva u smislu mogućnosti otkrivanja lokalnog zagađenja metalima.

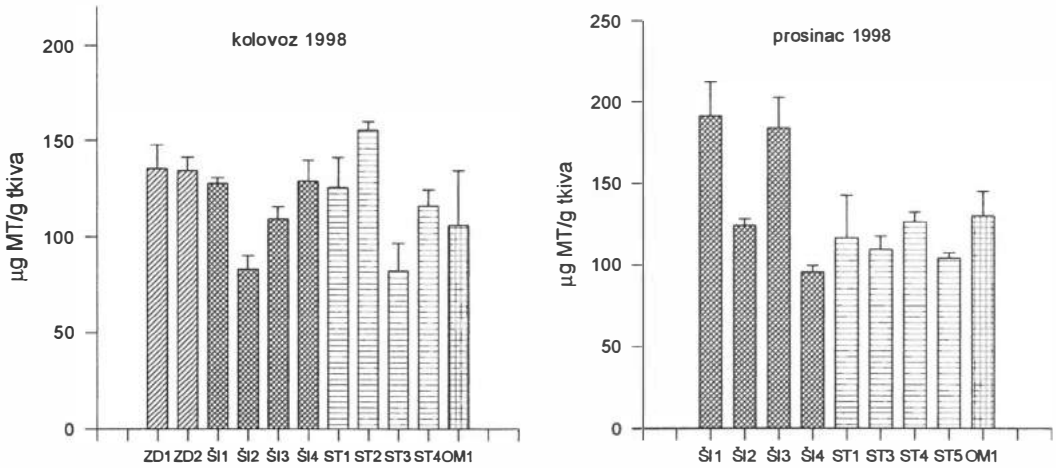


Slika 2. Kvantitativno određivanje MT (polarografskom metodom) i odabranih metala (Cu, Zn, Cd i Hg) u mekom dijelu cijelih dagnji (CD), škragama (ŠK) i u probavnoj žlijezdi uzorkovanih nakon transplantiranja u listopadu i prosincu 1997. na odabranim postajama Kaštelanskog zaljeva.

Za konačnu ocjenu vjerodostojnosti MT kao biomarkera u kontroli zagađenja mora neophodno je provesti valjanu statističku analizu velikog broja uzoraka sakupljenih kroz duže vremensko razdoblje sa različitih lokaliteta jadranskog priobalja na osnovu čega bi se ustanovilo variranje prirodne razine MT tijekom fiziološkog godišnjeg ciklusa dagnje (*baseline*) kao polazište za procjenu izloženosti populacije djelovanju teških metala.

Literatura

- Bordin, G., Mccourt, J., Raposo, F. C., Rodrigez, A. R. (1997): Metallothionein-like metalloproteins in the baltic clam *Macoma baltica*-seasonal variations and induction upon metal exposure. *Mar. Biol.* 129: 453–463.
- Geret, F., Rainglet, F., Cosson, R. P. (1998): Comparison between isolation protocols commonly used for the purification of mollusc metallothioneins. *Mar. Environ. Res.* 46: 545–530.
- Martinčić, D., Nurnberg, H. W., Stoepler, M., Branica, M. (1980): Toxic metal levels in bivalves and their ambient water from from the Lim Channel. *Thalassia Jugosl.* 16: 297–315.



Slika 3. Kvantitativno određivanje MT (spektrofotometrijskom metodom) u probavnoj žlijezdi autohtonih populacija dagnji uzorkovanih u rujnu i prosincu 1998. sa odabranih postaja srednjeg Jadrana; u zadarskom (ZD1-2), šibenskom (ŠI1-4), splitskom (ST1-5) i omiškom području (OM1).

Monitoring programme of the Eastern Adriatic Coastal Area. Report for 1983–1991 (1994) MAP Technical Report Series No 86, UNEP, Athens

Pavičić, J., Raspor, B., Martinčić, D. (1993): Quantitative determination of metallothionein-like proteins in mussels. Methodological approach and field evaluation. *Mar. Biol.* 115: 435–444.

Pavičić, J., Škrebilin, Raspor, B., Branica, M., Tušek-Žnidarić, M., Kregar, I. and Stegnar, P. (1987): Metal pollution assessment of the marine environment by determination of metal-binding proteins in *Mytilus sp.* *Mar. Chem.* 22: 235–248.

Projekt Jadran; prethodni izvještaj 1.5. Razina i utjecaj onečišćenja na području većih naselja »Vruće točke«; Biomarkeri zagađenja, CIM-Rovinj, IRB, 1998.

Raspor, B. and Pavičić, J. (1996): Electrochemical methods for quantification and characterization of metallothioneins induced in *Mytilus galloprovincialis*. *Frasenius J. Anal. Chem.* 54: 529–534.

Raspor, B., Pavičić, J. and Branica, M. (1987): Possible biological reference material for environmental control analyses-cadmium induced proteins from *Mytilus galloprovincialis*. *Frasenius Z. Anal. Chem.* 326: 719–722.

Raspor, B., Pavičić, J., Kozar, S., Kwokal, Ž., Paić, M., Odžak, N., Ujević, I., Kljaković, Z.. (1999): Assessment of metal. exposure of marine edible mussels by means of a biomarker. In: *Metallothionein IV* (C. Klaassen, ed.), Birkhauser Verlag Basel, pp 629–632.

Viarengo, A., Ponzano, E., Dondero, F., Fabbri, R. (1997): A simple spectrophotometric method for metallothionein evaluation in marine organisms: an application to mediterranean and antarctic molluscs. *Mar. Environ. Res.* 44: 69–84.

Zahvala

Autori se zahvaljuju Ministarstvu znanosti i tehnologije Republike Hrvatske za financijsku potporu projektu »Biomarkeri i biološki učinci metala« (00981511).

Autori

Dr. sc. Jasenka Pavičić (), mr. sc. Marijana Erk, mr. sc. Dušica Jurič, dr. sc. Sonja Kozar, dr. sc. Nikša Odžak*, Željko Kwokal i dr. sc. Biserka Raspor
Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Ruđer Bošković«, Bijenička c. 54, p. p 1016, 10001 Zagreb

*Institut za oceanografiju i ribarstvo, p. p 500, 21000 Split



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.03.

Voltametrijsko određivanje tragova metala u prirodnim vodama

Dario Omanović, Željko Peharec, Marko Branica

SAŽETAK: Izrađeni su i testirani novi osjetljivi elektrodni sustavi (elektroda s visećom živinom kapi (EVŽK) i elektroda s tankim slojem žive (ETSŽ). Prikazane su mogućnosti određivanja koncentracije otopljenih tragova metala u prirodnim vodama s dva nova elektrodna sustava. Diskutirane su prednosti i ograničenja svakog od njih. Granice detekcije iznose: $1,7 \text{ ngL}^{-1} \text{ Pb}^{2+}$ ($8 \times 10^{-12} \text{ M}$) za ETSŽ i $2,8 \text{ ngL}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$ ($2,5 \times 10^{-11} \text{ M}$) za EVŽK. Ovo pokazuje da se ovim sustavima mogu odrediti znatno niže koncentracije otopljenih tragova metala nego što je propisano zakonom za prvu vrstu vode (uredba o klasifikaciji voda NN 77/98 str. 1754). Kao primjer, prikazano je određivanje koncentracije otopljenih tragova metala (Zn, Cd, Pb i Cu) metodom dodatka standarda u uzorcima morske i riječne vode diferencijalnom pulsnom voltametrijom anodnog otapanja (DPASV) s oba elektrodna sustava.

Pokazano je da materijali od kojih su napravljeni pojedini dijelovi elektrodnog sustava imaju važan i velik utjecaj na određivanje koncentracije tragova metala i na njihovu specijaciju.

Postupci razaranja organske tvari pomoću mikrovalova kod određivanja ukupne koncentracije tragova metala u uzorcima prirodnim vodama uspoređeni su s klasičnim načinom razaranja pomoću ultraljubičastog zračenja (UV). Predloženi su postupci pripreme uzorka, te voltametrijski uvjeti mjerenja za pouzdano određivanje koncentracije otopljenih tragova metala.

KLJUČNE RIJEČI: tragovi metala, UV zračenje, mikrovalovi

Voltammetric Determination of Trace Metals in Natural Water

SUMMARY: The new sensitive electrode systems (hanging mercury drop electrode (HMDE) and thin mercury film glassy carbon disk electrode (TMFGCDE) are constructed and tested. The possibilities of dissolved trace metals determination using these new systems are shown. The advantages and the drawbacks of these systems are discussed in detail. The detection limits determined for the TMFGCDE and HMDE are: $1.7 \text{ ngL}^{-1} \text{ Pb}^{2+}$ ($8 \times 10^{-12} \text{ M}$) and $2.8 \text{ ngL}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$ ($2.5 \times 10^{-11} \text{ M}$), respectively. The obtained data show that these systems are capable of determining trace metal concentrations below the concentration levels which are obligatory for the first class water, according to the water classification regulations (Official Gazette 77/98, page 1754). As an example, the determination of dissolved trace metals (Zn, Cd, Pb and Cu) by a standard addition method in seawater and river-water samples using differential pulse anodic stripping voltammetry (DPASV) is presented.

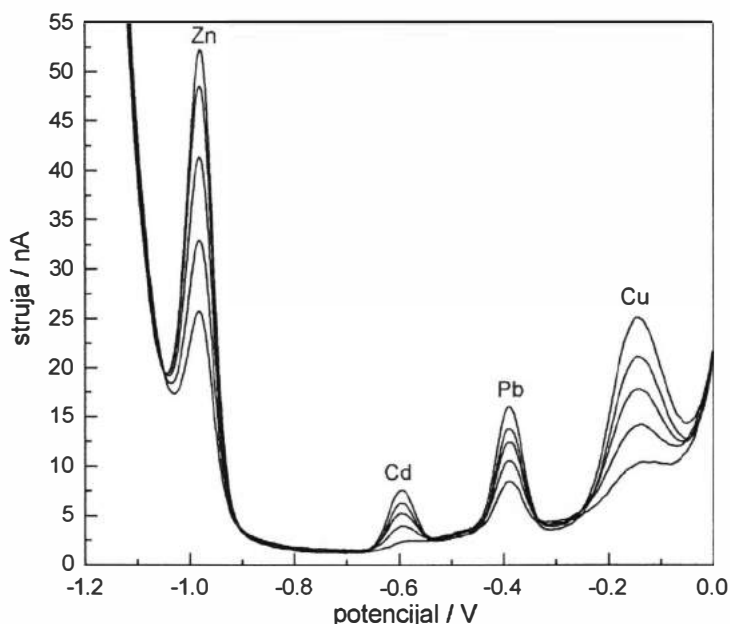
However, it is evident that the material which electrode assemblies are made of significantly influences determination and speciation of trace metals.

The removal of organic matter from the water samples by microwave and UV irradiation is compared. The procedures from the sample preparation and the voltammetric measurement conditions for reliable determination of trace metals in natural samples are proposed.

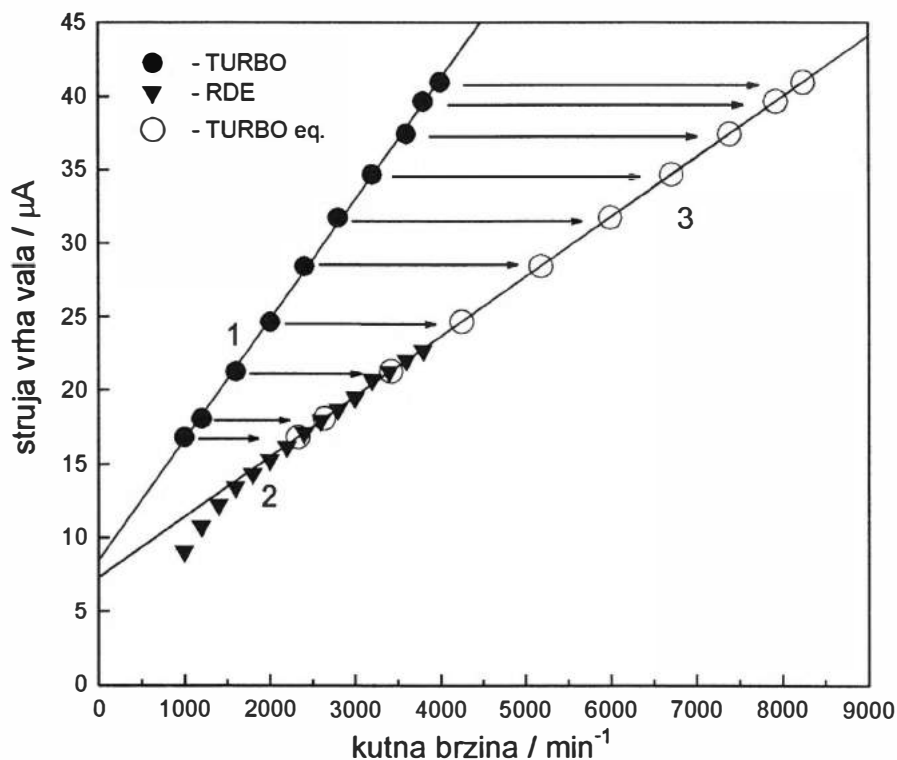
KEYWORDS: trace metals, UV irradiation, microwaves, water sample analysis

Voltametrijsko određivanje tragova metala (Zn, Tl, Cd, Pb, Cu) u prirodnim vodama prihvaćeno je zbog pouzdanosti, točnosti, jednostavnosti pripreme uzorka i brzine određivanja u sustav njemačkih normi DIN 1990. godine¹. Moderni razvoj kako elektrokemijske mjerne instrumentacije tako i elektrodnih sustava omogućio je direktno određivanje uz fizičko-kemijsku karakterizaciju tragova metala u prirodnim vodenim sustavima¹⁻⁶. Voltametrijom s anodnim otapanjem (ASV) jedna je od najviše korištenih elektrokemijskih metoda za određivanja otopljenih tragova metala. U radu su prikazane mogućnosti primjene novih elektrodnih sustava (s visećom živinom kapi i staklastim grafitom s tankim slojem žive) za određivanje vrlo niskih koncentracije otopljenih tragova metala u prirodnim vodenim sustavima^{5,6}.

Primjenljivost nove elektrode s visećom živinom kapi (MDE-1)⁶ u određivanju i specijaciji tragova metala u vodenim sustavima ostvarena je zamjenom materijala plastičnog miješala i staklene »frite« referentne elektrode s kvarcom. Smanjena je adsorpcija iona bakra(II) (1×10^{-7} M) sa 60% na manje od 20% pri niskim koncentracijama (2×10^{-8} M bakra(II)). Izmjenom oblika rotirajućeg miješala (izrađenog od kvarca) povećana je osjetljivost mjerenja uz postignutu granicu detekcije od $2,5 \times 10^{-11}$ M kadmija (u modelnoj otopini 0,03 M HNO₃). Na slici 1 prikazani su »izgladeni« voltamogrami za određivanje tragova cinka(II), kadmija(II), olova(II) i bakra(II) metodom dodatka standarda uz primjenu diferencijalne pulsne voltametrije s anodnim otapanjem (DPASV) pri pH = 3,5. Metodom linearne regresije izračunate su ukupne koncentracije tragova Zn, Cd, Pb i Cu uzorku morske vode (postaja E4a u Šibenskom akvatoriju): $8,3 \pm 1,1 \times 10^{-9}$ M Zn²⁺, $1,5 \pm 0,3 \times 10^{-10}$ M Cd²⁺, $1,5 \pm 0,1 \times 10^{-9}$ M Pb²⁺ i $2,2 \times 0,2 \times 10^{-9}$ M Cu²⁺. Relativno visoka koncentracija olova(II) u uzorku može se pripisati prometnicama u blizini postaje za uzorkovanje.



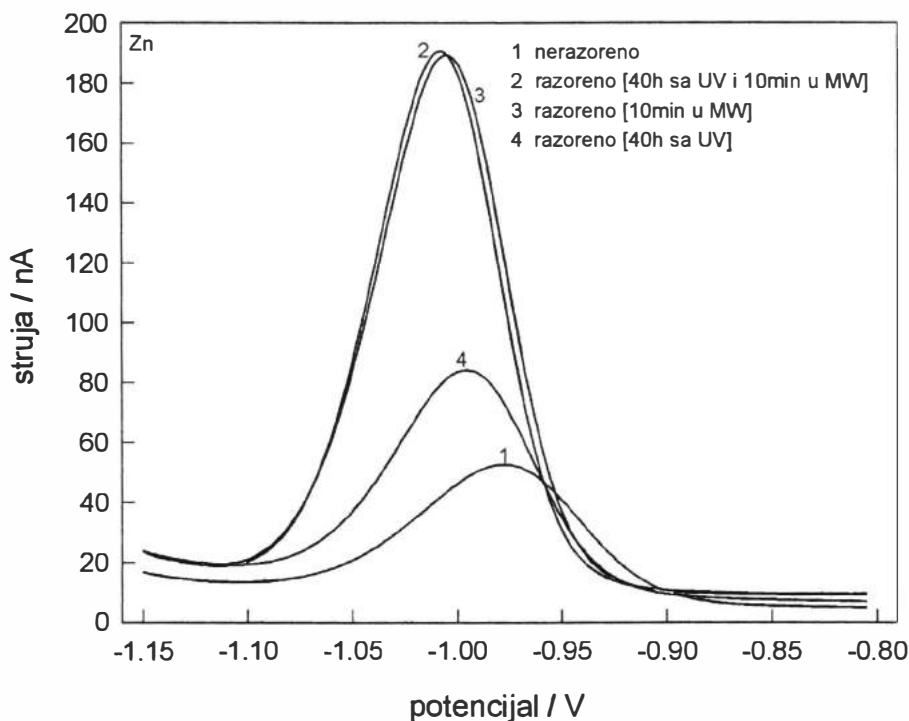
Slika 1. DPAS voltamogrami određivanja koncentracije Zn(II), Cd(II), Pb(II) i Cu(II) metodom dodatka standarda (pH = 3,5) u uzorku morske vode uzetog s postaje E4A u Šibenskom akvatoriju.



Slika 2. Ovisnost struje vrha vala 10^{-7} M olova(II) o kutnoj brzini turbinske miješalice i rotirajuće elektrode; (1) – turbo sustav, (2) – RDE, (3) – prenesene vrijednosti struja vrha vala dobivene s turbo sustavom na RDE pravac; osnovni elektrolit $0,5$ M NaClO_4 , $\text{pH} = 2$.

Osjetljivost elektrode s tankim slojem žive povećana je novim »turbo« sustavom zbog učinkovite dopreme otopine na elektrodnu površinu koji radi na principu »wall-jet« sustava. Uspoređujući s rotirajućom elektrodom pri istoj brzini vrtnje, »turbo« miješanje povećava osjetljivost za gotovo dva puta (slika 2.). Postignuta granica detekcije s ovom elektrodom iznosi 8×10^{-12} M olova(II). Rotirajuća elektroda bi istu osjetljivost postigla kod dvostruko većeg broja okretaja. Prednost »turbo« sustava očituje se u većoj osjetljivosti, tj. kraćem vremenu potrebnom za rutinske analize čistih prirodnih voda i jednostavnijem konstrukcijskom rješenju same elektrode koja je stacionarna. Tanki sloj žive stvaran je na potencijalu $-0,9$ V vs. Ag/AgCl tijekom 10 min uz miješanje od 4000 min^{-1} elektrodepozicijom iz vodene otopine $0,55$ M NaCl , 3×10^{-2} M HNO_3 , ($\text{pH} < 2$) i koncentracije žive 10^{-4} M. Nakon stvaranja sloja, otopina u kojoj se stvarao tanki sloj žive zamijenjena je uzorkom, uz prethodno ispiranje elektrodnog sustava redistiranim vodom. Ovom elektrodom određene su koncentracije tragova metala u čistom uzorku morske vode iz Šibenskog akvatorija (postaja C1) i iznose: $5,6 \pm 0,5 \times 10^{-11}$ M Cd^{2+} , $4,0 \pm 0,1 \times 10^{-10}$ M Pb^{2+} , $2,6 \pm 0,3 \times 10^{-9}$ M Cu^{2+} . Koncentracije ovi metala na razini su očekivanih za morsku vodu priobalnog područja.

Metali u prirodnim vodama, koji su prisutni u tragovima kao što su cink, kadmij, olovo i bakar često su vezani u inertne komplekse s prisutnim organskim spojevima i kao takve, ne mogu se odrediti metodom DPASV bez razaranja. Po obliku, visini te po



Slika 3. DPAS voltamogrami cinka(II) u uzorku podzemne vode uzetog u području deponije otpada grada Zagreba (Jakuševac) kod različitih načina razaranja organske tvari.

pomaku poluvalnog potencijala anodnog vala vidljiv je veći ili manji utjecaj organske tvari koja je prisutna u takvim mjerenim prirodnim vodama. Za određivanje ukupne koncentracije metala DPASV-om u uzorku je potrebno prije mjerenja u potpunosti razoriti organsku tvar. Ozračivanjem zakiseljenog uzorka UV lampom ili razaranja kiselinama koji puta nije dovoljno. Poboljšana metoda razaranja je pomoću mikrovalne pećnice. Postupak razaranja sastoji se od isparavanja uzorka do suha u mikrovalnoj pećnici (teflonska posuda), a zatim se taj ostatak otopi u kiselini i nadopuni sa redistiliranom vodom na zahtjevani volumen. Slika 3. pokazuje kako su voltamogrami cinka(II) u uzorku podzemne vode uzetog s područja deponije otpada grada Zagreba (Jakuševac) najbolji nakon 10 minutnog razaranja uzorka u mikrovalnoj pećnici. Uspoređujući razaranja uzorka pomoću UV zračenja i mikrovalova vidljivo je znatno poboljšanje novim načinom razaranja uz drastično smanjenje vremena razaranja. Ovaj način razaranja ispitan je na nizu modelnih otopina i nije uočen gubitak ili povećanje (kontaminacija) koncentracije metala u uzorku.

Može se zaključiti kako su navedena dva elektrodna sustava pogodna za pouzdano određivanja koncentracije otopljenih tragova metala u svih pet vrsta voda, razvrstanih prema uredbi o klasifikaciji voda (NN 77/98 str. 1754)⁷ (I vrsta: $<2 \mu\text{gCu/l}$ ($<3,15 \times 10^{-8} \text{ M}$), $<50 \mu\text{gZn/l}$ ($<7,65 \times 10^{-7} \text{ M}$), $<0,1 \mu\text{gCd/l}$ ($<9,10 \times 10^{-10} \text{ M}$), $<0,1 \mu\text{gPb/l}$ ($<4,81 \times 10^{-10} \text{ M}$).

Postupak određivanja »ukupne« koncentracije tragova metala u prirodnom vodenom uzorku sastoji se iz slijedećeg:

- uzimanje prirodne vode metodama koje ne vode do promjene koncentracije tragova metala u uzorku
- zakiseljavanje uzorka na $\text{pH} < 2$ odmah nakon uzorkovanja
- razaranje organske tvari pomoću UV lampe i/ili mikrovalova
- podešavanje pH uzorka za mjerenje ($\text{pH} = 4,7$ za cink(II), $\text{pH} < 2$ za kadmij(II), olovo(II) i bakar(II))
- mjerenje koncentracije otopljenih tragova metala metodom dodatka standarda pomoću voltometrije s anodnim otapanjem (ASV)

Literatura

1. DIN 38 406 Teil 16, Deutsche Norm, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, 1990.
2. M. Branica, Environmental research in aquatic systems, Scientific series of the International Bureau Volumen 3, Forschungszentrum Jlich, Germany, (1990).
3. T.M. Florence, Electrochemical Approaches to trace element speciation in waters. A review, Analyst, 111 (1986) 489.
4. T. Magjer i M. Branica, A new electrode system with efficient mixing of electrolyte, Croat. Chem. Acta, 49 (1977) L1.
5. D. Omanović, Ž. Peharec, T. Magjer, M. Lovrić i M. Branica, Wall-Jet Electrode System for Anodic Stripping Voltammetry, Electroanalysis, 6 (1994) 1029.
6. D. Omanović, Ž. Peharec, I. Pižeta, G. Brug i M. Branica, The New Mercury Drop Electrode for Trace Metal Analysis, Anal. Chim. Acta, 339 (1997) 147.
7. Narodne Novine, Uredba o klasifikaciji voda, broj 77/1998 1754.

Autori

Mr. sc. Dario Omanović, email: omanovic@rudjer.irb.hr

Željko Peharec, email: peharec@rudjer.irb.hr

Prof. dr. sc. Marko Branica, email: branica@rudjer.irb.hr

Laboratorij za fizičku kemiju tragova, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Ruđer Bošković«, Bijenička cesta 54, PP 1016, 10 000 Zagreb, Hrvatska
Tel: +385 1 4680 231

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



Rad 3.04.

Pseudopolarografska karakterizacija tragova metala u vodenim sustavima

Dario Omanović, Željko Peharec, Marko Branica

SAŽETAK: Fizičko-kemijski oblici tragova otopljenih metala istraživani su razvijenom automatiziranom pseudopolarografskom metodom u modelnim otopinama kao i u uzorcima prirodne morske vode, i to elektrodom s višećom živinom kapi i elektrodom od staklastog grafita s tankim slojem žive uz »turbo« miješanje.

Prikazano je određivanje konstanti stabilnosti labilnih kompleksa olova(II) s kloridom iz pomaka polovalnih potencijala automatski mjerenih pseudopolarograma. U otopinama konstantne ionske jakosti 4 M ((4-X) M NaClO₄ + X M NaCl) i koncentracije olova(II) od 10 μg L⁻¹ (5 × 10⁻⁸ M) kod pH = 2 prividne konstante stabilnosti iznose: logβ₁ = 0,61 ± 0,05, logβ₂ = 1,77 ± 0,02, logβ₃ = 2,18 ± 0,02, logβ₄ = 1,85 ± 0,02. Ove vrijednosti u suglasnosti su s već objavljenim na mnogo višim koncentracijama otopljenog metala.

Na temelju struja anodnog vrha vala pri odgovarajućim potencijalima akumulacije (pseudopolarografska mjerenja) ustanovljeno je da bakar u morskoj vodi postoji uglavnom u obliku jakih inertnih kompleksa (>99%).

Diskutirane su prednosti i ograničenja pseudopolarografskog pristupa za fizičko-kemijsku karakterizaciju (specijaciju) otopljenih tragova metala na tako niskim koncentracijama koje su prisutne u prirodnim vodenim sustavima.

KLJUČNE RIJEČI: pseudopolarografija, specijacija, tragovi otopljenih metala

Pseudopolarographic Characterization of Trace metals in Natural Waters

SUMMARY: The specification of trace metals has been studied in model solutions as well as in seawater samples using a pseudopolarographic method. The results obtained by two techniques, one using a hanging mercury drop electrode (HMDE) and the other using a thin mercury film glassy carbon disk electrode (TMFGCDE) with "turbo" mixing system, are compared.

The stability constants of the labile lead(II) complexes with chloride ions were determined from the shift of the half-wave potential of automatically measured pseudopolarograms. In the solution of the ionic strength of 4 M ((4-X) M NaClO₄ + X M NaCl) at the concentration level of lead(II) ions of 10 μg L⁻¹ (5 × 10⁻⁸ M), at pH = 2, the apparent stability constants of the lead-chloro complexes are determined as follows: logβ₁ = 0.61 ± 0.05, logβ₂ = 1.77 ± 0.02, logβ₃ = 2.18 ± 0.02, logβ₄ = 1.85 ± 0.02.

On the basis of the anodic peak currents at the adequate accumulation potentials (pseudopolarographic measurements), it has been established that copper in natural seawater exists mainly in the form of strong inert complexes (>99%).

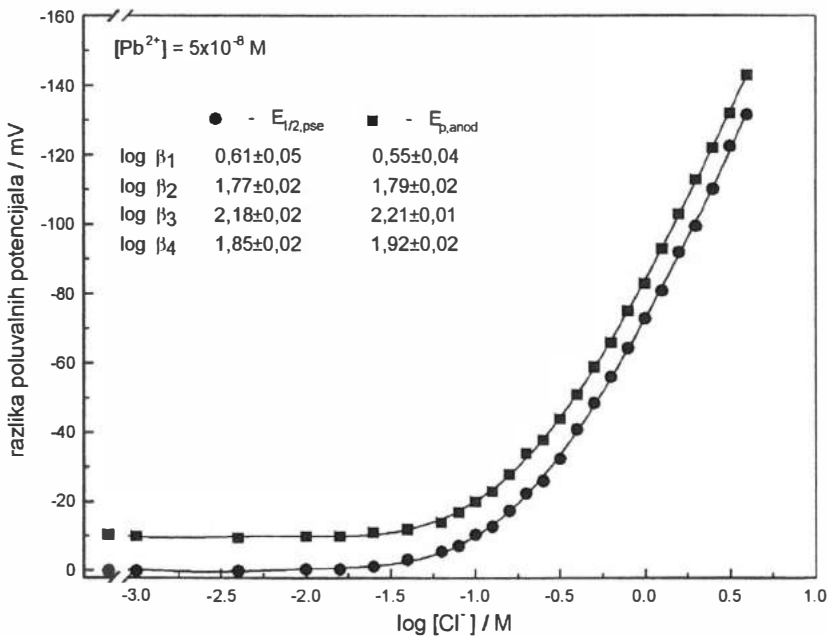
The advantages and limitations of the pseudopolarographic approach for the physico-chemical characterization (speciation) of trace metals in aquatic systems are discussed in detail.

KEYWORDS: pseudopolarography, speciation, dissolved trace metals

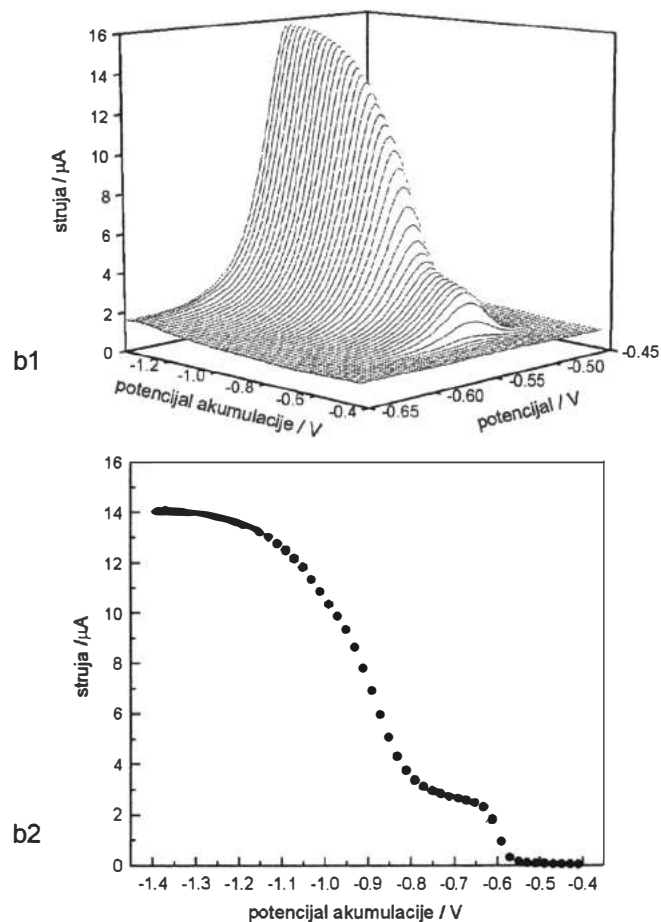
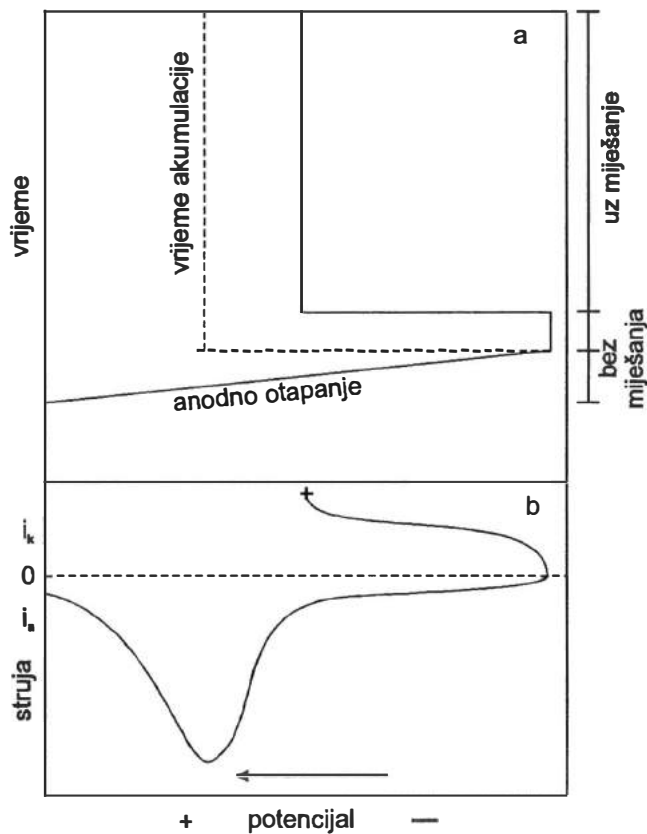
Pseudopolarografija je analitička metoda kojom se mogu odrediti konstante stabilnosti različitih kompleksa iona metala pri niskim koncentracijama koje su prisutne u prirodnim nezagađenim vodama (od 10^{-8} do 10^{-11} M) je^{1,7}.

Pseudopolarografija se sastoji od ciklusa uzastopnog postepenog mijenjanja potencijala katodne akumulacije na radnoj elektrodi i mjerenja voltametrijom anodnog otapanja. Struja anodnog otapanja ovisi o vremenu i potencijalu akumulacije i takve krivulje (struja-potencijal) slične su polarogramu i nazvane su pseudopolarografskim krivuljama (Slika 1.)^{1,3}.

Pseudopolarografija, kao nova metoda za specijaciju tragova metala u prirodnim vodama, pokazala se primjenljivom za određivanje konstanti stabilnosti u vodenim otopenama labilnih i inertnih kemijskih vrsta^{1-4,6,7}. Elektrokemijska karakteristika labilnih kompleksa je da je njihov poluvalni potencijal redukcije pomaknut od »slobodnog« metala prema negativnijim vrijednostima. Inertni metalni kompleksi reduciraju se odvojeno na negativnijim potencijalima od potencijala redukcije slobodnog odnosno labilno kompleksiranog metala. DeFord-Humeova metoda određivanja stabilnosti labilnih kompleksa metala zasnovana je na principu pomaka polarografskog poluvalnog potencijala o koncentraciji liganda i vrijedi u slučaju reverzibilnih elektrodnih procesa uz mogućnost mjerenja i ireverzibilnih reakcija⁸. Metoda je primjenljiva za relativno visoke koncentracije iona metala (10^{-4} M i više). Kako je poluvalni potencijal *pseudopolarograma* u direktnoj ovisnosti o poluvalnom potencijalu *polarograma* metoda se može primijeniti i na rezultate pseudopolarografskih mjerenja (za reverzibilne procese) uz određene pretpostavke¹⁻³. Tako su određene konstante stabilnosti labilnih kompleksa olova(II) s ionima klorida iz pomaka poluvalnih poten-



Slika 2. Pomak poluvalnih potencijala pseudopolarograma (●) i potencijala vrha vala anodnih struja (■) u ovisnosti o logaritmu koncentracije Cl^- iona pri ionskoj jakosti 4 M ((4-X) M $NaClO_4$ + M $NaCl$), pH = 2; (—) – računski krivulja. Zbog bolje preglednosti, razlike poluvalnih potencijala vrha vala anodnih struja pomaknute su za 10 mV.



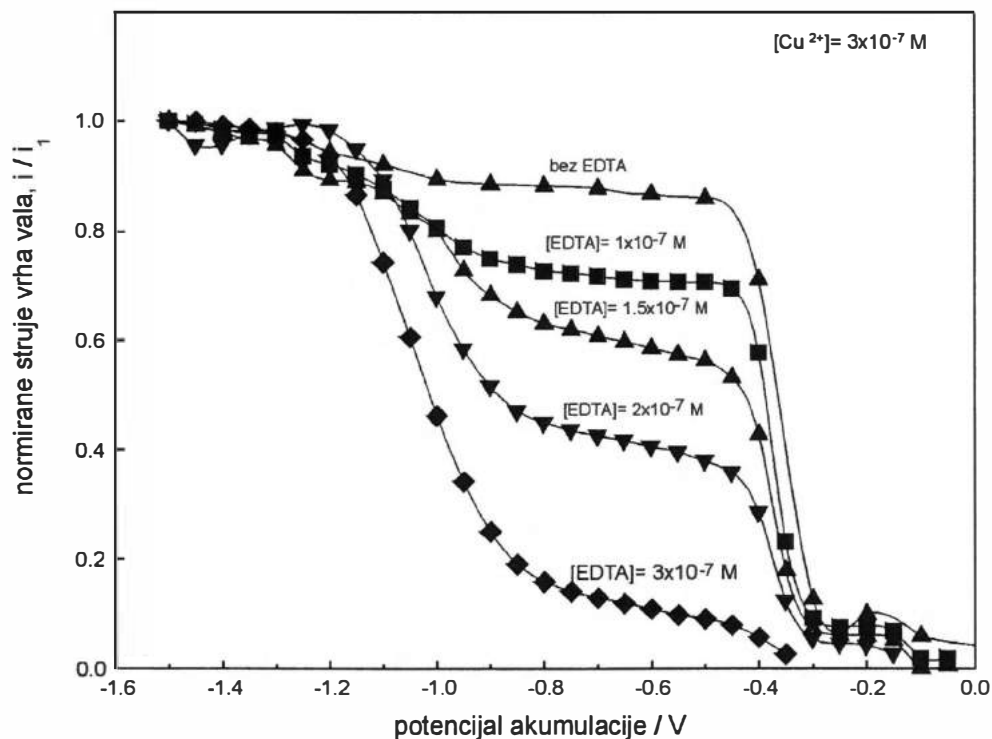
Slika 1. Shematski prikaz snimanja pseudopolarograma. (a) – ovisnost potencijala o vremenu i (b) – anodna krivulja struja-potencijal.

Voltagrami (b1) dobiveni pri snimanju pseudopolarograma (b2) olova(II) u otopini 4 M NaCl, pH = 7,65 ($[Pb^{2+}] = 8 \times 10^{-8}$ M, $[NTA] = 1,6 \times 10^{-6}$ M) na elektrodi s tankim slojem žive.

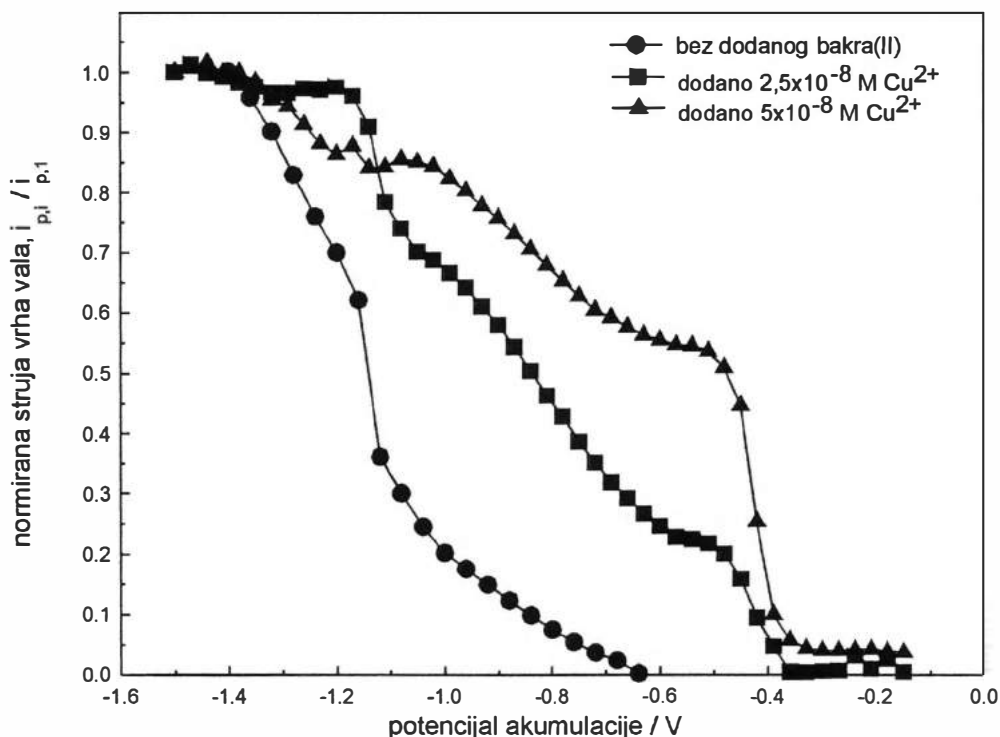
cijala automatski mjerenih pseudopolarograma (Slika 2.). Dodatak otopine (NaCl) u elektrokemijsku ćeliju kontroliran je automatski. U otopini ionske jakosti 4 M ((4- X) M NaClO₄ + X M NaCl), koncentracije olova(II) od 5×10^{-8} M i pH = 2, prividne konstante stabilnosti iznose: $\log\beta_1 = 0,61 \pm 0,05$, $\log\beta_2 = 1,77 \pm 0,02$, $\log\beta_3 = 2,18 \pm 0,02$, $\log\beta_4 = 1,85 \pm 0,02$.

Kao primjer određivanja inertnih kompleksa tragova metala prikazani su rezultati mjerenja u modelnim otopinama (CuEDTA, 0,55 M NaCl, pH = 8,1) (slika 3.), kao i u uzorcima morske vode pomoću pseudopolarografske metode (slika 4.). Upotrijebljene elektroda s visećom živinom kapi i elektroda od staklastog grafita s tankim slojem žive uz »turbo« miješanje. Na temelju struja anodnog vrha vala pri odgovarajućim potencijalima akumulacije (pseudopolarografska mjerenja) ustanovljeno je da bakar u prikazanom uzorku prirodne morske vode uglavnom se nalazi u obliku jakih inertnih kompleksa (>99%) (Slika 4.).

Za određivanje kapaciteta kompleksiranja metala potrebno je izabrati potencijal akumulacije gdje se reducira samo slobodni/labilni dio otopljenog metala, odnosno da se ne reducira i dio inertnog kompleksa. Pseudopolarografska mjerenja pokazuju koji je potencijal kod kojeg će se iz otopine akumulirati samo onaj dio metala koji je slobodan odnosno labilno kompleksiran, a ne i dio inertnog kompleksa⁹.



Slika 3. Pseudopolarogrami 3×10^{-7} M bakra u modelnoj otopini 0,55 M NaCl, pH = 8,1 bez EDTA i s različitim dodacima EDTA dobiveni na elektrodi od staklastog grafita s tankim slojem žive; pseudopolarogram su normirani na prvu vrijednost struje vrha vala; uvjeti rada (DPASV): $E_i = -0,85$ V, $E_f = 0$ V, $a = 0,025$ V, $t_{acc} = 30$ s, $t_{int} = 0,3$ s, $t_{pul} = 0,05$ s.



Slika 4. Pseudopolarogrami bakra u uzorku morske vode ($S = 38\%$, $\text{pH} = 8,2$): (●) – bez dodanog bakra(II), (■) – s dodatkom $2,5 \times 10^{-8}$ M Cu^{2+} i (▲) – s dodatkom 5×10^{-8} M Cu^{2+} ; pseudopolarogrami su normirani na prvu vrijednost struje vrha vala; (koncentracija bakra(II) određena u uzorku morske vode ($\text{pH} < 2$) iznosi $1,6 \times 10^{-8}$ M); uvjeti rada (DPASV): $E_i = -0,8$ V, $E_f = -0,1$ V, $a = 0,025$ V, $t_{\text{acc}} = 180$ s, $t_{\text{int}} = 0,2$ s, $t_{\text{pul}} = 0,04$ s.

Literatura

1. S. Bubić i M. Branica, Voltammetric characterization of the ionic state of cadmium present in seawater. *Thalassia Jugoslav.*, 9 (1973) 47.
2. M. Branica, D. M. Novak i S. Bubić, Application of anodic stripping voltammetry to determination of the state of complexation of traces of metal ions at low concentration levels. *Croat. Chem. Acta*, 49 (1977) 539.
3. M. Lovrić i M. Branica, Application of ASV for trace metal speciation III. Simulated and experimental neopolarograms using rotated disk electrode. *Croat. Chem. Acta*, 53 (1980) 485.
4. Š. Komorsky-Lovrić, M. Lovrić i M. Branica, Application of ASV for trace metal speciation. Part V. The pseudo-polarography of zinc by RGCE. *J. Electroanal. Chem.*, 214 (1986) 37.
5. M. Branica, I. Pižeta i I. Marić, Application of ASV for trace metal speciation. Part VI. A computerized pseudopolarographic system, *J. Electroanal. Chem.*, 214 (1986) 95.
6. B.L. Lewis, G.W. Luther III, H. Lane i T.M. Church, Determination of Metal-Organic Complexation in Natural Waters by SWASV with Pseudopolarograms, *Electroanalysis*, 7 (1995) 166.
7. G. Branica i M. Lovrić, Pseudopolarography of totally irreversible redox reactions, *Electrochim. Acta*, 42 (1997) 1247.
8. B. Čosović, D. Degobbi, H. Bilinki i M. Branica, Inorganic cobalt species in seawater, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46 (1982) 151.
9. D. Omanović, I. Pižeta, Ž. Peharec i M. Branica, Voltammetric determination of the metal complexing capacity in model solutions. *Mar. Chem.*, 53 (1996) 121.

Autori

Mr. sc. Dario Omanović, email: omanovic@rudjer.irb.hr

Željko Peharec, email: peharec@rudjer.irb.hr

Prof. dr. sc. Marko Branica, email: branica@rudjer.irb.hr

Laboratorij za fizičku kemiju tragova, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Ruđer Bošković«, Bijenička cesta 54, PP 1016, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Tel: +385 1 4680 231



Rad 3.05.

Voltometrijsko određivanje kapaciteta kompleksiranja bakra u prirodnim vodama

Dario Omanović, Ivanka Pižeta, Željko Peharec, Marko Branica

SAŽETAK: Istraživani su uvjeti određivanja kapaciteta kompleksiranja bakra (KKCu) u modelnim elektrolitnim otopinama i u uzorcima prirodnih voda upotrebom elektrode s visećom živinom kapi (HMDE) i elektrode s tankim slojem žive (TMFE) primjenom diferencijalne pulsne voltimetrije s anodnim otapanjem (DPASV). Na modelnim otopinama utvrđeno je da se kod određivanja KKCu elektrodom s visećom živinom kapi u otopinu mora dodati površinsko aktivna tvar Triton-X-100, da bi se redukcijski valovi bakra i njegovih inertnih kompleksa dovoljno razdvojili. Tako se omogućuje redukcija samo »slobodnog« (i labilno kompleksiranog) bakra. Razdvajanje ovih redukcijskih valova kod elektrode s tankim slojem žive postiže se povećanjem debljine sloja žive na staklastom grafitu.

Adsorpcija tragova metala na krute površine elektrokemijske ćelije znatno utječe na određivanje kapaciteta kompleksiranja metala kod pH vrijednosti uzorka prirodnih voda (pH oko 8). Utvrđeno je da se tragovi metala najmanje adsorbiraju na elektrodne sustave izrađene od kvarca.

Primjenljivost predložene procedure eksperimentalno je potvrđena mjerenjem KKCu u uzorcima morske, riječne i podzemne vode.

KLJUČNE RIJEČI: kapacitet kompleksiranja bakra, pseudopolarografija, otopljeni tragovi metala

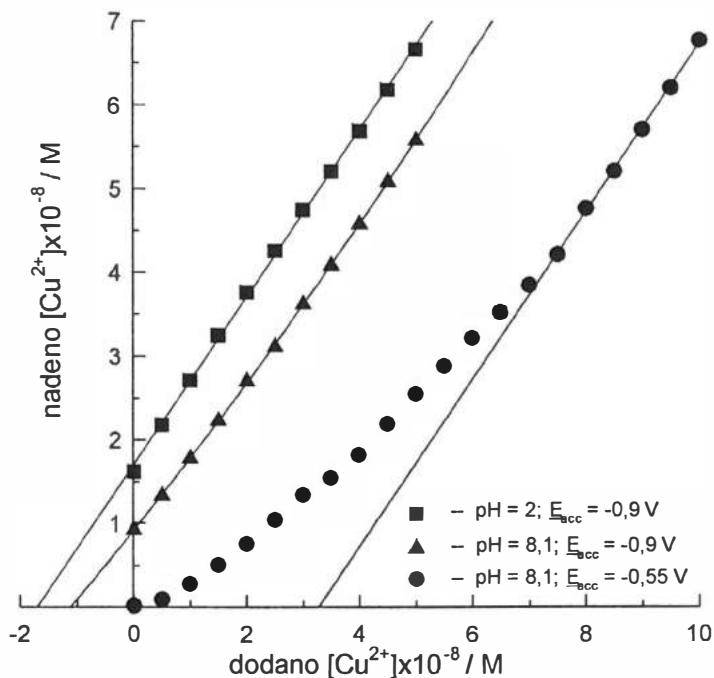
Voltammetric Determination of Copper Complexing Capacity in Natural Waters

SUMMARY: Conditions of copper complexing capacity (CCCu) determination in model electrolyte solutions and natural water samples using differential pulse anodic stripping voltammetry (DPASV) with two different working electrodes (hanging mercury drop electrode (HMDE) and the other using a thin mercury film glassy carbon disk electrode (TMFGCDE)) are investigated. In model solutions, the separation of the reduction potentials of free ions and labile copper(II) complexes vs. the inert one (Cu-EDTA) at HMDE is achieved by addition of Triton-X-100. In such a way, the reduction of free (and labile) copper complexes is achieved only by the selection of an appropriate accumulation potential. The TMFGCDE yields better separation of those reduction processes when thinner film of mercury is applied without the addition of surfactants.

Adsorption of trace metals onto electrode assemblies can significantly influence the determination of the metal complexing capacity and natural water samples (pH about 8). It has been found that the minimal adsorption of trace metals occurs if such electrode assemblies are made of quartz. The proposed procedure has been ascertained by experimental determination of CCCu in sea-, river- and ground-water samples.

KEYWORDS: copper complexing capacity, pseudopolarography, dissolved trace metals, seawater, groundwater

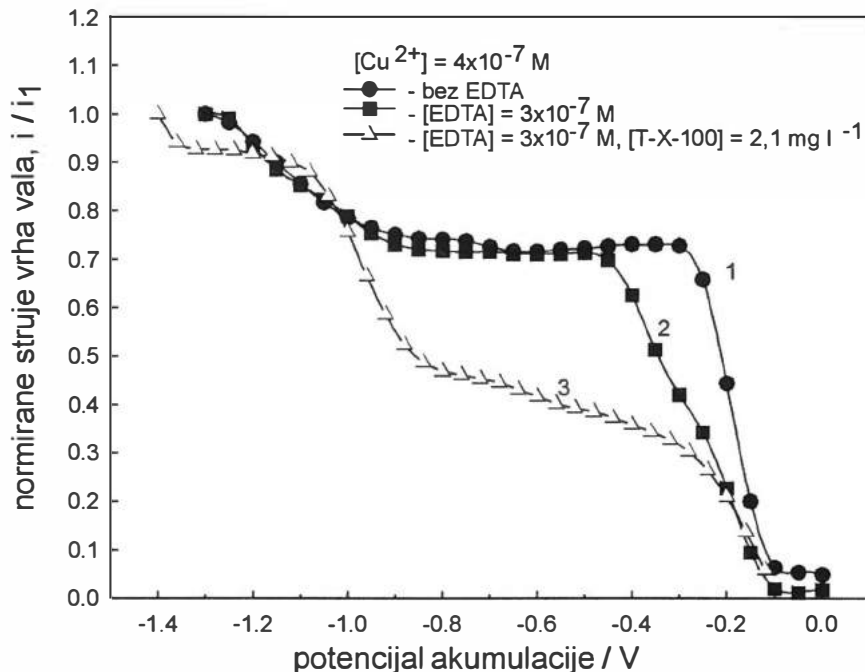
Pri karakterizaciji prirodnih voda kao kvalitativna i kvantitativna mjera prisutnosti inertnih kompleksa koristi se kapacitet kompleksiranja metala (KKM)¹⁻⁷. KKM se izražava kao ekvivalent koncentracije vezanja metala, i govori koliko je metala potrebno dodati u uzorak prirodne vode da bi se on počeo javljati u obliku slobodne ili labilno kompleksirane vrste². Indirektno KKM pokazuje kolika je mogućnost prirodnih voda da vežu dodani metal u inertne komplekse i tako održavaju »reaktivnu« koncentraciju tragova metala na manje toksičnoj razini. Tako se može odrediti koliko je grupa pojedinih vrsta liganda prisutno u uzorku, uz određivanje konstanti stabilnosti metalnih kompleksa^{3,4}. Prema izračunatim konstantama stabilnosti metalnih inertnih kompleksa može se predvidjeti stvarna raspodjela tragova metala u prirodnim vodama. Kapacitet kompleksiranja uzorka prirodne vode za neki metal izražava se u ekvivalentima »vezane« koncentracije tog metala. Voltometrija s anodnim otapanjem (ASV) jedna je od najčešće upotrebljivanih metoda za određivanje kapaciteta kompleksiranja. Ona se zasniva na uzastopnom dodavanju standardne otopine otopljenog metala u prirodni uzorak vode, te mjerenja strujnog odziva koji odgovara koncentraciji slobodnog/labilnog metala u otopini^{6,7}. Standardna otopina metala dodaje se sve dok nagib titracione krivulje zbog zasićenja slobodnih liganda ne postane konstantan. KKM se izračunava prema Ružić-Van den Berg metodi^{3,4}. Potrebno je utvrditi da se mjeri samo slobodni/labilni dio metala, odnosno da se ne mjeri i dio inertnog kompleksa. Iz pseudopolarografskih mjerenja može se utvrditi potencijal akumulacije kod kojeg će se iz otopine akumulirati samo onaj dio metala koji je slobodan/labilan⁷. Pogrešno odabrani potencijal akumulacije može isključiti dio slobodnog/labilnog metala ili uključiti i dio inertnih kompleksa bakra. Na slici 1. prikazan je primjer utjecaja potenci-



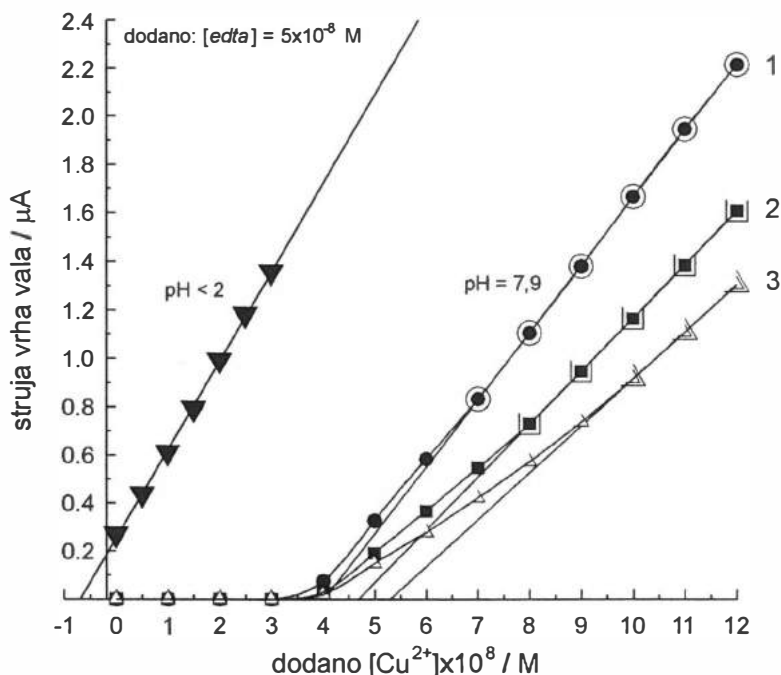
Slika 1. Određivanje kapaciteta kompleksiranja bakra(II) u uzorku morske vode (pH = 8,1) elektrodom s tankim slojem žive (turbo sustav); uvjeti rada (DPASV): $t_{acc} = 300$ s, $a = 0,025$ V, $t_{int} = 0,2$ s, $t_{pul} = 0,05$ s.

jala akumulacije na rezultate određivanja kapaciteta kompleksiranja bakra(II) u uzorku morske vode. Na potencijalu akumulacije $-0,9$ V titracione točke leže na krivulji čiji se nagib neznatno mijenja dodavanjem bakra(II) u otopinu. Na temelju tog mjerenja može se zaključiti da je koncentracija liganda koji s bakrom daju inertni kompleks jako niska. Međutim, mjerenja na potencijalu akumulacije $-0,55$ V, koji je određen iz pseudopolarograma, pokazuju da je razina koncentracije inertnih liganda mnogo viša. Kapacitet kompleksiranja bakra određen za taj uzorak morske vode na ovom potencijalu iznosi 5×10^{-8} M.

Kompleksiranje bakra(II) s EDTA u otopini $0,55$ M NaCl ($\text{pH} = 7,8$) izabrano je kao model kompleksiranja bakra(II) u prirodnim vodama. Pseudopolarografska ispitivanja kompleksiranja bakra(II) s EDTA elektrodom s visećom živinom kapi (SMDE, PAR 303A) u otopini $0,55$ M NaCl, pokazala su da je val CuEDTA kompleksa blizu vala slobodnog/labilnog bakra (Slika 2.). Iz literature je poznato da kloridni ioni stabiliziraju jednovalentni bakar. Redukcija bakra(I) u amalgam, ovisno o koncentraciji klorida, odvija se na potencijalima negativnijim od 0 V. Pseudopolarografski val na potencijalu oko $-0,180$ V odgovara redukciji jednovalentnog bakra, a negativniji val na potencijalu oko $-0,370$ V odgovara dvoelektronskoj redukciji CuEDTA kompleksa. Blizina dva vala onemogućava pouzdan odabir potencijala akumulacije kod određivanja kapaciteta kompleksiranja bakra. Dodatkom površinsko aktivne tvari Triton-X-100 otežana je redukcija Cu EDTA kompleksa i val je pomaknut prema negativnijim potencijalima, dok je potencijal redukcije bakra(I) ostao nepromijenjen. Time je dobiveno široko područje potencijala na kome se reducira samo slobodni/labilni



Slika 2. Pseudopolarogrami bakra bez EDTA (●), s dodatkom EDTA (■) i dodatkom EDTA i T-X-100 (▲); osnovni elektrolit: $0,55$ M NaCl, $\text{pH} = 7,8$; uvjeti mjerenja (DPASV): $E_i = -0,3$ V, $E_f = 0$ V, $a = 0,025$ V, $t_{\text{acc}} = 180$ s. Struje vrha vala normirane su na prvu vrijednost (i / i_1).



Slika 3. Određivanje kapaciteta kompleksiranja bakra(II) elektrodom s tankim slojem žive (turbo sustav) pri različitom vremenu čekanja između pojedinih dodataka standardne otopine bakra(II): (1) – 60 s, (2) – 180 s i (3) – 360 s; u otopinu je na početku mjerenja dodano 5×10^{-8} M EDTA; osnovni elektrolit: 0,55 M NaCl, pH = 7,9; uvjeti mjerenja (DPASV): $E_{acc} = -0,55$ V, $t_{acc} = 120$ s, $a = 0,025$ V, $t_{acc} = 0,2$ s, $t_{acc} = 0,05$ s.

bakar, što je uvjet za mjerenje kapaciteta kompleksiranja bakra metodom s anodnim otapanjem. Kako je pomak poluvalnog potencijala inertnog kompleksa ovisan o konstanti stabilnosti tog kompleksa, za pretpostaviti je da će se inertni kompleksi bakra s ligandima prisutnim u prirodnim vodama reducirati u blizini potencijala redukcije jednovalentnog bakra. Dodatak površinsko aktivne tvari T-X-100 poboljšava mjerenje kapaciteta kompleksiranja bakra u prirodnim vodama u kojima ima klorida.

Određivanje kapaciteta kompleksiranja bakra na elektrodi od staklastog grafitu s tankim slojem žive različito je na elektrodi s višećom živinom kapi. Redukcija CuEDTA kompleksa, bez dodatka T-X-100, odvija se na potencijalima dosta negativnijim od redukcije bakra(I) i ovisna je o debljini sloja žive. Povećanjem debljine sloja žive potencijal redukcije CuEDTA kompleksa pomiče se prema pozitivnijim potencijalima. Moguće objašnjenje razdvajanja redukcijskih potencijala slobodnog i kompleksiranog bakra je da se redukcija CuEDTA kompleksa odvija i na površini staklastog grafitu (na negativnijim potencijalima) kao i na sloju žive.

Mjerenja ovom elektrodom u modelnoj otopini 0,55 M NaCl (pH oko 8) pokazala su da se i bez dodatka EDTA dobiva »prividni« kapacitet kompleksiranja metala (olova(II) i bakra(II)). Ovaj prividni kapacitet kompleksiranja pripisan je adsorpciji tragova metala na dijelove elektrodnog sustava koji su u kontaktu s otopinom. Adsorpcija tragova metala može se smanjiti uporabom odgovarajućeg materijala za posuđe i dijelove elektrodnog sustava koji manje adsorbiraju kako slobodni, tako i vezani dio meta-

la. U našim pokusima kvarcno staklo se pokazalo kao ono koje najmanje adsorbira tragove metala kod pH vrijednosti uzorka prirodnih voda. Utjecaj adsorpcije tragova metala kod određivanja kapaciteta kompleksiranja bakra(II) u modelnoj otopini 0,55 M NaCl (pH = 7,9) ilustriran je na slici 3. Povećanjem vremena čekanja nakon dodatka bakra(II) u otopinu (1, 3 i 6 min), kapacitet kompleksiranja raste i tako izračunate vrijednosti iznose: $4,9 \pm 0,2 \times 10^{-9}$ M (1 min. čekanja), $5,5 \pm 0,2 \times 10^{-9}$ M (3 min. čekanja) i $6,1 \pm 0,3 \times 10^{-9}$ M (6 min. čekanja). Vidljivo je kako adsorpcija bakra na površine elektrolitnog sustava (a to vrijedi i za druge tragove metala) unosi znatnu pogrešku kod određivanja kapaciteta kompleksiranja bakra.

Literatura

1. C.J.M. Kramer i J.C. Duinker, Complexation capacity and conditional stability constants for copper of sea- and estuarine waters, sediment extracts and colloids. u: C. J. M. Kramer and J. C. Duinker (Ur.), Complexation of trace metals in natural waters. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague, 1984.
2. G. Scarano, E. Bramanti i A. Zirino, Determination of copper complexation in sea water by a ligand competition technique with voltammetric measurements of labile metal fraction. *Anal. Chim. Acta*, 264 (1992) 153.
3. Ružić, Theoretical aspects of the direct titration of natural waters and its information yield for trace metal speciation. *Anal. Chim. Acta*, 140 (1982) 99.
4. C.M.G. van den Berg, Determination of copper complexation with natural ligands in seawater by equilibration with manganese dioxide. I. Theory. *Mar. Chem.*, 11 (1982) 323.
5. M. Branica i G. Branica, Direct determination of metal complexation, u: C. J. M. Kramer and J. C. Duinker (Ur.), Complexation of trace metals in natural waters. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague, 1984.
6. M. Plavšić, D. Krznarić i M. Branica, Determination of the apparent copper complexing capacity of seawater by anodic stripping voltammetry. *Mar. Chem.*, 11 (1982) 17.
7. D. Omanović, I. Pižeta, Ž. Peharec i M. Branica, Voltammetric determination of the metal complexing capacity in model solutions. *Mar. Chem.*, 53 (1996) 121.

Autori

M. sc. Dario Omanović, email: omanovic@rudjer.irb.hr

Dr. sc. Ivanka Pižeta, email: pizeta@rudjer.irb.hr

Željko Peharec, email: peharec@rudjer.irb.hr

Prof. dr. sc. Marko Branica, email: branica@rudjer.irb.hr

Laboratorij za fizičku kemiju tragova, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Ruđer Bošković«, Bijenička cesta 54, PP 1016, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Tel: +385 1 4680 231

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.06.

Radiološki utjecaj odlagališta pepela i šljake na morsku vodu

Gordana Marović, Jasminka Senčar, Zdenko Franić

SAŽETAK: Radioaktivna kontaminacija određenog područja s poznatim izvorom zagađenja duž Jadranske obale prati se u Jedinici za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu već nekoliko desetljeća. U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja utjecaja tehnološki povišene prirodne radioaktivnosti od rada energane na ugljen na radioaktivnost morske vode u području Kaštelanskog zaljeva. Naše istraživanje odnosilo se na praćenje koncentracije ^{226}Ra u moru uskog obalnog pojasa u posljednjih nekoliko godina, kada je energana radila u punom pogonu ali i s čestim prekidima.

Rezultati istraživanja pokazuju da su specifične aktivnosti ^{226}Ra u moru uz odlagalište pepela i šljake bile povišene u vrijeme punog pogona energane i da izravno ovise o aktivnostima izmjerjenima u vodi taložnice. Prelijevanje otpadne vode iz taložnice u more, te neposredni dodir odlagališta pepela i šljake i mora povisuju vrijednosti specifičnih aktivnosti ^{226}Ra u moru u odnosu na vrijednosti izmjerene na otvorenom moru. Tragovi povišene prirodne radioaktivnosti nađeni su i u organizmima dagnji, jednog od bioindikatora čije je stanište na podvodnim stranama odlagališta.

KLJUČNE RIJEČI: prirodna radioaktivnost, specifična radioaktivnost ^{226}Ra , odlagalište pepela i šljake, taložnica, more

Radiological Impact of Ash and Slag Dump on Sea Water

SUMMARY: Radiation Protection Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health has been monitoring radioactive contamination of a particular area with known pollution source at the Adriatic coast for several decades. This paper presents research results regarding impact of increased process background activity caused by coal-fired power plant operation on the sea water activity in the Kaštela Bay. The research encompassed monitoring of ^{226}Ra concentration in a narrow coast belt during a couple of recent years when the power plant was fully operational but had a number of shutdowns.

The research results indicate that specific ^{226}Ra activity in the sea near the ash and slag dump site were increased when the power plant was in full operation, and it was directly dependent on activities measured at the settling pool water. Spilling of this water over into the sea, and direct contact of ash/slag and sea increase specific ^{226}Ra activity in the sea as compared to the values measured in the open sea. The traces of increased background activity were detected in mussel organism, which is one of bioindicators having its habitat in submarine side of the dump.

KEYWORDS: background activity, specific ^{226}Ra activity, ash/slag dump, ash settling pool, sea

Uvod

Praćenje radioaktivne kontaminacije Jadranskog mora kontinuirano se provodi u Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu od 1963. godine na nekoliko mjesta duž Jadranske obale. Posebno se provode istraživanja prirodne radioaktivnosti, bilo da se radi o tehnološki povišenoj prirodnoj radioaktivnosti ili o prirodno povišenoj radioaktivnosti određenog područja, osobito uz poznate izvore zagađivanja. (Marović, 1997.)

U ovom smo se radu ograničili na istraživanja radioaktivne kontaminacije Kaštelskog zaljeva, kao zatvorenog i plitkog mora osjetljivog na zagađivanja. U zaljevu je smještena energana na ugljen kao i odlagalište pepela i šljake. Odlagalište zbog neposrednog kontakta s morem može predstavljati ozbiljan ekološki problem. Istraživanje radioaktivne kontaminacije na tom području od posebnog je interesa zbog blizine gusto naseljenog i turistički poznatog područja. (Subašić, 1996.)

Ugljeni kao najrašireniji energetski materijal u prirodi sadrže prirodnu radioaktivnost (članove uranovog i torijevog radioaktivnog niza). Sagorijevanjem ugljena u energani nastaju velike količine pepela i šljake, s većim koncentracijama radioaktivnosti od one u ugljenima. (Marović, 1986.) Pepeo i šljaka odlažu se na odlagalište, gdje se gomilaju i predstavljaju opasnost zbog prisutnosti povećane koncentracije prirodnih radionuklida, zbog mogućeg rasipanja i raspršivanja potencijalno opasnog materijala vjetrom, oborinama, te u istraživanom području zbog neposrednog dodira s morem. Od prirodnih radionuklida zbog svoje se izuzetne radiotoksičnosti posebna pozornost poklanja radiju, izotopu ^{226}Ra (vrijeme poluraspada $T_{1/2} = 1600$ godina). (UNSCEAR, 1993.). Poznavanje karakteristika pojedinih radionuklida kao i njihovo ponašanje u okolišu omogućuje pravilne intervencije u slučaju eventualnog ispuštanja u morsku vodu radioaktivnih tvari s dugim vremenom poluraspada, kako bi se spriječila višegodišnja kontaminacija pojedinih dijelova jadranske obale. Da bi se dobio pravi uvid u stanje radioaktivne kontaminacije područja potrebno je provoditi ciljana mjerenja i istraživanja s ciljem procjene učinka tehnološki povišene prirodne radioaktivnosti na morsku vodu i ekosistem mora.

Metode rada

U istraživanjima su korišteni uzorci vode unutar kruga i izvan kruga tvornice u uskom obalnom pojasu. Uzorkovana je voda iz taložnice, voda u točki miješanja vode iz taložnice s morem (uz ispušt taložnice), te more u dvije točke uz odlagalište pepela i šljake. Uzorkovane su dagnje kao pogodan morski bioindikatorski organizam.

Na svim je tekućim uzorcima provedena specifična radiokemijska separacija ^{226}Ra koji je potom određen alfaspektrometrijskim mjerenjem. Vrijeme mjerenja svakoga uzorka bilo je od sedamnaest do dvadeset i četiri sata.

Uzorci dagnji osušeni su na $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ i zatim spaljeni na $450\text{ }^{\circ}\text{C}$, spakirani i zatim mjereni visokorezolucijskom gamaspektrometrijom. Uzorci su mjereni u Marinelli posudama volumena 110 ml. Vrijeme brojanja svakoga uzorka bilo je 80000 sekundi.

Kalibracija efikasnosti načinjena je standardima Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) i Svjetske zdravstvene organizacije (WHO). (IAEA, 1989.).

Rezultati i rasprava

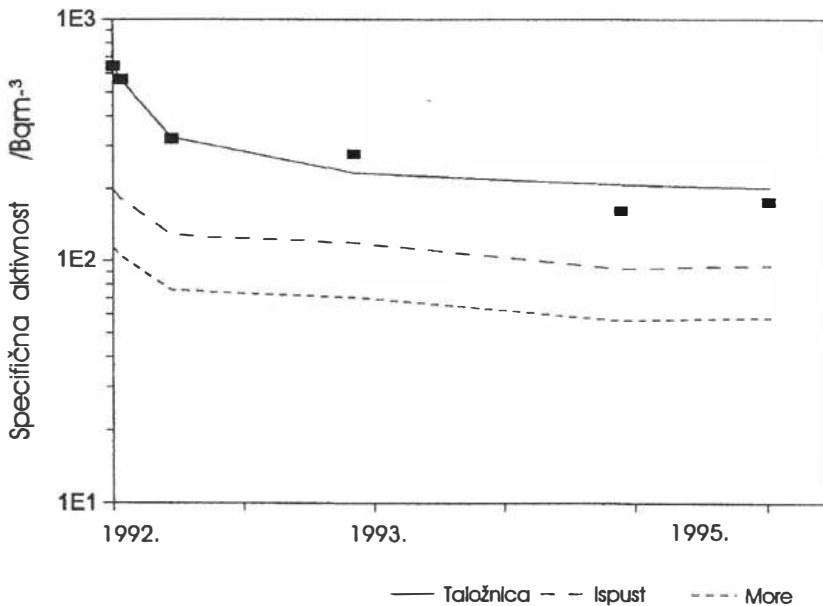
Pepeo i šljaka iz energane, dovode su u taložnicu u suvišku vode, dok se višak prelijeva u more. Specifične aktivnosti ^{226}Ra u vodi iz taložnice (A_T) određivane su povremeno (i nekoliko puta godišnje) u posljednjih desetak godina. Različite vrijednosti specifičnih aktivnosti ^{226}Ra u vodi iz taložnice potječu od različitih aktivnosti ugljena spaljivanih posljednjih godina u energani. Neredovitost rada energetskog pogona od 1992. godine do danas, čak i potpuni prestanci rada, onemogućili su uzorkovanja vode u bazenu taložnice već krajem 1995. godine. U razmatranja u ovom radu uzete su upravo vrijednosti specifičnih aktivnosti ^{226}Ra od jednog od posljednjeg maksimuma izmjenjenog u srpnju 1992. godine do posljednjeg uzorkovanja u srpnju 1995. godine. Izmjerene vrijednosti dobro se poklapaju s prilagodbenom krivuljom što slijedi Weibullovu raspodjelu

$$A_T = 639,23 - 464,02 e^{-13,81113 t^{0,793}}$$

uz pogrešku $S = 49,96$ i koeficijent korelacije $r = 0,9875$ (t je vrijeme u danima od srpnja 1992. godine). Temeljem izmjerenih i prilagodbenom krivuljom izračunatih vrijednosti aktivnosti u vodi iz taložnice izračunate su vrijednosti specifičnih aktivnosti ^{226}Ra na ispustu iz taložnice A_I , tj. u točki mješanja vode iz taložnice i mora

$$A_I = 57,653 - 0,127 A_T$$

(uz pogrešku $S = 31,546$ i koeficijent korelacije $r = 0,792$), kao i vrijednosti specifičnih aktivnosti okolnog mora u priobalju, A_M ,



Slika 1. Specifične aktivnosti ^{226}Ra u vodi iz taložnice, prilagodbene krivulje za specifične aktivnosti u vodi iz taložnice, u morskoj vodi uz ispust taložnice i u morskoj vodi

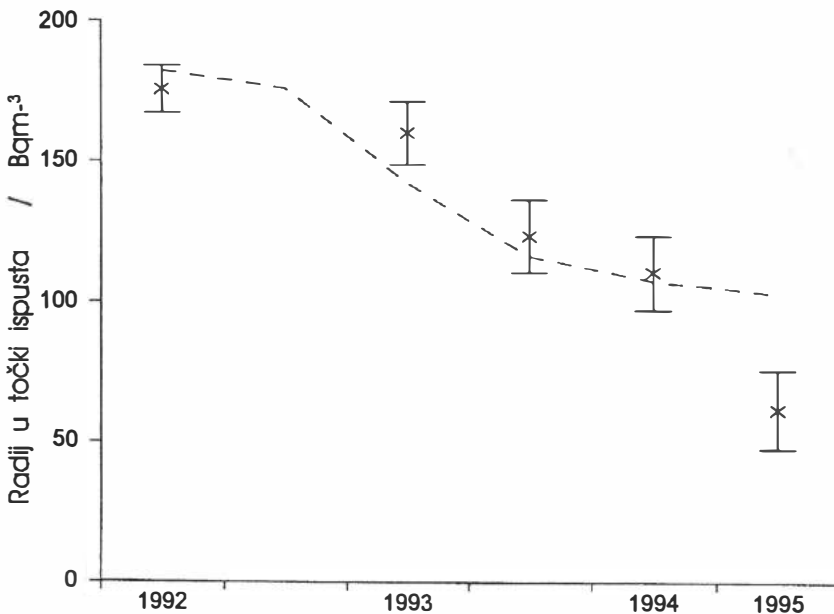
$$A_M = 5,703 - 0,545 A_I$$

(uz pogrtešku $S = 6,587$ i koeficijent korelacije $r = 0,986$). Na slici 1. prikazane su izmjerene vrijednosti specifičnih aktivnosti ^{226}Ra u otpadnoj vodi iz taložnice, prilagodbeno krivulja, kao i izračunate krivulje specifičnih aktivnosti ^{226}Ra u vodi u točki ispusta u more i okolnog priobalnog mora (A_T , A_I i A_M). Izračunate vrijednosti specifičnih aktivnosti ^{226}Ra u moru bilo u točki ispusta bilo u moru priobalja dobro se slažu s izmjerenim vrijednostima. Izmjerene A_I kreću se od 175 Bqm^{-3} u 1992. godini do 61 Bqm^{-3} krajem 1995. godine. Slika 2. prikazuje prosječne koncentracije ^{226}Ra u uzorcima morske vode u točki miješanja s otpadnom vodom iz taložnice. Izmjerene vrijednosti u moru, A_M , kreću se od 96 Bqm^{-3} u 1993. godini do 27 Bqm^{-3} u 1997. godini. Na slici 3. prikazane su specifične aktivnosti ^{226}Ra u uzorcima morske vode uzorkovane uz istočnu i zapadnu obalu odlagališta pepela i šljake.

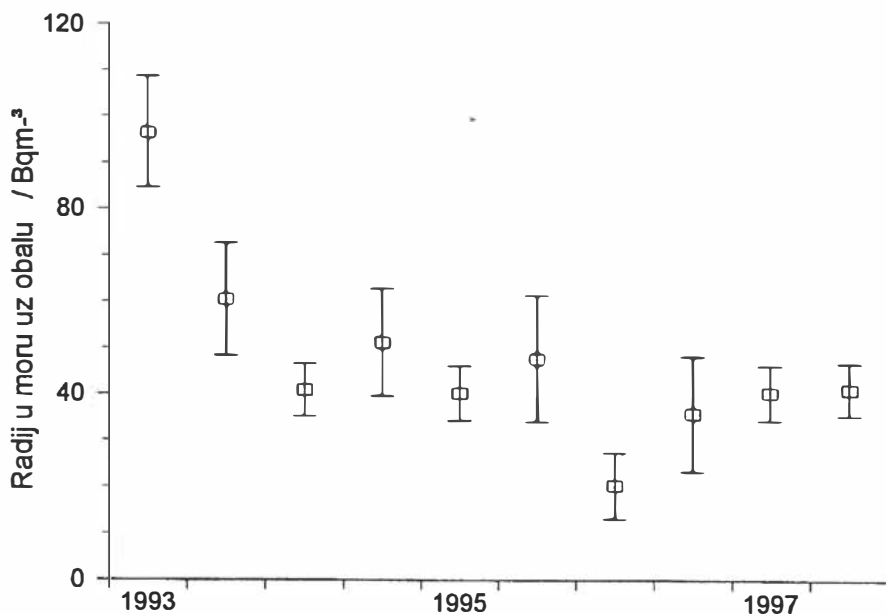
U uskom pojasu mora uz obalu poslije 1995. godine usrednjene vrijednosti specifičnih aktivnosti ^{226}Ra jesu $34,6 \pm 8,1 \text{ Bqm}^{-3}$. Ta je aktivnost za red veličine veća od prosječne vrijednosti specifične aktivnosti ^{226}Ra u Mediteranu, koja iznosi $3,7 \text{ Bqm}^{-3}$ (UNEP, 1991.).

Sve dobivene vrijednosti specifičnih aktivnosti ^{226}Ra zadovoljavaju zakonske propise po osnovi radioaktivnosti i ne prelaze najveću dopuštenu koncentraciju u obalnom moru prema članku 4. Uredbe o opasnim tvarima u vodama i manje su od najveće dopuštene koncentracije u moru koje je izravno pod utjecajem onečišćenja s kopna: na mjestima ispusta otpadnih voda i na ušću vodotoka odnosno kanala (u točki izmještanosti). (NN RH 78/98)

Uz istočnu i zapadnu obalu tvorničkoga kruga odnosno odlagališta pepela i šljake, kao pogodan bioindikatorski organizam tijekom istraživanja sakupljane su dagnje, kako bi se uočila eventualna akumulacija prirodnih radionuklida u morskim organiz-



Slika 2. Specifične aktivnosti ^{226}Ra u morskoj vodi uz ispust taložnice



Slika 3. Specifične aktivnosti ²²⁶Ra u moru uz odlagalište

mima. Gamaspektrometrijskim analizama utvrđena je prisutnost olova, ²¹⁴Pb, jednog od potomaka ²²⁶Ra, što ukazuje na neposredni utjecaj odlagališta na priobalno more.

Zaključak

Rezultati istraživanja prirodne radioaktivnosti u području Kaštelanskog zaljeva pokazuju nedvojbeni utjecaj odlagališta pepela i šljake na morsku vodu. Međutim, iako su prema našim rezultatima vrijednosti specifičnih aktivnosti ²²⁶Ra u granicama vrijednosti dopuštenih zakonom, rad energane utjecao je na morski ekosistem, budući da su tragovi povišene prirodne radioaktivnosti nađeni i u organizmima dagnji, jednog od bioindikatora čije je stanište na podvodnim stranama odlagališta.

Literatura

- IAEA, Measurements of radionuclides in food and the environment, Tech. Rep. Ser. No. 295, Vienna, 1989.
- Marović G, Bauman A. Radioactivity of coal fired power plants. *Kem ind.* 1986; 35(8):
- Marović G, Kovač J, Franić Z. Impact of technologically enhanced natural radioactivity on marine environment in Croatia. In: *The Second Regional Mediterranean Congress on Radiation Protection*, Tel-Aviv, 1997: 291–294.
- Subašić D, Shaller A, Barišić D, Lulić S, Vekić B, Kovač J, Lokobauer N, Marović G. Restoration of radioactively contaminated sites in the Republic of Croatia. In: *Planning for environmental restoration of radioactively contaminated sites in central and eastern Europe, Vol 3: Technologies for, and the implementation of, environmental restoration of contaminated sites.* IAEA-TECDOC-865; May 1996: 55–79. (1996)
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). *Sources and Effects of Ionizing Radiation* UNSCEAR, United Nations, New York, 1993.

UNEP Assessment of the State of Pollution in the Mediterranean Sea by Radioactive Substances.
UNEP (OCA) MED WG. 25 Athens, 1991.

Uredba o opasnim tvarima u vodama (*Narodne novine* RH 78/98)

Autori

Dr. sc. Gordana Marović, Jasminka Senčar, dr. sc. Zdenko Franić,
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Jedinica za zaštitu od zračenja, Ksaverska cesta
2, p. p. 291, HR-10000 Zagreb, Republika Hrvatska
Tel: +385 1 4673188, Faks: +385 1 4673303, E-mail: marovic@imi.hr



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.07.

Razine polikloriranih bifenila u priobalnom moru Zadra i Vranskom jezeru s obzirom na zagađenost zemljišta zadarske trafostanice ovim spojevima

Mladen Picer, Nena Picer

SAŽETAK: Rezultati analiza uzoraka sedimenata i riba u Vranskom jezeru ne ukazuju na neku značajniju razinu ovih zagađivala. Uzorci sedimenata, dagnji i riba zadarskog područja, pokazali su značajne razine PCB. Neki uzorci riba imali su razine PCB koje su se rijetko nalazile u dosadašnjim istraživanjima opterećenja Jadrana pa i Mediterana ovim spojevima. Unutar zadarskog područja statistički značajno najviše razine opažene su na lokalitetu zadarske marine, odnosno u potoku Vruljici neposredno prije utoka u more. Uz pretpostavku čak i značajnog konzumiranja riba od strane t. zv. kritične populacije (ribari i članovi njihovih porodica), za sada ne postoji neposredna opasnost od posljedica konzumacija riba s uskog priobalnog pojasa Zadra. Međutim, značajnija konzumacija riba ulovljenih s pozicija marine, a vjerojatno i s potoka Vruljice, ne bi se mogla preporučiti.

KLJUČNE RIJEČI: PCB, DDT, Jadran, sediment, morski organizmi, ratni otpad

PCB Levels in Territorial Sea of Zadar and Vransko Jezero Lake Related to the Zadar Substation PCB Soil Contamination

SUMMARY: The analysis results for sediment and fish samples taken from the Vransko Jezero Lake do not indicate any considerable PCBs pollution levels. Samples of sediments, mussel and fish from the Zadar region have shown considerable levels of PCBs. Some fish samples had PCB levels rarely encountered in earlier investigations of the Adriatic even Mediterranean PCB loads. Within the Zadar area, the highest levels were detected in the Zadar marina, namely in the Vruljica brook immediately before its inflow into the sea. Even if fish consumption by the so called critical population (fishermen and their families) is taken as high, there is currently no immediate risk of fish consumption from the narrow coastal belt of Zadar. However, it is not recommended to practice high consumption of fish from the marina and the Vruljica brook.

KEYWORDS: PCB, DDT, the Adriatic, sediment, marine organisms, war waste

Uvod

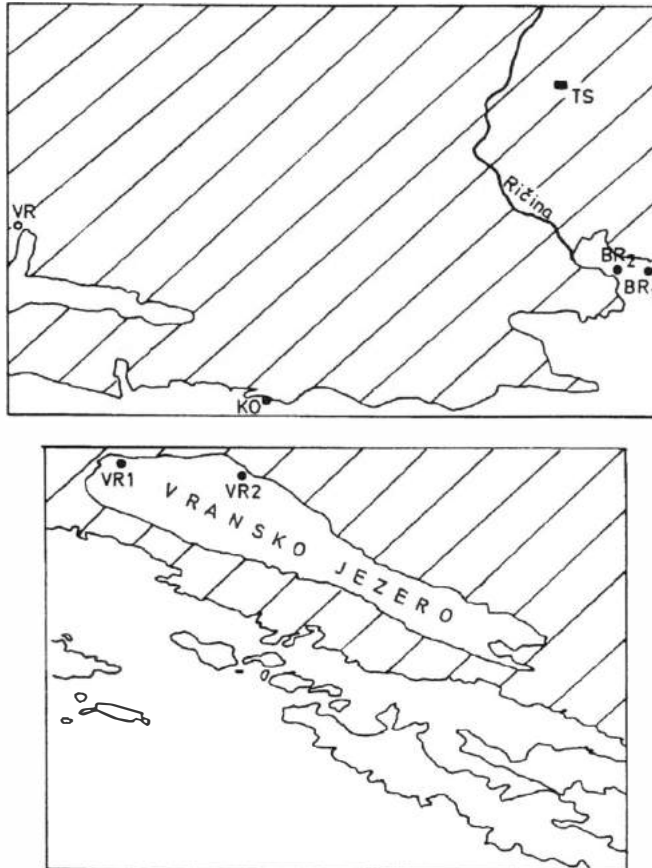
Tijekom ratnih stradanja elektroenergetskih postrojenja, naročito kondenzatora u velikim trafostanicama, postoji mogućnost prodora polikloriranih bifenila u okoliš (1). Sadržaj PCB u tlu ratom oštećenog trafo postrojenja na području Zadra, s obzirom na poroznost tla i relativno blizi smještaj zagađenih lokaliteta moru pa čak i Vranskome jezeru, postojala je mogućnost migriranja ovih zagađivala u spomenute lokalitete (2). Kako je biogeokemijsko koncentriranje ovih spojeva izvanredno veliko, to je ugroženost čovjeka više izražena putem konzumiranja zagađenih organizama u akvatoriju

nego pitkom vodom (3). Zbog toga je bilo potrebno istražiti značajnost razine polikloriranih bifenila u sedimentima i organizmima u moru na području Zadra i Vranskog jezera.

Područje istraživanja i metodologija

Obalno područje Zadra karakteristično je s relativno niskom obalom s mnogo zaljeva, draga i dražica, otoka i otočića te potoka i potočića koji se ulijevaju površinski ili podpovršinski u more. Dio gradskih otpadnih voda se sakuplja kanalizacijskim sistemom i oko 1,5 km dugom podvodnom cijevi odvodi se u more na području Kolovara. Postoji još niz manjih ulaza otpadnih urbanih i industrijskih voda koje se deponiraju na relativno maloj udaljenosti od obalne linije.

Na Slici 1. prikazana je pozicija trafostanice TS 110/35 kV, Zadar s lokalitetima gdje su se sakupljali i analizirali uzorci sedimenata, dagnji i riba tijekom 1997. godine. Na donjem dijelu Slike 1. Prikazana je karta Vranskog jezera s postajama gdje su se sakupljali uzorci sedimenata: Vrana 1, Vrana 2.



Slika 1. Karta grada Zadra s pozicijom trafostanice TS 110/35 kV, Zadar i postajama na lokalitetima gdje su se sakupljali uzorci tijekom 1997. godine: Brodanovo(BR), Kolovare (KL) marina (MA) i Vruljica (VR) te karta Vranskog jezera s postajama sakupljanja uzorci sedimenta: Vrana1(VR1) i Vrana2 (VR2)

Klorirani derivati ugljikovodika analizirani su nakon ekstrakcije, pročišćavanja i koncentriranja pomoću plinskog kromatografa opremljenog detektorom zahvata elektro- na. Zagađivala se ekstrahiraju iz uzoraka sedimenta otapalima pomoću ekstraktora po Soxhletu dok iz organizama pomoću visoko obrtnog blender aparata. Ekstrakti se čiste kolonom aluminijevog oksida, dok se klorirani insekticidi odvajaju od polikloriranih bifenila pomoću minijaturne kolone silika gela (4). Sumpor iz uzoraka sedimenata se odstrani otopinom KCN i elementarnom živom (5). Uzorci sakupljeni do 1991. godine analizirani su punjenom, dok 1997. godine kapilarnom plinsko-kromatografskom kolonom. Pouzdanost rezultata potvrđena je veoma uspješnim sudjelovanjem istraživačkog laboratorija u 13 međunarodnih usporednih analiza organoklorinih i ugljikovodikovih zagađivala u raznim matriksima morskog ekosustava od 1972. do 1994. godine organiziranih od IAEA, Monaco (6).

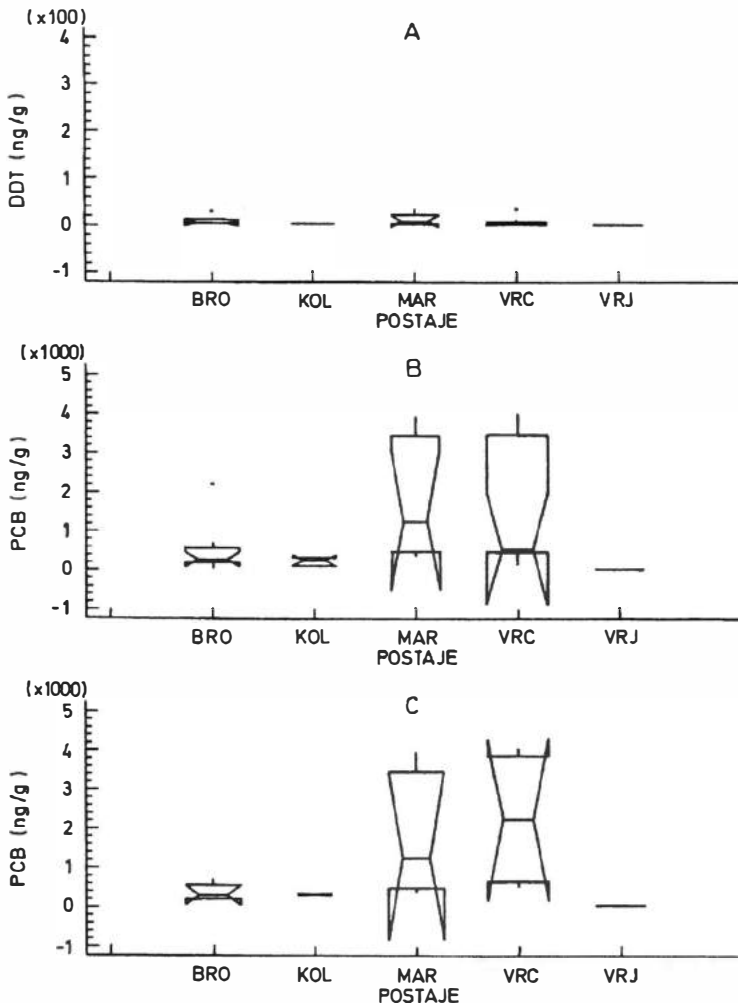
Rezultati i rasprava

Osnovni statistički podaci o razinama polikloriranih bifenila i DDT-a u uzorcima sedimenata, dagnji i riba sakupljenih tijekom 1997. godine na istraživanim postajama Zadra i Vranskog jezera, navedeni su u Tablici 1. Razine zagađivala u sedimentima date su na suhu težinu u težinskim udjelima ($\omega \times 10^9$) dakle u ppb što po staroj terminologiji koncentracija odgovara ng/g, dok u organizmima na mokru težinu. Naveden je broj uzoraka, aritmetičke i geometrijske sredine, standardna devijacija, minimum i

Tablica 1. Osnovni statistički podaci o razinama polikloriranih bifenila i DDT u uzorcima sedimenata, dagnji i riba sakupljenih tijekom 1997. godine na području, Zadra i Vranskog jezera – sedimenti ($\omega_{st} \times 10^9$) – dagnje i ribe ($\omega_{mt} \times 10^9$)

Područje	Matriks	Sedimenti		Dagnje		Ribe	
	Zagađivalo	PCB	DDT	PCB	DDT	PCB	DDT
Z A D R A R	Broj uzoraka	9	9	6	6	18	18
	Arit. sredina	477.5	10.4	471.9	8.5	431.7	7.3
	Medijan	193.0	3.5	297.0	6.0	110.5	3.4
	Geometrijska sredina	244.6	5.3	333.2	5.2	187.5	4.3
	Stand. devijacija	673.0	12.9	448.4	8.5	643.6	9.8
	Minimum	29.7	1.2	95.7	1.5	23.2	1.4
	Maksimum	2203	35.0	1307	23.4	2403	35.8
V R A N S K O	Broj uzoraka	3	3	N I J E	R A Đ E N O	4	4
	Arit. sredina	18.6	1.3			28.7	1.4
	Medijan	17.0	1.3			28.3	1.4
	Geometrijska sredina	15.5	1.2			24.8	1.4
	Stand. devijacija	12.5	0.4			15.9	0.3
	Minimum	7.0	0.9			10.1	1.1
	Maksimum	31.8	1.6			48.0	1.7

maksimum. Statistička analiza ukazuje na odstupanje podataka od normalne raspodjele. Prema tome geometrijska sredina i medijan su vjerojatno bolje mjere centralne tendencije podataka u usporedbi s aritmetičkom sredinom. Logaritmiranjem razina dobije se raspodjela koja se približava Gausovoj. Međutim, »pretvaranje« eksponencijalne raspodjele razina zagađivala u okolišu logaritmiranjem u Gausovu prilično je efikasno kod skupova podataka koji se sastoje od relativno velikog broja uzoraka i gdje raspon razina nije prevelik. Za prikaz skupova razina s manjim brojem uzoraka, vrlo je dobro koristiti t. zv. »whisker – box plot« (tučak i kutija) crteže. U ovom prikazu rezultata distribucije po područjima koristiti će se »urezani« whisker crtež (NW) koji je modifikacija običnog whisker crteža. On nam omogućuje opažanje podataka koji se ne uklapaju u većinu rezultata, zatim se opaža nesimetričnost raspodjele podataka jer crtež dijeli podatke u četiri područja jednake frekvencije. Tučak se prostire od minimuma do maksimuma razine, dok je centralna linija medijan razine. Kada su opa-

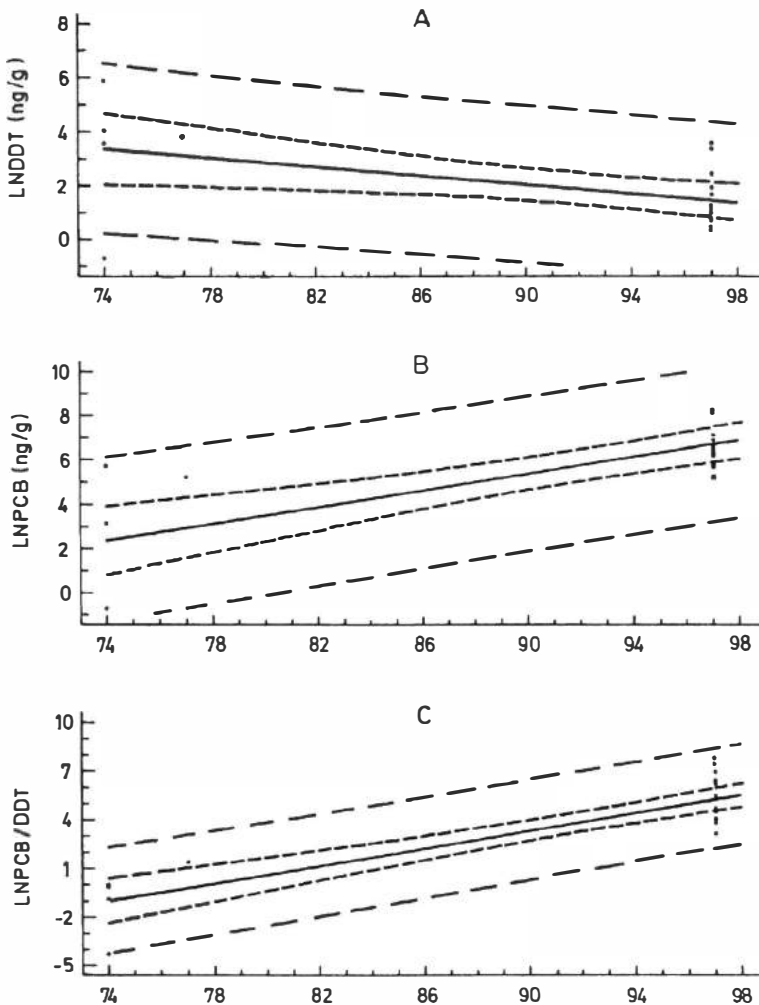


Slika 2. Usporedba razina DDT i PCB u svim uzorcima (sedimenti, dagnje i ribe) na postajama Zadra i Vranskog jezera (A i B) te samo riba (C) sakupljenih tijekom 1997. godine prikazani pomoću NW crteža

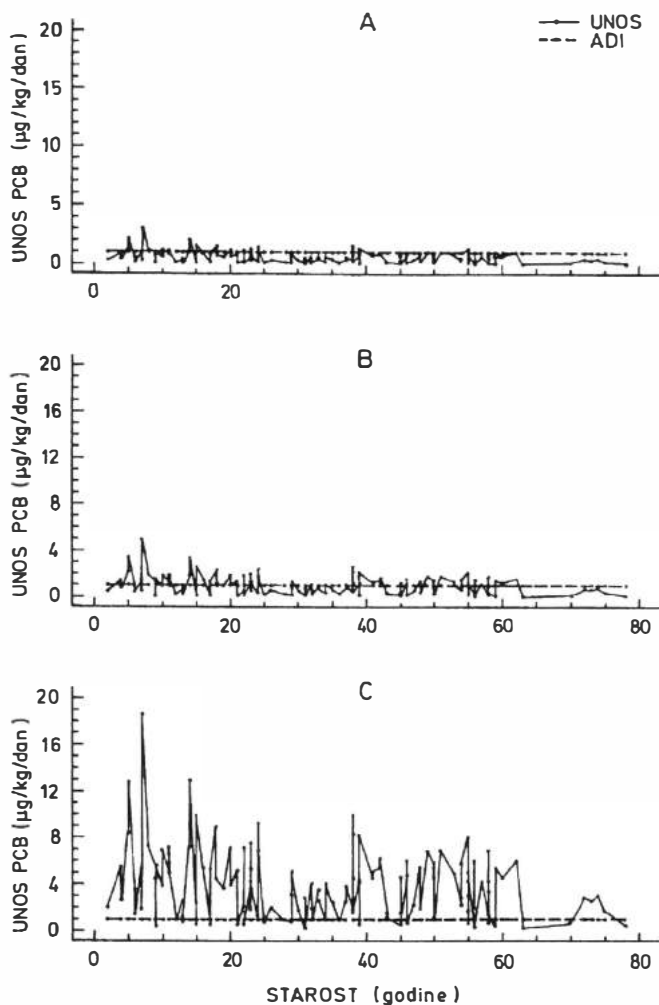
žene neuobičajene vrijednosti one se pokazuju kao posebne točke. Naime, tučak ide samo do 1,5 puta vrijednosti interkvartilnog raspona. Na Slici 2. uspoređene su razine PCB u svim uzorcima (sedimenti, dagnje i ribe) sakupljenih tijekom 1997. godine na području Zadra i Vranskog jezera, dok su na Slici 2. C) prikazane samo razine PCB u ribama.

Godišnji trendovi razina DDT, PCB i omjera razina DDT/PCB (LN vrijednosti) u bentoskim i epibentoskim ribama zadarskog područja od 1974. do 1997. godine prikazani su na Slici 3. Opaža se statistički značajan porast razina PCB i odnosa PCB/DDT dok je za DDT opažen statistički značajan pad razina.

Povišene razine polikloriranih bifenila u uzorcima dagnji i riba na istraživanom području Zadra otvaraju raspravu o tome koliki je eventualan unos ovih zagađivala u okolno stanovništvo, i da li bi to moglo biti opasno po stanovništvo?.



Slika 3. Godišnji trend razina DDT, PCB i omjera razina DDT/PCB (LN vrijednosti) u bentoskim i epibentoskim ribama zadarskog područja od 1974. do 1997. godine



Slika 4. Usporedba procjena unosa PCB u kritičnu populaciju Zadra s obzirom na ishranu ribom ulovljenom iz svih istraživanih područja grada Zadra (A); iz riba ulovljenih samo u marini (B) te iz riba iz Vruljice (C).

Još smo koncem osamdesetih istraživali unos PCB i DDT u stanovništvo Petrinje i Siska sa značajnijom potrošnjom ribe iz Kupe (7). To su bile obitelji sportskih ribolovaca s tog područja i smatralo se da one spadaju u t. zv. »kritičnu grupu« stanovništva koje je najviše izloženo unosu PCB s područja Kupe. Dnevni unos polikloriranih bifenila i ukupnog DDT u ljude izračunat je na temelju srednje mjesečne potrošnje ribe i srednjih razina PCB i DDT u onim vrstama riba iz rijeke Kupe koje najčešće konzumira pojedina osoba. Potrebno je istaknuti da glavnina analiziranih organizama s područja Zadra ili se uglavnom ne koristi za prehranu čovjeka kao što su ribe glavoč i balavica ili s obzirom na lokalitet (marina) nije mjesto ulova organizama mora za prehranu čovjeka. Ali promotrimo scenarij da se ipak sve ove ribe koriste u prehrani t. zv. kritične grupe stanovništava (ribiči i članovi njihovih porodica). Prema podacima sakupljenih tijekom 1988. godine medijan potrošnje ribe »kritične grupe« stanovništva

Petrinje i Siska bio je 1,58 kg po osobi s maksimalnom potrošnjom od 7 kg na mjesec. Medijan razine PCB u ribama Zadra je 480 µg/kg prema tome to bi za tu »kritičnu grupu« stanovništva Zadra medijan unosa na dan iznosio $(1,58 \times 480)/30$ što je 25,3 µg na dan. Za prosjek težine ljudi ako uzmemo 70 kg to bi bio unos od 0,36 µg na dan po kg težine osobe. Na Slici 4. prikazana je usporedba procjena unosa PCB u kritičnu populaciju Zadra s obzirom na ishranu ribom ulovljenom iz svih istraživanih područja grada Zadra (A); iz riba ulovljenih samo u marini (B) te iz riba ulovljenih u Vruljici (C). Kao što je vidljivo uz pretpostavku da se kritična grupa stanovnika Zadra hrani ribom isključivo ulovljenom iz potoka Vruljice veliki dio te grupe bi u svoj organizam unosio količine PCB koje se nikako ne mogu preporučiti odnosno bila bi iznad po Svjetskog zdravstvenoj organizaciji prihvatljivih razina.

Prema tome vidimo da ovaj procijenjeni unos PCB ribom u pretpostavljenu **KRITIČNU GRUPU** stanovništva Zadra nije za podcjenjivanje (doduše uz sva ograničenja o kojima smo prije govorili) ali je još daleko od nekih alarmantnih razina. Taj bi unos bio gotovo šest puta viši od medijana unosa PCB u kritičnu grupu stanovništva na području Siska i Petrinje koje konzumira ribu iz Kupe.

Razumljivo je da izrazito poviše razine PCB na zadarskom području zahtjevaju odgovor gdje je izvorište ili izvorišta ovih zagađivala? Ovaj odgovor zahtjevaju zapravo dvije lokacije. Prva, možda manje značajna, je lokacija Brodanova. Drugi lokalitet je mnogo važniji, a to je marina i potok Vruljica, gdje su opažene izrazito visoke razine PCB u praktički svim analiziranim uzorcima. Na toj poziciji nema dileme da li postoji izvor ili više izvorišta zagađenja polikloriranim bifenilima.

Literatura

1. Picer, M. (koordinator), Barišić, D., Drevenkar, V., Frbe, Z., Hršak, D., Mayer, D., Milanović, Z., Sekulić, B. i Soldo, M., (1996), *Hrvatska vodoprivreda*, 5: No. 45 3–10.
2. Picer, M i N. Picer, (1998), *Hrvatska vodoprivreda* 7: No. 73,10–15.
3. Geyer, H., Scheunert, J. and Korte, F.,(1986), *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 6 : 313–347.
4. Picer, M. and M. Ahel, (1978), *J. Chromatogr.* 150: 119–127.
5. Picer, M. and N. Picer, (1991), *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 47:864–873.
6. UNEP/IAEA, (1994), Data quality review for MED POL: Nineteen years of progress. *MAP Technical Reports Series* No. 81, UNEP, Athens, 1994.
7. Picer, M. i N. Picer, (1998), *Hrvatska vodoprivreda* 7: No.75, 55–63.

Autori

Prof. dr. Mladen Picer

Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Rudjer Bošković«, Zagreb, Bijenička 54

Tel: 4561003, fax: 4680242, email: picer@rudjer.irb.hr



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.08.

Projekt »Eko-Kaštelanski zaljev«

Jure Margeta, Ante Barić, Bogdan Ivančić, Andriano Petković

SAŽETAK: Kaštelanski zaljev predstavlja jedno od najzagađenijih područja na istočnoj obali Jadrana. Posljedica je to ispuštanja nepročišćenih gradskih i industrijskih otpadnih voda u istočni dio zaljeva. Projektom je »Eko-Kaštelanski zaljev« predviđena izgradnja kanalizacijskih sustava kojim će se gradske i industrijske otpadne vode, koje se danas ispuštaju u Kaštelanski zaljev, prikupiti i dovesti do uređaja za pročišćavanje, te nakon pročišćavanja do potrebne razine ispustiti u more dugim podmorskim ispustima. Predviđena je izgradnja odvojenih sustava za gradove Split-Solin, te Kaštela-Trogir. Razina pročišćavanja otpadnih voda bit će takva da ispuštanje pročišćenih otpadnih voda ne ugrožava ekosustav mora i onemogućuje planirano korištenje mora i obalnog pojasa. To će se postići sustavom za podršku odlučivanja koji uključuje stalno praćenje kvalitete obalnoga mora.

KLJUČNE RIJEČI: Kaštelanski zaljev, kanalizacijski sustav, podmorski ispust, uređaj za pročišćavanje

“Eco-Kaštela Bay” Project

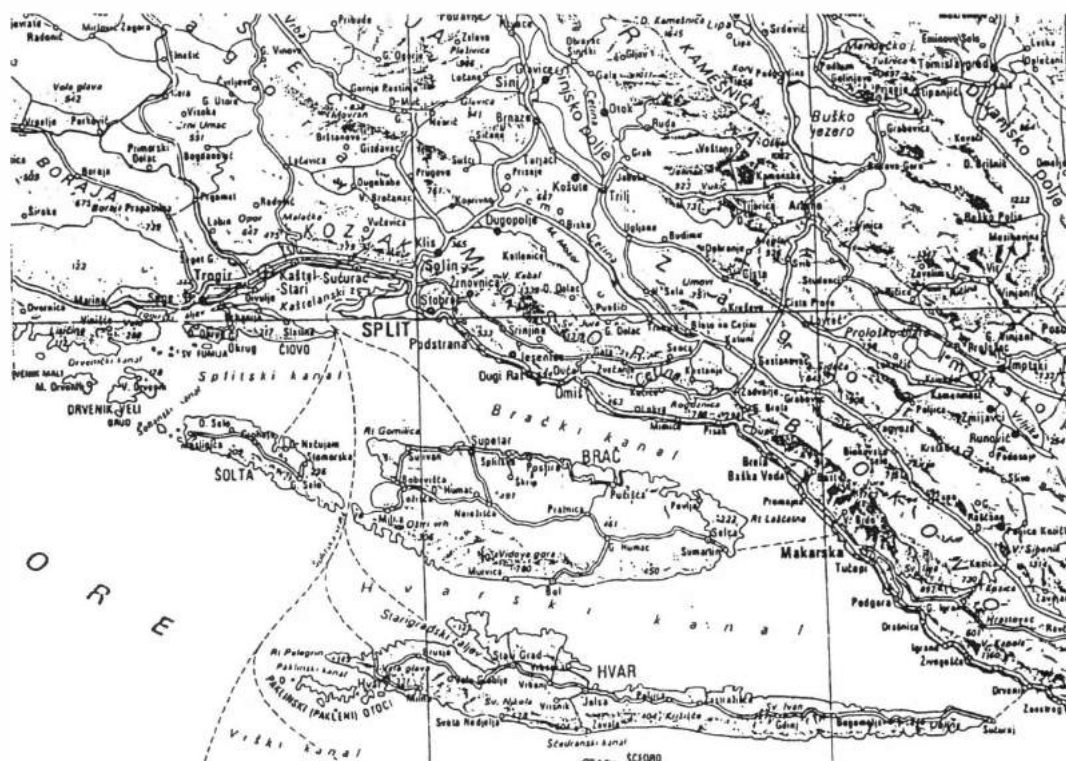
SUMMARY: The Kaštela Bay is one of the most polluted spots the Eastern Adriatic coast. This is the result of discharge of untreated municipal and industrial waste water into the eastern part of the bay. The “Eco-Kaštela Bay” project envisages construction of sewage systems which shall collect and convey the municipal and industrial waste water currently discharged into the Kaštela Bay to the waste water treatment plant. When the water is treated to the requested level it will be discharged into the sea through long offshore outfall. Separate systems are planned to be constructed for the Cities Split and Solin, and Kaštela and Trogir. Waste water treatment level shall be such that the released waste water shall not affect the sea ecosystem and obstruct planned exploitation of sea and coastal belt. This shall be achieved by use of decision-making support system which includes permanent territorial sea monitoring.

KEYWORDS: the Kaštela Bay, sewage system, offshore outfall, waste water treatment plant

1. Uvod

Područje Kaštelanskog zaljeva je jedno od najzagađenijih područja na Jadranu. Do zagađenja je došlo kao posljedica naglog povećanja stanovništva i industrijalizacije na ograničenom obalnom području, što nije pratila izgradnja osnovne gradske infrastrukture-kanalizacije.

Šire područje Splita, koje obuhvaća gradove Solin, Kaštela i Trogir, se u poslijeratnom razdoblju intezivno razvijalo i urbaniziralo tako da je u posljednjih četrdeset godina broj stanovnika utrostručen; 1953. godine na ovom je području živjelo oko 109 000 stanovnika a danas oko 300 000 stanovnika. Porast stanovništva je pratio i razvoj industrije, prometa i trgovine. Split je tako postao najveće prometno, industrijsko, trgovačko i administrativno središte Dalmacije. Na nesreću, urbanističkim pla-



Slika 1. Šire područje Kaštelanskog zaljeva

niranjem, industrija kao i stambena izgradnja su usmjeravani u područje Kaštelanskog zaljeva (Slika 1.) tako da je uski obalni prostor i more zaljeva u dobroj mjeri devastirano i zagađeno i nastali su mnogobrojni konflikti u korištenju ovoga prostora. Povećanje broja stanovništva kao i širenje industrijske proizvodnje u područja nije pratila i izgradnja odgovarajućeg kanalizacijskog sustav kojim bi se otpadne vode prikupljale, obrađivale i odlagala na ekološki prihvatljiv način. Na najvećem dijelu ovog prostora ne postoji jedinstveni i cjeloviti kanalizacijski sustav. U području Trogira, Kaštela i Solina nije izgrađena kanalizacijska mreža, pa se najveći dio otpadnih voda sakuplja u septičke jame. Sve otpadne vode se direktno ili indirektno bez pročišćavanja ispuštaju u priobalno more. Na području grada Splita je situacija nešto bolja u odnosu na izgrađenost kanalizacijske mreže, ali i u Splitu se sve otpadne vode direktno bez pročišćavanja ispuštaju u obalno more, osim dijela otpadnih voda užeg gradskog područja koje se putem podmorskog ispusta ispuštaju u Brački kanal.

Stanje izgrađenosti gradske kanalizacije, koncentracija prometa i industrije uzrokuje znatno zagađenje zraka i tla, a posebice mora kao prijemnika cjelokupnog zagađenja pripadajućeg slivnog područja. Nepostojanje potrebne kanalizacijske infrastrukture uzrokuje štetno djelovanje otpadnih voda na okoliš do razine na kojoj sadašnje stanje okoliša ne samo da ugrožava buduću razvoj ovoga prostora, već i uzrokuje nazadovanje dostignutog stupanja razvoja.

Jedan od osnovnih preduvjeta za rješavanje problema otpadnih voda je izgradnja kanalizacijske mreže s odgovarajućim uređajem za pročišćavanje otpadnih voda i uređajem za adekvatno odlaganje pročišćenih otpadnih voda.

2. Osobine područja

Geografska i klimatska obilježja

Osnovna obilježja geološko-petrografskog sastava šireg područja Splita su: prostorna flišna zona uz obalu od Segeta Donjeg do Ravnica, vapnenački prostori u zapadnom dijelu (otok Čiovo i Trogirsko primorje) i manje aluvijalne zaravni uz nadzemne tokove Pantane, Jadra i Žrnovnice. Cijelo je ovo područje omeđeno vapnenačkim grebenima gorja koje ga okružuje (Labištica, Kozjak, Mosor, Perun). Fliš i vapnenci daju osnovne crte reljefu šireg područja Splita i Kaštelanskog zaljeva.

Klima područja ima obilježja sredozemne klime, tj. blage i vlažne zime, vruća i suha ljeta, te veliki broje sunčanih dana tijekom godine. Prosječna je siječanjaska temperatura zraka 7,8 °C, dok je srednja godišnja 15,4 °C. Prosječan godišnji broj dana sa temperaturom ispod nule je 7.

Oborinski režim ovog područja ima sve karakteristike maritimnog sredozemnog kišnog tipa, koji se ističe po tome što u zimskoj polovici godine padne oko 2/3 godišnjih količina oborina. Prosječna godišnja količina oborina za Split (Marjan) iznosi 841 mm, a za Kaštela (aerodrom) 973 mm. Snijeg i grad su rijetke pojave.

Područje Splita spada u vjetrovito područje. Najznačajniji lokalni vjetrovi koji se javljaju tijekom cijele godine su bura i jugo. Značajniji dnevni peridični vjetrovi javljaju se jedino u ljetnom periodu, danju puše maestral iz zapadnog smijera, a noću burin iz sjeveroistočnog smjera.

Na ovom području postoje dvije kraške rijeke, Jadro koja se u more ulijeva u istočnom dijelu Kaštelanskog zaljeva i Žrnovnica koja se ulijeva u Brački kanal kod Stobreča. Veći broj vododerina koje su aktivne u zimskom periodu nalaze se u Kaštelima i na Splitskom poluotoku.

U obalnoj zoni nalaze se značajne poljoprivredne površine koje postepenom urbanizacijom nestaju, dok su one na padinama gorja već ranije napuštene.

More

Kaštelanski zaljev je poluzatvoreni zaljev površine oko 60 km² i prosječne dubine mora od 23 m. Prosječno vrijeme izmjene vodenih masa zaljeva sa susjednim kanalima je oko mjesec dana, međutim, istočni najugroženiji dio zaljeva ima dvostruko sporiju izmjenu nego cijeli zaljev.

Koncentracija kisika u zaljevu ima tendenciju porasta u površinskom sloju i smanjenja u pridnenim slojevima. U istočnom dijelu zaljeva u ljetnim mjesecima dolazi do nastanka anoksičnih uvjeta što uzrokuje masovni pomor morskih organizama.

Prozirnost morske vode u priobalnom području znatno varira u prostoru i vremenu. Međutim, rezultati dugogodišnjih mjerenja prozirnosti na centralnoj postaji u Zaljevu ukazuju na postupno smanjenje prozirnosti. To je rezultat postupnog povećanja sadržaja suspendiranih živih i neživih čestica u moru.

Zaljev je opterećen hranjivim solima i organskom tvari, tako da je došlo do eutrofikacije. Primarna proizvodnja je u razdoblju od 1970 do danas značajno porasla. Kao posljedica eutrofikacije u istočnom dijelu zaljeva tijekom ljeta dolazi do pojave ekstremnih fitoplanktonskih cvatnji, koje najčešće završavaju masovnim pomorom morskih organizama. Ukupna biomasa fitoplanktona u zaljevu je u stalnom porastu.

Bakteriološko zagađenja u zaljevu se rasprostire u površinskom sloju pretežno uz istočnu obalu zaljeva, i njegova raspodjela bitno ovisi o prevladavajućem vjetru.

Brački kanal se prostire između kopna i otoka Brača (Slika 1.), najuži je u istočnom dijelu (5 km), a najširi na krajnjem zapadnom dijelu (15 km). Splitski kanal se nastavlja na Brački kanal. Brački i Splitski kanal čine jedinstvenu cjelinu koja vodene mase izmjenjuje sa susjednim morima sa tri strane: iz smjera Bračkog kanala s istoka, te kroz Šoltanski i Drvenički kanal na zapadu. Izmjene vode kroz Splitska vrata i Kaštelanski zaljev su beznačajne u usporedbi sa prethodnim. Srednje vrijeme izmjene vode ovih kanala je procijenjeno sa 2,25 mjeseci. Najizraženije strujanje je od istoka prema zapadu i to je ujedno smjer glavne izmjene mora. Međutim, strujanje u zaljevu je pod utjecajem dugotrajnih vjetrova.

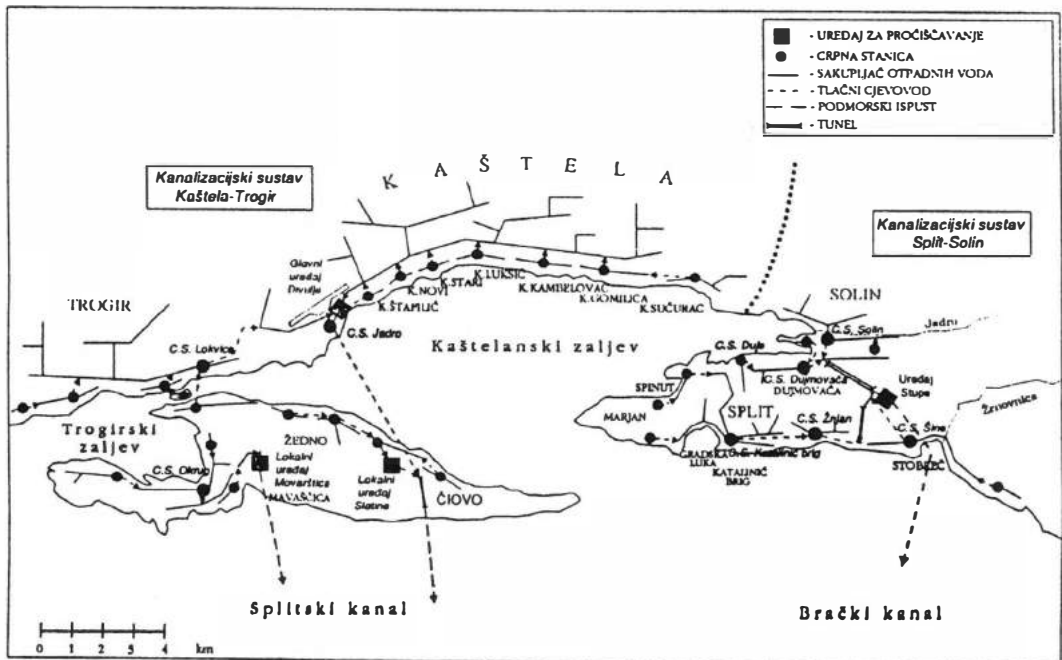
Kvalitativna struktura fitoplantonske zajednice pokazuje veliku raznolikost u razmatranom području, ukazujući na bogatu, ali još uvijek zdravu strukturu. Čini se da je more Bračkog i Splitskog kanala pod većim utjecajem otvorenog mora nego otpadnih voda priobalja.

Zanimljivo je da istraživanja fitobentosa i zoobentosa, pokazuju da je priobalno more uz grad Split relativno zagađeno dok je ostali najveći dio kanala za sada bez značajnijeg utjecaja zagađenja.

Sanitarna kvaliteta mora pokazuje da je priobalno more Splita i Stobreča opterećeno bakteriološkim zagađenjem dok ostali dijelovi mora nisu.

Na temelju raspoloživih podataka može se zaključiti da je more Bračkog i Splitskog kanala, gledano globalno, u najvećem dijelu čisto i oligotrofno. Iznimka je samo prio-

Dugoročni koncept rješenja kanalizacijskih sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir



Slika 2. Koncept rješenja kanalizacijskog sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir

balno more uz naselja koje je znatno zagađeno i ne zadovoljava kriterije kvalitete za kupanje i rekreaciju.

3. Koncept rješenja kanalizacijskog sustava

Dugoročno rješenje problema odvodnje otpadnih voda šireg područja Splita sastoji se u izgradnji dvaju zasebnih kanalizacijskih sustava; za područja Split-Solin i Kaštela-Trogir (Slika 2.). Oba sustava su razdjelnog tipa. Svaki sustav se sastoji od kolektora, crpnih stanica, centralnog postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i pripadajućeg podmorskog ispusta.

Kanalizacijski sustav Split-Solin

Ključni objekt ovog sustava je postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda. Provedene analize su pokazale da na području Splitskog poluotoka ne postoji odgovarajući prostor na koji bi se smjestilo postrojenje veličine 7 ha, pa je kao najpovoljnije rješenje odabran prostor Stupe, sjeverno od TTTS-a i južno od gradske deponije smeća Karepovac.

Procijenjeno hidrauličko opterećenje uređaja je:

PROTOKA	GODINA	
	2 010	2 025
Srednja dnevna (m ³ /dan)	34 630	78 400
Maksimalna ljetna (m ³ /dan)	52 000	117 600
Maksimalna satna, sušni period (m ³ /s); II stupanj pročišćavanja	0,90	2,04
Maksimalna satna, kišni period (m ³ /s); I stupanj pročišćavanja	2,20	3,00

Procijenjeno ukupno organsko opterećenje postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda, uključujući i biološki razgradljive industrijske otpadne vode, na kraju planskog perioda je:

SASTAV	Srednje opterećenje 2025. godine (kg/dan)
BPK ₅	28 200
KPK	58 800
UST	28 590
N _{ukupni}	5 394
P _{ukupni}	902

Kao tehnološki proces pročišćavanja otpadnih voda odabran je proces aktivnim muljem. Postrojenje je planirano u više paralelnih tehnoloških linija, a svaka linija bi se gradila u više tehnoloških etapa, odnosno razina pročišćavanja otpadnih voda, zavisno o potrebnoj razini pročišćavanja, i to: I etapa – potpuno mehaničko pročišćavanje; II etapa – biološko pročišćavanje; III etapa – denitrifikacija i defosfatizacija sa dezinfekcijom.

Efikasnost postrojenja i karakteristike efluenta koje treba postići u pojedinim etapama su:

	I etapa		II etapa		III etapa	
	(mg/l)	%	(mg/l)	%	(mg/l)	%
BPK ₅	200	20–25	25	70–90	5	98
KPK	375	25	125	75	47	90
UST	145	50	35	90	14	95
N _{ukupni}	32	20	12	70	12	70
P _{ukupni}	5,5	45	4,5	55	1	90
N. B. koli. Klica	10 × 10 ⁶	99	10 × 10 ⁴	99.99	0	100

Etapnost izgradnje postrojenja omogućava optimalno prilagođavanje stupnja pročišćavanja stvarnim potrebama zaštite mora i korisnika mora i obalnog pojasa koje će se tijekom vremena mijenjati.

Radi zaštite mora a osobito obalnog pojasa koji je namijenjen kupanju i rekreaciji u svakoj etapi izgradnje postrojenja predviđen je i odgovarajući podmorski ispust koji će biti smješten u području Stobreča. Duljina ispusta i točan položaj difuzora odredit će se nakon istraživanja hidrodinamičkih osobina mora na tom području. U konačnoj fazi realizacije postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda mogu postojati i dva podmorska ispusta i to jedan relativno vrlo dugačak koji će biti izgrađen u prvoj etapi izgradnje postrojenja i drugi kraći za potrebe konačne etape.

Kanalizacijski sustav Kaštela-Trogir

Postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda ovog sustava bit će smješteno na prostoru vojne baze Divulje. Ima iste karakteristike kao i u slučaju postrojenja u Splitu (etapnost, efikasnost i ostalo), s tim da je kapacitet znatno manji. Procijenjeno hidrauličko opterećenje uređaja je:

PROTOKA	GODINA	
	2 010	2 025
Srednja dnevna (m ³ /dan)	20 249	25 361
Maksimalna ljetna (m ³ /dan)	28 500	336 900
Maksimalna satna, sušni period (m ³ /s); II stupanj pročišćavanja	0,432	0,502
Maksimalna satna, kišni period (m ³ /s); I stupanj pročišćavanja	0,600	0,650

Procijenjeno ukupno organsko opterećenje uređaja uključujući i industrijske otpadne vode biološki razgradljive na kraju planskog razdoblja je:

SASTAV	Srednje opterećenje 2025. godine (kg/dan)
BPK ₅	7 200
KPK	14 100
UST	9 000
N _{ukupni}	900
P _{ukupni}	210

Pročišćene otpadne vode ispuštat će se u Splitski kanal na odgovarajućoj udaljenosti od kopna i dubini mora.

Rješenje kanalizacijske mreže područja Kaštela je relativno jednostavno. Najveći dio otpadnih voda ovog područja (cca 70%) sakuplja se gravitacijski glavnim kolektorom smještenim u staroj Kaštelanskoj cesti, tj. cjelokupno područje iznad ovog kolektora. Otpadne vode područja između ovog kolektora i mora nizom crpnih stanica se prebacuje na glavni kolektor.

Sličan koncept rješenja kanalizacijske mreže ima i Trogir s tom razlikom da kod Trogira razlikujemo tri osnovne kanalizacijske mreže: mreža kopnenog sustava, mreža otoka Čiovo, te stare gradske jezgre Trogira.

Cjelokupne otpadne vode će se nakon pročišćavanja podmorskim cjevovodom prepumpati na otok Čiovo, te će se tunelom dovesti do južne obale otoka gdje će se upuštati u podmorski ispust (Slika 2.).

Etapnost izgradnje kanalizacijskih sustava

Planirano konačno rješenje kanalizacijskih sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir je vrlo skupo za izvedbu, održavanje i pogon tako da će proći dosta vremena prije nego što se u potpunosti realizira. Zbog toga je i planirana etapna izgradnja koja će omogućiti konačno kompletiranje prema potrebama zaštite mora i korisnika obalnog pojasa.

Etapna izgradnja je inače neophodna i zbog toga što u najvećem dijelu ovog prostora nema izgrađene kanalizacijske mreže za čiju konačnu izgradnju će trebati pored velikih financijskih sredstava i dosta vremena.

Prva etapa izgradnje kanalizacijskog sustava

Da bi se ubrzala izgradnja kanalizacijskih sustava te izbjegla skupa izgradnja više manjih uređaja i ispusta odlučeno je, da se u prvoj etapi izgrade osnovni elementi dugoročnog rješenja kanalizacijskog sustava sa samo dva centralna uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Ova etapa sufinancira se kreditima Svjetske Banke i Europske Banke za Obovu i Razvoj. Ovaj Projekt omogućit će da se sve otpadne vode koje gravitiraju Kaštelanskom zaljevu, odnosno koje se danas izljevaju u zaljev, sakupe, pročiste i disponiraju izvan Kaštelanskog zaljeva, isto tako osigurava se i dugoročna zaštita Trogirskog zaljeva.

4. Predviđene strategijske mjere zaštite mora od kopnenih izvora zagađenja

Zaštita Kaštelanskog i Trogirskog zaljeva

Da bi se osigurala dugoročna zaštita Kaštelanskog i Trogirskog zaljeva potrebno je:

- eliminirati sve ispuste gradskih i industrijskih otpadnih voda u zaljeve
- provoditi trajnu kontrolu i smanjenje difuznih izvora zagađenja (oborinske vode, talog iz zraka, itd.)
- uspostaviti stalnu kontrolu zagađivača i kvalitete mora.

Zaštita Bračkog i Splitskog kanala

Trajna zaštita Bračkog i Splitskog kanala od odlaganja otpadnih voda moći se postići ako se ispune osnovni preduvjeti koji se sastoje od slijedećeg:

1. Odlaganje otpadnih voda putem dugih podmorskih ispusta da bi se postiglo odgovarajuće početno i naknadno razrijeđenja.
2. Pročišćavanje otpadnih voda do potrebne razine prije njihovog ispuštanja u more.
3. Predobrada industrijskih otpadnih voda prije njihovog ispuštanja u gradsku kanalizacijsku mrežu, osobito industrijskih otpadnih voda koje mogu imati štetno djelovanje na:
 - rad biološkog uređaja za pročišćavanje
 - korištenje mulja sa uređaja za pročišćavanje
 - ekosustav mora.
4. Eliminiranje svih nekontroliranih obalnih ispusta otpadnih voda.
5. Odgovarajuće pročišćavanje oborinskih i preljevnih voda.
6. Kontrola svih drugih, uglavnom difuznih izvora zagađenja.
7. Provođenje sustava praćenja kvaliteta mora kako bi se pravovremeno moglo provesti veći stupanj obrade otpadnih voda.

U odnosu na izgradnju i korištenje kanalizacijskog sustava potrebno je:

1. Projektiranje i izvedbu kanalizacijskih sustava načiniti u skladu s pravilima struke i lokalnim karakteristikama uz korištenje kvalitetnih materijala.
2. Efikasno upravljati i održavati kanalizacijski sustav.
3. Aktivno sudjelovanje javnosti kao pokretača u poduzimanju mjera zaštite tako i korektora već poduzetih mjera.
4. Da bi javnost kao i svi drugi zainteresirani mogli biti obavješteni o stanju zagađenja mora, zagađivačima i aktivnostima koje utječu na kvalitetu mora, potrebno je organizirati odgovarajući monitoring sustav mora, zagađivača i svih drugih elemenata vezanih uz rad sustava i uređaja (odlaganje mulja, korištenje mulja, troškovi, itd.). Potrebno je isto tako uspostaviti odgovarajući informacijski sustav kojim bi se obavještavala šira javnost o svim aktivnostima, postignutim rezultatima i problemima.
5. Kompjuteriziranim sustavom za podršku (SPO) odlučivanja u gospodarenju obalnog mora podaci prikupljeni monitoringom zajedno sa drugim odgovarajućim transformirati će se u adekvatne informacije koje će pomagati u donošenju odluka o gospodarenju obalnim pojasem i morem.

Može se zaključiti, da će se primjenom navedenih mjera more Bračkog i Splitskog kanala zaštititi od slijedećih tipova zagađenja:

- Bakteriološkog zagađenja
- Estetskog zagađenja
- Organskog zagađenja
- Teških metala i toksičnih tvari

– Hranjivih soli

Zaštita od navedenih tipova zagađenja omogućiti će korištenje cijelog obalnog pojasa za kupanje i rekreaciju i spriječiti će se eutrofikacija sa svim negativnim pojavama.

Literatura

- Margeta J. (voditelj); Idejno rješenje kanalizacijskog sustava Split-Solin, Građevinski fakultet Split, Urbanistički zavod Dalmacije, Zavod za Izgradnju Split, VRO Split i RO Vodovod i Kanalizacija Split, Split 1988.
- Grupa autora Instituta za ribarstvo i oceanografiju Split, Prirodne karakteristike mora Kaštelanskog zaljeva i utjecaj otpadnih voda, Institut za oceanografiju i ribarstvo Split, UNEP-PAP/RAC, Split 1988.
- A. Barić, J. Margeta i M. Gačić; Environmental capacity of Kaštela Bay, UNEP-MAP/PAP, Split 1988.
- Margeta J.; Idejno rješenje kanalizacijskog sustava Kaštela, Građevinski fakultet Split, 1989.
- Institut za ribarstvo i oceanografiju Split, Oceanografska istraživanja mora Bračkog i Splitskog kanala, rujan 1990, Split 1991.
- Institut za ribarstvo i oceanografiju Split, Oceanografska istraživanja mora Bračkog i Splitskog kanala, travanj 1991, Split 1992.
- J. Margeta, A. Barić i M. Gačić; Utvrđivanje kriterija za ispuštanje otpadnih voda u Kaštelanski zaljev, UNEP-PAP/RAC, Split, 1990.
- Margeta J., Barić A. i Gačić M.; Projekt: Izbor optimalnog stupnja pročišćavanja centralnog uređaja za pročišćavanje kanalizacionog sustava Split-Solin, Dio I – Konačno izvješće, Dio II – Oceanografske osobine Bračkog i Splitskog Kanala, i Dio III – Procjena utjecaja otpadnih voda na Bračko-Splitski kanal, Građevinski fakultet Split, 1992.
- Margeta J. and Barić A.; Ekološka studija kanalizacijskog sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir, (izrađeno za potrebe Svjetske Banke) 1996.
- Oceanografska istraživanja Trogirskog zaljeva za potrebe Studije utjecaja na okoliš I faze kanalizacijskog sustava, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split, 1993.
- Project »Environmental Management of the Kaštela Bay« Synthesis of the first research cycle 1988–1993. University of Split, Split 1994. pp. 196.
- Barić, A., I. Marasović, M. Gačić; (1992). Eutrophication Phenomenon with Special Reference to the Kaštela Bay. Chemistry and Ecology, 6, 51–68.

Autori

Prof. dr. sc. Jure Margeta

Fakultet građevinskih znanosti, Sveučilišta u Splitu, 21000 Split, Ulica Matice Hrvatske bb.

Telefon: 021 303 350; Fax: 021 524 162, E-mail: margeta@cigla.gradst.hr

Dr. sc. Ante Barić, viši znanstveni suradnik

Institut za oceanografiju i ribarstvo, 21000 Split, Šetalište I. Meštrovoća 63, pp. 500

Telefon: 021 358 688; Fax: 021 358 650, E-mail: baric@izor.hr

Bogdan Ivančić, dipl. inž.

Agencija »EKO Kaštelanski zaljev«, 21000 Split, Dražanac 70

Telefon: 021 362 949; Fax: 021 362 967

Andrino Petković, dipl. inž.

Vodovod i kanalizacija, 21000 Split, Biokovska 3

Telefon: 021 343 777

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.09.

Preliminarni rezultati radiometrijskih istraživanja recentnih sedimenata u Plominskom zaljevu

Delko Barišić, Goran Kniewald, Astrea Vertačnik, Stipe Lulić

SAŽETAK: Plominski zaljev smješten je u središnjem dijelu istočne obale Istre, dug je oko četiri kilometra i uzak, samo na ulaznom dijelu širina zaljeva prelazi pola kilometra. Taj dobro zaštićen prostor veoma je pogodan za praćenje recentnih sedimentacijskih procesa. Prirodni sedimentacijski procesi u zaljevu naprasno su izmjenjeni krajem 1932. godine prokopom tunela kojim su vode iz Čepić polja dovedene u Plominski zaljev. Izgradnja termoelektrane Plomin i njeno puštanje u rad četrdesetak godina kasnije otvara novi izvor antropogenog utjecaja na sedimentacijske procese u zaljevu. Posljednjih godina su vršena gama-spektrometrijska određivanja koncentracija prirodnih i umjetnih radionuklida u sedimentnom materijalu iz zaljeva, u tlima i potočnim sedimentima slivnog područja, te materijalu sa odlagališta pepela termoelektrane Plomin. Preliminarni rezultati istraživanja ukazuju na višestruko povećavanje brzine sedimentacije nakon izgradnje tunela, te ona u unutrašnjem dijelu zaljeva najvjerojatnije mjestimice premašuje vrijednost od 10 cm godišnje. Temeljem dosadašnjih radiometrijskih istraživanja, nije moguće potvrditi signifikantan utjecaj termoelektrane na koncentracije prirodnih radionuklida u recentnim sedimentima zaljeva. Pored relativno malog broja analiziranih uzoraka, razlog vjerojatno leži i u činjenici da je glavnina recentnog sedimenta, prema preliminarnim rezultatima preko 95%, fliški materijal erodiran sa slivnog područja Boljunščice. Određivanje koncentracija mikroelemenata (XRF metodom) na većem broju dosad prikupljenih uzoraka, a što je u tijeku, kao i nova radiometrijska i XRF mjerenja vjerojatno će omogućiti riješenje i ove dileme.

KLJUČNE RIJEČI: Plominski zaljev, recentni sedimenti, prirodni radionuklidi

Preliminary Results of Radiometric Investigations of Recent Sediments in the Plomin Bay

SUMMARY: The Plomin Bay is located in the central part of the eastern coast of Istria. It is about four kilometers long and narrow (only in entrance section it is wider than half a kilometer). This well protected area is particularly suitable for monitoring of recent sedimentation processes. Natural sedimentation processes evolving in the bay were suddenly changed in late 1932, when a tunnel was driven to convey the water from Čepić Polje into the Plomin Bay. Construction of the Plomin Thermal Power Plant and its commissioning, some forty years later, generated a new source of human activity impact on sedimentation processes in the bay. During the recent years, gamma-spectrometry has been used to determine concentrations of natural and artificial radionuclides in the bay sediment, in soils and brook sediments in the catchment area, and material from the Plomin TPP ash disposal area. Preliminary research results indicate that there has been multiple increase in sedimentation rate after the tunnel construction, while the sedimentation inside the bay sporadically exceeds 10 cm per year. The radiometric investigations conducted so far do not enable us to confirm significant effect of the thermal power plant on concentrations of natural radionuclides in the recent sediments in the bay. In addition to a comparatively small number of samples, the probable reason is the fact

that, according to the preliminary results, the majority of the recent sediment is more than 95% flysch eroded from the Boljunščica basin. Determination of concentration of microelements (XRF method) on a larger number of samples collected so far, and new radiometric and XRF measurements shall probably help us resolve this dilemma.

KEYWORDS: the Plomin Bay, recent sediments, natural radionuclides

Uvod

Već niz godina svjedoci smo brojnih diskusija o tome da li rad termoelektrane u Plominu utječe na povećanje radioaktivnosti u njenom okolišu. Ocjene su veoma šarolike te se čuju mišljenja kako je utjecaj neznatan ili pak gotovo katastrofalan. Detaljnih istraživanja u bližoj i široj okolici termoelektrane, a koja bi nedvosmisleno odgovorila na pitanje utječe li rad termoelektrane na povećanje koncentracije prirodnih radionuklida u njenom okolišu, nije bilo. Ipak, ranih osamdesetih (IR84) obavljena su radiometrijska istraživanja oko termoelektrane te je izrađen proračun emisija radioaktivnih elemenata i teških metala. Utvrđena prosječna koncentracija uranija u pepelima od 185 ppm (cca 2300 Bq/kg) bila je posljedica visokih koncentracija uranija u tada korištenom ugljenu. Većina ležišta ugljena nastalih u karbonatnim terenima ima povišen sadržaj uranija te stoga i pepeo odnosno šljaka tih ugljena sadrže povišene koncentracije radionuklida uranijevog niza (Ba89).

Sagorijevanjem ugljena u kotlovnici termoelektrane najveći dio radionuklida se zadrži u šljaci i elektrofilterskom pepelu. Radionuklidi koji se s dimnim plinovima otpuste u atmosferu u velikoj se mjeri, pogotovo za nevjetrovita vremena, istalože u bližoj okolici termoelektrane. Spiranjem oborinama, oni najvećim dijelom dospijevaju u recentne sedimente Plominskog zaljeva. U sedimentima završavaju i radionuklidi koji se nalaze u materijalu koji vjetrom ili nakon jačih oborina biva odnešen sa odlagališta šljake i pepela. Jednaku sudbinu imaju i radionuklidi koji dospijevaju u tehnološke vode termoelektrane. Recentni marinski sedimenti zaljeva mjesto su na kojem u konačnici pretežito dospijevaju radionuklidi oslobođeni u okoliš radom TE Plomin. Stoga bi i mogući utjecaj rada termoelektrane na povišenje koncentracije radionuklida u okolišu trebao prije svega rezultirati u povišenju koncentracija ^{226}Ra i ^{238}U u recentnim sedimentima Plominskog zaljeva.

Plominski zaljev je veoma pogodan za praćenje recentnih sedimentacijskih procesa. Donos materijala izmjenjen je krajem 1932 godine prokopom tunela kojim su vode iz Čepić polja dovedene u Plominski zaljev. Tim činom bitno je izmjenjena dotadašnja brzina sedimentacije jer se u zaljev počinju drenirati vode Boljunščice koje nose velike količine suspendiranog materijala pretežito fliškog porijekla. Izgradnjom brane akumulacije Letaj 1970., donos je smanjen jer se je, što u akumulaciji a što u retencijama na ulazu (Mi93), tijekom samo 16 godina nataložilo 387 000 m³ materijala. Brzina sedimentacije u zaljevu je velika i posljedice su očigledne. Dubina mora u blizini Luke Plomin već je manja od metra, a oplicavanje napreduje i prema središnjem dijelu. Strme obale i gomilanje nestabiliziranog sedimenta rezultiraju i pojavama podmorskih klizišta te se materijal brzo akumulira i u najdubljem dijelu duž osi zaljeva.

Materijali i metode

Sedimenti Plominskog zaljeva uzorkovani su 1997. i 1998. Uzorkovanje je obavljeno pomoću grabilice bagera kojim su uklanjani sedimenti na prostoru budućeg pristani-

šta na južnoj obali zaljeva. Uzorci su uzeti cca 35 metara od obale sa dna na dubini od 8 m. Uzeti su uzorci površine dna (0–15 cm), te segmenti 60–75 cm i 120–135 cm. Na dijelu s kojeg su sedimenti već bili djelomično uklonjeni uzeti su uzorci sa dubine od cca 3 m ispod nivoa površine dna, cca 6 m, cca 8 m i cca 9 m, te uzorak bazalnih transgresivnih breča cca 9,5 m ispod nivoa površine dna. Obzirom na način uzorkovanja i moguće varijacije u dubini mora, netočnost u procjeni dubine manja je od 10 cm za plitko odnosno 50 cm za dublje uzete uzorke. Istovremeno su prikupljeni uzorci potočnih sedimenata iz potoka Bižac (protječe uz odlagalište šljake i pepela TE Plomin) i uzorci pepela koji je tada odlagan.

Prikupljeni uzorci su sušeni na 106 °C do konstantne težine, smješteni u mjerne posude i zatvoreni. Nakon postignute radiokemijske ravnoteže između ^{226}Ra te ^{222}Rn i njegovih potomaka (tridesetak dana) uzorci su mjereni. Aktivnost radionuklida određena je gama-spektrometrijskom metodom na HPGe detektorima. Za obradu spektara korišten je GENIE PC softverski program.

Rezultati i diskusija

Aktivnost ^{137}Cs u uzorcima je određena zbog datiranja starosti sedimenata, što je već i ranije uspješno rađeno (Ju95, Mi96). Iako zbog bioturbacije i resuspenzije sedimenta postoje određene nesigurnosti, općenito se može smatrati da sedimenti istaloženi prije početka pedesetih ne sadrže ^{137}Cs (ili je prisutan u tragovima). U sedimentima taloženim ranih šezdesetih aktivnosti ^{137}Cs su povišene u odnosu na desetak godina starije ili mlađe naslage. To je uvjetovano fallout-om izazvanim brojnim atmosferskim nuklearnim pokusima ranih šezdesetih. Nesreća u Černobilu generira novi intenzivi fallot ^{137}Cs , te njegova aktivnost u sedimentima taloženim kasnih osamdesetih raste u odnosu na starije odnosno najmlađe sedimentne naslage.

Na temelju rezultata prikazanih u Tablici 1. može se zaključiti da je 120–135 cm duboki segment profila taložen u drugoj polovici osamdesetih tj. nakon nesreće u Černobilu. Segment profila dublji od 6 m istaložen je najkasnije do prije početka pedesetih, a cca 3 m duboki segment kasnih šezdesetih ili ranih sedamdesetih. Za točniju procjenu brzine sedimentacije potrebno je analizirati veći broj gušće uzetih uzoraka. Na temelju postojećih analiza može se tvrditi da brzina sedimentacije u tom dijelu zaljeva premašuje 10 cm godišnje barem u posljednjih dvadesetak godina.

Da bi se karakteristike sedimenata Plominskog zaljeva mogle usporediti s drugim sedimentacijskim prostorima ili izvornim materijalima, u Tablicama 2.–6. date su osnovne radiometrijske karakteristike relevantnih područja temeljene na internim (Laboratorij za radioekologiju) ili objavljenim podacima (Ba92a, Ba92b, Ba93, Ba95, Ba96, Ba98). Relativno visoke aktivnosti ^{137}Cs u sedimentima Plominskog i raškog zaljeva (Tablica 2.) posljedica su velike brzine sedimentacije koja je u zaljevu Raša višestruko manja na uzorkovanim lokacijama u odnosu na brzinu u Plominskom zaljevu. Slivna područja Raše i Boljunščice su približno jednako kontaminirana cezijem (Ba92a, Ba93), a što se odražava i u sličnim koncentracijama cezija u sedimentima tih vodotoka (Tablica 3.). U ostalim područjima veće brzine sedimentacije (Tablica 4.) ^{137}Cs također nalazimo i u dubljim slojevima recentnih sedimenata.

Promotrite li se aktivnosti ^{228}Ra (aktivnost od 4 Bq/kg ^{228}Ra približno odgovara jednom ppm ^{232}Th) u sedimentnom stupu Plominskog zaljeva (Tablice 1. i 2.), uočava se bitno veća koncentracija torija u sedimentu dubljem od 6 m u odnosu na sediment plići od 3 m. Obzirom da je torij veoma rezistentan (»finger printing«) element, može se sa

Tablica 1. Aktivnosti ^{40}K , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{238}U i ^{137}Cs u sedimentima Plominskog zaljeva (Bq/kg)

Dubina	^{40}K	^{228}Ra	^{137}Cs	^{226}Ra	^{238}U
0–15cm	568.0 ± 12.7	25.1 ± 1.5	15.6 ± 0.6	33.7 ± 1.2	29.2 ± 4.2
0–15cm	497.7 ± 11.8	22.5 ± 1.3	14.2 ± 0.6	25.7 ± 1.1	31.5 ± 3.9
60–75cm	568.7 ± 12.5	26.6 ± 1.5	15.8 ± 0.6	20.3 ± 1.0	19.9 ± 3.3
60–75cm	526.2 ± 12.2	24.6 ± 1.4	10.4 ± 0.5	33.1 ± 1.2	23.3 ± 3.8
120–135cm	568.6 ± 12.4	26.3 ± 1.4	31.8 ± 0.8	18.1 ± 0.9	18.5 ± 3.1
120–135cm	569.2 ± 12.4	26.3 ± 1.4	24.8 ± 0.7	20.2 ± 1.0	18.3 ± 3.3
120–135cm	590.1 ± 12.8	26.1 ± 1.5	13.8 ± 0.5	20.7 ± 1.0	17.6 ± 3.2
cca 3 m	542.3 ± 12.1	28.5 ± 1.6	2.3 ± 0.3	22.5 ± 1.0	33.9 ± 3.9
cca 6 m	575.1 ± 12.0	39.9 ± 1.7	0	33.3 ± 1.1	36.8 ± 4.0
cca 8 m	642.4 ± 13.2	40.0 ± 1.8	0	32.6 ± 1.2	30.6 ± 3.8
cca 9 m	636.4 ± 13.0	43.0 ± 1.8	0	52.1 ± 1.4	35.9 ± 4.4
cca 9.5 m	48.6 ± 4.0	6.2 ± 0.7	0	22.7 ± 0.9	22.5 ± 3.2

Tablica 2. Radiometrijske karakteristike sedimenata iz Plominskog i raškog zaljeva (uzorkovano 1992.–1998, – u Bq/kg)

Uzorci	n	^{40}K	^{228}Ra	^{137}Cs	^{226}Ra	^{238}U
Plominski zaljev (0–135 cm)	7*	497.7–569.2	22,5–26,6	10,4–31,8	18,1–33,7	17,6–31,5
	**	555,5 ± 31,8	25,4 ± 1,5	18,1 ± 7,5	24,5 ± 6,5	22,6 ± 5,6
Plominski zaljev (6–9 m)	3	575,1–642,4	39,9–43,0	0	32,6–52,1	30,6–36,8
		618,0 ± 37,2	41,0 ± 1,8		39,3 ± 11,1	34,4 ± 3,4
Zaljev Raše (0–130 cm)	8	326,4–466,1	22,3–33,3	0–4,3	28,9–34,8	26,7–64,4
		437,3 ± 48,6	26,7 ± 3,2	0,6 ± 1,5	31,6 ± 2,1	45,5 ± 13,3
Zaljev Raše (0–15 cm)	4	453,6–534,0	21,0–28,9	4,3–25,0	19,0–33,0	26,7–45,0
		480,4 ± 36,4	24,7 ± 3,5	13,8 ± 8,5	26,0 ± 6,6	38,2 ± 8,2

n – Broj uzoraka; * – Raspon mjerenih aktivnosti; ** – Srednja vrijednost ± standardna devijacija

sigurnošću tvrditi kako su izvorna područja sedimentiranog materijala bitno različita. Pri tome se dublji slojevi sedimenta sastoje od eolskim putem donešenog odnosno vodama ispranog materijala koji potječe iz slivnog područja zaljeva. Taj je materijal sedimentiran sasvim sigurno prije 1932. (na temelju odsutnosti cezija moglo se zaključiti najkasnije do prije početka pedesetih) odnosno prije prokopa tunela do Čepić polja. Sedimenti do tri metra dubine, najvećim dijelom fliškog porijekla, sigurno su istaloženi u posljednjih tridesetak (ili nešto manje) godina. Pored torija, i koncentracije radionuklida uranijevog niza u slojevima istaloženim prije 1932. odgovaraju radiometrijskim karakteristikama tala u okolici TE Plomin, dok u sloju plićem od 3 m odgovaraju radiometrijske karakteristike tala na flišu (Tablica 5.).

Tablica 3. Radiometrijske karakteristike potočnih sedimenata (stream) iz Istre (uzorkovano 1992. i 1997.–1998., – u Bq/kg)

Uzorci	n	⁴⁰ K	²²⁸ Ra	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³⁸ U
potok Bižac	4*	88,0–353,2	10,4–24,3	2,0–11,0	71,2–428,0	52,4–313,0
	**	221,6 ± 109,1	17,7 ± 6,5	4,9 ± 4,2	206,3 ± 154,0	142,2 ± 116,4
Sedimenti sliva Boljunšćice	8	42,0–482,0	5,0–38,0	4,0–47,0	10,0–41,0	10,0–41,0
		274,5 ± 140,4	20,1 ± 10,6	16,9 ± 16,1	21,2 ± 9,6	20,6 ± 10,4
Sedimenti sliva Raše	5	255,0–325,0	15,0–31,0	6,0–62,0	14,0–110,0	21,0–102,0
		301,6 ± 27,6	23,4 ± 6,5	24,2 ± 22,0	44,8 ± 39,8	44,6 ± 33,7
Sedimenti svih slivova	35	42,0–482,0	5,0–73,0	1,0–460,0	10,0–110,0	6,0–102,0
		304,8 ± 103,2	28,2 ± 17,7	31,5 ± 76,6	35,2 ± 22,7	30,6 ± 18,5

n – Broj uzoraka; * – Raspon mjerenih aktivnosti; ** – Srednja vrijednost ± standardna devijacija

Tablica 4. Radiometrijske karakteristike sedimenata nekih sedimentacijskih područja Jadrana (uzorkovano 1989.–1994.; – u Bq/kg)

Uzorci	n	⁴⁰ K	²²⁸ Ra	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³⁸ U
Ušće Poa (0–15 cm)	12*	500,0–765,0	24,2–31,6	1,7–25,6	20,4–25,6	21,9–39,4
	**	600,4 ± 77,6	27,4 ± 2,6	8,6 ± 6,7	22,4 ± 1,9	26,2 ± 4,7
Ušće Cetine (0–90 cm)	11	207,0–471,0	15,7–29,3	0,0–5,8	19,0–29,1	12,6–22,5
		296,9 ± 59,0	21,7 ± 3,3	1,5 ± 2,4	22,8 ± 2,6	17,0 ± 2,7
Ušće Neretve (0–100 cm)	8	451,0–550,0	25,8–34,5	0,0–19,6	25,6–37,8	19,3–36,3
		505,2 ± 32,9	31,1 ± 3,0	6,9 ± 6,6	29,6 ± 3,5	26,6 ± 4,4
Priobalno more (0–40 cm)	51	56,0–580,0	7,2–66,1	0,0–5,7	10,9–56,7	9,6–50,7
		224,9 ± 125,0	17,8 ± 9,5	1,1 ± 1,4	19,2 ± 6,7	18,2 ± 6,3
Otvoreno more (0–3 cm)	27	163,0–726,0	12,5–32,1	0,5–11,6	14,0–27,1	10,4–25,2
		423,8 ± 167,8	22,4 ± 5,8	4,2 ± 2,9	19,9 ± 3,2	18,5 ± 3,9
Otvoreno more (12–15 cm)	27	226,0–712,0	14,8–32,9	0,0–11,2	14,1–25,2	14,4–39,4
		482,3 ± 157,5	24,9 ± 4,8	2,0 ± 2,7	20,3 ± 2,6	21,0 ± 5,6

n – Broj uzoraka; * – Raspon mjerenih aktivnosti; ** – Srednja vrijednost ± standardna devijacija

Radom TE Plomin u okoliš oslobođeni radionuklidi morali bi većim dijelom dospijevati u recentne sedimente Plominskog zaljeva. To se prije svega odnosi na ²²⁶Ra i ²³⁸U. Premda aktivnost ²²⁶Ra i ²³⁸U u preostaljoj šljaci i pepelu bitno ovisi o sadržaju uranija u ugljenu, njihove koncentracije u šljakama i pepelu koji nastaju posljednjih godina nikako se ne mogu smatrati zanemarivima (Tablica 6.). Stoga niti ne začuđuju povišene koncentracije ²²⁶Ra i ²³⁸U u sedimentima potoka Bižac (Tablica 3.) koje potvrđuju pretpostavku da se radionuklidi oslobođeni radom TE Plomin u njen neposredni okoliš transportiraju u sedimente Plominskog zaljeva.

Tablica 5. Radiometrijske karakteristike stijena i tala u Istri (uzorkovano 1989.–1998, – u Bq/kg)

Uzorci	n	⁴⁰ K	²²⁸ Ra	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³⁸ U
Tla na fliškoj podlozi	17* **	218–460 358 ± 114	19–41 28 ± 13	11–238 65 ± 132	15–65 24 ± 23	10–63 26 ± 29
Tla na različitim podlogama	125	122–523 351 ± 128	12–89 54 ± 36	5–330 55 ± 107	15–311 78 ± 102	8–222 63 ± 81
Tla u blizini TE Plomin	4	449,6–528,9 479,9 ± 34,2	45,9–63,5 54,1 ± 7,3	15,8–33,0 22,9 ± 8,1	40,5–123,6 85,7 ± 40,5	38,2–62,1 52,4 ± 11,4
Netrošeni glinoviti lapori	4	371,9–1204,5 796,3 ± 444,7	19,5–61,3 40,3 ± 23,3	0	15,1–313,9 138,0 ± 132,0	17,4–311,4 138,6 ± 129,8
Proslojci glinovitih lapora	3	476,6–1340,0 1015,5 ± 469,9	54,4–66,4 59,3 ± 6,3	0	134,8–463,5 309,9 ± 165,4	169,3–660,8 435,1 ± 248,2
Razni varijeteti vapnenaca	17	4,3–164,9 38,9 ± 40,2	0,1–4,0 1,1 ± 1,0	0	6,9–59,2 21,4 ± 13,4	8,0–63,0 23,7 ± 16,4

n – Broj uzoraka; * – Raspon mjerenih aktivnosti; ** – Srednja vrijednost ± standardna devijacija

Tablica 6. Radiometrijske karakteristike materijala sa odlagališta pepela TE Plomin (uzorkovano 1992. i 1997, – u Bq/kg)

n	⁴⁰ K	²²⁸ Ra	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³⁸ U
5* **	30,0–225,1 140,0 ± 73,0	37,0–100,9 81,8 ± 26,2	0	184,3–683,0 378,3 ± 187,1	116,9–748,0 311,7 ± 250,6

n – Broj uzoraka; * – Raspon mjerenih aktivnosti; ** – Srednja vrijednost ± standardna devijacija

Koncentracije ²²⁶Ra i ²³⁸U u sedimentima Plominskog zaljeva su niže od onih u zaljevu Raša. Uz to, u Plominskom zaljevu ²²⁶Ra i ²³⁸U su u radiokemijskoj ravnoteži za razliku od zaljeva Raša u kojoj je ona signifikantno narušena u korist uranija (Tablica 2.). Razlog tome je dreniranje uranijem, u kontaktu s ugljenonosnim naslagama, obogaćenih voda u Raški zaljev, što u Plominskom nije slučaj. Stoga su i radiometrijske osobitosti recentnih sedimenata Plominskog zaljeva glede prirodnih radionuklida sličnije onima otvorenog Jadrana nego zaljeva Raša ili sedimentacijskog prostora ušća Po-a u kojem je antropogeni utjecaj glede uranija zamjetan (Ba98).

Na temelju provedenog uzorkovanja ne mogu se donijeti konačni sudovi o utjecaju TE Plomin na povišenje aktivnosti ²²⁶Ra i ²³⁸U u sedimentima Plominskog zaljeva u cjelini. U svakom slučaju on nije zamjetan uz južnu obalu središnjeg dijela zaljeva prvenstveno stoga što glavninu sedimenta predstavljaju naslage izvorno fliškog materijala koji se taloži veoma brzo. Stoga je početa multielementarna analiza prikupljenih uzoraka XRF metodom, kako u cilju točnijeg određivanja udjela fliškog materijala u sedimentu tako i u cilju određivanja koncentracija onih mikroelemenata čiji je sadržaj u odloženoj šljaci i pepelu bitno povišen. Obzirom da je do sada uzorkovan samo jedan i to nepotpuni vertikalni profil uz južnu obalu središnjeg dijela, potrebno je pri-

kupiti i analizirati uzorke na još nekoliko potpunijih profila lociranih na ulaznom i središnjem dijelu zaljeva, te recentnim sedimentima već gotovo ispunjenom prostoru završnog dijela Plominskog zaljeva.

Zaključak

Brzina sedimentacije uz južnu obalu središnjeg dijela Plominskog zaljeva u posljednjih je dvadesetak, a moguće i više, godina veoma velika te prema svemu sudeći premašuje 10 cm godišnje. Dublji sedimenti (preko 6 m dubine) se sastoje od eolskim putem donešenog odnosno vodama ispranog materijala koji potječe iz slivnog područja zaljeva, a istaloženi su sasvim sigurno prije 1932. godine. Sediment plići od 3 m pretežito je fliški materijal transportiran iz slivnog područja Boljunščice i taložen posljednjih tridesetak, moguće i nešto manje, godina.

Na temelju provedenog uzorkovanja i mjerenja nije moguće potvrditi utjecaj TE Plomin na povećanje radioaktivnosti u recentnim marinskim sedimentima uz južnu obalu središnjeg dijela zaljeva. Pored nedovoljnog broja prikupljenih i analiziranih uzoraka, razlog vjerojatno leži i u činjenici da je glavina recentnog sedimenta, prema preliminarnim rezultatima preko 95%, fliški materijal erodiran sa slivnog područja Boljunščice.

Literatura

- Ba89 Barišić D. i Lulić S. (1989): Prirodni radionuklidi u šljakama i pepelima iz termoelektrana na ugljen. Zbor. rad. XV Simp. Jugosl. društva za zašt. od zračenja, 91–94, Priština.
- Ba92a Barišić D. (1992a): ^{137}Cs u tlu na području Istre. Zbor. rad. I Simp. Hrvat. društva za zašt. od zračenja, 224–229, Zagreb.
- Ba92b Barišić D. (1992b): Odnos ^{226}Ra i ^{228}Ra u tlu na području Istre. Zbor. rad. I Simp. Hrvat. društva za zašt. od zračenja, 212–217, Zagreb.
- Ba93 Barišić D. (1993): Radionuklidi u tlima Istre. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu.
- Ba95 Barišić D., Lulić S., Vdović N., Vertačnik A. & Juračić M. (1995): ^{137}Cs in Northern Adriatic Sediments. Proc. Int. Symp. on Radiation Protection in neighbouring countries in Central Europe. 268–270, Portorož, Slovenija.
- Ba96 Barišić D., Lulić S., Vdović N., Vertačnik A. & Juračić M. (1996): ^{137}Cs in sediments of northern and middle Adriatic sea. Proc. Int. Congress on Radiation Protection – IRPA9, Vol.2, 634–636, Vienna, Austria.
- Ba98 Barišić D., Vertačnik A., Lulić S., Mihelčić G., Sondi I., Juračić M., Prohić E. and Crmarić R. (1998): Natural radionuclides in recent marine sediments of the Adriatic sea. XXXVth CIESM Congress Proceedings, Vol 35(1), 228–229, Dubrovnik.
- IR84 Institut »Ruđer Bošković«, OOUR Fizika, energetika i primjena (1984): Proračun emisija radioaktivnih elemenata i teških metala na osnovi mjerenja koncentracija u pepelu, zraku i vodi. 1–116, Zagreb.
- Ju95 Juračić M., Sondi I., Barišić D., Vdović N. & Pravdić V. (1995): Sedimenti i sedimentacija u Mljetskim jezerima (Hrvatska). Ekološke monografije 6: Prirodne značajke i društvena valorizacija otoka Mljeta. 107–116, Pomena, otok Mljet.
- Mi93 Mičetić G. (1993): Erozija u slivovima akumulacija srednje Istre. Hrvatska vodoprivreda, 7, 22–23.
- Mi96 Mihelčić G., Šurija B., Juračić M., Barišić D. and Branica M. (1996): History of the accumulation of trace metals in sediments of the saline Rogoznica Lake (Croatia). Sci. Total Environ. 182, 105–115.

Autori

Dr. sc. Delko Barišić

Viši znanstveni suradnik Instituta »Ruđer Bošković«, Laboratorij za radioekologiju, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Ruđer Bošković«, Bijenička 54, 10001 Zagreb, Hrvatska

e-mail; dbarisic@rudjer.irb.hr

Dr. sc. Goran Kniewald

Viši znanstveni suradnik Instituta »Ruđer Bošković«

e-mail; kniewald@rudjer.irb.hr

Dr. sc. Astrea Vertačnik

Znanstveni suradnik Instituta »Ruđer Bošković«

e-mail; astrea@rudjer.irb.hr

Dr. sc. Stipe Lulić

Znanstveni suradnik Instituta »Ruđer Bošković«

e-mail; lulic@rudjer.irb.hr



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.10.

Minerali magnezija i željeza u estuariju Krke

Stanislav Frančišković-Bilinski, Darko Hanžel, Darko Tibljaš, Halka Bilinski

SAŽETAK: U ovom radu je precizno određen sastav magnezijuskog kalcita, metastabilnog karbonata, povećane topljivosti u odnosu na kalcit. Radi se o visokomagnezijskom kalcitu, koji sadrži 8,8–16,1 mol% MgCO_3 .

O sudbini željeza u estuariju do sada nije bilo poznato ništa. Primijenjena je Mössbauerova spektroskopija za ispitivanje sedimenata s najvećom koncentracijom željeza. U sedimentu E₉ s dna Prokljanskog jezera nalaze se Fe^{2+} ioni u dolomitu i Fe^{3+} ioni najvjerojatnije u $\text{Fe}(\text{OH})_3$. U uzorku nedaleko od tvornice ferolegura (E_{4a}) dublet u spektru je pripisan Fe^{3+} ionu, također u istom okolišu.

KLJUČNE RIJEČI: magnezijuski kalcit, dolomit, Fe^{2+} , Fe^{3+} , estuarij Krke, priobalno more

Magnesium and Ferrous Minerals in the Krka River Estuary

SUMMARY: The present paper precisely determines content of magnesium calcite, metastable carbonate of increased solubility as compared to calcite. This is high-magnesium calcite, containing 8.8–16.1 mol% MgCO_3 . So far, there has been no information on iron in the estuary. Mössbauer spectroscopy was used to determine sediments with the highest iron concentration. Sediment E₉ from the Prokljansko Jezero Lake bottom contains Fe^{2+} ions in dolomite and Fe^{3+} ions probably in $\text{Fe}(\text{OH})_3$. In the same environment, the doublet in spectrum in the sample taken not far from the ferrous alloys (E_{4a}) factory has been attributed to the Fe^{3+} ion.

KEYWORDS: magnesium calcite, dolomite, Fe^{2+} , Fe^{3+} , the Krka estuary, territorial sea

Uvod

Minerali u sedimentima estuarija Krke i u priobalnom moru se intenzivno ispituju niz godina. Tako su Prohić (1984.), Juračić (1987.) i Prohić i Juračić (1989.) našli da karbonatni minerali prevladavaju u estuariju, kao posljedica sastava stijena slivnog područja. Kao nekarbonatnu frakciju spominju kvarc i minerale glina. Adsorpcija tragova metala na spomenutim mineralnim površinama ispitivana je na modelnim sistemima (Bilinski i sur., 1991.). Utvrđeno je da Krka pokazuje znatno svojstvo samoprečišćavanja; također da površinski sedimenti, koji sadrže kalcit i aluminosilikate mogu biti odlagalište za većinu elemenata u tragovima u estuariju. Nedavna istraživanja Bilinski i sur. (1996.) su pokazala da industrijska troska i čestice dima tvornice ferolegura u Šibeniku predstavljaju u estuariju kontinuirani izvor mangana, željeza i elemenata u tragovima. Otapanjem u estuarijskoj vodi različitih saliniteta nastaju nove faze, koje djeluju kao adsorbensi za mnoge elemente u tragovima i tako doprinose čišćenju vode. Minerali mangana, takanelit i kalcijev kutnahorit su nađeni i identificirani u estuariju. O mineralima željeza u estuariju dosada nema nikakvih podataka.

Cilj rada

- Točno odrediti sastav magnezijskog kalcita, metastabilnog karbonata, povećane topljivosti u odnosu na kalcit;
- Karakterizirati faze u kojima se nalaze ioni željeza, koji kontinuirano dolaze u estuarij Krke otapanjem troske i čestica dima tvornice ferolegura u Šibeniku.

Eksperimentalni dio

Postaje uzorkovanja sedimenata

Uzorci sedimenata su izvađeni u srpnju 1996. godine u području estuarija rijeke Krke i priobalnom moru. Postaja E₉ je smještena u sredini Prokljanskog jezera, unutar granica Nacionalnog Parka. Postaja E_{4a} je nedaleko tvornice feromangana u Šibeniku, te se može na njoj očekivati najveći antropološki utjecaj. Postaja C₂ je prva marinska postaja iza ušća, dok postaja C₁ nedaleko Zlarina predstavlja referencu za nezagađeno more. Školjke iz Sjevernog Jadrana su korištene kao referenca za biogene karbonate.

Kemijska analiza sedimenata

Glavni elementi Ca i Mg su određeni kompleksometrijskom metodom, nakon otapanja sedimenata u razrijeđenoj solnoj kiselini (1:4). Metoda je detaljno opisana u literaturi (Skoog i sur., 1996.). Minorni elementi su određeni metodom rendgenske fluorescentne spektroskopije (XRF).

Rendgenska analiza praha

Mineraloški sastav je određen pomoću difraktometra (Philips, PW 1050). Identifikacija faza je izvršena koristeći Powder Diffraction File (1997.). Kvantitativni sastav magnezijskog kalcita je izračunat iz pomaka pet odabranih maksimuma u difraktogramu kalcita. Upotrebene su jednadžbe za parametre jedinične ćelije a i c prema radu Mackenzie i sur. (1983.), kao i formula za heksagonski sistem opisana u Warren (1969.).

Mössbauerova spektroskopija

Odabrani su uzorci E₉ i E_{4a} u kojima je željezo prisutno u relativno visokoj koncentraciji. Mjerenja Mössbauerovih spektara su izvedena na sobnoj temperaturi. Korišten je izvor ⁵⁷Co aktivnosti oko 5 m Ci u Rh matrici. Spektri su kompjutorski obrađeni, a najbolji dobiveni parametri su korišteni za karakterizaciju faza u kojima se nalazi željezo.

Rezultati i diskusija

Kemijska analiza

Kemijska analiza sedimenata je sumarno prikazana na tablici 1. Karakterističan je porast koncentracije kalcija i magnezija, kao i smanjenje koncentracije željeza od estuarija (E₉) prema moru (C₁). Koncentracije većine elemenata u tragovima pretežno su veće u estuarijskim (E₉ i E_{4a}), nego u morskim sedimentima (C₂ i C₁). Budući da u XRF metodi nije bilo moguće koristiti karbonatni standard, mjerenja elemenata u tragovima mogu se smatrati orijentacionima.

Tablica 1. Kemijska analiza sedimenata sakupljenih u srpnju 1996.

	E ₉	E _{4a}	C ₂	C ₁
Ca (%)	28,16	32,26	32,77	35,05
Mg (%)	2,79	2,79	3,05	3,28
Fe (μg/g)	12500	4817	2611	1115
Co (μg/g)	1,5	<0,7	<0,3	<0,4
Cu (μg/g)	18,4	17,4	9,7	11,6
Zn (μg/g)	42,8	54,5	9,2	6,0
Rb (μg/g)	29,7	6,3	7,2	3,6
Pb (μg/g)	22,6	15,2	2,6	5,7
Cr (μg/g)	26,9	42,0	22,2	19,4
Sr (μg/g)	970,5	967,1	1287,4	914,3
Ni (μg/g)	9,3	3,1	1,8	3,5
Hg (μg/g)	1,23	0,37	0,27	0,44
Br (μg/g)	12,8	3,3	3,3	2,7
Eu (μg/g)	1,03	1,88	0,22	0,20
Ba (μg/g)	1032	531	134	<202
Mn (μg/g)	538	2580	116	212

Rengenska difrakcija praha

Iz rendgenograma praha načinjena je kvalitativna analiza mineraloškog sastava svakog uzorka. Za identifikaciju minerala su korištene PDF kartice za: kalcit (47–1743), aragonit (41–1475), dolomit (36–426), kvarc (33–1161), halit (5–0628).

Karakterističan primjer ovakve analize je prikazan u tablici 2. za estuarijski sediment E₉.

Rezultati kvantitativne analize magnezijskog kalcita su prikazani u tablici 3.

Utvrđeno je da nastaje visokomagnezijski kalcit varijabilnog sastava od 8,8 do 16,1 mol% MgCO₃. Važno je istaknuti da je prema radu Mackenzie i sur. (1983.) visokomagnezijski kalcit, koji je nastao kod niskih temperatura, metastabilan i da prelazi u kalcit s niskim sadržajem magnezija i dolomit. Za vrijeme dijagenetskih promjena prema radu Bishoff i sur. (1993.) dolazi do redukcije topljivosti.

Mössbauerova spektroskopija

Tipični Mössbauerovi spektri se mogu razmatrati kao superpozicija fero i feri dubleta (du1 i du2) kod sedimenta E₉, a samo kao feri dublet (du1) kod sedimenta E_{4a}. Mössbauerovi parametri su sumarno prikazani u tablici 4., a moguće ih je koristiti za identifikaciju faza željeza. Fero ioni (Fe²⁺) su ugrađeni u dolomit u sedimentu E₉. Feri ioni (Fe³⁺) su radi sličnosti hiperfinskih parametara (du2, E₉ i du1, E_{4a}) u identičnom obliku, najvjerojatnije u slabo kristaliziranom Fe(OH)₃. Treba napomenuti da nisko spinski Fe²⁺ ioni u piritu mogu doprinijeti intenzitetu dubleta koji je pripisan Fe³⁺ ionu.

Tablica 2. Kvalitativna analiza mineralnog sastava uzorka površinskog sedimenta s lokality E₉, sredina Prokljanskog jezera

Θ (°)	d (Å)	I	MINERAL	h k l
9,90	4,4802	6	?	?
10,40	4,2670	6	kvarc	1 0 0
11,50	3,8636	12	kalцит	1 0 2
11,60	3,8308	9	Mg-kalцит	1 0 2
13,05	3,4113	23	aragonit	1 1 1
13,25	3,3607	22	kvarc	1 0 1
13,55	3,2877	13	aragonit	0 2 1
14,65	3,0456	100	kalцит	1 0 4
14,80	3,0154	81	Mg-kalцит	1 0 4
15,45	2,8915	18	dolomit	1 0 4
15,80	2,8290	16	halit	2 0 0
16,50	2,7121	16	aragonit	0 1 2
17,95	2,4994	23	kalцит	1 1 0
18,85	2,3841	11	aragonit	1 1 2
19,25	2,3364	7	aragonit	1 3 0
19,65	2,2906	20	kalцит	1 1 3
19,90	2,2630	17	kvarc	1 0 2
20,50	2,1995	5	aragonit	2 1 1
21,55	2,0971	16	kalцит	2 0 2
21,80	2,0742	13	Mg-kalцит	2 0 2
22,65	2,0002	10	halit	2 2 0
22,85	1,9836	15	aragonit	2 2 1
23,50	1,9317	7	kalцит	2 0 4
23,70	1,9164	19	kalцит	1 0 8
24,20	1,8791	24	kalцит	1 1 6
24,50	1,8575	14	Mg-kalцит	1 1 6
25,05	1,8192	7	aragonit	1 3 2
26,15	1,7478	9	aragonit	1 4 1
26,40	1,7324	5	aragonit	1 1 3
28,25	1,6274	4	kalцит	2 1 1
28,70	1,6040	10	kalцит	2 1 2
28,90	1,5939	6	kalцит	1 0 10

Tablica 3. Određivanje mol% MgCO₃ (X) u kalcitu iz podataka rendgenske difrakcije praha

UZORAK	d ₁₀₄	X	d ₁₁₃	X	d ₂₀₂	X	d ₁₁₆	X	sr. v. X
školjke	3,0055	9,5	2,2685	7,5	2,0742	11,0	–	–	9,3
C ₁	2,9957	13,0	2,2630	10,5	2,0697	13,0	1,8504	14,0	12,6
E ₉	3,0154	6,0	–	–	2,0742	11,0	1,8575	9,5	8,8
E _{4a}	2,9859	17,0	2,2521	16,8	2,0652	16,5	1,8504	14,0	16,1
C ₂	3,0055	9,5	2,2630	10,5	2,0787	8,0	–	–	9,3

Tablica 4. Hiperfina parametri Mössbauerovih spektara

uzorak	sub spectra	IS [mm/s]	QS [mm/s]	stanje Fe
E ₉	du 1	1,12 (4)	2,58 (5)	Fe ²⁺ u dolomitu Fe ³⁺ u Fe (OH) ₃
	du 2	0,35 (2)	0,61 (3)	
E _{4a}	du 1	0,35 (1)	0,63 (3)	Fe ³⁺ u Fe (OH) ₃

Zahvala

Rad je izrađen u okviru projekta U. S. Geological Survey, USA – Croatia, JF-169. Djelomično je financiran od Ministarstva Znanosti i Tehnologije Republike Hrvatske i Republike Slovenije. Posebno se želimo zahvaliti g. Željku Kwokalu za uzimanje uzoraka sedimenata ronjenjem; Dr. Astrei Vertačnik za XRF analizu; Prof. Esadu Prohiću, koji je omogućio izvođenje kemijske analize makrokomponentata i pokazao interes za ovaj rad.

Literatura

- Bilinski H., Kozar S., Plavšić M., Kwokal Ž., Branica M. (1991): Trace metal adsorption on inorganic solid phases under estuarine conditions, *Marine Chem.* **32**, 225–233.
- Bilinski H., Kwokal Ž., Branica M. (1996): Formation of some manganese minerals from ferromanganese factory waste disposed in the Krka river estuary, *Wat. Res.* **30**, 495–500.
- Bishoff W.D., Bertram M.A., Mackenzie F.T., Bishop F.C. (1993): Diagenetic stabilization pathways of magnesium calcites, *Carbonates & Evaporites* **8** (1), 82–89.
- Juračić M. (1987): Mehanizmi sedimentacije u nekim estuarijima Jadrana, svojstva recentnih sedimentata i suspendirane tvari, *Disertacija*, Sveučilište u Zagrebu.
- Mackenzie F.T., Bischoff W.D., Bishop F.C., Loijens M., Schoonmaker J., Wollast R. (1983): Magnesian calcites: Low-Temperature occurrence, solubility and Solid-Solution behavior, *Carbonates, Mineralogy and Chemistry*, ed. R. J. Reeder, *Reviews in Mineralogy*, Vol. **11**, 97–144, Mineralogical Society of America, Washington, D. C.
- Powder Diffraction File (sets 1–47) (1997), International Centre for Diffraction Data, Newtown Square, Pennsylvania, USA.
- Prohić E. (1984): Raspodjela elemenata u tragovima u recentnim sedimentima estuarija Krke, *Disertacija*, Sveučilište u Zagrebu.

- Prohić E., Juračić M. (1989): Heavy metals in sediments – Problems concerning determination of the anthropogenic influence, Study in the Krka River estuary, E. Adriatic Coast, Environ. Geol. Water Sci. 2, 145–151.
- Skoog D., West D.M., Haller F.J. (1996): Fundamentals of Analytical Chemistry, Saunders College Publishing.
- Warren B.E. (1969): X-ray diffraction, ch.2; Crystal axes and the reciprocal lattice, p.21, Addison-Wesley Publ. Comp., MIT, Mass, USA

Autor

Halka Bilinski, Dr. kem., znanstveni savjetnik,
Institut Ruđer Bošković, Zavod za Fizičku kemiju, GTK.



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.11.

Udio olova u recentnom sedimentu estuarija rijeke Krke

D. Bogner, I. Ujević, A. Barić

SAŽETAK: Udio olova, organske tvari, karbonata i granulometrijski sastav određen je u površinskom sedimentu estuarija Krke.

Na povećanje udjela olova od postaje 1 prema postaji 4, najviše utječe povećanje antropogenog utjecaja i prometa.

KLJUČNE RIJEČI: olovo, sediment, estuarij Krke

Lead Content in the Recent Sediment of the Krka River Estuary

SUMMARY: Content of lead, organics, carbonate and grain-size distribution are determined for the surface sediment of the Krka River estuary.

Increase in lead content between the stations 1 and 4 is mostly affected by human activity and traffic.

KEYWORDS: lead, sediment, the Krka estuary

Uvod

Estuarij je područje toka rijeke u kojem dolazi do miješanja slane i slatke vode, a često je to i područje brze sedimentacije. Sedimenti koji se talože u estuariju odražavaju sastav materijala koji se transportira rijekom iz drenažnog područja kontinenta, a sadrži materijal koji dolazi od erozije neposredne obale estuarija, a moguće i obalne linije, materijal koji nastaje in situ kao posljedica djelovanja i životnih aktivnosti organizama, te aktivnosti čovjeka (Prohić, 1984.).

Rijeka Krka se nalazi u krškom području što utječe na malu količinu suspendiranog materijala u riječnoj vodi. Pritoka Guduča koja prolazi kroz fliške naslage donosi najznačajniju količinu suspendiranog materijala u estuarij rijeke Krke. U Prokljanskom jezeru značajna je sedimentacija sitnozrnatog materijala (Juračić, 1993.).

Olovo se koristi za izradu baterija, pigmenata za boje (minij), kemikalija i mnogih drugih proizvoda koji mogu dospjeti u okoliš na različite načine. U okoliš olovo dolazi i izgaranjem ugljena, drva i drugih organskih materijala, uključujući i gradski otpad (DOE, 1974.). Sintetski alkil-olovni dodaci za gorivo značajno zagađuju atmosferu.

Povećan udio olova u obalnim vodama Mediterana prvenstveno je posljedica donosa iz atmosfere. Olovo dijelom ostaje otopljeno u vodenom stupcu, dio asimiliraju planktonski organizmi, a dio se veže za partikulatnu tvar koja se taloži na morsko dno. Hraneći se fitoplanktonom u zooplanktonu dolazi do bioakumulacije olova, a i njihovi fekalni peleti koji u par dana dopijevaju na morsko dno, su obogaćeni sa kovinama.

Koncentracija olova u morskom sedimentu smanjuje se od obalne zone (Fernex i Migon, 1994.).

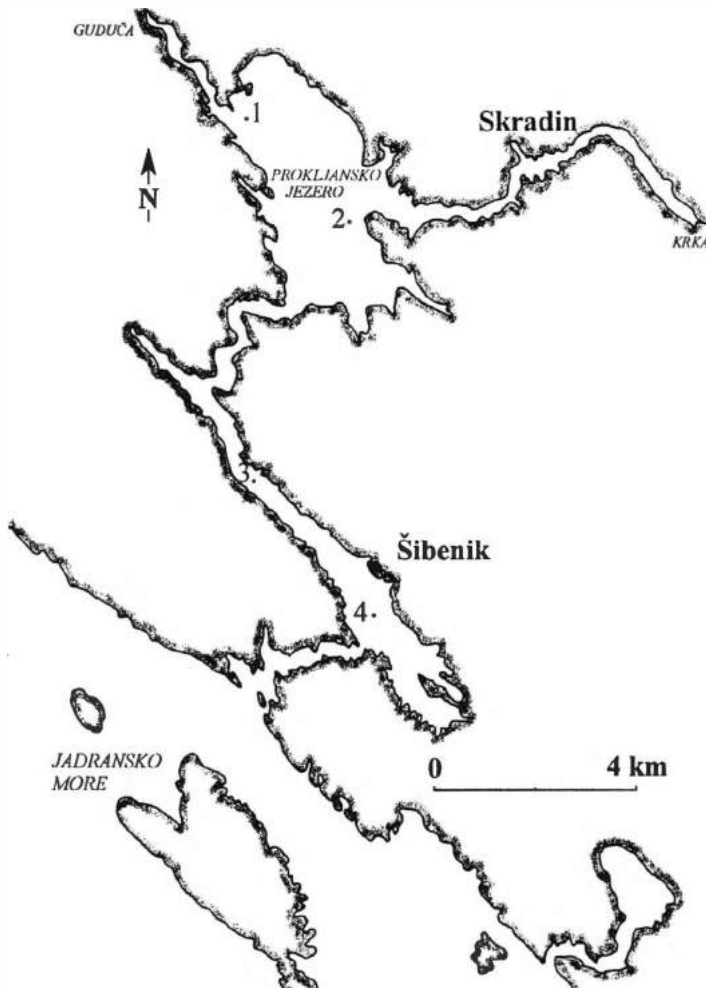
Maseni udjeli olova u sedimentima obalnog područja Jadranskog mora variraju od 10 (Stončica, otok Vis) do 300 mg kg⁻¹ d. w. (Luka Gruž, Dubrovnik) (Zvonarić i Odžak, 1998.; Ujević i sur., 1998.).

Svrha ovog rada je odrediti udio olova u recentnom sedimentu na četiri postaje u estuariju Krke te utjecaj organske tvari, karbonata i granulometrijskog sastava na raspodjelu olova.

Metode

Uzorci sedimenata duljine 4 cm uzeti su u srpnju 1996. godine u estuariju rijeke Krke (Slika 1.) plastičnim gravitacijskim korerom promjera 6 cm.

Maseni udio olova određen je metodom ET-AAS upotrebom Perkin-Elmer 1100B. Organska tvar određena je iz gubitka mase prije i nakon obrade sa H₂O₂ i žarenja na



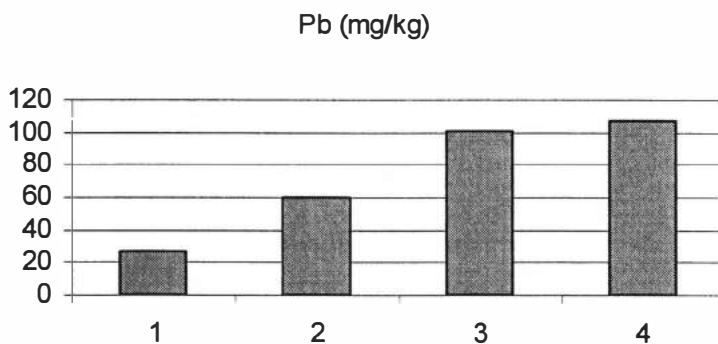
Slika 1. Istraživano područje sa postajama.

temperaturi od 450 °C, dok je udio karbonata određen iz gubitka mase nakon obrade s 4 M HCl (Loring i Rantala, 1992.). Maseni udio olova, udio organske tvari i karbonata određeni su u poduzorcima sedimenta debljine 1 cm, a prikazane su srednje vrijednosti za površinski sloj debljine 4 cm. Granulometrijski sastav određen je kombiniranom metodom prosijavanja (>63 µm) i aerometriranja po Casagrande-u (<63 µm) u površinskom uzorku sedimenta debljine 4 cm.

Rezultati i diskusija

Olovo

Dobivene vrijednosti (Slika 2.) za postaje 1 i 2 slične su vrijednostima koje su određene u prijašnjim istraživanjima (Prohić i Juračić, 1989.). Povećan udio olova na postaji 3 (blizina mosta) najvjerojatnije je posljedica upotrebe olovnog benzina. Kao i u prijašnjim istraživanjima viši udjeli olova određeni su ispred Šibenika na postaji 4 (Zvonarić i Odžak, 1998.; Ujević i sur., 1998.).



Slika 2. Udio olova na istraživanim postajama.

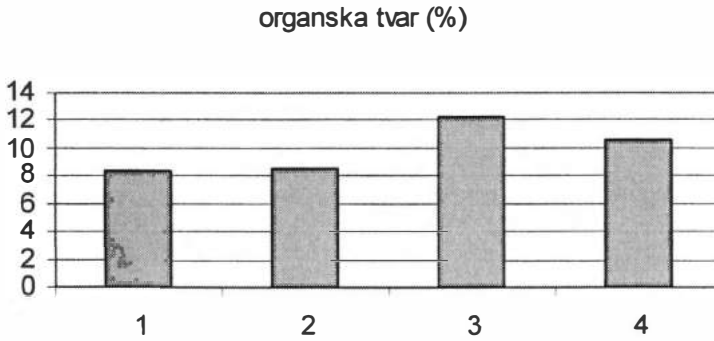
Organska tvar

Organska tvar je sastavna komponenta sedimenta, a ovisno o porijeklu može biti autohtona (plankton i bentos) i alohtona (donos rijekom) (Faganeli i sur., 1994.). Visok udio organske tvari može biti rezultat eutrofikacije vodenog sustava. Povećani udio partikulatne organske tvari dovodi do reduktivnih uvjeta u sedimentu, što također utječe na stupanj sačuvanja organske tvari (Libes, 1992.).

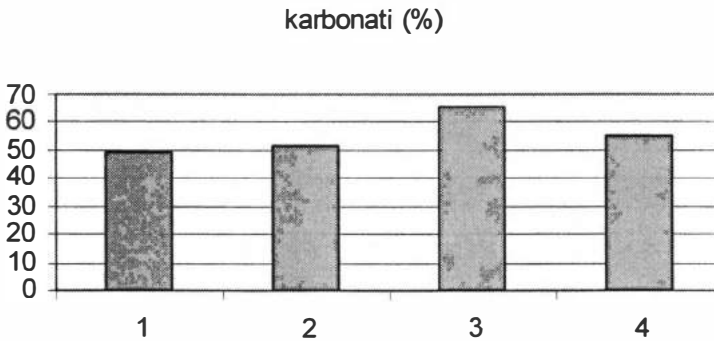
Najviši udio organske tvari je na postaji 3, a najvjerojatnije je posljedica životne aktivnosti organizama i visokog udjela sitnozrnatog sedimenta, a najniži na postaji 1, koja je pod utjecajem pritoke Guduče (Slika 3.).

Karbonati

Udio karbonata ovisi o terigenom donosu, o veličini zrna čestica (karbonati se najčešće javljaju u krupnijim zrnima), ali i o količini i veličini biogenih ostataka. Najviši udio karbonata određen je na postaji 3 (65,4%) a najniži na postaji 1 (49%) (Slika 4.). Prema poznatim podacima za postaju 2 dobivene su slične vrijednosti kao i u prijašnjim istraživanjima za to područje (Juračić, 1993.).



Slika 3. Udio organske tvari na istraživanim postajama.



Slika 4. Udio karbonata na istraživanim postajama.

Granulometrija

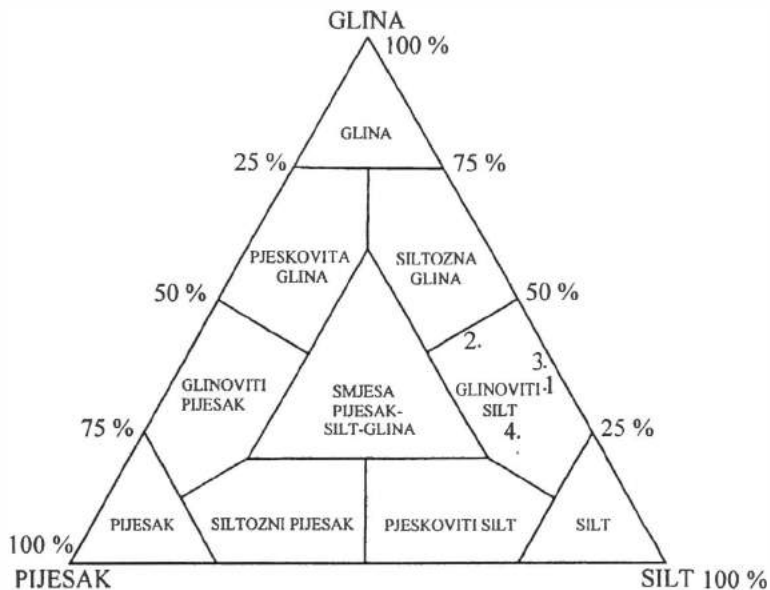
Granulometrijski parametri prikazani su u tablici 1. Sediment je na svim postajama jako loše sortirani (*So*). Na svim postajama istaložen je glinoviti silt (Shepard, 1954.) (Slika 5.). Udio pijeska najveći je na postaji 4 dok je na postaji 3 najmanji.

Tablica 1. Granulometrijski parametri (*Mz* – prosječna veličina zrna; *So* – sortiranje, pokazuje jedoličnost distribucije; *Sg* – asimetričnost raspodjele; *Kg* – zaoštrenost krivulje) (Folk i Ward, 1957.)

Postaja	<i>Mz</i> (m)	<i>So</i>	<i>Sg</i>	<i>Kg</i>
1	20,4	2,29	0,06	1,18
2	0,40	2,80	0,19	1,35
3	0,60	2,98	0,15	0,84
4	1,18	2,79	0,28	1.16

Zaključak

Iako se po granulometrijskom sastavu postaje ne razlikuju, na postaji 1 su udjeli olova, organske tvari i karbonata najniži, dok je prosječna veličina zrna (*Mz*) najveća. Rezultat je to položaja ove postaje na kojoj je antropogeni utjecaj najmanji, dok je



Slika 5. Granulometrijski sastav sedimenata na istraživanim postajama.

donos suspendiranog materijala pritokom Guduča značajan. Na ostalim postajama udio olova povećava se idući prema postaji 4, a tako se povećava i antropogeni utjecaj.

Literatura

- DOE. (1974): Report on lead in the environment, Department of the Environment, DOE Circular 115/74. London, pp4
- Faganeli, J., Pezdic, J., Ogorelec, B., Mišič, M. and M., Najdek (1994): The origin of sedimentary organic matter in the Adriatic. *Contin. Shelf Research*, 14,4 : 365–384.
- Fernex, F. and Migon, C. (1994): Temporary and Definitive Fixation of Atmospheric Lead in Deep-Sea Sediments of the Western Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 28, 12: 727–734.
- Folk, R. L. and Ward, W. C. (1957): Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.* 27: 3–26.
- Juračić, M. (1993): Sedimentation in some Adriatic karstic river mouths (are they estuaries or rias?). *Geol. Croat.* 55–63.
- Libes, S. M. (1992): An introduction to marine biogeochemistry. John Wiley & Sons, Inc. New York. 734pp.
- Loring, D. H. and Rantala, R. T. T. (1992): Manual for geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews* 32: 235–283.
- Prohić, E. and Juračić, M., (1989) Heavy metals in sediments-problems concerning determination of the antropogenici influence. Study in the Krka river estuary, eastern Adriatic coast, Yugoslavia. *Environ. Geol. Water Sci.*, 13 (2): 145–151.
- Prohić, E. (1984): Raspodjela elemenata u tragovima u recentnim sedimentima estuarija Krke. *Disertacija*, Sveučilište u Zagrebu. p202.

- Shepard, F. P. (1954): Nomenclature based on sand-silt-clay relations. *J. Sediment. Petrol.* 24: 151–158.
- Ujević, I., D. Bogner, T. Zvonarić and A. Barić. (1998): Trace metal distribution in coastal sediment from the Adriatic Sea. *Fresenius Envir. Bull.*, 7, 701–708.
- Zvonarić, T. and Odžak, N. (1998): Distribution of Hg, Cu, Zn, Cd and Pb in surface sediments from the coastal region of the central Adriatic. *Repp. Com. int. mer Medit.*, 35, 312–313.

Autori

Mr. sc. Danijela Bogner

Dr. sc. Ante Barić

Institut za oceanografiju i ribarstvo, p. p. 500, Šetalište Ivana Meštrovića 63, 21000 Split

e-mail: bogner@izor.hr

e-mail: baric@izor.hr

Mr. sc. Ivana Ujević

Fakultet prirodoslovno matematičkih znanosti i odgojnih područja, Teslina 10, 21000 Split

e-mail: iujevic@pmfst.hr



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.12.

Rad ureda MAP-a u Bosni i Hercegovini

Tarik Kupusović, Selma Čengić, Aleksandra Hasečić

SAŽETAK: Ured Mediteranskog akcionog plana za BiH izradio je prijedlog projekta »Institucionalno jačanje Ureda MAP-a za BiH«, koji je odabran za sufinanciranje u okviru programa EU – Life Third Countries 1998.

Globalni cilj projekta je unapređenje stanja okoliša u BiH, posebno njenog dijela koji pripada slivu Jadranskog mora, kroz unapređenje sistema upravljanja, kontrole i planiranja, mobiliziranjem svih institucija koje se bave problematikom okoliša.

Ured MAP-a BiH angažirao je domaće i strane eksperte na pripremi Nacionalnog akcionog plana. Prijedlog NAP-a će se fokusirati na održivom, pragmatičnom i integralnom pristupu upravljanju okolišem.

Transfer znanja, putem treninga, seminara i workshop-ova koji će se održati u Hutovom Blatu, Konjicu i Neumu, naročito je usmjeren prema direktnim korisnicima – lokalnim vlastima i institucijama regiona Jadranskog sliva.

Implementacija projekta »Institucionalno jačanje Ureda MAP-a za BiH« definira svoje aktivnosti u skladu sa principima održivog razvoja dijela Bosne i Hercegovine koji pripada mediteranskom bazenu.

KLJUČNE RIJEČI: Mediteranski akcioni plan, Life Third Countries, Nacionalni akcioni plan, Jadranski sliv, okoliš, održivi razvoj

Activities of MAP Office in Bosnia and Herzegovina

SUMMARY: The Mediterranean Action Plan (MAP) Office for Bosnia and Herzegovina has prepared Institutional Enhancement of MAP Office for Bosnia and Herzegovina, a draft project which has been selected for co-financing within the EU – Life Third Countries 1998 program.

The global objective of the project is environmental improvement in Bosnia and Herzegovina, particularly in the region belonging to the Adriatic catchment, through improvement of management, control and planning systems and by mobilization of all institutions involved in environmental management.

The MAP Office for Bosnia and Herzegovina engaged both local and foreign experts in preparation of the National Action Plan. National Action Plan draft shall focus on sustainable, pragmatic and integrated environmental management approach.

Transfer of know-how through training and workshops to be held at Hutovo Blato, Konjic and Neum has been targeted at direct users – local authorities and institutions in the Adriatic catchment region.

Implementation of this project defines its activities in compliance with the sustainable development of that part of Bosnia and Herzegovina which is located in the Mediterranean basin.

KEYWORDS: Mediterranean Action Plan (MAP), Life Third Countries, National Action Plan (NAP), Adriatic catchment, environment, sustainable development

1. Uvod

Mediteransko područje Bosne Hercegovine bilo je predmet istraživačkih projekata tadašnjeg Zavoda za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu (danas Institut) još 1971. godine. Urađen je projekat pod nazivom Hidrologija krša i vodni resursi čiji je cilj bio istraživanje novih pristupa u naučno-istraživačkom radu u proučavanju krša, na principima efikasnog i jedinstvenog razvoja vodnih resursa, a ne samo istraživanje krša kao prirodnog fenomena.

1987.–1988. godine urađen je istraživački projekat Unapređenje metoda za upotrebu i zaštitu voda Mediteranskog krša. Cilj ovog rada bio je unapređenje metoda korištenja i zaštite voda u okviru izučavanih karakteristika kraških prostora. Pri tome je programski naglasak bio na definiranju procesa transformacije kvaliteta voda i potrebnih mjera zaštite u mediteranskom kršu.

Ovdje se mogu pomenuti i projekti Primjena i usporedba daljinskog prikupljanja podataka i matematsko modeliranje za identificiranje procesa u kraškim obalnim područjima (1991.) i Unaprijeđenje modela za simuliranje transportnih procesa u moru (1991.) koje je uradio Istraživački tim Instituta.

Bosna i Hercegovina je usljed četverogodišnjeg rata ostala izvan svjetskih trendova razvoja politike okoliša. Svoje mjesto u Mediteranskom akcionom planu (MAP) osigurala je stjecanjem nezavisnosti 1992. godine. Kroz učešće u aktivnostima MAP-a, BiH može mnogo brže premostiti jaz nastao višegodišnjom stagnacijom.

Ministarstvo vanjskih poslova BiH i Ministarstvo prostornog uređenja i okoliša Federacije BiH podržali su ideju aktivnog učešća BiH u MAP-u i u lipnju 1997. imenovali Nacionalnog koordinatora MAP-a za BiH, prof. dr Tarika Kupusovića, od kada počinje rad Ureda MAP-a za BiH.

2. Dosadašnje aktivnosti ureda MAP-a za BiH

2.1. Promocija okolišne prakse, Barcelonske konvencije i njenih Protokola

Organizacije i institucije uključene u rad Ureda MAP-a BiH (JP za »Vodno područje slivova rijeke Save« Sarajevo, JP za »Vodno područje slivova Jadranskog mora« Mostar, Federalni meteorološki zavod, Agropedološki zavod, BETA-NGO, Institut za hidrotehniku, Park prirode »Hutovo blato«, Hercegovačko-neretvanska županija) pomažu Federalnom ministarstvu prostornog uređenja i okoliša, odnosno Koordinacionom odboru za okoliš BiH, da djeluju na razvoju i unapređenju okolišne prakse u našoj zemlji. Sa tim ciljem, predstavnici ovih institucija učestvovali su na svim sastancima koje je organizirala Koordinaciona Jedinica (MEDU) te treninzima i seminarima koje su organizirali Regionalni centri MAP-a.

Bosna i Hercegovina participira u radu Mediteranske komisije za održivi razvoj (MCSD) gdje je predstavljaju prof. dr Tarik Kupusović, Nacionalni koordinator MAP-a te Marinko Dalmatin u kategoriji lokalnih vlasti, kao zamjenik stalnog člana.

Bosna i Hercegovina učestvuje u radu sljedećih tematskih grupa MCSD-a:

- a) upravljanje potrebama za vodom;
- b) slobodna trgovina i okoliš u euromediteranskom kontekstu; te
- c) upravljanje urbanim i ruralnim razvojem, sa posebnim akcentom na urbani razvoj.

Potrebno je pomenuti da Bosna i Hercegovina iako je zemlja koja ima izlaz na Jadransko more, a time i pristup na Mediteran, još nije formalno potpisnica Barcelonske konvencije i njenih Protokola.

2.2. Izrada prijedloga projekata za SAP

Ured MAP-a za BiH izradio je prijedloge projekata za Bosnu i Hercegovinu: Nacionalni akcioni plan (NAP), insitucionalno i kadrovsko jačanje, izgradnja postrojenja za tretman otpadnih voda, praćenje kvaliteta vode, izgradnja sanitarnih deponija, planovi upravljanja i programi praćenja obalnih i osjetljivih područja, upravljanje i zaštita ugroženih staništa, ekosistema i ugroženih vrsta.

Na »X redovnom sastanku zemalja potpisnica Barcelonske konvencije«, u Tunisu 1997., u okviru Preporuka i programa budžeta za 1998–1999. godinu za Strateški akcioni plan (SAP), prihvaćene su predložene investicije bosanskohercegovačkih projekata (250,8 mil US\$).

2.3. Učešće u Programu »Life – Third Countries«

Ured MAP-a za BiH kandidirao je tri projekta u okviru programa »Life–Third Countries« za 1998. godinu. To je program Evropske unije koji ko-financira projekte trećih zemlja Mediterana i Baltičkog mora, za oblast okoliša. Program uključuje tehničku pomoć za uspostavljanje administrativnih struktura u oblasti okoliša, akcije zaštite prirode i akcije promoviranja održivog razvoja.

Među 181 projektom pristiglim na konkurs Evropske unije, za ko-finansiranje je odabrano 16, od toga dva iz BiH. Jedan od njih je projekat »Institucionalno jačanje Ureda MAP-a za Bosnu i Hercegovinu«.

3. Projekat »Institucionalno jačanje ureda MAP za BIH«

3.1. Ciljevi projekta

Imajući u vidu nepostojanje okolišne prakse u proteklom periodu, brojni su razlozi zbog kojih je potrebno institucionalno ojačati Ured MAP-a za BiH.

Neki od njih su:

- prijeratni trend degradacije okoliša u BiH;
- potreba za usvajanjem okolišnih kriterija u cilju vođenja projekata u skladu sa održivim razvojem;
- potreba za dostizanjem i daljim praćenjem evropskog trenda u oblasti okolišne politike;
- zahtjevi društva, izgradnja i jačanje svijesti kod stanovništva o značaju okoliša.

Projekat treba da doprinese održivom razvoju i unaprijeđenju stanja okoliša u BiH, a naročito njenog mediteranskog dijela. Izuzetno značajno je povećanje efikasnosti Ureda MAP-a njegovim organizacijskim i kadrovskim jačanjem, kroz mobiliziranje institucija koje se bave problematikom zaštite i unaprijeđenja okoliša.

3.2. Aktivnosti predviđene projektom

3.2.1. Nacionalni akcioni plan

Izrada nacrtu Nacionalnog akcionog plana uključuje prezentiranje okolišnih problema u zemlji kao i prijedloge aktivnosti za njihovo rješavanje. Priprema plana odvija se uz usku saradnju domaćeg ekspertnog tima sa međunarodnim institucijama, regio-

nalnim ekspertima i domaćim vlastima a nakon toga će se podnijeti odgovarajućim institucijama na odobrenje i usvajanje.

3.2.2. *Informaciona podrška*

Projektom je planirano uspostavljanje baze podataka koja će sadržavati i odnosi se na:

- vodne i zemljišne resurse (kvalitet, kvantitet itd.)
- privredu (industriju, poljoprivredu, turizam, ribarstvo itd.)
- infrastrukturu
- zagađivače (vode, zraka itd.)

3.2.3. *Biblioteka Ureda MAP-a*

Biblioteka je uspostavljena kao servis za upoznavanje javnosti sa svim MAP-ovim aktivnostima, programima i dokumentima. Dokumentacija biblioteke MAP-a može pomoći prilikom koncipiranja projekata korištenjem iskustava iz projekata ostalih zemalja učesnica Mediteranskog akcionog plana te prilikom formuliranja nacionalnih okolišnih standarda u skladu sa Barcelonskom konvencijom i njenim Protokolima.

Biblioteka za sada posjeduje blizu dvije stotine naslova:

- iz MAP-a (Mediterranean Action Plan)
Konvencije, protokole, izvještaje sa sastanaka i konferencija, publikacije;
- iz METAP (Mediterranean Environment Technical Assistance Programme), MEP (Mediterranean Environment Programme) i CAMP (Coastal Areas Management Programme) programa
Projektne izvještaje, upute, informacije;
- iz RAC-a (Regional Activity Centre)
izvještaje sa sastanaka Focal point-a i kurseva obuke
- publikacije, izvještaje i priručnike iz oblasti okoliša

3.2.4. *Transfer znanja*

Posebna pažnja posvećena je transferu i diseminaciji znanja kako bi se omogućilo da svi faktori zainteresirani i uključeni u problematiku okoliša mediteranskog područja (na lokalnom, županijskom i entitetskom nivou), mogu identificirati i riješavati probleme vezane za zaštitu i unaprijeđenje okoliša.

Transfer znanja će se osigurati putem planiranih treninga, seminara i workshop-ova:

- Workshop u Hutovom Blatu o Održivom razvoju obalnih područja;
- Seminar u Neumu na temu Integralno planiranje i upravljanje obalnim područjima;
- Kurs obuke u Konjicu o Procjeni utjecaja na okoliš.

Svi radni dokumenti će biti objavljeni.

3.2.5. *Informiranje javnosti*

Sekretarijat Ureda MAP-a za BiH uređuje informativni bilten pod nazivom MAP INFO čiji je prvi broj izašao u studenom 1998. godine. Njegov cilj je upoznavanje sa aktivnostima i planovima Ureda MAP-a za BiH te sa aktualnim temama u cijelom mediteranskom regionu.

4. Budućnost MAP-a u Bosni i Hercegovini i zaključci

Aktivnim učešćem u MAP-u, BiH obezbjeđuje pomoć u aktivnostima procjene i kontrole zagađenja mora i morskog okoliša, identifikacije mogućih i izbora povoljnih opcija razvoja, racionalnog izbora resursa za održivo i uravnoteženo korištenje i formuliranje nacionalne politike okoliša.

Saradnjom sa ostalim Mediteranskim zemljama kroz učešće na MAP-ovim sastancima, trening kursevima i izradu izvještaja o stanju u BiH, a u cilju razmjene informacija i iskustava, BiH treba da ojača humane i institucionalne resurse, na svim nivoima, da bi se osposobila za definiranje i provođenje strategije održivog razvoja u Mediteranskom regionu.

Neophodno je i pokretanje aktivnosti na pripremi, izradi i implementaciji integralnog planiranja i upravljanju obalnim područjima (ICAM) u BiH, kao glavnom sredstvu realizacije održivog razvoja.

S tim u vezi Ured MAP-a za BiH predložio je projekat za program Evropske unije Life – Third countries za 1999. sa temom »Plan integralnog upravljanja obalnim područjem Bosne i Hercegovine«. Osnovni cilj projekta je upravljanje i zaštita prirodnih resursa i kulturnog naslijeđa u kontekstu višeznačnih održivih ciljeva i kreiranje institucionalnog, zakonodavnog i finansijskog okvira koji će omogućiti izradu projekta i njegovu efikasnu implementaciju.

Kao zemlja učesnica MAP-a, BiH ima punu odgovornost za vođenje svoje politike u cilju unaprijeđenja okoliša i održivog razvoja. Gledano u ovom kontekstu, BiH je kroz učešće u MAP-u odgovorna za implementaciju Barcelonske konvencije i njenih Protokola, u čemu značajnu ulogu ima i Ured MAP-a za Bosnu i Hercegovinu.

Literatura

Rezultati i iskustva istraživačkog projekta »Vodno bogatstvo i hidrologija krša«, Zavod za hidrotehniku Građevinskog fakulteta, Sarajevo 1978.

Zavod za hidrotehniku Građevinskog fakulteta: *Unapređenje metoda korištenja voda u oblasti mediteranskog krša*, Sarajevo 1988.

Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu: *Godišnjak 1997–98*

Ured Map-a za BiH: *MAP INFO*, novembar 1998. broj 1

Ured Map-a za BiH: *MAP INFO*, mart 1999. broj 2

Autori

Prof. dr Tarik Kupusović, dipl. ing. građ.

Selma Čengiđ, dipl. ing. građ.

Aleksandra Hasečić, dipl. žurn.

Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta, Stjepana Tomića 1, 71 000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

tel/fax: ++387 71 20 79 49, e-mail: mapbh@bih.net.ba

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.13.

Strategija za redukciju zagađenja Jadrana od kopnenih aktivnosti

Gorjana Radulović, Dalila Nuhic, Tarik Kupusović

SAŽETAK: Ograničene mogućnosti korištenja vodnih resursa upućuju na izradu i prihvatanje akcionog plana redukcije zagađenja na strateškoj osnovi, sa razrađenom metodologijom njegove implementacije na cjelokupnoj teritoriji Bosne i Hercegovine.

Akcionni plan za Jadranski sliv BiH sumira aktivnosti neophodne za analizu, utemeljenje, klasifikaciju i ocjenu raznovrsnih emisija zagađenja iz koncentriranih i rasutih izvora u poslijeratnim uvjetima. Prvenstveno se akcent stavlja na urbana područja i oživljavanje proizvodnje po konceptu održivog razvoja kod koncentrisanih, odnosno na poljoprivredno-šumske regije kod rasutih izvora zagađenja. Polazni element akcionog plana je uspostavljanje liste prioriteta žarišta – hot spots, gdje se zahtijeva urgentna akcija.

Značajan segment u okvirima plana predstavlja donošenje zakonske regulative u saglasnosti sa standardima Evropske Unije, čiji je zadatak da reguliše propise i pravila unutar države, te stavi pod kontrolu pronos prekograničnog zagađenja u susjedne zemlje i šire.

KLJUČNE RIJEČI: SAP, NAP, zagađenje, žarišta, ekosistem

Strategy for Abatement of Adriatic Pollution Caused by Onshore Activities

SUMMARY: Limited possibilities of water resources exploitation show that it is necessary to develop and accept action plan for reduction of pollution. Such a plan should be strategic, with developed methodology for its implementation on the entire territory of Bosnia and Herzegovina.

The Bosnia-Herzegovina Adriatic Catchment Action Plan summarizes the activities necessary for analysis, identification, classification and evaluation of various pollution emissions from point and diffuse sources under post-war conditions. The accent is primarily on urban regions and revival of production on the basis of sustainable development concept for point and agricultural and forest regions for diffuse sources of pollution. The initial step in the Action Plan implementation is prioritization of hot spots which demand urgent actions.

An important segment of the Action Plan is preparation and passing of regulations in compliance with the EU standards. Such regulations would set up codes and standards to be respected within the state, and impose control on transboundary pollution from neighboring countries and wider area.

KEYWORDS: SAN, NAP, pollution, hot spots, ecosystem

1. Uvod

Svjesne značaja očuvanja ekonomske, socijalne, zdravstvene i kulturne vrijednosti Mediterana, zemlje Mediteranskog bazena su 1975. godine dogovorile da započnu

akcioni plan za zaštitu i razvoj Mediteranskog bazena (MAP), a 1976. godine potpisuju Konvenciju za zaštitu Mediterana od zagađenja, (Barcelonska konvencija).

Strateški akcioni plan za Mediteran na svoju dvadesetu godišnjicu od osnivanja, 1995. godine u Barsceloni, uskladio je ovu Konvenciju sa Dekleracijom iz Rio de Janeiro (1992.), da bi u nju ugradio nove principe okolišne politike.

U Barceloni se usvaja faza II Akcionog plana za zaštitu i održivi razvoj obalnog područja Mediterana, kao substancijalna dopuna Konvencije i njenih protokola. 1996. godine u Syracusi se potpisuje novi revidirani Protokol o zaštiti mora od zagađenja uzrokovanog aktivnostima na kopnu (LBS protokol).

U skladu sa LBS protokolom, zemlje potpisnice su dogovorile da poduzmu odgovarajuće mjere za zaštitu, smanjenje, spriječavanje i eliminaciju zagađenja iz rijeka i svih ostalih emitenata sa kopna, dajući prioritet otrovnim i nerazgradivim substancijama.

Ovdje je svoje mjesto našao južni dio Bosne i Hercegovine, zapravo slivno područje gravitaciono upravljeno prema priobalnom pojasu Jadrana.

2. Ciljevi

Strateški akcioni program (SAP) daje smjernice zemljama potpisnicama za poduzimanje neovisnih ili akcija u skladu sa nacionalnim politikama, prioritetima i resursima u cilju prevencije, redukcije, kontrole i/ili eliminacije degradacije okoliša priobalja, kao i za akcije rehabilitacije od utjecaja aktivnosti sa kopna.

Jedan od glavnih ciljeva SAP-a je i izrada elemenata i smjernica za pripremu nacionalnih akcionih planova za zaštitu od aktivnosti sa kopna.

3. Smjernice za izradu nacionalnog akcionog plana

Zemlje potpisnice treba da do 2002. godine pripreme ili revidiraju postojeće Nacionalne akcione planove i poduzmu akcije za implementaciju ovih programa. Planovi se trebaju fokusirati na održiv, pragmatičan i integralan pristup upravljanju okolišem. Ciljeve i aktivnosti identificirane u SAP-u treba implementirati kroz nacionalne akcione planove.

3.1. Ciljevi NAP-a

Generalno govoreći, ciljevi NAP-a su u stvari ciljevi SAP-a, ali u skladu sa specifičnostima pojedinih zemalja, mogu se definirati i ciljevi vezani za neke specifične probleme.

3.2. Nacionalna dijagnostička analiza

Identificiranje i procjena problema je neophodan proces koji predstavlja kombinaciju pet elemenata:

- identifikaciju prirode i ozbiljnosti problema;
- zagađivače;
- fizičke promjene i destrukciju staništa;
- izvore degradacije;
- značajna područja.

3.3. Uspostava Nacionalnih prioriteta za akciju

Rezultati nacionalne dijagnostičke analize su osnova za definiranje prioriteta za akciju, a naročita pažnja se treba obratiti na:

- značaj utjecaja na sigurnost kvaliteta prehrambenih proizvoda, zdravlje, obalne i resurse luka, stanje ekosistema i socio-ekonomske koristi, uključujući kulturne vrijednosti i
- troškove, dobiti, izvodljivost akcija, uključujući i dugoročne troškove za slučaj nedjelovanja.

Akcije u sprovođenju Nacionalnih prioriteta prate slijedeće aktivnosti:

- Donošenje zakonske regulative u skladu sa standardima Evropske unije,
- Izrada Prostornog plana odnosnog područja po glavnim vodotocima sa izradom katastra zagađivača u novonastalim uvjetima,
- Utvrđivanje liste prioriteta prema novouspostavljenom katastru zagađivača,
- Uspostavljanje monitoringa na vodotocima i ispuštima otpadnih efluenata sa uključivanjem u međudržavnu mrežu.

3.4. Institucionalni Aspekt (*Odobrenja i propisi*)

Propisima treba obuhvatiti sve koncentrirane emitente u vodu ili zrak, koji mogu imati utjecaja na mediteranski sliv, a odobrenja su potrebna za:

- Koncentrirane emitente na području cijelog sliva Mediterana i
- Koncentrirane emitente u atmosferu.

3.5. Principi i obaveze

Princip zagađivač plaća mora biti primjenjen istovremeno za svaki novi privredni pogon i progresivno za sve postojeće. *Obaveza* svih potpisnica je da se implementira kondicioniranje svih efluenata bilo iz komunalnih ili industrijskih izvora.

3.6. Analiza ciljeva i aktivnosti

I pored očekivanih različitosti problema, interesa i prioriteta zemalja mediteranskog bazena, ciljevi i aktivnosti identifikovani LBS protokolom mogu biti dio NAP-a.

Zemlje potpisnice također treba da:

- podrže razvoj i primjenu upravljanja okolišem i sistem kontrole u sektoru industrije u pravcu unaprijeđenja kvaliteta okoliša;
- promoviraju čuvanje i racionalnu upotrebu vode u industriji sa aspekta redukcije zagađivanja;
- promoviraju ekonomičnu upotrebu energije u sektoru industrije;
- podrže razvoj i primjenu tehnologija koje štede energiju;
- razvijaju politiku koja uzima u obzir usklađivanje životnog ciklusa produkta i razvoj čistijih produkata.

3.7. Monitoring

U skladu sa LBS protokolom, zemlje potpisnice treba da osiguraju:

- sistem inspekcije za procjenu saglasnosti ovlasti i propisa, sa implementacijom na terenu;
- uspostavu monitoringa za ocjenu efikasnosti akcija i mjera implementiranih u okviru NAP-a;

- uspostavu i poboljšanje lokalnih i nacionalnih monitoring programa za kontrolu i procjenu količine ispuštanja i kvaliteta okoliša u lukama i priobalju;
- uspostavu kontinuiranog registriranja kvaliteta i kvantiteta vode u vodotocima, unutar teritorije i naročito na međudržavnim hidrološkim stanicama;
- uspostavu banke podataka o socio-ekonomskim indikatorima vezanim za kvalitet mora i rijeka i količinama zagađenja kompatibilnu sa GIS sistemom.

U Bosni i Hercegovini je u pripremi zakonska osnova za uspostavljanje monitoringa i self-monitoringa. Dio stanica za monitoring na vodotocima je već uspostavljen na rijeci Neretvi. Primarni zadatak je uspostavljanje međudržavnih stanica za monitoring i uključivanje u međudržavnu mrežu.

Dokumentacija za sisteme kanaliziranja i odvodnje otpadne vode, kao i pojedina postrojenja za kondicioniranje prije rata je rađena shodno mogućnostima i prilikama individualnih zagađivača i pored zakonski obavezujućih odredbi. Za komunalne otpadne vode to su bila komunalna preduzeća u brojno većim naseljima, za industrijske same organizacije po nahodjenju. Veći broj industrijskih organizacija, čiji polutanti imaju toksično djeystvo, bile su prisiljene da izgrade svoje vlastite uređaje, da obezbijede kontinualni self-monitoring, i kontrolišu rad i pogon svojih objekata, te spriječe unos opasnih supstancija-zagaditelja u prirodne vodne resurse.

3.8. Kadrovsko jačanje

- Treba poduzeti aktivnosti, koje između ostalog, doprinose unapređenju: naučne osnove u okolišnoj politici, profesionalnih kadrova, institucionalne i edukacione kapacitete i mogućnosti, u primjeni okolišno prihvatljivih tehnologija, implementacije primjene čišćih tehnologija, uključujući i transfer tehnologija i znanja.

3.9. Učešće javnosti – transparentnost

Informiranje i učešće javnosti je od suštinske važnosti u primjeni politike održivog razvoja i zaštite okoliša. Ciljevi trebaju biti:

- Osiguranje pristupa informacijama o stanju okoliša i njegovom razvoju, kao i poduzetim mjerama za unaprijeđenje okoliša;
- Unapređenje i kreiranje jedinstvenog pristupa okolišnim problemima na području Mediterana, te osiguranje pristupa javnosti aktivnostima na zaštiti i upravljanju okolišem.

3.10. Izvještaji

Potrebno je svake dvije godine pripremiti i prezentirati na sastancima zemalja potpisnica, izvještaje o primjeni LBS protokola na nacionalnom nivou. Ovi izvještaji bi trebali uključiti:

- Propise, akcione planove, programe i mjere koji su primjenjeni u skladu sa LBS protokolom;
- Podatke o rezultatima monitoringa, sa akcentom na pronos prekograničnog zagađenja;
- Količine ispuštenog zagađenja
- Stanje razvoja javnog praćenja i sistema izvještavanja o utjecaju potencijalnih zagađivača na okoliš.

Prioritetna liste za djelovanje i investiranje (investment portfolio)

Na osnovu jedinstvenih upitnika koji su sadržavali set kriterija koje je trebala svaka zemlja učesnica Projekta da primjeni pri izradi Nacionalnog izvještaja, napravljen je pregled žarišnih tačaka i osjetljivih područja uključujući i predložene investicije i troškove.

Žarišne tačke zagađenja i to:

1. Kanalizacioni sistem i postrojenje za tretman otpadnih voda u Mostaru
2. Neum-Klek zaliv;

Osjetljiva područja:

1. Program istražnih radova zaštite kvaliteta vode u području Bosanskog Grahova-izvor Cetine,
2. Utjecaj odlaganja komunalnog i industrijskog otpada na kvalitet vode u jadranskom slivu,
3. Kanal Mali Ston,
4. Neum-Klek zaliv;

Kritična staništa, ekosistemi i ugrožene vrste:

1. Zaštita biodiverziteta i ekosistema delte Neretve i
2. Upravljanje i zaštita eko i bio diverziteta kanjona Neretve.

Dokument je podnešen na sastanku »Strateški akcioni program za određivanje zagađenja od aktivnosti na kopnu«, održanom u Atini, zajedno sa amandmanima na radnu verziju Strateškog Akcionog Programa.

U Tunisu je u novembru 1997. održan »Deseti redovni sastanak zemalja potpisnica konvencije i njenih protokola za zaštitu Mediterana od zagađenja«. Na ovom sastanku se usvaja, poglavlje 9 »Preporuke i program budžeta za 98.–99. godinu«, u okviru Strateškog Akcionog Plana koji prihvata prijedloge projekata za BH uključujući predložene investicije i procjenjene troškove:

»Bosna i Hercegovina

- Mostar
- Zaliv Neum-Klek
- Bosansko Grahovo (Cetina)
- Kanal Mali Ston

Predložene investicije uključuju: izradu Nacionalnog Akcionog Plana NAP, institucionalno jačanje, izgradnju postrojenja za tretman otpadnih voda, praćenje kvaliteta voda, izgradnju sanitarnih deponija, planove upravljanja i praćenja za obalna područja i osjetljiva područja i zaštitu ugroženih staništa i ekosistema i ugroženih vrsta, **ukupna vrijednost predloženih investicija: 250.8 mill US\$**«.

4. Vodotoci jadranskog sliva

Vodotoci Jadranskog sliva u Bosni i Hercegovini su vrlo izdašni u pogledu količina vode, ali su neštedimice eksploatisani u toku niza godina za potrebe snabdijevanja naselja i industrije i dalje kao recipijenti otpadnih voda istih korisnika.

Kvalitet vode ovih vodotoka mjestimice je degradiran do stepena kada nije u stanju da ispolji svoje samoreproduktivne osobine, te pronosi zagađenje dalje, ugrožavajući posredno priobalni pojas Jadranskog mora i sam recipijent.

Glavni vodotoci Jadranskog sliva u BiH su rijeke Neretva i Trebišnjica i manje tekućice orjentisane ka rijeci Cetini u Republici Hrvatskoj. Dio morske obale je neznatan, ali, s obzirom na položaj naselja duboko u Neumskom zalivu, direktno ima upliva na povećanje zagađenja voda Jadrana.

Zakonskim normativnim aktima (1967. i 1980. godine) regulirana je klasifikacija vodotoka BiH po kojoj su glavni vodotoci po potezima raspoređeni u slijedeće kategorije:

- **Rijeka Neretva**
 - gornji tok do naselja Ulog I klasa
 - od Uloga do granice sa Hrvatskom II klasa
- **Rijeka Trebišnjica**
 - gornji tok od izvora do brane Gorica I klasa
 - donji tok nizvodno od brane Gorica do poniranja II klasa

Kontrola kvaliteta i mjerenje proticajne količine vršeno je do 1991. godine na pet profila na rijeci Neretvi i na jednom profilu na rijeci Trebišnjici. Često je na potezima neposredno ispod značajnijeg po kapacitetu uliva, registrovana niža klasa vodotoka od zakonom propisane.

5. Izvori zagađenja (predratno stanje)

Dominantne zagađivače predstavljaju koncentrisani izvori zagađenja u formi ispusta u vodotoke iz kanalizacionih sistema porijeklom iz većih naselja i industrijskih pogona. Od naselja preovlađuju ona sa malim brojem stanovnika, ispod 2000 (popis iz 1981.), dok su industrijski pogoni locirani u većim naseljima (preko 10 000 stanovnika). Ovi podaci ukazuju na činjenicu da buduće akcije treba usmjeriti ka integralnom rješavanju problema zagađenja u većim gradskim, a samim tim i industrijskim centrima.

U narednoj tabeli dat je popis većih općina po slivovima (popis 1991.), u kojima je smještena glavnina industrije, te prema tome i predstavljaju ključna žarišta zagađenja vodotoka.

Za komunalne otpadne vode u Jadranskom slivu su bila izgrađena samo četiri postrojenja (Ljubuški, Grude, Trebinje i Bosansko Grahovo), od kojih je samo u Ljubuškom objekat pušten u pogon neposredno prije rata i sada je u funkciji.

Struktura industrije u predratnom periodu obuhvatala je slijedeće industrijske grane:

- Prehrambena industrija,
- Industrija aluminija,
- Drvna industrija,
- Metaloprerađivačka industrija,
- Tekstilna industrija i
- Industrija građevinskog materijala.

Industrija aluminija, takođe na teritoriji Mostara, nema velikog utjecaja na opterećenja gradskih voda. Uz odgovarajuće bezbjedno odlaganje crvenog mulja na zaštićenu deponiju Dobro selo, preostali problem zagađenja termalnim vodama riješen je rashladnim sistemom.

Ostali zagađivači ne zahtijevaju hitnu intervenciju.

Kumulativno opterećenje glavnih vodotoka Jadranskog sliva, razdvojeno na komunalne i industrijske izvore, po karakterističnim parametrima predstavljeno je u Tablici 2.

Tablica 1. Broj stanovnika u vodnom području Jadranskog sliva po općinama

Redni broj	Općina	Broj stanovnika
SLIV RIJEKE NERETVE		
1.	Konjic	43 636
2.	Jablanica	12 664
3.	Prozor	19 601
4.	Mostar	126 067
5.	Široki Brijeg	26 437
6.	Posušje	16 659
7.	Čitluk	14 709
8.	Nevesinje	14 421
9.	Ljubuški	27 182
10.	Stolac	18 545
11.	Čapljina	27 852
12.	Grude	15 976
UKUPNO		363 749 (8%)
SLIV RIJEKE TREBIŠNJICE		
1.	Ljubinje	4 162
2.	Gacko	10 844
3.	Bileća	13 269
4.	Trebinje	30 879
UKUPNO		59 154 (1,3%)
SLIV RIJEKE CETINE		
1.	Bosansko Grahovo	8 303
2.	Glamoč	12 543
3.	Tomislavgrad	29 261
4.	Kupres	9 663
5.	Livno	39 526
UKUPNO		99 296 (2,2%)
SVEUKUPNO		522 199 (11,4%)

6. Zaključna razmatranja

Spoznaja položaja, mogućnosti i unaprijeđenja okolišne politike u BiH nameće niz aktivnosti u pravcu aktivnog učešća u holističkom pristupu ka očuvanju, održivosti i poboljšanju kvaliteta voda u Mediteranu.

Tablica 2. Emisija zagađenja za koncentrovane izvore zagađenja po parametrima

Slivovi	Komunalne otpadne vode					Industrijske otpadne vode					Ukupno				
	Q (m ³ /s)	SM (kg/d)	HPK (kg/d)	BPK5 (kg/d)	ES	Q (m ³ /s)	SM (kg/d)	HPK (kg/d)	BPK5 (kg/d)	ES	Q (m ³ /s)	SM (kg/d)	HPK (kg/d)	BPK5 (kg/d)	ES
Neretva	0,504	12 095	24 146	2 100	201 666	0,601	28 444	8 421	5 909	147 350	1,105	40 539	32 567	19 167	349 016
Trebišnjica (bez priobalnog pojasa)	0,1	2 294	4 863	2 690	44 833	0,016	209	1 138	508	12 950	0,116	2 503	6 001	3 198	57 778
Cetina	0,068	1 694	3 363	1 855	30 917	0,037	545	1 350	814	20 350	0,105	2 239	4 713	2 669	51 267
UKUPNO	0,67	16 083	32 372	6 645	277 416	0,65	29 198	10 909	7 213	180 650	1,33	45 281	43 281	25 034	458 061

Uz ostale zemlje potpisnice konvencija i protokola, u BiH je trenutno na prvom mjestu razrada nacionalnog i regionalnih akcionih planova i programa koji treba da sadrže mjere i vremenske okvire njihove implementacije.

Analiza podataka iz priloženih tabela upućuje na hitnu i neodložnu intervenciju na tačkama produkcije i disponiranja akumuliranog zagađenja. Kao kritična žarišta se izdvajaju naselja sa preko 20 000 stanovnika (Konjic, Mostar, Široki Brijeg, Čapljina, Tomislav Grad, Livno) – bez ikakve obrade otpadnih voda, a sa koncentriranom industrijom na svom području.

Inicijalna akcija da se paralelno frontalno savladaju udarne tačke u toku implementacije SAP-a, odnosno NAP-a, nesumnjivo će značiti veliki i neophodan napor, ali istovremeno i značajan doprinos na ukupnom unaprijeđenju kvaliteta okoliša u priobalju i gravitirajućoj regiji.

Proces institucionalnog uzdizanja i jačanja u sektoru voda, koji je u punom zamahu, potpomoći će ove napore.

Literatura

Radulović G., Dedić H.: Sliv Jadranskog mora – karakteristike sliva i okvirni katastar zagađivača, 1997. godina.

Grupa autora: Odgovor istine, Bosanska vojna riječ br. 1., 1994. godina.

Grupa autora: Koncept dugoročnog programa zaštite voda, Zavod za vodoprivredu, 1991. godina.

Grupa autora: Okvirna vodoprivredna osnova Bosne i Hercegovine, JVP »Vodoprivreda Bosne i Hercegovine«, 1994. godina.

Autori

Gorjana Radulović, dipl. ing. tehnl.

Dalila Nuhić, dipl. ing. građ.

Prof. dr Tarik Kupusović, dipl. ing. građ

Institut za hidrotehniku Građevinskog Fakulteta u Sarajevu, Stjepana Tomića 1, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

tel ++ 387 71 533 438, fax ++ 387 71 207 949

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.14.

Zaštita mora od onečišćenja u prostornom planu Primorsko-goranske županije

Višnja Hinić, Marina Medanić, Blaženka Oreč

SAŽETAK: Relativno dobra očuvanost mora Primorsko-goranske županije te postojeće razvojne mogućnosti ovog područja i dalje zahtjevaju dobro osmišljen koncept razvoja i zaštite. S tim je ciljem kao podloga Prostornog plana Primorsko-goranske županije izrađena separata studija zaštite mora Kvarnerskog zaljeva. Ovdje se integralnim planiranjem, razvoj gospodarstva i infrastrukture uskladio s korištenjem i zaštitom morskih resursa u svrhu očuvanja kakvoće mora. Prostorni plan nalazi se u fazi javne rasprave. Prema stupnju osjetljivosti, u obalnom pojasu uz more najviše kakvoće određene su mjere ograničenja izgradnje. Kao najvažnije mjere za smanjivanje onečišćenja predviđena su proširenja i saniranja javnih odvodnih sustava te povezivanje turističkih sadržaja na sustave javne odvodnje, prioritetno kompletiranje primarnog stupnja pročišćavanja na postojećim obalnim uređajima i izgradnja višeg stupnja pročišćavanja na središnjim uređajima s najvećim opterećenjem, obrada mulja iz središnjih uređaja u sastavu uređaja ili na razini Županije, saniranje odvodnje velikih industrijskih postrojenja (rafinerije, petrokemija) i izgradnja predtretmana u industrijama spojenim na javne sustave odvodnje te prijedlog zbrinjavanja opasnog otpada.

Kod zaštitnih mjera od pomorskog prometa i lučkih djelatnosti izdvojen je plan intervencija kod iznenadnih onečišćenja, u lukama osiguranje prihvata i obrade zauljenih i drugih sadržaja s brodova te dopuna opreme za sprečavanje širenja zagađenja.

KLJUČNE RIJEČI: zaštita mora, integralno planiranje, prostorni plan Županije

Sea Pollution Control within the Framework of the Primorsko-Goranska County Land-Use Plan

SUMMARY: A comparatively good state of sea preservation in the Primorsko-Goranska County and available developmental opportunities of the region demand well conceived concept of development and protection for the future. To that end, a separate Kvarner Bay sea pollution control study has been developed as a supporting document for the Primorsko-Goranska County Land-Use Plan. Thus, through integrated planning, the development of economy and infrastructure was brought into harmony with exploitation of marine resources and measures intended for protection of sea quality. The Land-Use Plan is currently in the public hearing stage. Based on the level of sensitivity, building limitations were imposed as a measure for protection of the high-quality sea in the coastal belt. The most important measures for pollution abatement are upgrading and remediation of the public sewage system and interconnecting of tourist amenities to the public sewage systems. The priorities include upgrading of the primary treatment stages at the existing coastal facilities and installation of the higher treatment stages in central plants with the highest load, treatment of sludge from the central facilities, remediation of drainage systems in large industrial facilities (refineries, petrochemical) and installation of pretreatment stage in industrial facilities interconnected with the public sewage systems, along with the proposal for hazardous waste treatment.

When determining protective measures against impact of the maritime traffic and port operations, special attention was paid to the emergency plan activated for accidental contaminations in ports, receipt and treatment of oil-contaminated and other cargo from ships, and introduction of additional equipment used to prevent spreading of pollution.

KEYWORDS: sea protection, integrated planning, County Land-Use Plan

1. Uvod

Kao podloga Prostornog plana Primorsko-goranske županije izrađena je separata studija zaštite mora Kvarnerskog zaljeva. U studiji su obrađeni izvori onečišćavanja mora s kopna i pomorskim prometom te date mjere zaštite. Prostorni plan izrađen je na način da se nastojalo uskladiti razvoj gospodarstva i infrastrukture s korištenjem i zaštitom morskih resursa.

2. Izvori onečišćavanja mora s kopna i od pomorskog prometa

Ugrožene zone na području Županije su mahom u zatvorenim zaljevima i lukama, a posebno uz sjeveroistočnu obalu Riječkog zaljeva, gdje je koncentracija onečišćenja industrijskog i urbanog porijekla najveća. Ukupan unos organskih tvari s kopna u Kvarnerski zaljev iznosi 11 603 t BPK5/g, ukupnog dušika 7000 t/g, i ukupnog fosfora 398 t/g. Unos organskih tvari i hranjivih soli ispuštima otpadnih voda najveći je na području sjeveroistočnog dijela Riječkog zaljeva (oko 63% unosa u Kvarnerski zaljev), najgušće naseljenog i najjače industrijaliziranog područja. U Riječkom zaljevu koncentrirana je i glavnina (90%) onečišćenja mora iz industrijskih izvora za koju je vezan najveći unos opasnih tvari u more. Na slici 1. prikazani su svi značajniji izvori onečišćenja mora s kopna.

Promet robe u lukama Primorsko-goranske županije od oko 10 mil. tona godišnje, od toga nafte i derivata od oko 5,5 mil. tona godišnje, promet od oko 4,5 mil. putnika i 1,3 mil. automobila, 9 marina i oko 50 sportskih lučica te 27000 domaćih brodova i brodice i oko 13000 stranih, pokazuju koliko je stalna potencijalna opasnost od onečišćenja mora od pomorskog prometa.

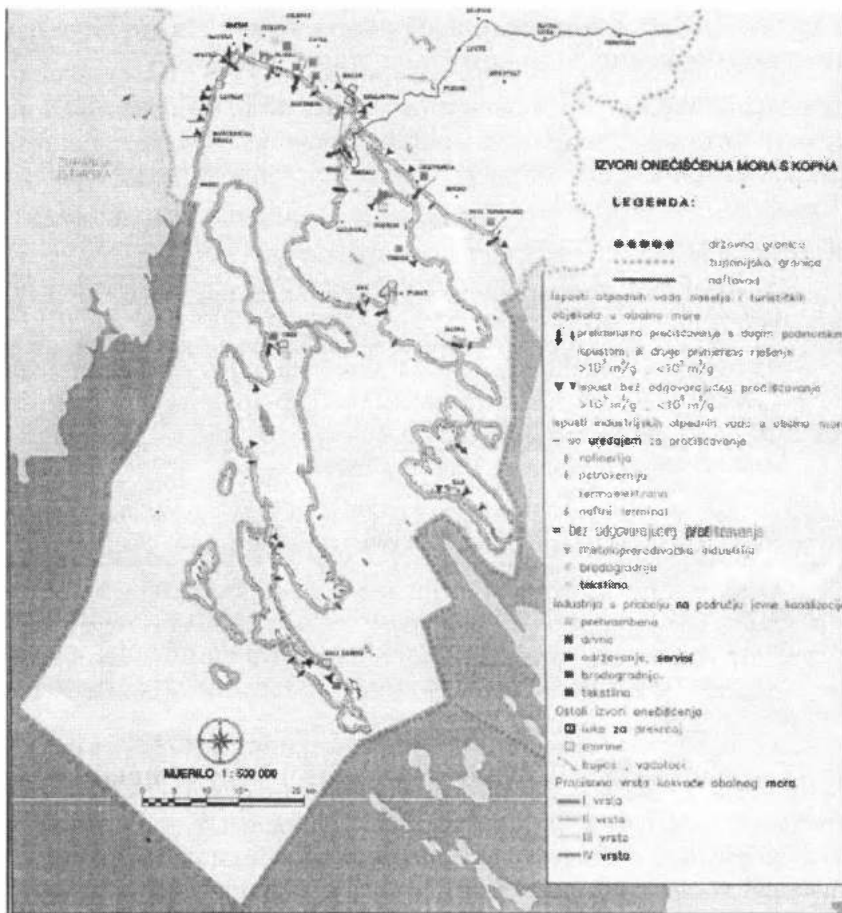
3. Zaštita mora od onečišćenja s kopna

U Prostornom planu Primorsko-goranske županije zaštita mora planirana je kroz određivanje namjene kopnenog i morskog prostora i odvodnju, pročišćavanje i odlaganje otpadnih voda. Zaštita mora usmjerena je na očuvanje područja s visokom kakvoćom mora (posebno otočki dio) i rehabilitaciju ugroženih područja (Riječki zaljev).

3.1. Ograničenje izgradnje u obalnom pojasu

U vrlo osjetljivim područjima gdje je more visoke kakvoće ograničava se ili zabranjuje aktivnosti i izgradnja objekata u obalnom pojasu i na moru. Na taj način sačuvat će se dijelovi obalnog područja koji predstavljaju vrijednu prirodnu baštinu obale i podmorja. Nautički turizam i marine maksimalno se ograničava na kontaktnim dijelovima mora s ovim vrlo osjetljivim područjima.

Dijelovi zatvorenog mora, uvale, zaljevi, (Puntarski, Malološinjski zaljev) sa slabom izmjenom vodene mase, predstavljaju osjetljiva područja i treba ih također ograničenjem izgradnje zaštititi od prekomjernog zagađivanja.



Razvoj industrije ograničava se na postojeće industrijske zone (zone su čak i smanjene u odnosu na prethodne prostorne planove), s tim da se ni u njima ne planiraju tehnološki procesi iz kojih se izdvajaju otpadne vode s toksičnim i drugim opasnim tvarima (skupina A i B opasnih tvari iz Uredbe o opasnim tvarima u vodama), a potiče se razvoj specifičnih autohtonih proizvodnja.

3.2. Sustavi za javnu odvodnju otpadnih voda

Na području Županije za priobalno područje do sada su definirane gotovo sve koncepcije javnih kanalizacijskih sustava s položajem središnjih uređaja i podzemskih ispusta. Koncepcije su izrađene na osnovi istraživanja karakteristika otpadnih voda i mora, topografskih uvjeta slivnog područja, te prostornih odnosa urbanih i turističkih aglomeracija i predstavljaju temeljnu podlogu razvoja i izgradnje objekata odvodnje. Na ovom području određena su slijedeća sustavna konceptijska rješenja odvodnje:

- na kopnenom (obalnom) dijelu: Opatija, Mošćenička Draga, Rijeka, Kostrena (obuhvaća i ind. zonu Kukuljanovo i Bakar), Kraljevica, Crikvenica, Novi Vinodolski, Klenovica i
- na otocima: Omišalj-DINA, Njivice-Malinska, Krk, Punat, Baška, Palit-Rab-Banjol, Supetarska Draga-Kampor, Lopar, Cres, Nerezine, Osor, Mali Lošinj, Veli Lošinj, Sunčana uvala.

Nabrojani sustavi odvodnje su dobrim dijelom u izgradnji. Oni su odgovarajući s aspekta zaštite priobalnog mora te su ugrađeni u prostorni plan.

Ispitivanjima sanitarne kakvoće obalnog mora utvrđeno je onečišćenje mora namijenjenog kupanju i rekreaciji na 30-40% ispitnih postaja upravo tamo gdje nisu dovršeni javni sustavi odvodnje ili egzistiraju privremena rješenja. Zato treba prioritetno rješavati slijedeće:

- povezati parcijalna rješenja u zajednički kanalizacijski sustav;
- samostalne sustave odvodnje otpadnih voda većih turističkih naselja priključiti na javne kanalizacijske sustave gravitirajućeg područja;
- ostala vlastita rješenja odvodnje turističkih objekata gdje nema ekonomske opravdanosti povezivanja na javni sustav (autokampovi, dislocirani turističko-ugostiteljski objekti) treba sanirati primjenjujući pročišćavanje i način ispuštanja s kojim će se postići zadovoljavajuća kakvoća obalnog mora;
- područja gradskih naselja s direktnim ispuštanjem otpadnih voda u more spojiti na središnji uređaj za pročišćavanje i ukinuti sve nekontrolirane lokalne obalne ispuste;
- u dijelovima gradskih naselja, gdje je kanalizacija u trošnom stanju ili je nekvalitetno izvedena nova kanalizacija, dolazi do procjeđivanja otpadne vode, odnosno dreniranja morske vode, pa je potrebno izvršiti rekonstrukciju iste u vododrživu kanalizaciju.

3.3. Središnji uređaji za pročišćavanje otpadnih voda s podmorskim ispustima

Kod rješavanja pročišćavanja i dispozicije otpadnih voda priobalnih urbanih i turističkih područja koristi se specifičnost, odnosno pogodnost mora kao prijemnika. Dosađajna iskustva (naša i drugih priobalnih zemalja) pokazuju da se mehaničkim postupcima pročišćavanja na kopnu u kombinaciji s podmorskim ispustom na dovoljnoj dubini postižu dobri učinci redukcije organskog zagađenja.

Na cijelom području naše Županije lokacije za središnje uređaje i dispoziciju otpadnih voda određene su u skladu s istraživanjima provedenim u razdoblju od 1975. do 1985. godine. Sustavnim istraživanjima potrebno je provjeriti funkcioniranje postojećih podmorskih ispusta, a za planirane ponoviti istraživanja.

Započete središnje uređaje s djelomičnim mehaničkim pročišćavanjem, prvenstveno s većom količinom otpadnih voda (Rijeka, Opatija, Crikvenici, Novi Vinodolski, Kijac-Mali Lošinj, Krk, Rab) treba u tom smislu dograditi tj uskladiti sa zahtjevima Europske unije za smanjenje suspendiranih tvari (50%) prije upuštanja u more. Dinamiku izgradnje sustava javne odvodnje i središnjih uređaja definirati u skladu s Državnim planom za zaštitu voda i županijskim planom za zaštitu voda što je neophodno za provedbu prostornog plana.

Prostorna skučenost i ograničenost karakteristična za priobalno područje problematična je kod smještaja središnjih uređaja i u slučaju proširenja postojećih uređaja radi dodatnog stupnja pročišćavanje. Zato u prostorno-planskoj dokumentaciji treba osigurati odgovarajuće lokacije i prostore. Objedinjavanjem odvodnih sustava na jednom središnjem uređaju (Njivice-Kijac-Malinska, Omišalj-Dina Petrokemija, Kostrena-INA Rafinerija) doprinosi se oslobađanju pojedinih atraktivnih rekreativnih ili urbaniziranih prostora.

3.4. Odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda industrije

Najveće industrije: DINA Petrokemija u Omišlju, Rafinerija nafte Mlaka, Rafinerija nafte Urinj imaju i najveće opterećenje otpadnih voda. Ove industrije imaju izgrađene vlastite odvodne sustave i uređaje za pročišćavanje s podmorskim ispustima koji će i dalje samostalno egzistirati.

U Rafineriji nafte Urinj zbog dotrajalosti i propusnosti interne kanalizacije nužna je njena rekonstrukcija i povezivanje svih ispusta otpadnih voda zbog višeg stupnja čišćenja na zajedničkom biološko-kemijskom uređaju. Uz zaštitu mora na ovom području treba spriječiti i zagađivanje podzemlja sanacijom rezervoarskog prostora i svih rafinerijskih instalacija, posebno kanalizacije, te provoditi sustavnu sanaciju podzemlja.

U Petrokemiji Omišalj najvažnija mjera zaštite je provođenje kontinuirane kontrole i redovno održavanje zaštitnih objekata i uređaja, te pročišćavanje otpadnih voda s visokim učinkom.

Zagađenju akvatorija Riječkog zaljeva znatno doprinose industrijski pogoni u priobalju bez riješene odvodnje otpadnih voda. Treba ih obvezati na izgradnju predtretmana i priključenje na javne kanalizacijske sustave, kako bi se eliminirali izravni ispusti u priobalno more i spriječilo zagađivanje (brodogradilište 3. maj i Kraljevica, Torpedo). Treba riješiti i prikupljanje otpadne tvari od antikorozivne obrade brodova čime bi se smanjilo opterećivanje opasnim tvarima i već ionako ugroženog sedimenta mora.

3.5. Zbrinjavanje komunalnog mulja i posebnog otpada

Primarnim pročišćavanjem komunalnih otpadnih voda izdvajaju se velike količine sirovog mulja. Potrebno je razraditi sustavnu obradu u okviru većih središnjih uređaja na razini Županije. Opasni otpad iz industrije mora se sakupljati u tvorničkom krugu i spriječiti njegovo ispiranje ili procjeđivanje, odnosno ispuštanje u internu kanalizaciju i dalje u more. Sustavno rješenje preuzimanja, obrade i konačnog zbrinjavanja ovog otpada dio je sustava gospodarenja otpadom na razini Županije i države.

4. Zaštita mora kod pomorskog prometa i lučkih djelatnosti

Pomorski promet i lučke djelatnosti, uz izvore onečišćavanja mora s kopna, predstavljaju stalnu opasnost za morski okoliš. Učestalost pojave iznenadnih onečišćenja mora je, međutim, kod pomorskog prometa i lučkih djelatnosti veća nego kod izvora onečišćavanja s kopna.

Kompletan sustav mjera zaštite mora od onečišćavanja obuhvaća: izviđanja radi utvrđivanja pojave onečišćenja, sustav obavješćivanja, organizacijsku shemu s definiranim nadležnostima i zadacima sa svrhom sprečavanja i uklanjanja onečišćenja te provođenje mjera.

Planom intervencija kod iznenadnog onečišćenja mora u Republici Hrvatskoj (Narodne novine br. 8/97) utvrđuju se mjere smanjenja šteta u okolišu kod iznenadnog onečišćenja većih razmjera mora.. U skladu s ovim planom pripremljen je županijski plan intervencija kod iznenadnog onečišćenja mora manjeg opsega i jačine. U svrhu osiguranja učinkovitosti intervencije potrebno je izvršiti sljedeće:

- Postojeća specijalizirana poduzeća trebaju dopuniti opremu za sprečavanje širenja i uklanjanje onečišćenja (brodovi-čitači, plivajuće zaštitne brane, skimeri, crpke, spremnici, specijalizirana vozila, disperzanti),

- U lukama osigurati prihvat zauljenih voda i istrošenog ulja (samo je u luci Rijeka organiziran prihvat i to ne svih materijala),
- U marinama i lokalnim lukama instalirati uređaje za prihvat i obradu sanitarnih voda s brodica, kontejnere za odlaganje istrošenog ulja, ostatka goriva i zauljenih voda odnosno ponašati se u skladu s pravilnikom o unutarnjem redu u lukama i posebno odrediti način servisiranja brodova na moru i kopnu.

5. Zaključak

Možemo zaključiti da je integralno planiranje u županijskom prostornom planu važno zbog usklađivanja razvoja gospodarstva i infrastrukture s korištenjem i zaštitom morskih resursa. Na taj način stvorena je stručna i pravna planska podloga za zaštitu mora od onečišćavanja. Planom je predviđena i izrada mjera provedbe radi njegova oživotvorenja.

Tijekom izrade Prostornog plana Primorsko-goranske županije došlo je do promjena podzakonskih propisa Zakona o vodama; usvojena je nova Uredba o klasifikaciji voda, Uredba o opasnim tvarima u vodama i Državni plan za zaštitu voda. Međutim donošenje novih propisa nije zahtijevalo promjene u koncepciji zaštite mora u pogledu općih načela zaštite, planiranja sustava za javnu odvodnju i stupnja pročišćavanja te ograničenja uporabe i zabrane ispuštanja opasnih tvari rizičnih za morski okoliš. Jedino se trenutna nedorečenost klasifikacije i kategorizacije mora kao i daljnja razrada ovog pitanja može odraziti na prostorni plan. Mišljenja smo da veliku pozornost treba posvetiti utvrđivanju mjerila na temelju kojih će se donijeti propis za klasifikaciju i kategorizaciju mora, pri čemu treba koristiti županijske prostorne planove kao jednu od bitnih podloga za pripremu ovog propisa.

Literatura

- Hinić, V., Oreč, B., Medanić, M. i Mastrović M.: Zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije-Rijeka: Studija zaštite mora Primorsko-goranske županije, Rijeka, 1997.,
- Primorsko-goranska županija, Zavod za razvoj, prostorno uređenje i zaštitu okoliša u Rijeci: Prostorni plan Primorsko-goranske županije – Prijedlog, Knjiga 1, Osnove razvoja i zaštite i Knjiga 2, Smjernice razvoja i mjere provedbe, Rijeka, 1998.,
- Protokol o zaštiti Sredozemnog mora od zagađenja s kopna s aneksima I, II i III, Athena, 1980.,
- UNEP: Smjernice za integralno upravljanje obalnim i morskim područjima s posebnim osvrtom na mediteranski bazen, Split, 1995.,
- HAZU: Prilozi savjeta za prirodnoznanstvena istraživanja Jadrana HAZU: Strategija zaštite okoliša i državnog razvitka u jadranskom području, Zagreb, 1996.,
- UNEP, WHO: Guidelines for Treatment of Effluents Prior to Discharge into the Mediterranean Sea, Athens, 1996.,
- Uredba o klasifikaciji voda (Narodne novine broj 77/98),
- Uredba o opasnim tvarima u vodama (Narodne novine broj 78/98),
- Državni plan za zaštitu voda (Narodne novine broj 8/99).

Autori

Mr. sc. Višnja Hinić, dipl. inž. biokem.

Zavod za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije u Rijeci, Krešimirova 52a

Marina Medanić, dipl. inž. građ., Blaženka Oreč, dipl. inž. građ.

Hrvatske vode, Vodnogospodarski odjel u Rijeci, Ciottina 17b



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.15.

Sanacija uljnih zagađenja na Zviru II

Vladimir Goatti, Božidar Biondić

SAŽETAK: Tijekom proboja galerije Zvir II uočeno je procjeđivanje ugljikovodika na području zdenca Z-4. Hidrogeološkim istražnim radovima dokazano je da zagađivalo potječe s područja Toplana-Kozala koja je oko 80 m iznad spomenutog zdenca Z-4. Nakon desetak godina započela su hidrogeološka istraživanja u svezi sanacije ovog kapitalnog vodoopskrbnog objekta. Osim detaljnog kartiranja šireg područja i utvrđivanja podzemnih veza bojenjem, napravljen je i katastar svih potencijalnih zagađivača. Georadarom je snimljen gornjokredni kompleks karbonatnih naslaga, izbušen je duboki piezometar, iskopan istražni rov a na kraju pripremnih radova za sanaciju izbušeno je 6 plitkih bušotina na području Toplane. U galeriji su iskopane dvije niše (potkopa), okomito na os pružanja objekta, na mjestima najvećeg procurivanja ugljikovodika, a za njegovo prikupljanje. Cjevovodom se zagađivalo odvodi do sabilne komore ispred ulaza, gdje je ugrađen jednostavni separator. U dva navrata 1995 i 1996 god. pristupilo se *in situ*, sanaciji uporabom kemikalija. To su sredstva neionskih površinsko aktivnih tvari treće generacije bez posebno izraženih toksičnih efekata. Ispiranje je obavljeno u kombinaciji s toplom i hladnom vodom. Spomenuta tehnika prvi je put u Hrvatskoj primjenjena pri sanaciji ovog izvorišta, Zvir II u Rijeci. Iz podzemlja je odstranjeno više od 5 tona ugljikovodika. Stečena iskustva i kemikalije četvrte generacije omogućit će još efikasnije pročišćavanje onečišćenja u podzemlju.

KLJUČNE RIJEČI: krš, uljno zagađenje, sanacija, izvorište

Zvir II Oil Contamination Cleanup

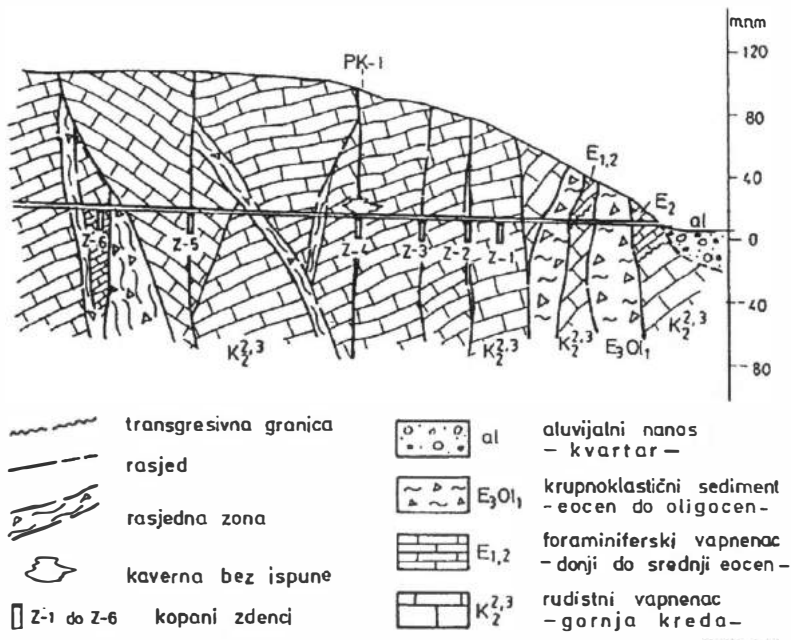
SUMMARY: During driving of Zvir II gallery, leakage of hydrocarbons was observed in the area of Z-4 well. Hydrogeological investigations have confirmed that the pollutant was coming from the Toplana-Kozala area some 80 m above the subject well. Some ten years later, hydrogeological investigations were initiated related to remediation of this major water supply structure. In addition to detailed mapping of the wider area and determination of groundwater connections by dye tracing, inventory of all potential polluters was prepared. Geo-radar was used to survey the Upper Cretaceous complex of carbonate deposits, a deep observation well was drilled, an exploration trench excavated and, to round up the cleanup preparations six shallow boreholes were drilled at the Toplana site. Two niches (adits) were excavated in the gallery, vertical to the centerline, in points of the most intensive hydrocarbon leakage for its collecting. The pipeline conveys the pollutant to the collecting chamber upstream the entrance, where a simple separator is installed. On two occasions, in 1995 and 1996, *in situ* clean up was carried out using chemicals. Such agents include non-ion surfactants of third generation with no specially indicated toxic effects. Flushing was performed with combination of hot and cold water. This method has had its first application during clean up of the Zvir II well field in Rijeka. More than 5 tons of hydrocarbons were removed from the underground.

KEYWORDS: karst, oil contamination, clean up, well field

Uvod

Istražno eksploatacijski objekt Zvir II projektiran je kao vodozahvat za krške izvorske vode u gradu Rijeci. Kaptažni objekt realiziran je kao kombinacija pristupne galerije dužine 400 m i kopanih zdenaca za pristup podzemnoj vodi. Objekt je u cijelosti probijen unutar okršenih stijena gornje krede, sa izraženom razlomljenošću i pretežito subvertikalnim rasjednim zonama, u kojima su locirani zdenci (Z-1 do Z-6). Na tim mjestima registrirani su i kavernozi prostori kao posljedica rada vode (slika 1.).

Prije desetak godina tijekom proboja galerije Zvir II u Rijeci, uočeno je procjeđivanje hidrofobnih ugljikovodika na području zdenca Z-4. Bojenjem je utvrđeno da ugljikovodici potječu s lokacije istakališta spremnika loživih ulja Toplane Kozala. Visinski je ta lokacija oko 80 m iznad zdenca Z-4. Nakon toga sanirana je puknuta cijev u toplani, rekonstruirani spremnici i svi cjevovodi. Tehničkim intervencijama, probijem dva potkopa (slika 2), omogućeno je istjecanje ugljikovodika izvan galerije u sabirno okno u kojem je ugrađen jednostavni separator. Osim detaljnog hidrogeološkog kartiranja šireg područja i izrade katastra mogućih zagađivača, provedeno je bojenje koje je nepobitno dokazalo podzemnu vezu Toplane – izvorište Zvir II. Na širem području nema dokaza o mogućnosti zagađenja s nekog drugog mjesta. Područje nekontroliranog izljevanja ugljikovodika snimljeno je georadarom, izbušena je istražna bušotina-piezometar (PK-1) do galerije, i na kraju šest plitkih bušotina i raskop na području Toplane. Višegodišnja hidrogeološka istraživanja na području grada Rijeke u mnogome su pomogla dobrom poznavanju strukturno-tektonskih odnosa šireg prostora i mehanizma kretanja podzemne vode, dok su provedeni detaljni istražni radovi upotpunili spoznaju o okršenosti i privilegiranim podzemnim vezama i njihovom prostornom položaju unutar vapnenjačkog kompleksa gornjokredne starosti, između Kozale i galerije Zvir II.



Slika 1.

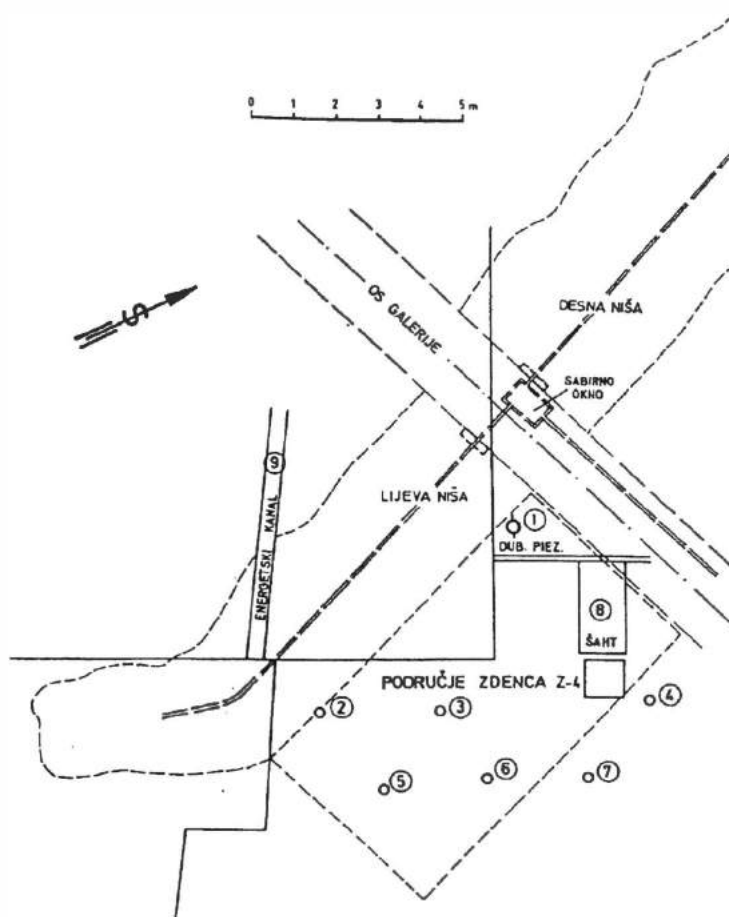
Sanacija uljnih zagađenja na izvorištu Zvir II

Program sanacije i direktivni nadzor tijekom radova obavili su stručnjaci Instituta za geološka istraživanja iz Zagreba, a operativni dio poslova i kemijske analize poduzeće »Rijekatank« iz Rijeke i manji dio laboratorij Rafinerije nafte Rijeke.

Prva faza sanacije trajala je 33 dana tijekom siječnja i veljače 1995. god. Na situaciji (slika 2.) ucrtane su sve lokacije koje su korištene tijekom nalijevanja u podzemlje hladne ili tople vode a isto tako i kemikalija.

1. Istražna bušotina-piezometar; dubine 80,20 m
- 2–3. Plitke bušotine-piezometri; dubine 5,0 m
- 4–7. Bušotine-piezometri; dubine 10,0 m
8. Istražno okno-šaht, ispod cjevovoda za punjenje gorivom
9. Energetski kanal – unutar Toplinske stanice (mjesto havarije prije desetak godina)

Od kemikalija korištene su SC-131 nizozemske proizvodnje i Smelex njemačke proizvodnje. To su sredstva neionskih površinsko aktivnih tvari treće generacije bez posebno izraženih toksičnih efekata, podobne za brzo pročišćavane zagađenog podzem-



Slika 2.

lja hidrofobnim ugljikovodicima. Uporabljena sredstva imaju vodopravnu dozvolu te su biološki razgradljiva. Tijekom ovog ciklusa sanacije utrošeno je ukupno:

- tople vode (60–65 °C); 180 m³
- površinsko aktivne tvari SC-131; 11 m³
- površinsko aktivne tvari Smelex (1:10); 4 m³
- hladne vode; 2257 m³

Kombinacija tretiranja kemikalijama i ispiranjem toplom i hladnom vodom pokazala se vrlo uspješnom. Fizičko-kemijske analize ukazuju na postupno smanjenje mutnoće, a iz bilance je dokazano 3499 kg ispranih ugljikovodika.

Druga faza sanacije bila je ograničena sredstvima pa je utrošeno vrlo malo kemikalije i hladne vode a trajala je svega osam dana. Utrošeno je ukupno:

- površinsko aktivne tvari SC-131; 3 m³
- površinsko aktivne tvari Pronatur; 35 l
- hladne vode; 618 m³

Kemijske analize dokazale su da je u ovom ciklusu sanacije isprano 1,185 m³ ugljikovodika. Sva zauljena otpadna voda prerađena je u Rafineriji Urinj.

Zaključak

Iako je u dva navrata isprano više od 5 tona hidrofobnih ugljikovodika zbog činjenice da nije bilo moguće utvrditi količinu koja je nekontrolirano upuštena u podzemlje, ne zna se koliko je još zagađivala u karbonatnom nadsloju Zvira II. Analizom raspoloživih podataka može se zaključiti da je iz sabirnog okna – separatora iscrpljeno i prerađeno oko 30-ak% ukupno upuštene vode. Ostatak 2/3 ušao je bočno izvan kontrole u podzemlje i prirodnim putem drenira se prema moru. Shodno tome može se pretpostaviti da je ukupno isprano oko 15 t zagađivala.

Tehnika ispiranja podzemlja kemikalijama pokazala je na ovom lokalitetu dobre rezultate. Iskustva stečena tijekom sanacija dragocjena su kako hidrogeolozima, kemičarima tako i drugim stručnjacima koji se bave ekologijom, posebno zbog toga što se ova metoda prvi put primjenila u Hrvatskoj. Perspektiva ove tehnike čišćenja zagađivala *in situ*, u budućnosti je sve bolja zbog sve efikasnijih kemikalija. U pravilu u uporabi su neionske površinski aktivne tvari s visokim učinkom penetracije u uljne nakupine, koje trebaju što manje emulgirati s vodom te moraju biti biološki razgradljive. Najčešće se rade od prirodnih materijala i shodno tome testirane su i imaju vodopravnu dozvolu-suglasnost za uporabu. Zavisno o količini i vrsti zagađivala koriste se razrijeđene ili koncentrirane. Važan problem predstavlja kontrola rezultata sanacije koja se bazira na analizi zauljene otpadne vode iz koje se utvrđuje sadržaj ugljikovodika i kemikalije. Jednostavan i pouzdan parametar je mjerenje mutnoće ispirne vode tijekom procesa sanacije iz kojeg se komparacijom provjerava efikasnost tehnike bez skupe i komplicirane analitike. Nažalost, nemoguće je prikupiti svu zauljenu vodu jer nije pod kontrolom i dio odlazi bočno u podzemlje. Zaključno, realno je očekivati da se izvorište Zvir II nakon još nekoliko ciklusa ispiranja privede uporabi odnosno da objekt dobije vodopravnu dozvolu. Jasno da kemijske analize moraju potvrditi da je kvaliteta vode u okviru standarda za pitke vode.

Literatura

- Biondić B., Goatti V. (1982): Istražno eksploatacijski objekt Zvir II. Fond str. dok. IGI, br. 5/83, Zagreb.
- Goatti, V. (1995): Sanacija toplane Kozala radi prodora mazuta u izvorište Zvir II. Fond str. dok. IGI, br. 80/95.
- Goatti, V. (1996): Sanacija toplane Kozala radi prodora mazuta u izvorište Zvir II. 2 faza. Fond str. dok. IGI, br. 19/96.
- Nikolić, O. (1995): Odstranjivanje uljnih onečišćenja iz podzemlja. Promidžbeni materijal, »Rijekatank«, Rijeka.

Autori

Vladimir Goatti, dipl. ing. geol. i prof. dr. Božidar Biondić, dipl. ing. geol.
Institut za geološka istraživanja-Zagreb, Sachsova 2
tel. 01/ 6160888

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



Rad 3.16.

Isplinjavanje žive iz zagađenog dijela Kaštelanskog zaljeva

Željko Kwokal, Marko Branica

SAŽETAK: U akvatoriju Kaštelanskog zaljeva po prvi puta nađena je, u tragovima, dimetil živa $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$. Ovaj vrlo hlapiv, hidrofoban i nestabilan kemijski oblik žive utvrđen je, uz ostale oblike žive, kako u vodenom stupcu tako i u sedimentu uskog dijela zaljeva.

Razni hlapivi oblici žive mjereni su atomskom absorpcionom spektrometrijom, metodom vezanja hladnih para metalne žive na zlatnoj vuni. Nakon ispuhivanja hlapivih spojeva žive iz morske vode i sedimenta, pretkoncentracije na chromosorb koloni, isplinjavanjem s kolone te pirolitičke dekompozicije na zlatnoj vuni mjereni su kao metalna živa. Granica određivanja $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ i elementarne žive je 0,005 nanograma L^{-1} u vodi i 0,002 nanograma g^{-1} u sedimentu (mjereni volmen uzorka je 1 L odnosno 10 g).

Dimetil živa je registrirana na tri od ukupno šest postaja u moru, smještenih na oko 1000 m^2 u blizini bivše tvornice »Jugovinil«. Nađene koncentracije su od 0,02 do 0,12 nanograma po litri vode odnosno 0,003 do 0,15 nanograma po gramu sedimenta.

Detekcija i određivanje dimetil žive u zagađenom sedimentu i vodi iznad njega ukazuju na redukcijske biogeokemijske procese u moru. Ovi procesi uzrokuju isplinjavanje žive i tako smanjuju njenu ukupnu količinu koja se godinama akumulirala u ovom zagađenom dijelu akvatorija Kaštelanskog zaljeva.

KLJUČNE RIJEČI: dimetil živa, morska voda, sediment, Kaštelanski zaljev

Degasing of Mercury from the Polluted Part of the Kaštela Bay

SUMMARY: The dimethylmercury $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, highly volatile compound, was initially detected in sediments and seawater samples of the Kaštela Bay (Eastern Adriatic coast) in the vicinity of a chlor-alkali plant. This was achieved by using adequate sampling procedures and performing measurements immediately after sampling.

Prior to measurements by cold vapor atomic absorption spectrometry, the dimethylmercury was preconcentrated in cryogenic trap, eluted and pyrolitically decomposed on a gold wire with the detection limits of 0.005 mg L^{-1} and 0.002 mg g^{-1} in seawater (1000 ml of the water sample) and sediment (10 g of the sediment sample), respectively.

The dimethylmercury was observed only at three stations in the Kaštela Bay, in the concentration ranging between 0.003 and 0.15 mg g^{-1} for sediments and 0.02 and 0.12 mg L^{-1} for seawater samples.

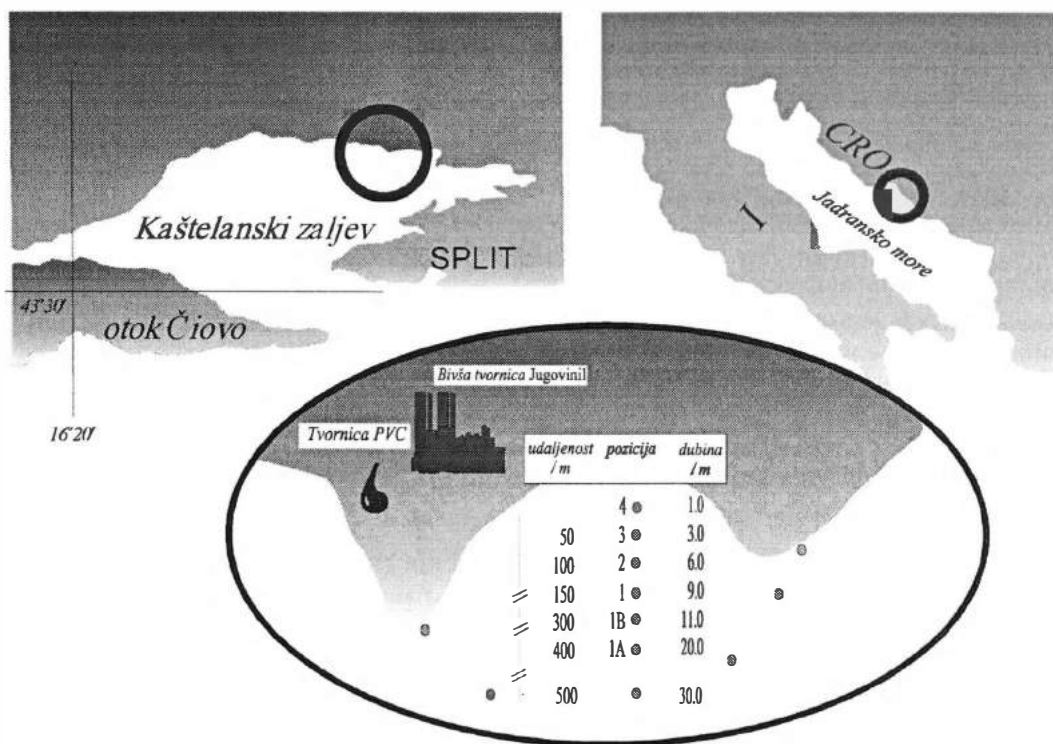
The results indicate that dimethylmercury occurs under specific biogeochemical redox processes. In such a way, the final effect is degasing of the present high content of mercury in sediments. One can suppose that this resulted in decrease of total mercury quantity which has been accumulating for many years in this highly polluted area of the Adriatic Sea.

KEYWORDS: dimethylmercury, seawater, the Kaštela Bay

Metodologija

Područje uzorkovanja

Kaštelanski zaljev je smješten u sredini istočne Jadranske obale u blizini Splita (slika 1.). Površinom $61 \times 10^6 \text{ m}^2$ i volumenom od $1400 \times 10^6 \text{ m}^3$ to je najveći zaljev centralne Dalmacije. Ujedno je najugroženiji na istočnoj obali Jadrana s obzirom na velike količine odbačene žive u njegove vode tijekom četrdesetak godina rada bivše tvornice »Jugovinil« koja je 1990. god. zatvorena. Rijeka Jadro je glavni izvor slatke vode u zaljevu s prosječnim protokom od $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, a prosječno vrijeme izmjene vode zaljeva je oko 30 dana. Sediment je sastavljen od mulja (silt) i finog pijeska [1].

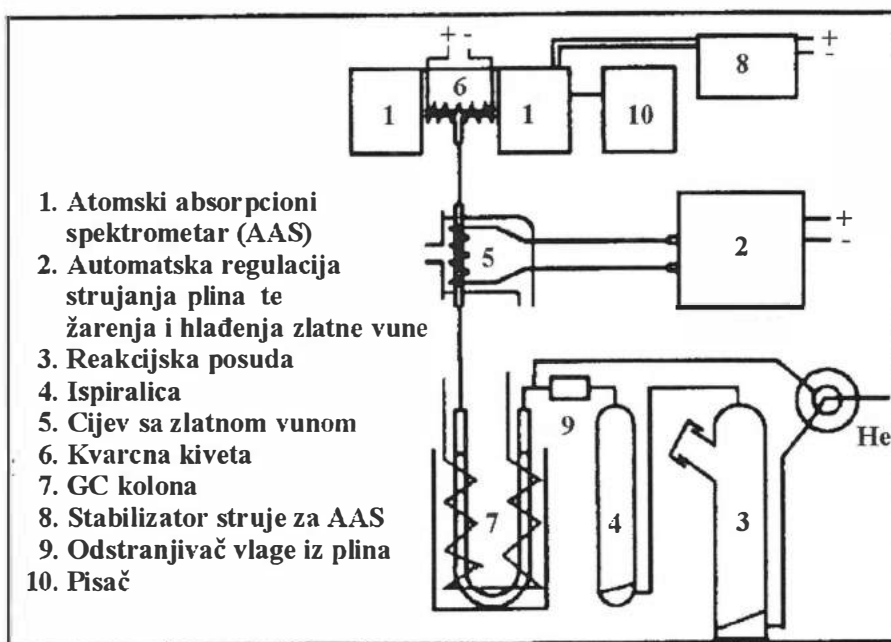


Slika 1. Područje uzorkovanja

Uzorkovanje i analiza

Uzorci sedimenta uzeti su ronjenjem u akrilik staklenu cijev (20 cm duga i 6 cm unutrašnji dijametar). Cijev se okomito ukopava u morsko dno-sediment po cijeloj svojoj dužini te zatvara s plastičnim čepom i u tom položaju (okomito) zamrzava se u laboratoriju na $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ do mjerenja [2]. Uzorci vode uzimani su, također ronjenjem, u litrene boce od Pyrex stakla koje ronilac otvara i zatvara okrenut prema morskoj struji [3,4]. Do trenutka analize (obavlja se unutar nekoliko sati nakon uzorkovanja) uzorci se drže na tamnom i hladnom mjestu na $+4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dimetil živa je mjerena u nefiltriranoj morskoj vodi te u ukupnom (mokrom) sedimentu uzetog iz površine (0 cm) i dubljeg dijelu (10 cm). Nakon ispuhivanja hlapivih



Slika 2. Sistem za mjerenje hlapljivih oblika žive u tekućim i krutim prirodnim uzorcima

spojeva iz tekućeg i krutog uzorka, pretkoncentracije na chromosorb koloni, isplinjavanja s kolone te pirolitičke razgradnje na zlatnoj vuni hlapljivi oblici žive mjere se kao metalna živa atomskom absorpcionom spektrometrijom metodom hladnih para (slika 2.).

900 ml uzorka ulije se u reakcijsku posudu (volumena 1000 ml) odnosno unese se oko 10 g sedimenta u reakcijsku posudu (volumena 150 ml) s 30 ml destilirane vode (koncentracije ukupne žive $0,5 \text{ ng L}^{-1}$). Kolona od borosilikatnog stakla punjena s 30% OV-101 chromosorbom W-HP 80/100 mesh omotana električnim plaštom i uronjena u tekući dušik ($-194 \text{ }^{\circ}\text{C}$) koristi se za hvatanje i pretkoncentraciju hlapivih oblika žive (cryogenic trap) [5].

Uzorak se miješa i propuhuje kod sobne temperature s helijem kao plinom nosačem brzine protoka 100 ml min^{-1} . Hlapivi oblici žive pretkoncentriraju se na koloni kroz 5 minuta. Nakon toga kolona (trap) se diže iz tekućeg dušika te zagrijava do $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ uz smanjenje protoka helija na 20 ml min^{-1} . Kroz 150 s razni hlapivi oblici žive se isplinjavaju prema njihovim točkama vrelišta i u struji helija prenose na zlatnu vunu u kvarcnoj cijevi gdje se nakon adsorpcije pirolitički razgrađuju na $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i kao pare metalne žive mjere u AAS. Nepoznata koncentracija u uzorcima određuje se metodom unutarnjeg standardnog dodataka.

Rezultati

Iz Slike 1. vidljivo je da je dimetil živa registrirana u uskom priobalnom području Kaštelanskog zaljeva (do 400m od obale) u neposrednoj blizini bivše tvornice »Jugovinil«. U vodi je nađena na pozicijama 1 do 4, a u sedimentu, uglavnom na poziciji 1. Izuzetak je, u jednom slučaju, na poziciji 4 gdje je, uglavnom, registrirana u vodi iako se radi o plićaku, ali gdje je zbog tehnologije ispuštanja žive iz obližnje tvornice tje-

kom godina najviša koncentracija ukupne žive u sedimentu (i do 85 mg kg^{-1}). Nađeni raspon koncentracije dimetil žive u vodi kreće se od $0,02$ do $0,120 \text{ ng L}^{-1}$, monometil žive od 1 do 4 ng L^{-1} . Na istim mjestima sadržaj ukupne žive u vodenom stupcu od 200 do 400 ng L^{-1} . U nezagađenom Jadranskom moru koncentracije se kreću od $0,05$ do 5 nanograma L^{-1} morske vode.

Uzorci vode su uzimani iznad morskog dna i to, paralelno, u dvije boce zbog ispitivanja reproducibilnosti uzorkovanja (Tablica 1.) Ispitana je i efikasnost metode, dodavanjem poznate koncentracije dimetil žive u morsku (i bočatu) vodu. Postignuta efikasnost je između 94 i 106% . Ovo je vrlo dobro obzirom na osnovne karakteristike dimetil žive (visoka hlapljivost, osjetljivost na svjetlo, naročito, na toplinu). Koncentracije dimetil žive u sedimentu (iz površine i 10 cm dubine) kreću se od $0,03$ do $0,150 \text{ ng g}^{-1}$. Na površini sedimenta koncentracije su mnogo veće (i do nekoliko redova veličine) nego na dubini od 10 cm . Na istim postajama sadržaj ukupne žive u sedimentu je od $10\,000 \text{ ng g}^{-1}$ (pozicija 1) do $85\,000 \text{ ng g}^{-1}$ (pozicija 4) dok je koncentracija monometil žive u sedimentu, između 5 i 18 ng g^{-1} (pozicija 1).

Tablica 1. Koncentracije dimetil žive u morskoj vodi (ng L^{-1})

Pozicija	Datum uzorkovanja i mjerenja			
	6.05.1997.	7.07.1997.	10.07.1997.	25.07.1998.
1a	N. O.	N. O.	N. O.	N. O.
1b	N. O.	N. O.	N. O.	N. O.
1	0,04 0,04	0,03 0,03	0,04 0,04	0,05 0,04
2	0,050 0,04	0,02 0,02	0,04 0,06	N. O.
3	0,120 0,100	0,02 0,04	0,04 0,05	0,03 0,03
4	N. M.	N. M.	0,05 0,05	0,06 0,06

N. O. nije određena ($0,005 \text{ ng L}^{-1}$)

N. M. nije mjerena

Tablica 2. Koncentracije dimetil žive u sedimentu (ng g^{-1})

Pozicija	Datum uzorkovanja i mjerenja			
	6.05 1997. (0 cm 10 cm)	7.07 1997. (0 cm 10 cm)	10.07 1997. (0 cm 10 cm)	25.07 1998. (0 cm 10 cm)
1a	N. O.	N. O.	N. O.	N. O.
1b	0,02 0,003	0,01 0,005	0,03 0,006	0,005 N. O.
1	0,14 0,030	0,08 0,01	0,150 0,007	0,005 N. O.
2	N. O.	N. O.	N. O.	N. O.
3	N. O.	N. O.	N. O.	N. O.
4	N. O.	N. O.	N. O.	0,002 N. O.

N. O. nije određena ($0,002 \text{ ng g}^{-1}$)

Zaključak

Modificirana metoda mjerenja hlapivih oblika žive u piko i femtomolarnom koncentracijskom području uspješno je testirana i primjenjena na prirodnim uzorcima vode i sedimenta

Prisustvo dimetil žive u sedimentu i vodi te stalno isparivanje u atmosferu (bez obzira da li nastaje iz Hg^{2+} ili CH_3Hg^+) smanjuje ukupnu količinu žive u akvatoriju te se kroz duže razdoblje odvija samopročišćenje odnosno proces detoksifikacije, živom zagađenog dijela Kaštelanskog zaljeva.

Literatura

1. T. Zvonarić, Map technical reports series no. 59, UNEP, Athens, 1991., 369–381.
2. D. Martinčić, Ž. Kwokal, M. Stoepler and M. Branica, The Science of the Total Environment, 84 (1989) 135–147.
3. Ž. Kwokal, K. May and M. Branica, The Science of the Total Environment, 154 (1994) 63–69.
4. G. Kniewald, Ž. Kwokal and M. Branica, Mar. Chem., 22 (1987) 343–352.
5. R. Fisher, S. Rapsomanikis and M. O. Andreae, Analytical Chemistry, vol. 65, no. 6 (1993) 763–766.

Autori

Željko Kwokal, email: kwokal@rudjer.irb.hr

Prof. Dr. Sc. Marko Branica, email: branica@rudjer.irb.hr

Laboratorij za fizičku kemiju tragova, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Ruđer Bošković«, Bijenička cesta 54, PP 1016, 10 001 Zagreb, Hrvatska

Tel: +385 1 4680 231

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



Rad 3.17.

Vertikalna raspodjela tragova metala estuarija Krke

Pavle Mintas, Željko Peharec, Marko Branica

SAŽETAK: Estuarij Krke se nalazi u središnjem dijelu istočne jadranske obale i proteže se u duljini od 22 km od slapova Skradinskog Buka do izlaza iz Šibenskog kanala. U međusloju između dvaju fizički i kemijski različitih slojeva vode (slatkovodni, morski) dolazi do značajnih reakcija otopljenih tragova metala s prisutnim ligandima.

Vertikalne raspodjele ukupnih koncentracija kadmija, bakra i cinka pri postaji E2 u svibnju i srpnju 1998. su određene analizom zakiseljenih uzoraka ($\text{pH} = 2,0$, Zn : $\text{pH} = 4,6$) diferencijalnom pulsnom voltametrijom s anodnim otapanjem (DPASV). Kapaciteti kompleksiranja bakra (CCu) u vertikalnom presjeku postaje E2 u svibnju 1998. su određivani DPASV metodom pri $\text{pH} = 7,0$. Ti su rezultati uspoređeni s vrijednostima iz 1986. godine na postaji E3.

Rezultati potvrđuju heterogenu vertikalnu raspodjelu koncentracija otopljenih tragova metala kao i vrlo značajni »skok« u kapacitetu kompleksiranja bakra na prijelazu dvaju vodenih slojeva. Koncentracije tragova metala pokazuju maksimume u haloklini, čija dubina ovisi o udaljenosti od Skradinskog Buka i dotoku slatke vode.

Podudaranje maksimuma koncentracije organske tvari (kapaciteta kompleksiranja bakra) i koncentracije otopljenih tragova metala upućuje na to da su tragovi metala u međusloju najvjerojatnije vezani s prirodnim organskim ligandima.

KLJUČNE RIJEČI: tragovi metala, Cd, Cu, Zn, estuarij Krke, DPASV metoda

Vertical Distribution of Trace Metals in the Krka Estuary

SUMMARY: The Krka estuary is situated in the central part of the Eastern Adriatic coast, in total length of 22 km, stretching from the Skradinski Buk waterfalls to the exit of the Šibenik Channel. Significant reactions of dissolved trace metals with naturally present ligands occur in the mid-layer between two physically and chemically distinct water layers (fresh-water, sea-water).

In May and July 1998 (station E2), vertical distributions of total dissolved cadmium, copper and zinc concentrations were determined by differential pulse anodic stripping voltmeters (DPASV) analysis of acidified water samples ($\text{pH} = 2,0$, Zn : $\text{pH} = 4,6$). Copper complexing capacities (CCu) in the vertical profile at the E2 station were determined by DPASV method at $\text{pH} = 7,0$. These results were compared with the data obtained in 1986 at the station E3.

The results confirm heterogenous vertical distribution of dissolved trace metal concentrations as well as a significant "jump" in copper complexing capacity at the fresh-water/sea-water interface. Trace metal concentrations show maxima in halocline, whose depth depends on the distance from the Skradinski Buk and the fresh-water inflow.

A good agreement between organic matter (CCu) and dissolved trace metal concentration maxima indicates that trace metals are most probably bound as inert complexes to natural organic ligands in the mid-layer.

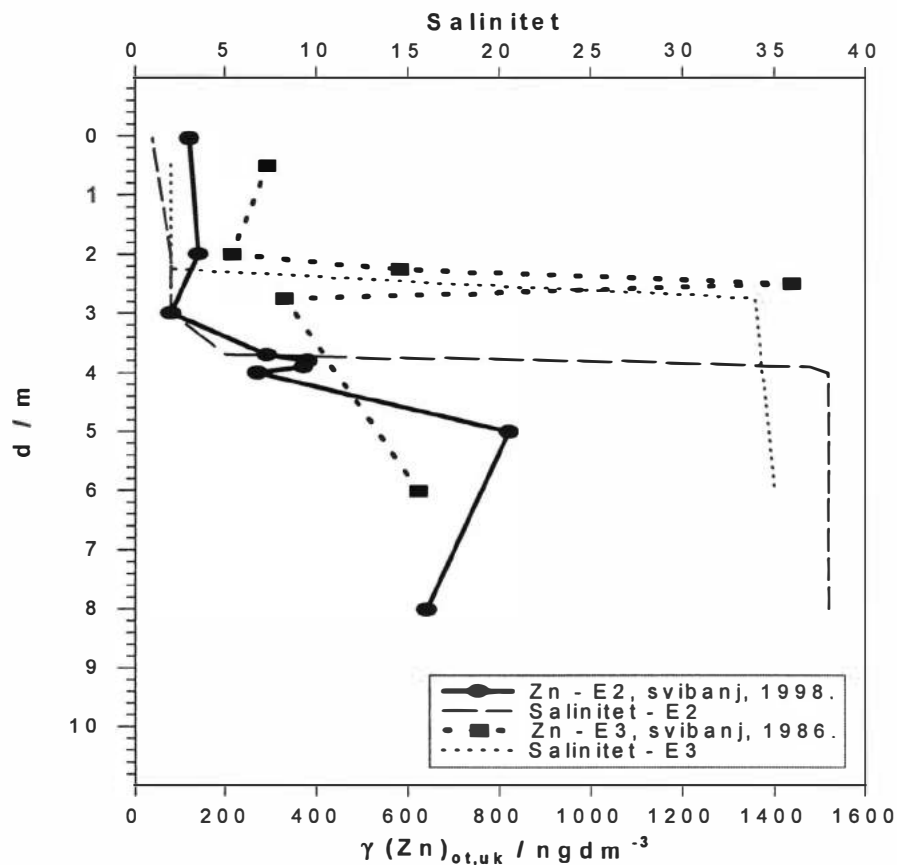
KEYWORDS: trace metals, Cd, Cu, Zn, the Krka estuary, DPASV method

Uvod

Slatkovodni i morski sloj estuarija Krke posjeduju različit kemijski sastav makrokonstituenata i tragova metala¹. Kemijski sastav tragova metala se među slojevima razlikuje po ukupnoj koncentraciji metala i po kemijskim oblicima. Metali se u prirodnim vodenim sustavima nalaze u obliku »slobodnih iona« ili labilnih kompleksa tj. elektrokemijski labilnih vrsta (kloro-, hidroksokompleksi) odn. inertnih kompleksa tj. elektrokemijski inertnih vrsta (inertni organski kompleksi, koloidi, partikularna tvar)².

Eksperimentalno je moguće odrediti ukupne koncentracije »otopljenih« tragova metala primjenom dovoljno osjetljive elektroanalitičke metode kao što je diferencijalna pulsna voltometrija s anodnim otapanjem (DPASV)^{3,4} u zakiseljenim uzorcima (pH = 2,0). Najpouzdaniji način uzorkovanja vodenog stupca je autonomno ronjenje⁵. Granica detekcije kadmija DPASV metodom uz upotrebu MDE-1 radne elektrode ($t_{dep} = 15$ min) iznosi $2,5 \times 10^{-11}$ M. Određivanje kapaciteta kompleksiranja metala organskom tvari nam daje uvid u količinu organske tvari koja je u stanju vezati metal u elektrokemijski »nevidljivi«, odn. »inertni« kompleks.

Dosadašnji rezultati^{1,5,6} upućuju na skokovitu raspodjelu ukupnih koncentracija otopljenih metala (Cd, Pb, Cu, Zn, Hg) između slatke i morske vode te unutar same halo-

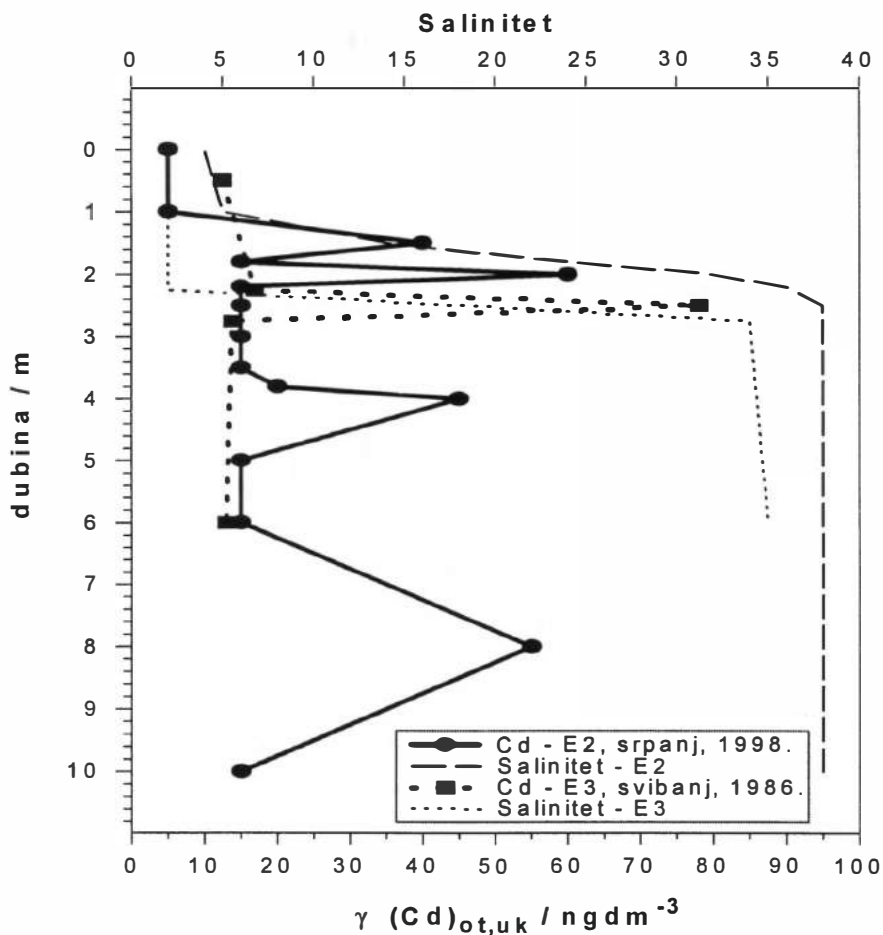


Slika 1. Usporedba vertikalnih raspodjela ukupnih koncentracija otopljenog cinka u vodenom stupcu estuarija 1986. i 1998. godine.

kline te na postojanje različitih kemijskih oblika tragova metala u različitim vodenim slojevima estuarija Krke (slatka voda, međusloj, morska voda).

Zn

Vertikalne raspodjele ukupnih koncentracija otopljenog cinka u svibnju '98. pokazuju maksimume u samoj haloklini ($d = 3,8-3,9$ m) s vršnim koncentracijama u intervalu (380–700 ng/l). Slikom 1. prikazana je usporedba vertikalne raspodjele ukupnih koncentracija cinka iz svibnja '98. na postaji E2 s vertikalnom raspodjelom ukupnih koncentracija cinka iz svibnja '86. na postaji E3. Rezultati iz srpnja '98. ukazuju na postojanje tri lokalna maksimuma ukupnih koncentracija otopljenog cinka u vertikalnom vodenom stupcu: površinski te dva maksimuma u blizini halokline. 1986. godine je izmjerena vršna koncentracija otopljenog cinka u haloklini pri postaji E3 od 1450 ng/l što znatno prelazi sve izmjerene vršne koncentracije otopljenog cinka u haloklinama 1998. godine.



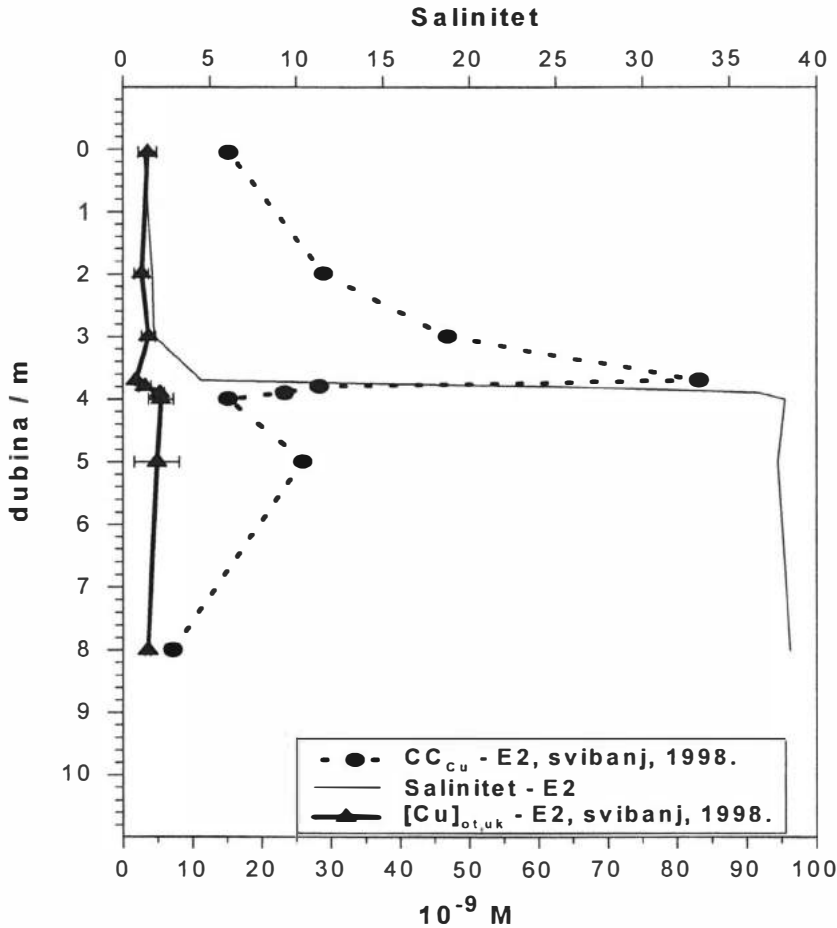
Slika 2. Usporedba vertikalnih raspodjela ukupnih koncentracija otopljenog kadmija u vodenom stupcu estuarija 1986. i 1998. godine

Cd

Vertikalne raspodjele ukupnih koncentracija kadmija u svibnju '98. ukazuju na koncentracijski skok pri prelazu iz slatkovodnog sloja (do $d = 3,7$ m) gdje srednja ukupna koncentracija otopljenog kadmija iznosi 5 ng/l u morski sloj (od $d = 4,0$ m) gdje srednja ukupna koncentracija otopljenog kadmija iznosi 20 ng/l. Rezultati iz srpnja '98. ukazuju na postojanje tri koncentracijska maksimuma kadmija u vertikalnom stupcu estuarija: dva u haloklini i jedan u morskom sloju. Drugi koncentracijski maksimum u haloklini (60 ng/l) je po iznosu blizak nađenom koncentracijskom maksimumu otopljenog kadmija (80 ng/l) u vertikalnom presjeku na postaji E3 1986. godine (slika 2.).

Cu

Vertikalni presjeci ukupnih koncentracija bakra iz svibnja '98. ukazuju na postojanje koncentracijskog maksimuma bakra u samoj haloklini ($d = 4$ m) s vršnim koncentracijama od 360 – 530 ng/l. Rezultati iz srpnja '98. ukazuju na postojanje tri maksimuma



Slika 3. Vertikalna raspodjela ukupnih koncentracija otopljenog bakra te kapaciteta kompleksiranja bakra organskom tvari na postaji E2 u svibnju 1998.

ukupnih koncentracija otopljenog bakra u vodenom stupcu estuarija na postaji E2: površinski te dva u blizini halokline. Maksimalna koncentracija ukupnog otopljenog bakra u haloklini 1986. godine je iznosila 100 ng/l, što je znatno manje od svih izmjerenih vršnih koncentracija 1998. godine.

CC_{Cu}

Ovisnost kapaciteta kompleksiranja bakra o dubini iz svibnja 1998. pokazuje maksimum kapaciteta kompleksiranja u samoj haloklini (slika 3.) na 3,7 metara dubine.

Time je potvrđena osnovna pretpostavka o heterogenoj raspodjeli ukupnih koncentracija otopljenih tragova metala (Cd, Cu, Zn) u vertikalnom presjeku vodenog stupca estuarija rijeke Krke. Rezultati iz svibnja i srpnja 1998. ukazuju na postojanje koncentracijskog maksimuma tragova metala unutar halokline u vertikalnom presjeku vodenog stupca estuarija. Osim ukupnih koncentracija otopljenih metala u haloklini se nalazi i maksimum kapaciteta kompleksiranja bakra što nas upućuje na to da se bakar u međusloju na prelazu dviju vodenih faza (slatkovodne i morske) nalazi vezan u organske komplekse odnosno na prisutne čestice krute faze⁷.

Literatura

1. M. Branica, Ž. Kwokal, Ž. Peharec, D. Martinčić, I. Pižeta, M. Zelić, Trace metal speciation along the vertical profile of the Krka river estuary na First international symposium on small estuaries, Primošten (1989) 46–47.
2. M. Whitfield The electroanalytical chemistry of sea water, u: J. P. Riley i G. Skirrow (Ur.), *Chemical oceanography Vol. 4*, Academic Press, London, 1975.
3. T. Mark Florence Electrochemical approaches to trace element speciation in waters, *Analyst* 111 (1986).
4. D. Omanović, Ž. Peharec, I. Pižeta, G. Brug, M. Branica A new mercury drop electrode for trace metal analysis, *Analytica Chimica Acta* 339 (1997) 147–153.
5. G. Kniewald, Ž. Kwokal, M. Branica Marine sampling by scuba diving. 3. Sampling procedures for measurement of mercury concentrations in estuarine waters and seawater, *Marine Chemistry* 22 (1987) 343–352.
6. P. Mintas, Ž. Peharec, M. Branica Vertikalna raspodjela i specijacija tragova metala estuarija rijeke Krke na I. hrvatskom simpoziju o elektrokemiji, Varaždin (1998) 81–84.
7. M. Plavšić, D. Krznarić, M. Branica Determination of the apparent copper complexing capacity of seawater by anodic stripping voltammetry, *Marine Chemistry* 11 (1982) 17–31.

Autori

Dipl. inž. Pavle Mintas, tel.: 4561190, e-mail: pmintas@rudjer.irb.hr

Željko Peharec, tel.: 4561190, e-mail: peharec@rudjer.irb.hr

Prof. Dr. Sc. Marko Branica, tel.: 4680231, e-mail: branica@rudjer.irb.hr

Laboratorij za fizičku kemiju tragova, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut »Ruder Bošković«, Bijenička cesta 54, PP 1016, 10 000 Zagreb, Hrvatska

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.18.

Odgovorno ribarstvo i očuvanje ekosustava Jadranskog mora

Antonieta Požar-Domac

SAŽETAK: U hrvatskom dijelu Jadranskog kao i u najvećem dijelu Svjetskog mora riblje su zalihe opasno ugrožene ili su pred iscrpljenjem. Prelovom gospodarski značajnih vrsta riba, glavonožaca i rakova izravno se ugrožava cjelovitost živog svijeta mora. Neselektivnim ribarskim alatima i mehaničkim uništavanjem prirodnih priobalnih staništa trajno se remeti ravnoteža među vrstama ali i ekosustava mora u cjelini.

U radu se analizira primjena Zakona o morskom ribarstvu i Zakona o zaštiti prirode i rezultati u očuvanju obnovljivih biozaliha u teritorijalnom moru Republike Hrvatske. Na osnovi rezultata istraživanja akvatorija oko vanjskih jadranskih otoka razmatraju se moguće mjere za obnovu ribljeg fonda primjerene hrvatskom dijelu Jadranskog mora. Prihvaćajući načela Kodeksa ponašanja za odgovorno ribarstvo (FAO, 1995.) i obveza u potpisanim međunarodnim konvencijama, koje se odnose na očuvanje živog svijeta i bioraznolikosti mora potrebno je najžurnije izraditi Strategiju odgovornog ribarstva Republike Hrvatske.

Smislenim cjelovitim upravljanjem hrvatskim obalnim područjem uz odgovorno gospodarenje biozalihama osigurali bi se uvjeti za njihovu relativno brzu obnovu i očuvanje bioraznolikosti Jadranskog mora.

KLJUČNE RIJEČI: biozalihe, odgovorno ribarstvo, očuvanje ekosustava, Jadran

Responsible Fishery and Conservation of the Adriatic Sea Ecosystem

SUMMARY: Fish reserves are seriously imperilled or nearing their depleting in the Croatian part of the Adriatic, as well as in the most part of the world sea. Overfishing of important fish sorts, cephalopoda and crabs directly jeopardizes integrity of the sea wildlife. Nonselective use of fishery tools and mechanical destruction of the near bottom coastal habitats permanently disrupt the balance of sorts and marine ecosystem as a whole.

The paper analyzes implementation of the Nature Conservation Law and the results achieved in preserving renewable bioreserves in the territorial sea of the Republic of Croatia. Based on the investigation results obtained around the offshore Adriatic islands, possible measures have been considered for revitalization of the fish stock appropriate for the Croatian part of the Adriatic Sea. By accepting the Code of Practice for Responsible Fishery (FAO, 1995) and obligations from signed international conventions which deal in conservation of wildlife and biodiversity of the sea, Croatia imposed on itself an under urgent need for preparation of the Responsible Fishery Strategy for the Republic of Croatia.

Reasonable and integrated management of the Croatian coastal region, accompanied by responsible management of bioreserves, would render the conditions for their comparatively fast revitalization of preservation of the Adriatic Sea biodiversity.

KEYWORDS: bioreserves, responsible fishery, ecosystem preservation, Adriatic Sea

1. Uvod

Ribarstvo ima ključnu ulogu za opstanak čovječanstva, predstavlja djelatnost koja osigurava nezamjenjiv izvor hrane za ogroman broj ljudi na Zemlji. Osigurava velikom broju ljudi zaposlenje bilo izravno ili posredno putem prometa, trgovine i dr. Ribarstvo ima dakle prehrambeno, gospodarsko, društveno, kulturno ali i ekološko značenje.

Tridesetak je godina, od početka šezdesetih, svjetski ulov morske ribe stalno rastao da bi početkom devedesetih naglo opao i sada se već nekoliko godina kreće između 85–90 milijuna tona godišnje. Prema procjenama stručnjaka FAO ulov 70% morskih vrsta riba dosegao je ili već prešao održivu razinu. Profesionalni ribari osim toga još uvijek koriste alate kojima ulove oko 25% nejestivog tzv. »nekorisnog prilova« malog ili nikakvog gospodarskog značenja. Taj se dio živog svijeta »otima« s prirodnih staništa, uništava i kao dodatni organski otpad odbacuje u relativno plitka područja. Njegovom se razgradnjom troši velika količina kisika dodatno ugrožavajući pridnena naselja gospodarski važnih vrsta morskih organizama [1].

Sve vrste ribolova imaju dakle veći ili manji utjecaj na remećenje ravnoteže u ekosustavu mora. Treba pri tome posebno naglasiti da se više od 90% svjetskog ribolova obavlja u obalnim vodama do dubine od oko 200 m, što je samo oko 7% ukupne površine oceana i to u stupcu vode čiji volumen iznosi oko 0,02% volumena svih mora i oceana.

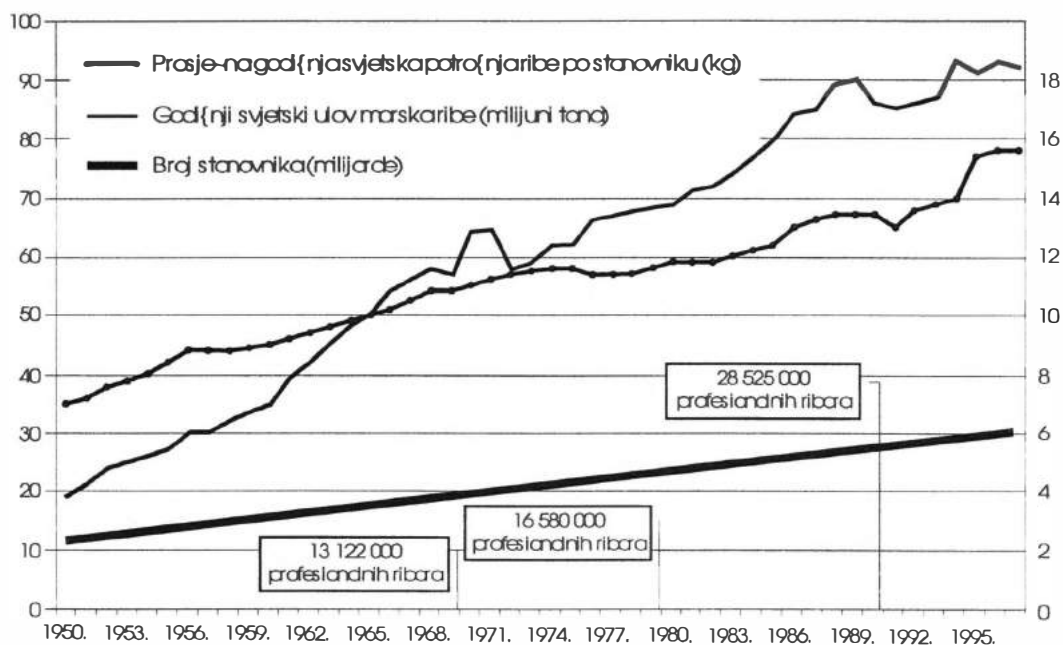
Na količinu svjetskih obnovljivih biozaliha, na stanje i količinu pojedinih ribljih vrsta trajno djeluju i ekološki uvjeti, koji su u plitkom priobalnom području pod stalnim antropogenim utjecajem. Otrovnost kemijske tvari, manja količina kisika, pad saliniteta, rast pH vrijednosti morske vode itd. sve kao posljedica onečišćenja, više ili manje utiču na pojedine karike prehrambenog lanca pa i na populacije gospodarski značajnih vrsta morskih organizama. Dobro su poznati odnosi između onečišćenja i smanjenog imuniteta, kada se smanjuje fiziološki odgovor na patogene spojeve. Velika je učestalost abnormalnih pojava na staništima u blizini ušća i općenito plićem obalnom pojasu pod utjecajem onečišćenja s kopna. Izlaganje spolno zrelih ženki utjecaju kemijskih onečišćivača može uzrokovati razvoj abnormalnih ličinki, a izlaganje jaja i ličinki povećava smrtnost i postotak abnormalnosti [2].

Kemijsko onečišćenje može dakle, uvelike uticati na stanje populacija riba, ali nije dovoljno poznato kako će se dugoročno gledajući promjene okoliša odraziti na te organizme. Sve su to razlozi koji nalažu radikalnu promjenu u praćenju stanja okoliša. Danas se još uvijek uglavnom samo mjere fizičko-kemijski parametri mora, a ne povezuju dovoljno s istraživanjem stanja morskih organizama i dinamikom populacija. Treba napustiti pasivnu ulogu u upravljanju morskim biozalihama, jer riba koja je izbjegla ribarske mreže ipak ne predstavlja garanciju za budućnost ribljih zaliha i njihov oporavak.

Oceani su onaj dio ekosustava koji podržava život na planetu Zemlja pa svako dugotrajno i agresivno kemijsko ili mehaničko djelovanje, pogotovo u područjima mriješćenja i rasta većine morskih organizama, ozbiljno ugrožava sigurnu obnovu biozaliha.

2. Alarmantno stanje svjetskog ribarstva i biozaliha mora

Sve ribarski značajne zemlje Svijeta u suradnji sa stručnim međunarodnim organizacijama pokušavaju utvrditi principe i pronaći učinkovite modele odgovornog ponašanja za očuvanje, upravljanje i razvitak morskih biozaliha vodeći pri tome računa o ekosustavu općenito a posebno o bioraznolikosti. Ulažu se veliki naponi kako bi se



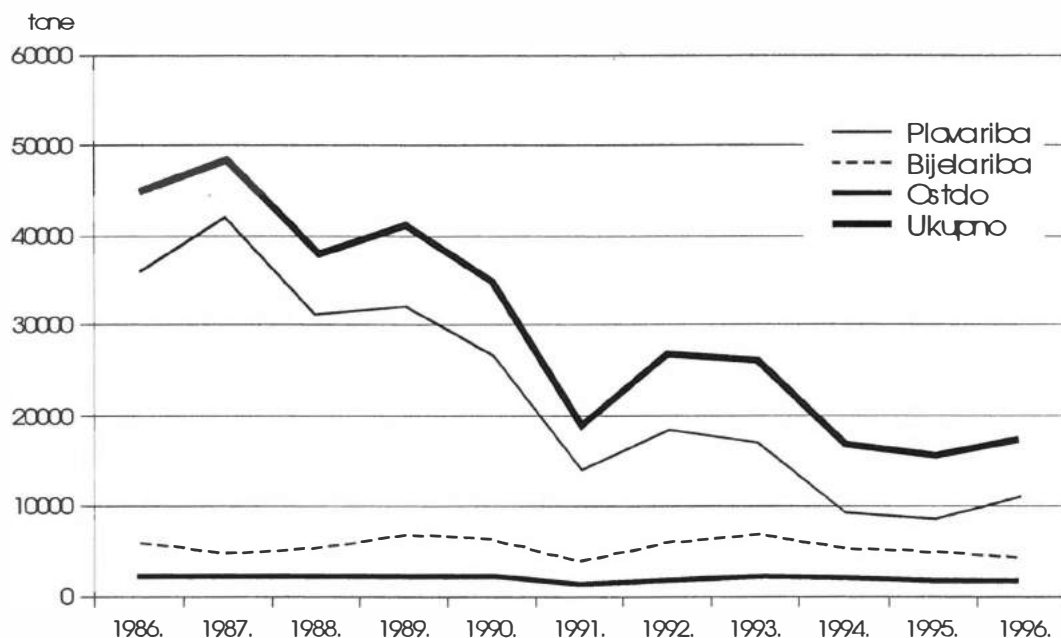
Slika 1. Godišnji svjetski ulov morske ribe, prosječna godišnja svjetska potrošnja ribe po stanovniku, porast stanovništva i broja profesionalnih ribara – prema podacima FAO [1]

smanjio utjecaj ribolova na okoliš i uspostavila ravnoteža između gospodarskih interesa i pravovremene zaštite obnovljivih biozaliha.

Zabrinjavajuće stanje biozaliha uočava se međutim već u svim područjima. Zadnjih pedesetak godina ulov morske ribe povećao se četiri puta, broj stanovnika dosegao je brojku od oko 6 milijardi, a prosječna količina ulovljene ribe po glavi stanovnika godišnje porasla je od 8 kg 1950. na samo 15 kg 1996. godine (Sl. 1.). Ulav, kako u svjetskim morima tako i u Jadranu nije proporcionalan utrošenom ribolovnom naporu. Uz sve moćnije i tehnički opremljenije brodove u zadnjih se dvadesetak godina u svijetu više nego udvostručio broj profesionalnih ribara. Da li će akcije i preporuke međunarodnih organizacija kao npr. *Agreement on Straddling and Highly Migratory Fish Stocks* Ujedinjenih nacija i *Code of Conduct for Responsible Fisheries* FAO-a spriječiti nepopravljive posljedice preloma svjetskih ribljih zaliha? Sve primorske zemlje mogu prihvaćanjem i pridržavanjem preporuka uz usklađivanje nacionalnih zakona sudjelovati u pokušaju zaštite obnovljivih biozaliha, ekosustava mora i osiguranja dovoljne količine hrane za buduće generacije.

3. Odgovorno gospodarenje jadranskim biozalihama

U područjima, koja su u stanju kakvo je u Jadranu, kad je većina vrsta već prelovljena ili je na granici preloma treba posebno brzo pooštriti mjere zaštite. Dugotrajnim pretjeranim izlovljavanjem došlo je do pada prosječne duljine ukupne populacije kod velikog broja vrsta, pa su prema tome jedinice pri nastupu spolne zrelosti manje nego što je to bilo npr. prije tridesetak i više godina. Sustavna istraživanja priobalnih naselja u svim područjima hrvatskog dijela Jadrana ukazuju na značajne kvalitativne i kvantitativne negativne promjene [3, 4, 5, 6]. Dugogodišnje praćenje stanja ribljih pridnenih



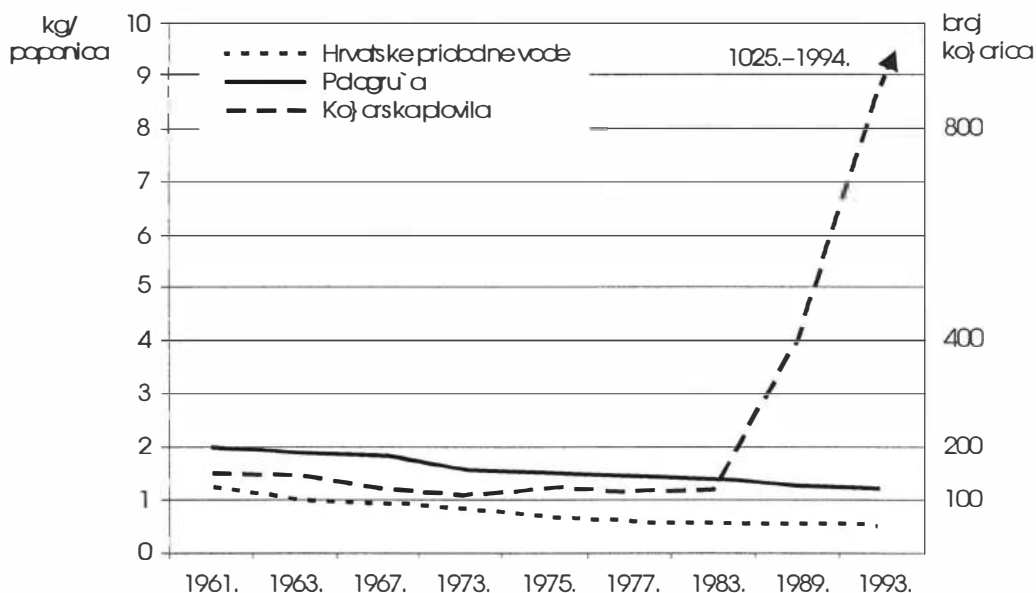
Slika 2. Ukupan ulov morske ribe (plave, bijele i ostalo) u hrvatskim teritorijalnim vodama – podaci Ministarstva poljoprivrede i šumarstva Republike Hrvatske, rujan 1998. godine

naselja u području Kornatskog otočja ukazuje da ni u posebno zaštićenim područjima nije u hrvatskom dijelu Jadranskog mora osigurano primjereno gospodarenje ni učinkovita zaštita [7] nasuprot brojnim pozitivnim svjetskim iskustvima [8, 9].

Problem obnovljivih biozaliha Jadranskog mora potrebno je međutim uvijek promatrati cjelovito, vodeći računa o tome da Talijani ostvaruju skoro 50% nacionalnih kočarskih lovina upravo u ovom području. Godinama se upozorava o neprihvatljivom ponašanju ribara u teritorijalnim i međunarodnim vodama Jadrana. Opetovano se prikazuju zabrinjavajući podaci o prevelikoj ribarskoj floti [10, 11, 12] u cijelom području, a već prije pet godina uz znanstveno i stručno obrazloženje ukazivalo se na nužnost brze promjene hrvatskih zakonskih propisa [4].

Stanje u hrvatskom morskom ribarstvu godinama se sustavno ne sređuje, nego se brzopletim odlukama i naredbama donesenim pod pritiscima ljudi, koji nisu tradicionalno vezani ni uz more ni uz ribarstvo sve više pogoršava (Sl. 2. i 3.).

Ribe je sve manje: ulov je sve lošije kvalitete, ribara i »ribara« je sve više, a naredbe Ministarstva poljoprivrede i šumarstva Republike Hrvatske sve apsurdnije. Ne postoji »Strategija morskog ribarstva«. Danas se u cijelom svijetu pa tako i većini sredozemnih zemalja, koje su svjesne stanja ribljeg fonda, govori o odgovornom ribarstvu. U tom je smislu i Organizacija ujedinjenih nacija FAO – odjel za ribarstvo izradio već spomenuti Kodeks za odgovorno upravljanje ribarstvom. Kodeks utvrđuje principe odgovornog ponašanja, koji će osigurati očuvanje, upravljanje i razvitak obnovljivih biozaliha mora uz potrebno uvažavanje ekosustava i bioraznolikosti. U kodeksu se osim ostalog ukazuje na značaj određivanja minimalnih veličina riba čiji se ulov dozvoljava, a posebno na značaj zaštite mladih jedinki i jedinki za vrijeme mrijesta.



Slika 3. Prosječna lovina po jednoj mreži poponici u hrvatskim priobalnim vodama u razdoblju od 1961–1993. [13], u području Palagruže [5] i broj kočarica u istom razdoblju [12, 15]

Strategija odgovornog ribarstva Republike Hrvatske trebala bi utvrditi ponašanje i osigurati provođenje utvrđenih mjera za očuvanje obnovljivih biozaliha. Provođenjem tih mjera osiguralo bi se sustavno gospodarenje, a ne bi trebalo neprestano mijenjati propise i uvoditi ishitrena ograničenja ili ukidanje postojećih, koja samo trenutno smiruju pojedine grupacije, a ne mogu dugoročno djelovati na oporavak nastalih šteta.

4. Zaključak

Očuvanje prirode i bioraznolikosti mora može se ostvariti samo cjelovitim odgovornim planiranjem razvitka u priobalju. Na osnovi kritičkog vrednovanja cijelog obalnog područja trebalo bi obaviti društvenu, gospodarsku i ekološku procjenu osobitosti s posebnim obzirom na očuvane dijelove teritorijalnog mora i priobalja te planirati mrežu posebno zaštićenih područja.

Svaku neprirodnu i nasilnu metodu za »brzi« oporavak ribljeg fonda kao što su npr. umjetni brakovi ili masovno poribljavanje Jadrana treba odlučno zaustaviti, jer će nepovratno uništiti hrvatsko podmorje, a mogu uzrokovati i nesagledive poremećaje u ekosustavu. Za naš dio Jadranskog mora takvi su zahvati apsolutno nepotrebni i neprimjereni.

U suglasju s potpisanim međunarodnim konvencijama potrebno je što prije pripremiti novi suvremeni Zakon o zaštiti prirode te primijeniti odredbe Zakona o morskom ribarstvu i proglasiti veći broj »posebnih staništa«. Na osnovi Zakona o morskom ribarstvu može se posebna pažnja i zaštita osigurati područjima koja su mrijestilišta i rastišta gospodarski značajnih vrsta, a posebno onih čiji je opstanak ugrožen prelovom ili onečišćenjem. Mreža posebno zaštićenih područja osigurala bi očuvanje biološke raznolikosti i omogućila povećanje gustoće ihtiofaune kako u zaštićenim i susjednim područjima tako i u Jadranskom moru u cjelini.

Uz zabranu koćarenja u »unutarnjem ribolovnom moru« teritorijalnog mora Republike Hrvatske ili barem proširenja pojasa zabrane koćarenja na 2,5–3 nm od obale kopna ili otoka trebalo bi energično onemogućiti zloupotrebe u malom obiteljskom (dopunskom) i športsko-rekreacijskom ribolovu.

Radi zaštite ugrožene morske cvjetnice porosta (*Posidonia oceanica*) i očuvanja njenih staništa, koja su mrijestilišta, rastilišta i hranilišta velikog broja gospodarski značajnih vrsta morskih organizama treba ih na cijelom području teritorijalnog mora Republike Hrvatske posebno zaštititi.

S obzirom na stanje ribljeg fonda s jedne strane i veličinu ribolovnog napora, koji je danas prisutan kako u teritorijalnim tako i u međunarodnim vodama Jadranskog mora, hrvatska bi država trebala u najskorije vrijeme proglasiti gospodarski pojas.

Literatura

1. FAO 1999: The State of World Fisheries and Aquaculture 1998 540pp.
2. Serratore, P. 1998: Risorse biologice e pesca necessario cambiare rotta. Pesca 98, 08, 3–7.
3. Morović, 1971: Eksploatacija i zaštita ihtiofaune u obalnom pojasu srednjeg i južnog Jadrana. Simpozij o zaštiti prirode u našem kršu. JAZU, 339–353.
4. Jukić, S. 1994: Hrvatsko morsko ribarstvo – stanje i prijedlozi za unapređenje. Pomorski zbornik 32, 1, 521–546.
5. Jardas, I., Pallaoro, A., Cetinić, P. Recentno stanje i dugoročne promjene u priobalnim naseljima riba, glavonožaca i jestivih vrsta rakova na području Palagruže. Zbornik radova »Palagruža – jadranski dragulj« MH Kaštela. 205–213.
6. Požar-Domac, A., Bakran-Petricioli, T., Filipić, P., Jaklin, A., Leder, N., Olujić, G., Mužinić, J., Pallaoro, A., Sinovčić, G., Smirčić, A., Šimunović, I., Šojat, V., Vidić, S., Vučetić, M., Vučetić, V., Zahtila, E., Zavodnik, D., Zavodnik, N. 1998: The Marine Park Silba. Period. Biol. 100, 1, 1–13.
7. Jardas, I., Pallaoro, A. 1995: Priobalna ihtionaselja područja nacionalnog parka »Kornati«. Simpozij »Prirodna podloga, zaštita, društveno i gospodarsko valoriziranje Kornata«. HED Zagreb, Ekol. mon. 7, 331–337.
8. Garcia-Rubies, A., Zabala, M. 1990: Effects of total fishing prohibition on the rocky assemblages of Medes Islands marine reserves (NW Mediterranean). Sci. Mar. 54(4), 317–327.
9. Požar-Domac, A. 1995: Razlozi za osnivanje morskih parkova u Hrvatskoj – pilot projekt »Morski park Palagruža«. Zbornik radova »Palagruža – jadranski dragulj« MH Kaštela, 163–170.
10. Basioli, J. 1974: Jadranski i Mediteranski ribolov u svijetlu statističkih podataka. Acta Adriat. 16, 1/2, 15–29.
11. Cetinić, P. 1989: Analiza sadašnjeg stanja jugoslavenske koćarske i plivaričarske flote. Morsko ribarstvo 41, 3, 69–76.
12. Vodopija, T. 1997: Stanje i pravci razvitka hrvatskog morskog ribarstva. Tisuću godina prvog spomena ribarstva u Hrvata. HAZU Zagreb. 427–436.
13. Jardas, I., Pallaoro, A. 1997: Stanje i gospodarenje priobalnim biozalihama mora. Tisuću godina prvog spomena ribarstva u Hrvata. HAZU Zagreb. 381–398.
14. Jukić-Peladić, S., Vrgoč, N., Tonković, M. 1997: Koćarski ribolov u Jadranskom moru – stanje i mogućnosti. Tisuću godina prvog spomena ribarstva u Hrvata. HAZU Zagreb. 359–378.
15. Garcia-Rubies, A., Zabala, M. 1990: Effects of total fishing prohibition on the rocky fish assemblages of Medes Islands marine reserve (NW Mediterranean). Sci. Mar. 54(4), 317–328.

Autor

Prof. dr. Antonieta Požar-Domac

Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

antonieta.pozar-domac@zg.tel.hr



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.19.

Vode malih hrvatskih otoka i principi održivog razvoja

Damir Magaš

SAŽETAK: Mali hrvatski otoci, poglavito oni koji imaju samo 1–3 naselja, krajem 20. i početkom 21. st. su u posebno osjetljivom razdoblju svoga opstanka. Opća infrastrukturna izoliranost, uključivci i bezvodicu, važan je uzrok gašenju naselja i odumiranju otoka. Bolje vezivanje s kopnom i većim otocima, kao i mogućnosti vrednovanja lokalnih resursa, među njima i voda, pokazuje se kao potencijalni izlaz iz sadašnje krize. Svakako, vrednovanje mora oko malih otoka potencijalno se nameće kao najozbiljniji mogući izvor napretka među izvorima koji tim otocima preostaju (plodno zemljište, šuma, pašnjaci). U tom pogledu turistička i prometna valorizacija s jedne, i uzgoj morskih organizama, s druge strane, na prvi pogled oprečni i suprotstavljani u svojim zahtjevima, mogućnostima i utjecajima, ukazuju na potencijale budućeg razvoja. Načela održivog razvoja, koja u saturiranim prostorima dolaze u prvi plan, u našim uvjetima, s obzirom na prostranost i mogućnosti lokalnih akvatorija, još uvijek omogućuju razvoj i u jednom i u drugom smjeru. Nekoliko primjera na malim otocima to i pokazuje. S druge strane, opće siromaštvo slatkom vodom na malim otocima i činjenica da taj problem dosad nije učinkovito razriješen, pokazuje se kao ograničavajući faktor razvoja malih otoka i jedan od uzrok njihova nazadovanja. Početak III tisućljeća trebao bi i u tom pogledu donijeti novice u tehnološkim rješenjima vodoopskrbe malih otoka te ubrzati njihov oporavak i oživljavanje.

KLJUČNE RIJEČI: mali hrvatski otoci, voda, more, održivi razvoj

Small Croatian Islands Water and Sustainable Development Principles

SUMMARY: Small Croatian islands, particularly those with not more than one to three settlements, have found themselves in a particularly sensitive stage of their development now at the end of the 20th and beginning of the 21st century. General infrastructural isolation, including lack of water, is one of major factors towards extinction of settlements and dying out of islands. Better connections with the mainland and the larger islands, and possibilities for exploitation of local resources (including water) are a possible breakthrough from the current crisis. Exploitation of sea surrounding these small islands is one of the most serious starting points towards progress based on locally available resources (including arable land, forests, pastures). Tourism and traffic related exploitation on one hand, and growing of marine organisms on the other might at the first sight seem as contrary and opposed options, but their requirements, possibilities and effects lead towards future development. Principles of sustainable development, which are of major relevance in saturated areas, in these waste land and sea areas enable development in either direction. Several examples of small islands confirm that. On the other hand, general deficiency of fresh water in small islands and the fact that this problem has never been adequately resolved, emerge as a limiting factor in development of small islands and cause their regression. The beginning of the third millennium should bring some novelties as regards water supply technologies suitable for small islands, leading towards their recovery and revitalization.

KEYWORDS: small Croatian islands, water, sea, sustainable development

Uvodna razmatranja

Projekt »Geografske osnove razvoja malih hrvatskih otoka«, uz sveobuhvatnu geografsku problematiku obuhvaća i problematiku poznavanja i vrednovanja voda na malim otocima istočne jadranske obale. Pod pojmom »mali hrvatski otoci«, obuhvaćeni su poglavito oni naseljeni otoci koji imaju samo 1–3 naselja, bez obzira na površinu i broj stanovnika i koji nisu mostom povezani s kopnom. Razmatrani otoci su prema skupinama sljedeći:

Kvarnerska skupina:

Ilovik, Srakane Vele, Srakane Male, Susak, Unije.

Zadarska skupina:

Silba, Olib, Premuda, Škarda, Ist, Molat, Zverinac, Iž, Rava, Rivanj, Sestrunj, Sestrica Vela (Sali), Ošljak, Babac, Vrgada.

Šibenska skupina:

Prvić, Zlarin, Kaprije, Žirje, Krapanj

Splitsko-trogiška skupina:

Drvenik Veli, Drvenik Mali, Biševo, Svetac, Sv. Andrija, Šćedro.

Dubrovačka skupina:

Šipan, Lopud, Koločep, Sušac.

U suvremenim okolnostima društvenog razvoja krajem 20. i početkom 21. stoljeća ovi otoci su, poput pojedinih izoliranih gorskih prostora Hrvatske, u posebno osjetljivom razdoblju svoga opstanka. Neki s obzirom na položaj imaju i određeno strateško značenje u smislu održavanja života i aktivnosti na velikim dijelovima jadranskog akvatorija. Opća infrastrukturna izoliranost, koja često znači nedostatak odgovarajućih pristana, brodskih veza, nepostojanje ili loše elektroopskrbne instalacije, uglavnom slaba vodoopskrba, i sl. važni su uzroci gašenja naselja i odumiranja malih otoka. Tu treba pridodati i najčešću izoliranost od liječničke skrbi, teškoće u poštanskom prometu, opskrbi robama, zatvaranje škola itd. Predmet razmatranja voda na ovim otocima su i more i kopnene vode. To znači da se u radu razmatraju prvenstveno pitanja vrednovanja morskih zona, održavanja postojećih kopnenih vodnih resursa, problem bezvodice u krškom maritimnom mediju, postojanje i razvoj objekata vodoopskrbe i mogućnosti poboljšanja stanja.

Svakako da se bolje vezivanje s kopnom i većim otocima, kao i mogućnosti vrednovanja lokalnih resursa, među njima i voda, pokazuje kao mogući podstrek izlasku iz sadašnje krize.

Vrednovanje mora

Vrednovanje oko malih otoka potencijalno se nameće kao najozbiljniji mogući izvor napretka u odnosu na najznačajnije prirodne izvore koji na tim otocima postoje (plodno zemljište, šuma, pašnjaci). I u povijesno-zemljopisnim okolnostima razvoja upravo je ribolov, uključivši školjkarstvo, koraljarstvo i spužvarstvo bio važan oslonac života i naseljenosti. U tom pogledu **turistička** i **prometna** valorizacija s jedne, i **uzgoj morskih organizama**, s druge strane, na prvi pogled oprečni i suprotstavljani u svojim potrebama, mogućnostima i utjecajima, ukazuju na suvremene potencijale budućeg razvoja. Načela održivog razvoja, koja u saturiranim prostorima dolaze u prvi plan, u našim uvjetima, s obzirom na prostranost i mogućnosti lokalnih akvatorija, još uvijek omogućuju razvoj i u jednom i u drugom smjeru. Nekoliko primjera na malim otocima to i pokazuje.

Za razliku od velikih otoka, mali otoci su tek sporadično razvijali turističku djelatnost u novije vrijeme. Ona se pretežno osniva na iznajmljivanju soba u individualnom smještaju i povremenoj posjeti plovila u sklopu tzv. nautičkog turizma. Na nekoliko su otoka ipak izgrađeni i određeni turistički sadržaji hotelskog tipa, odmarališta, marine. Tako npr. na Lopudu (»Lafodia«, »Grand Hotel«, »Dubrava«), Koločepu (turističko naselje vila), Ižu (Veli Iž, »Korinjak«) i Zlarinu (»Koralj«) postoje hotelski kapaciteti, od kojih su neki zatvoreni. Samo na Ižu (Veli Iž) postoji manja marina, a na nekoliko otoka su postavljena i sidrišta i postoje odgovarajući pristani za prihvat plovila. S obzirom na mogućnosti prostora i akvatorija, može se reći da mali otoci vrednuju izuzetno mali dio tih mogućnosti čemu su izoliranost, depopulacija i bezvodica glavni uzroci.

Također ni **dobivanje i proizvodnja hrane u moru** oko malih otoka nije naročito razvijena. Nekadašnja snažna ribolovna djelatnost oko pojedinih otoka (Biševo, Sušac, Svetac, Iž, Molat, Ist, Silba, Premuda, Olib, Unije, Žirje, Kaprije), vađenje koralja i spužava (Zlarin, Krapanj) koncentrirana je danas na nekoliko otočkih i kopnenih središta skladištenja, trgovine i prerade ribe. Na niti jednom od malih otoka nije izgrađen niti jedan industrijski objekt za preradu ribe, a nekoliko starih je ugašeno (Prvić Luka, Unije). U suvremeno vrijeme marikultura se pojavljuje kao mogućnost revalorizacije mora i uz male otoke. Pojedini pokušaji na zadarskom otočju uz otok Iž (uzgoj tuna u kavezima, do 200 t godišnje, Tuna »Kali« i Tankerkomerc), Olib (uzgoj bijele ribe, 10 t godišnje) i Ravu (uzgoj bijele ribe, 10 t godišnje), ukazuju na mogućnosti marikulture i na nekim drugim otocima. Pretjerani su, barem za sada povici na uzgoj tih malih pogona s obzirom na dubine, veličinu otoka, razvedenost obale i brojnost uvala, prostrujenost itd. Također, barem za sada ne postoji niti jedan slučaj kolizije turističke djelatnosti i proizvodnje hrane iz mora na malim hrvatskim otocima.

Kopnene vode

Problem bezvodice u krškom maritimnom mediju. Opće siromaštvo slatkom vodom na malim otocima i činjenica da taj problem dosad nije učinkovito razriješen, pokazuje se kao jedan od ograničavajućih čimbenika razvoja malih otoka i jedan od uzroka njihova nazadovanja. Početak III tisućljeća trebao bi i u tom pogledu donijeti novice u tehnološkim rješenjima vodoopskrbe malih otoka te ubrzati njihov oporavak i oživljavanje.

Postojeći objekti vodoopskrbe. S obzirom na kopnene izvore slatke vode, mali otoci su izuzetno deficitarni. Na većini njih ne postoje značajniji izvori slatke vode, podzemne vode također nisu naročito istaknute, a još uvijek nisu ni dovoljno istražene pa je potrebno i dalje istraživati stanje u tom pogledu.

Glavnina malih hrvatskih otoka oduvijek se suočava s bezvodicom, premda su količine od 600 do 1100 mm padalina godišnje s lokalnim izvorima sasvim dovoljne za lokalnu opskrbu, a vodni bilans pokazuje da podzemlje hrvatskih otoka prima oko 50 puta veće količine od onih kojima danas raspolaže (B. Sekulić, 1998., 57). U prošlosti je većina otoka rješavala taj problem uređenjem i održavanjem lokava, pokojeg izvora i zdenca, izgradnjom gusterni, javnih ili privatnih. Na otocima na kojima postoje odgovarajući geološki preduvjeti ima više zdenaca, posebno u nižim dijelovima udolina i polja. U posljednje vrijeme neki od ovih otoka obuhvaćeni su planskim rješenjima vodoopskrbe otoka.

Zdenci su nastali na mjestima povoljnijih pojava podzemne vode. Takovih pojava ima naročito na Šipanu, Lopudu i Koločepu gdje se u mekšim nepropusnim lesolikim slo-

jevima zadržava kvalitetna pitka voda koja se koristi. Babac (1), Prvić (Prvić luka 1), Rava (1 bočati), Iž (Mali Iž: 4 bočata, Veli Iž: 7 bočatih), Zverinac (2 bočata), Molat (Molat: 3, Brgulje 1 bočati, Zapuntel 2 bočata), Ist (3, 2 bočata), Škarda (3, 2 bočata), Premuda (3, 2 bočate), Silba (4 bočata), Olib (4), (Sestrunj (2, 1 bočati), Rivanj (1 bočati), Vrgada (11, 10 bočatih), Šipan (veći broj u Suđurđu i Šipanskoj luci)), Lopud (5), Koločep (6 većih i više manjih). Stari nazivi za ove pojave su Šipnata, Šupnata, Šupnatica (od grč. *siphon* = žila vode), a noviji Studenac, Studenčić, Voda, Slanac, Bunar, Jezero, Vratak, Puć (od lat. *puteus* = zdenac). Samo ime otoka Šipana dolazi zacijelo također od grč. *siphon* zbog brojnih pojava vode.

Lokve su prastari oblik osiguranja vodnih zaliha na malim otocima, važan posebice za održavanje stočarstva. Danas su uglavnom zapuštene i zatrpane. Mnoge od njih imaju prapovijesnu tradiciju. Dio ih je nastao na mjestima izbijanja podzemne vode, a dio je umjetno izgrađen u glinovitoj masi i crvenici na pogodnim mjestima. Stari nazivi su praindoeuropski: Aran, Arnić, Arnina, Karnice, Bržan, romanski kroatizirani (od rom. *l'acqua*: Loka, Lokan, Lokana, i hrvatski: Lokva, Lokvina, Lokvanj, Jezerina, Blato, itd. Postoje na gotovo svim otocima: Iž (Veli Iž: 3 lokve), Molat (Molat 4, Brgulje 3, Zapuntel 1), Olib (6), Rava (4), Sestrunj, Zverinac (1), Ist (1), Škarda (2), Silba (2), Sestrunj (6), Rivanj (5), Žirje (1), Zlarin (1), Šipan (1) i dr.

U jamama i spiljama ponegdje se također zadržava voda kao npr. na Žirju gdje se u jami Gradina nalazi podzemna voda na oko 35 m dubine. Rijetki su izvori žive vode (npr. izvor zvan Vrulja u Velom Ižu) od kojih voda otječe prema moru ili unutarnjoj depresiji.

Gusterne su izgrađivale bivše vlasti (naročito za austrougarske uprave, te kasnije u obje jugoslavenske uprave), a danas se izgrađuju vodospremnici u okviru tehničkih rješenja pojedinih lokalnih sustava. Javne gusterne postoje na većini otoka, a u novije vrijeme uz velik dio kuća izgrađene su vlastite vodospreme. Vodospremnici se pune kišnicom preko sabirnih ploha, a ljeti vodonoscima. Vodonosci su uglavnom vlasništvo Tankerske plovidbe u Zadru (»Zrmanja«). Šibenske otoke opskrbljuje manji vodonosac »Banja«. Na malim kvarnerskim otocima Unije, Ilovik, Susak, Srakane npr. dovezeno je 1993. g. 3500 m³ vode. Svi mali zadarski otoci također ljeti ovise o vodonoscima, kao i dubrovački, splitsko-trogirski, te od šibenskih Kaprije i Žirje.

Suvremenu vodoopskrbu ima samo nekoliko malih hrvatskih otoka, mahom onih bliže obali, za razliku od velikih otoka koji gotovo svi već imaju suvremenu vodoopskrbu. To su Prvić, na kojeg je voda dovedena krajem sedamdesetih godina 20. st., te Zlarin i Krapanj u šibenskoj skupini. Na otoku Silbi postoji mjesna mreža koja je spojena na mjesne vodospreme s hidroforskim postrojenjem, a sustav se ljeti puni vodonoscima. Na otoku Lopudu je također više zdenaca spojeno u lokalni mjesni vodovod. Potrebe suvremenog povezivanja potrebno je namiriti svugdje gdje to opravdavaju mogućnosti u odnosu na ekonomičnost polaganja klasičnih podmorskih cjevovoda i izgradnje vodovodne mreže i instalacija.

Održavanje postojećih kopnenih vodnih resursa. Suvremeni uvjeti života uvjetovali su zapuštanje najvećeg broja lokava i slabije izdašnih zdenaca i izvora, naročito na otocima koji su depopulirali ili su pak drukčije riješili suvremenu opskrbu (zadarski otoci, šibenski otoci). Ponegdje su međutim postojeći resursi dobro sačuvani i dopunjeni novim rješenjima (bušotinama zdenaca i dr.) kao npr. na Elafitima, Žirju itd.

Mogućnosti poboljšanja stanja. Planska rješenja vodoopskrbe pojavljuju se u novije vrijeme u prostornim planovima pojedinih općina, regija, tj. županija, te zahvaćaju

prvenstveno bliže otoke i one na kojima se zadržalo nešto stanovništva (Ilovik, Iž, Rava, Olib, Silba, Molat, Ist, Sestrunj, Rivanj, Drvenik V. i M., Šipan, Olib, Lopud, Prvić, Zlarin, Kaprije, Žirje). Na žalost zasad se planske inicijative sporo ostvaruju, ili su tek na početku realizacije unatoč potrebama, što ukazuje da u kapilarnim tj. perifernim zonama vodoopskrbnog sustava u Hrvatskoj, pa tako i na malim otocima, zasad nema mogućnosti izgradnje potrebnih rješenja za razliku od drugih infrastrukturnih sustava koji su ipak proželi i veći dio malih otoka (HPT, HEP).

Na kvarnerskim malim otocima predviđeno je podmorsko spajanje polaganjem cjevovoda na pravcu Lošinj - Srakane - Unije/Susak i Lošinj - Ilovik.

Na zadarskim otocima još je prostornim planom iz 1978. definirana vodoopskrbna mreža na otocima (Zadar (Borik) - Ugljan - Iž - Rava - Dugi Otok - Zverinac s ogrankom Ugljan - Sestrunj - Rivanj - Molat - Ist - Silba - Olib/Premuda, odnosno Turanj - Babac - Pašman - Ugljan), ali na žalost do danas je stigla samo do prvih većih otoka Ugljana i Pašmana koji su međusobno povezani, ali sustav još nije u cjelosti proradio. Predviđen je i spoj Pakoštane - Vrgada. Na otoku Premudi zgotovljeno je slično rješenje kao i na Silbi. Mjesnom mrežom povezane su dvije mjesne i više privatnih gusteri. Uz tlačno-gravitacijski cjevovod i punjenje ljeti vodonoscem, mogu se zadovoljiti sve mjesne potrebe. Slično rješenje predviđa se i za otok Ist (uz izgradnju novog vodospremnika), te naselja Molat (novi vodospremnik spojen sa starom gustomom i izgrađena je nova mjesna mreža) i Brgulje (luka) na otoku Molatu.

Na šibenskim otocima bi se izgradnjom novog vodospremnika na Prviću, i preuređenjem postojećeg cjevovoda u tlačni, stanje poboljšalo. Predviđa se produženje sustava i na otok Kaprije.

Na trogirskim otocima predviđen je podmorski cjevovod s kopna za Drvenik Veli i Mali. U ovom trenutku, nakon što su već položeni podmorski cjevovodi od Orašca (tj. izvor Palata kod M. Zatona) prema Koločepu i između otoka do Šipana te pripremljena vodosprema, radi se na polaganju cjevovoda po Koločepu i Lopudu. Kasnije slijedi povezivanje i otoka Šipana.

Osim povezivanja naročito bližih otoka, podmorskim cjevovodima na kopnene sustave, u obzir dolaze i druga rješenja vodoopskrbe posebice za udaljenije i sasvim male otoke. Potencijalno se mogu ostvariti vodospreme na kopnu (u udolinama, ponikvama i sl. npr. kao na Kanarima), ali i na moru (spremnici slatke vode koja bi kao specifično lakša plivala na morskoj), veća ili manja postrojenja za desalinizaciju itd. Također postojeće gusterne mogu se popraviti i dopuniti, a opskrbu vodonoscima može se ograničiti na najmanje i udaljene otoke.

Rezimirajući navedeno, moguće je na razini ovog skraćenog prikaza tabelarno prikazati postojeće resurse i stanje voda i njihova vrednovanja. Na sljedećoj tabeli dati su osnovni parametri voda na malim hrvatskim otocima 1999.:

Tablica 1. Potencijali razvoja s obzirom na održivi razvoj, zaštitu okoliša i značenje voda

otok skupina	broj nas.	P km ²	broj st. 1991.	vodo-vod	gu-sterna	vodo-nosac	mari-kult.	turi-zam	naut.	polj. im.	podz. vode
Ilovik	1	5,9	145	-	+	+	-	I	+		
Srakane M.	1	0,6	1	-			-				
Srakane V.	1	1,2	9	-	+	+	-				

otok skupina	broj nas.	P km ²	broj st. 1991.	vodo- vod	gu- sterna	vodo- nosac	mari- kult.	turi- zam	naut.	polj. im.	podz. vode
Susak	1	3,8	188	-	+	+	-	I	+	+	
Unije	1	16,8	81	-	+	+	-	I	+	+	
Kvarnerski	5	28,3	424								
Silba	1	15,0	221	m	+	+	-	I	+		4z
Olib	1	26,1	168	-	+	+	+	I	+		4z,2i
Premuda	1	8,6	73	(m)	+	+	-		+		3z
Škarda	1	3,7	4	-			-				3z
Ist	1	9,7	237	(m)	+	+	-	I	+		3z
Molat <i>Brgulje</i> <i>Molat</i> <i>Zapuntel</i>	3	22,8	222 56 114 52	- (m) m	+	+	-	 I I I	 + + +		6z 1z 3z 2z
Zverinac	1	4,2	59	-	+	+	-	I			2z
Iž <i>Iž Mali</i> <i>Iž Veli</i>	2	17,6	657 189 468	-	+	+	 + +	 I H,I	 + M		11z,1i,2j 4z 7z,1i,2j
Rava <i>Rava Vela</i> <i>Rava Mala</i>	2	3,6	120 95 25	- - -	+	+	+	I	+	+	1z 1z
Sestrunj	1	15,4	123	-	+	-	-		+		1z
Rivanj	1	4,4	20	-		-	-				
Sestrica V.	1	0,1	10	-	+	-	-				
Ošljak	1	0,3	65	-	+	+	-				
Babac	1	0,7	10	-		-	-				1z
Vrgada	1	2,5	236	-	+	+	-	I	+		4z
Zadarska	19	135,1	2 225								
Prvić <i>Prvić Luka</i> <i>Prvić Šep.</i>	2	2,4	544 229 315	+		-	-	 I I	 + +		1z
Zlarin	1	8,2	359	+	++++	-	-	H, I	+		
Žirje	1	16,2	160	-	+	+	-	I	+		2z,1j
Kaprije	1	6,7	130	-	+	+	-	I	+		
Krapanj	1	0,4	527	+	+	-	-	I	+		
Šibenska	6	31,5	1 720								
Drvenik V.	1	12,1	145	-	+8		-	I	+		
Drvenik M.	1	3,3	56	-	+5		-	I	+		

otok skupina	broj nas.	P km ²	broj st. 1991.	vodovod	gusterna	vodnosac	mari-kult.	turizam	naut.	polj. im.	podz. vode
Biševo	1	5,8	14	–	+5		–				
Sveti Andr.	1	4,3	2	–	+		–				
Šćedro	1	7,5	5	–	+		–				
Splitska	5	33,0	222								
Šipan	2	15,8	500	–	+14	+	–				15z
<i>Sušurad</i>			221		+5			I	+		10z
<i>Šipanska l.</i>			279		+9			I	+		5z
Lopud	1	4,3	348	m	+	+	–	H,I	+		5z
Koločep	2	2,4	148	–	+	+	–	I	+		6z
<i>D. Čelo</i>											7z
<i>G. Čelo</i>											1z
Sušac	1	3,8	7	–							
Dubrovač.	6	26,6	1 003								
UKUPNO	42	258,1	5 594								

+ ima, – nema, m mjesni vodovod, I iznajmljivanje soba, H hotel, turističko naselje, z zdenac, v izvor, j voda u jami

S obzirom na navedeno, očito je da su gospodarske aktivnosti na malim hrvatskim otocima krajem 20. stoljeća znatno manje nego li u prvoj polovici. Zamiranje tradicionalne poljoprivrede i ribarstva u neposrednoj su vezi sa smanjenjem broja stanovnika i atrofiranjem demografskih struktura. Ovdje je posebno važno napomenuti da i suvremeni pokušaji oživljavanja poljodjelstva ne mogu dati većih rezultata bez odgovarajućih rješenja vodoopskrbe. Veća poljoprivredna imanja realiziraju se zasad samo na Susku i Unijama gdje postoje veće površine povoljne za agrikulturu (pješčana podloga), što ne znači da se ne bi postupno oživjeti i drugi oblici agrikulture i korištenja domaćeg bilja. Veliko smanjenje broja stanovnika, posebice na najsićenijim i izoliranim otocima, kvarenje dobne strukture, čest prirodan pad broja stanovnika i sl., doveli su do procesa suprotnog od onog koji obilježava zone koncentracije stanovništva i gospodarskog razvoja u Hrvatskoj koje se pak suočavaju s problemima pretjeranog i devastirajućeg odnosa prema okolišu. Očito da je i loša vodoopskrba imala značajnu ulogu u ovom negativnom procesu na malim hrvatskim otocima. Međutim, ovdje je zapuštanje tradicionalnih ionako skromnih oblika agrarne, sitnostočarske i ribarske ekonomije, dovelo često do progresije prirodnih elemenata klimazonalne vegetacije, uz istovremeno propadanje i zamiranje pojedinih oblika ljudskog djelovanja. S time u svezi može se dati opća ocjena, da je u smislu održivog razvoja glavnina malih hrvatskih otoka prostor određenih mogućnosti za nekoliko oblika gospodarskih djelatnosti i naseljavanje koji neće dovesti do negativnih utjecaja na okoliš. Ipak taj prostor i mogućnosti ograničeni su nizom čimbenika i imaju svoje granice, očito bliske onima koje su u pogledu naseljenosti dosegnute u razdoblju 1931.–1961. Gospodarske mogućnosti su međutim očigledno još i veće, ukoliko se smišljenim i opreznim zahvatima osigura otvaranje i rad turističkih, marikulturnih, ribolovnih, biljno-sakupljačkih, zaštitarskih, prometnih i drugih objekata. Oni su upravo oni kojima bi se bez posljedica

na okoliš, a na dobrobit zajednice i samih malih otoka, mogao ostvariti gospodarski, demografski i zaštitarski koncept oživljavanja glavnine malih hrvatskih otoka u kontekstu sveopćeg društvenog razvoja. Svakako da je rješavanje vodoopskrbe jedan od primarnih zadataka u takovom konceptu.

Ipak, s obzirom na brzinu globalnog onečišćenja, na probleme koji se u Jadranu kao složenom osjetljivom moru udaljenom od oceanskih prostranstava pojavljuju kao rezultat regionalnih utjecaja čovjeka i planetarnih promjena, kod korištenja vodnih resursa na i oko malih otoka, treba maksimalno objektivno i minuciozno pristupiti svakom zahvatu. Stoga striktna primjena načela očuvanja okoliša i održivog razvoja i u ovom slučaju ima nadasve svoje opravdane razloge.

Literatura

- Ognjen Bonacci, Voda na otocima i mogućnost njenog korištenja, Voda na hrvatskim otocima, Zbornik radova HHD, Hvar 1998., 13–24.
- Alfonso Cvitanović, Otok Iž, Veli Iž, 1989.
- Amos Rube Filipi, Hidronimija zadarskih otoka, Onomastica Jugoslavica 11, JAZU, Zagreb 1984., 111–154.
- Mladen Friganović, Prilog poznavanju fiziogeografskih osebina, Geografski glasnik 14/15, Zagreb 1953., str. 87–99.
- Dragutin Gereš, Gospodarenje vodom na otocima i vodoopskrba, Voda na hrvatskim otocima, Zbornik radova HHD, Hvar 1998., 25–43.
- Darko Ivičić, Božidar Biondić, Dalmatinski otoci: Prirodni uvjeti stanje i mogućnost vodoopskrbe, Voda na hrvatskim otocima, Zbornik radova HHD, Hvar 1998., 119–134.
- Vicko Lisičar, Koločep nekoć i sada, Dubrovnik, 1932.
- Damir Magaš, Molat, Prilog geografskim istraživanjima u zadarskoj regiji, Radovi Zavoda JAZU 27–28/1981, Zadar 1981., str. 355–420.
- Damir Magaš, Amos Rube Filipi, Otok Sestrunj u zadarskom arhipelagu, Zadar 1983. (monografija).
- Damir Magaš, Prometnice malih Jadranskih otoka, Geografski glasnik, 55/1993, Zagreb, 1993. str. 151–155.
- Ivo Rubić, Otok Zverinac, Radovi IJAZU u Zadru, 2, 1955, 171–191.
- Ivo Rubić, Otok Rivanj, Radovi IJAZU u Zadru, 4–5, 1959, 117–141.
- Bogdan Sekulić, Potrebe za vodom otoka Hrvatske, Voda na hrvatskim otocima, Zbornik radova HHD, Hvar 1998., 45–62.
- Petar Skok, Slavenstvo i Romanstvo na jadranskim otocima, I, II, Jadranski institut JAZU, Zagreb, 1950.
- Pomorska enciklopedija, 1–8, LZ, Zagreb., veći broj članaka.
- Prostorni plan općine Zadar, 1978.
- Prostorni plan SRH, 1989.
- Strategija prostornog razvoja Hrvatske, Zagreb, 1997.
- Nacionalni program razvoja otoka, RH Ministarstvo razvitka i obnove, Zagreb, 1996.
- Voda na hrvatskim otocima, Zbornik radova HHD, Hvar 1998.

Autor

Prof. dr. sc. Damir Magaš
 Odsjek za geografiju Filozofskog fakulteta u Zadru, Obala kralja Krešimira IV, 1, 23000 Zadar
 E-mail: dmagas@ffzd.hr



Rad 3.20.

Organska tvar i prekomjerno cvjetanje mora u sjevernom Jadranu

Vjeročka Vojvodić, Božena Čosović, Vedrana Mudnić

SAŽETAK: Ispitivanja sadržaja otopljenog organskog ugljika (DOC) i adsorpcijskih svojstva površinski aktivnih organskih tvari (PAT) u sjevernom Jadranu u razdoblju od 1994.–1997. pokazala su da se kod pojava prekomjernog cvjetanja mora praćenih stvaranjem sluzavih agregata sadržaj DOC u površinskom sloju mora poveća oko 25% (1,74–2,20 mg dm⁻³) u odnosu na uobičajene procese cvjetanja mora (1,31–1,82 mg dm⁻³). Koncentracije površinski aktivne tvari koje su tijekom ovih procesa podložne većim oscilacijama, posebno u smislu promjene adsorpcijskih svojstava, kod prekomjernog cvjetanja porastu oko 50% (0,215–0,309 mg dm⁻³ prema 1,113–0,220 mg dm⁻³). Karakteristični oblici signala koji ukazuju na prisustvo organske tvari odgovorne za stvaranje sluzavih nakupina, te porast koncentracija DOC i PAT ukazuje na eutrofikacijske procese u sjevernom Jadranu i mogu poslužiti za rano otkrivanje ovih procesa u moru.

KLJUČNE RIJEČI: organska tvar, cvjetanje mora, sluzave nakupine

Organics and Excessive Blooming of the Northern Adriatic Sea

SUMMARY: Research in dissolved organic carbon (DOC) content and adsorption characteristics of surfactants in the Northern Adriatic for the period 1994–1998 have shown that excessive sea blooming accompanied by presence of mucous accretions increases the DOC content in surface sea layer by approximately 25% (1.74–2.20 mg dm⁻³) as compared to common sea blooming processes (1.31–1.82 mg dm⁻³). Concentrations of surfactants which are prone to major fluctuations during these processes, particularly as regards changes in adsorption capacity, increase during excessive blooming by over 50% (from 0.215–0.309 mg dm⁻³ to 1.113–0.220 mg dm⁻³). Characteristic forms of signals indicating the presence of organics responsible for production of mucous accretions, and increase in DOC contents and surfactants point to eutrophication processes in the Northern Adriatic and may be used for early detection of these processes in the sea.

KEYWORDS: dissolved organic carbon (DOC), surfactants, sea blooming, mucous accretions

Uvod

Organska tvar u moru najveći je aktivni rezervoar organskog ugljika na Zemlji koju predstavlja kompleksna smjesa otopljenih i partikularnih sastojaka čiji su izvori proizvodi procesa metabolizma biljaka i životinja, bakterijske razgradnje i procesa autolize, te donosi rijekama, otpadnim vodama i iz atmosfere (1). Najveći dio organske tvari je površinski aktivan (oko 80%) i adsorpcijskim procesima akumulira se na prirodnim granicama faza kao što su granice površine mora s atmosferom, mora sa živim i neživim česticama i sa sedimentom gdje imaju važnu ulogu posredujući u procesima prijenosa mase i energije. Fitoplanktonske zajednice su osnovni izvor površinski aktivnih tvari (PAT) koji u određenim uvjetima, ovisno o fiziološkom stanju i dostupnosti hranjivih soli kao i hidrološkim uvjetima mogu izlučivati želatinozne organske makromolekularne spojeve i stvarati velike sluzave nakupine u moru (2–9). Ova je

pojava pojačane eutrofikacije izražena u priobalnom području sjevernog Jadrana, a za razumijevanje procesa koji do toga dovode od bitne je važnosti poznavanje kako sadržaja otopljenog organskog ugljika koji čini oko 90% ukupno prisutnog ugljika u moru tako i površinski aktivnih svojstava prisutne organske tvari.

Metodologija

Površinski aktivne tvari ispitivane su elektrokemijskom metodom polarografije izmjeničnom strujom opisanom u literaturi (10,11). Za kvantitativno određivanje smjese različitih PAT u morskoj vodi koristi se kalibracijska krivulja neionske modelne površinski aktivne tvari Tritona-X-100 ($M_w = 600$) (mg dm^{-3}).

Sadržaj otopljenog organskog ugljika (DOC) određivan je u prethodno filtriranim uzorcima morske vode (Whatman GF/F filter veličine pora $0,7 \mu\text{m}$) postupkom katalitičke oksidacije organske tvari na visokoj temperaturi (TOC-500 analizator, Shimadzu, Japan).

Rezultati i rasprava

Površinski aktivne tvari ispituju se na dugogodišnjoj vremenskoj skali (od 1984. godine), a sadržaj otopljenog organskog ugljika u području sjevernog Jadrana ispituje se od studenog 1989. godine u kojem razdoblju su obuhvaćene i pojave prekomjernog cvjetanja mora i stvaranja velikih sluzavih nakupina tijekom 1991. i 1997. godine kao i razdoblja kad tih pojava nije bilo (1992–1995 godina).

Istraživanja PAT u razdoblju 1984–1995 godine pokazala su da su sezonske varijacije koncentracija PAT bile značajne i nalazile su se u širokom rasponu vrijednosti od $0,015\text{--}0,475 \text{ mg dm}^{-3}$ (omjer između najmanje i najveće vrijednosti bio je 1:30). Sezonske varijacije DOC su slabije izražene te je najmanja srednja vrijednost u površinskom sloju mora bila 1.13 mg dm^{-3} , a najveća 3.06 mg dm^{-3} (12). Pokazano je također da je sadržaj PAT bio na postajama pod direktnim utjecajem rijeke Po u rasponu vrijednosti $0,150\text{--}0,475 \text{ mg dm}^{-3}$, dok su koncentracije u području s manjim utjecajem bile znatno niže i nalazile su se u rasponu $0,075\text{--}0,197 \text{ mg dm}^{-3}$. Utjecaj geografske pozicije na kojoj su skupljani uzorci pokazao se značajnim i za sadržaj otopljenog organskog ugljika te je tijekom ispitivanja u razdoblju od 1989.–1995. godine u većini slučajeva sadržaj DOC bio veći u području koje je pod utjecajem rijeke Po (12).

Ispitivanja raspodjele sadržaja PAT i DOC u okomitom stupcu morske vode pokazala su da dolazi do nakupljanja organske tvari u gornjem osvjetljenom sloju gdje se odvijaju gotovo svi važni biološki procesi. Na slici 1. prikazane su srednje vrijednosti površinski aktivnih tvari u površinskom sloju mora izračunate za nefiltrirane kao i filtrirane uzorke morske vode, te srednje vrijednosti koncentracija DOC ispitivane u razdoblju od studenog 1989. do travnja 1995. godine. Najveće vrijednosti PAT i DOC zabilježene su u biološki aktivnijim razdobljima, tj. u ljetnim mjesecima (od lipnja do rujna) kroz sve ispitivane godine. U ispitivanom razdoblju srednje vrijednosti DOC i PAT u površinskom sloju mora imaju uglavnom sličan trend oscilacija. Izuzetak je na primjer slučaj u kolovozu 1990. kada visoke vrijednosti DOC nisu pratile i visoke vrijednosti PAT što upućuje na važnu i zanimljivu pojavu transformacije organskog materijala pri čemu je sadržaj ukupne organske tvari bio u porastu dok su se svojstva organske tvari promijenila u smislu smanjene adsorbabilnosti što je vjerojatno posljedica promjene fiziološkog stanja fitoplanktonskih zajednica, dostupnosti hranjivih soli i bakterijske aktivnosti u moru.

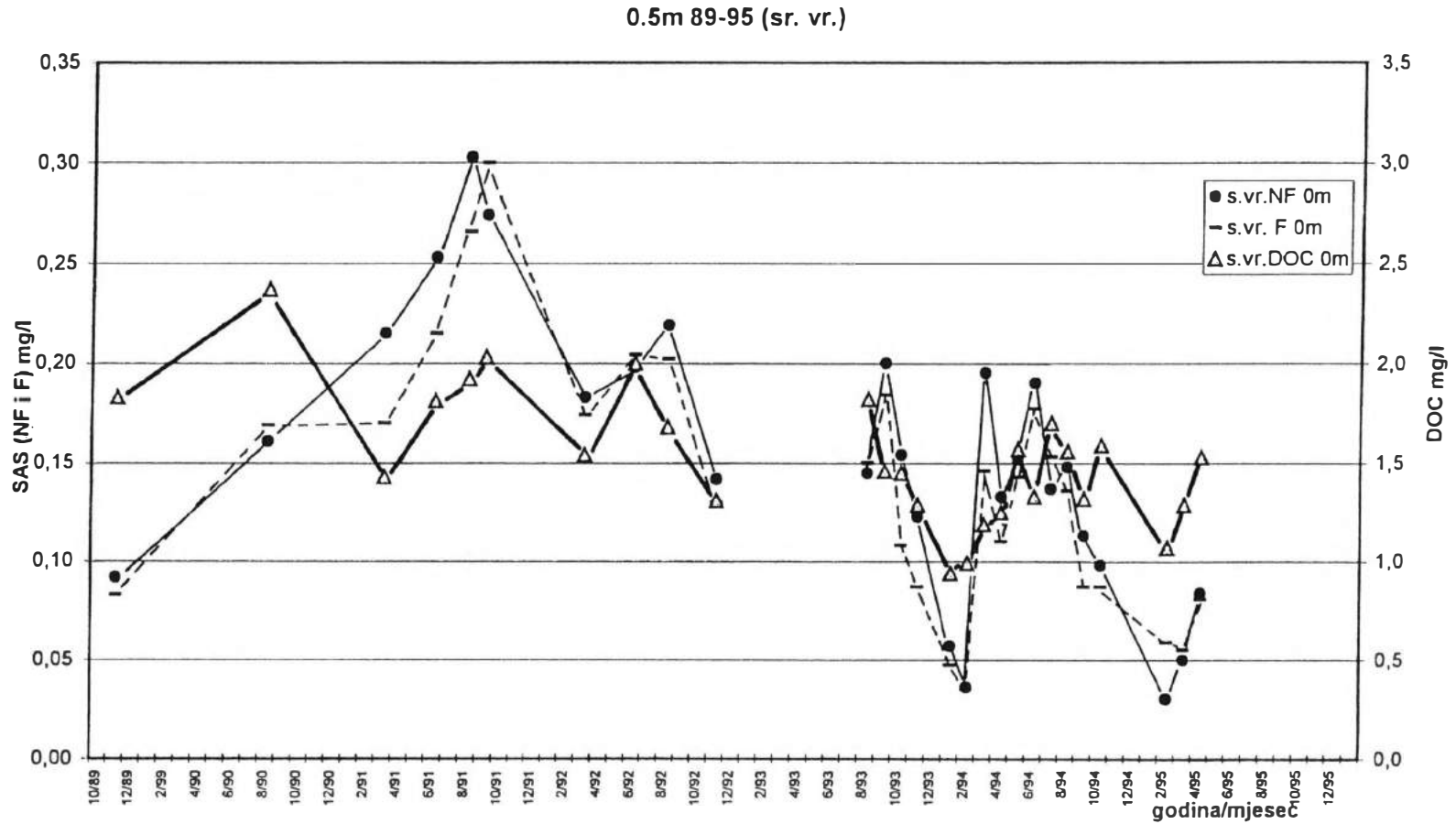
Ispitivanja DOC i PAT u razdoblju od 1989. do 1995. godine bila su karakterizirana s dvije različite situacije i to od 1989. do 1991. godine kad su u području sjevernog Jadrana zabilježene pojave prekomjernog cvjetanja mora i stvaranje velikih sluzavih nakupina, te razdoblje od 1992. do 1995. godine kad tih pojava nije bilo. Iz rezultata sažetih u tablici 1. kao i na slici 1. vidljivo je da su veće srednje vrijednosti DOC u površinskom sloju mora zabilježene u ljetnim mjesecima s prekomjernim cvjetanjem mora (rasponi vrijednosti 1,74–2,20 mg dm⁻³) dok je u razdoblju od 1992–1995 sadržaj DOC bio oko 25% niži i nije prelazio vrijednosti od 1,82 mg dm⁻³. Srednje vrijednosti površinski aktivnih tvari su u ljetnim mjesecima u istom razdoblju s prekomjernim cvjetanjem mora bile oko 50% veće nego u razdoblju kad nije bilo prekomjernog cvjetanja mora i za red veličine više vrijednosti nego u zimskim mjesecima 1994. i 1995. godine.

Tablica 1. Raspon srednjih vrijednosti sadržaja DOC i PAT u površinskom sloju mora od srpnja do rujna u godinama prekomjernog cvjetanja mora uz pojavu sluzavih nakupina (1991. i 1997.) te u godinama kad te pojave nije bilo (1992. i 1994.).

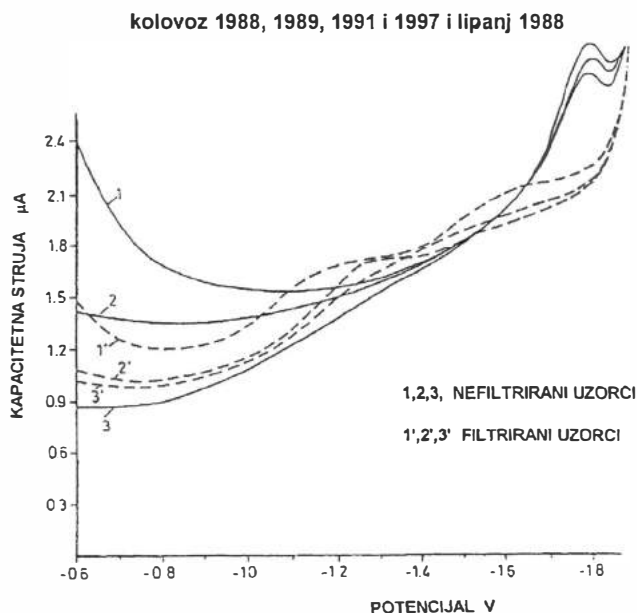
	pojave prekomjernog cvjetanja mora 1991. i 1997.	nije bilo pojava prekomjernog cvjetanja mora 1992. i 1994.	za usporedbu zimski mjeseci veljača 1994. i 1995.
DOC [mg dm ⁻³]	1,74–2,20	1,31–1,82	0,99–1,07
PAT [mg dm ⁻³]			
NF	0,215–0,309	0,113–0,220	0,030–0,036
F	0,148–0,245	0,087–0,202	0,035–0,059

Tijekom pojave prekomjernog cvjetanja mora i sluzavih nakupina u 1997. godini srednje vrijednosti DOC u površinskom sloju mora bile su najveće u kolovozu 1997. godine kad su sluzave nakupine prekrile velike površine istočnog dijela sjevernog Jadrana, dok su nešto niže vrijednosti izmjerene početkom i krajem rujna ukazujući na završetak procesa cvjetanja mora. U četiri ispitivana razdoblja u 1997. godini (srpanj, kolovoz, te početak i kraj rujna) koncentracije PAT i DOC nalazile su se u rasponu vrijednosti kao i u 1989. i 1991. godini pa se može pretpostaviti da porast koncentracija otopljenog organskog ugljika (oko 25%) u površinskom sloju mora može biti jedan od pokazatelja pojave prekomjernog cvjetanja mora praćene stvaranjem sluzavih nakupina. Površinski aktivne organske tvari u srpnju i kolovozu bile su uglavnom u otopljenom obliku, tj. razlika vrijednosti PAT izmjerenih u nefiltriranim i filtriranim uzorcima bila je neznatna. Ta činjenica odgovara saznanjima o prisustvu pretežno hidrofilnih ugljikohidrata proizvedenih aktivnošću diatomeja koje su karakteristične za pojave prekomjernog cvjetanja mora. U rujnu je u završnoj fazi cvjetanja došlo do značajne transformacije površinski aktivnih tvari i stvaranja vrlo adsorbabilne partikularne frakcije organske tvari vidljive u nefiltriranim uzorcima morske vode, dok je površinska aktivnost otopljene frakcije nakon uklanjanja partikularne tvari filtracijom bila bitno smanjena.

Karakterizaciju površinski aktivne organske tvari prisutne u moru omogućavaju elektrokemijska ispitivanja, tj. oblici elektrokemijskih krivulja karakteristični su za pojedine grupe organskih spojeve. Ispitivanjima površinski aktivnih tvari u području sjevernog Jadrana otkriven je karakteristični oblik signala koji je utvrđen u uzorcima mora u razdoblju prekomjernog cvjetanja vezanog za pojave sluzavih nakupina. Ovaj oblik polarografskih krivulja prikazan na slici 2. kroz dugogodišnja ispitivanja pojav-



Slika 1. Srednje vrijednosti SAS (NF i F) u površinskom sloju mora (0.5 m) u području sjevernog Jadrana u razdoblju 1989–1995.



Slika 2. Karakteristične polarografske krivulje dobivene mjerenjem uzoraka morske vode u području sjevernog Jadrana za vrijeme prekomjernog cvjetanja mora i pojava sluzavih nakupina.

Uzorci su mjereni s akumulacijom uz miješanje: (1,1') 15 s; (2,2') 60 s; (3,3') 120 s.

ljivao se isključivo u navedenim razdobljima. Budući da se elektrokemijska ispitivanja vrše neposredno nakon uzorkovanja dobiveni elektrokemijski signali mogu biti prva indicija o prekomjernom cvjetanju mora i pojavi sluzavih nakupina.

Praćenja oscilacija sadržaja PAT i DOC na dužoj vremenskoj skali pokazala su da dolazi do akumulacije organske tvari u razdobljima prekomjernog cvjetanja mora koje može biti uzrokovano bilo porastom biomase zbog većeg unosa hranjivih soli rijekom Po bilo zbog nedostatka hranjivih soli koje mogu utjecati i na aktivnosti bakterija i usporiti razgradnju organske tvari. Tako je u kolovozu 1997. godine za vrijeme najjačeg cvjetanja mora na pojedinim postajama nađeno i do 4 mg dm^{-3} otopljenog organskog ugljika, dok su u uzorcima u kojima su se nalazile sluzave nakupine te vrijednosti bile bitno veće. U tablici 2. pokazani su rezultati ispitivanja sadržaja DOC u uzorku morske vode skupljanog na postaji gdje se nalazila i sluzava nakupina, zatim u morskoj vodi iz neposredne blizine sluzave nakupine kao i u samoj sluzavoj nakupini gdje je rezultat bio izražen kao ukupni organski ugljik (TOC).

Rezultati pokazuju vrlo izraženi gradijent koncentracija otopljenog organskog ugljika u smjeru: morska voda na postaji sa sluzavom nakupinom / voda oko same sluzave nakupine / ukupni organski ugljik u sluzavoj nakupini. Mjerenja drugih sličnih uzoraka pokazala su da sadržaj organskog ugljika može biti i 700 puta veći od prosječnih vrijednosti (oko 1 mg dm^{-3}) koje se obično nalaze u oligotrofnim morima kao što je i Jadran.

Zaključak

Ispitivanja sadržaja površinski aktivnih tvari i otopljenog organskog ugljika od 1984. do 1998. godine, ukazala su na povremene eutotrofne karakteristike sjevernog Jadrana koje su bile posebno izražene u razdoblju 1988.–1991. kao i tijekom ljeta 1997.

Tablica 2. Omjer koncentracija otopljenog organskog ugljika u uzorku mora sa sluzavom nakupinom i morske vode s iste postaje

13.8.97.	morska voda s iste postaje	voda oko sluzave nakupine	sluzava nakupina
	DOC mg dm ⁻³	DOC mg dm ⁻³	TOC mg dm ⁻³
	4	25	420
OMJER	1	:	6,25 : 105

godine. Poremećaji u sadržaju i sastavu organske tvari u razdobljima prekomjernog cvjetanja mora praćeni procesima stvaranja velikih sluzavih nakupina su vidljivi i mogu se definirati kako slijedi:

- U ljetnim biološki najproduktivnijim razdobljima, kad su zabilježene pojave prekomjernog cvjetanja mora u području sjevernog Jadrana sadržaj otopljenog organskog ugljika poraste oko 25% u površinskom sloju mora u odnosu na razdoblja kad cvjetanje mora ne prelazi granice uobičajenog intenziteta. Zbog toga se porast sadržaja DOC može uzeti kao jedna od indikacija pojave pojačane eutrofikacije, tj. prekomjernog cvjetanja mora u području sjevernog Jadrana.
- Ispitivanjem površinski aktivnih organskih tvari dobiva se prva brza informacija o sastavu i svojstvima prisutne organske tvari i mogućim nepovoljnim procesima u moru. Karakteristični elektrokemijski odziv koji ukazuje na prisustvo sluzavih nakupina dobiven je u gotovo cijelom području kao i duž stupca mora sjevernog Jadrana u ljeto 1997. godine, dok je porast sadržaja PAT od 40–50% u površinskom sloju mora u odnosu na razdoblje uobičajenog cvjetanja mora također indikacija nepovoljnih procesa eutrofikacije kao što su prekomjerno cvjetanje mora i stvaranje sluzavih nakupina.

Literatura

1. Hedges, J. I., 1992. *Marine Chemistry*, 39:67–93.
2. B. Filipić, *Acta Bot. Croat.*, 1990. 49:53–61.
3. S. Fonda-Umani, E. Ghirardelli, M. Specchi, 1989. Regione Autonomia Friuli-Venezia Giulia, Direzione regionale dell' Ambiente, Trieste, 178.
4. D. Debobbis, *Second Acta Mar. Pollut. Bull.*, 1989. 20:452–457.
5. Rinaldi, G. Montanari, A. Ghetti, C. R. Ferrari, N. Penna, *Acqua-Aria*, 1990. (7/8): 561–567.
6. Kiorboč and J. L. S. Hansen, 1993. *J. Plankton Res.*, 15:993–1018.
7. S. M. Myklestad, 1995. *Sci. Total Environ.*, 165:155–164.
8. U. Passow, A. L. Alldredge and B. E. Logan, 1994. *Deep-Sea Res.*, 41:335–357.
9. Čosović and V. Vojvodić, 1982. *Limnol. Oceanogr.*, 27:361–369.
10. Čosović and V. Vojvodić, 1987. *Mar. Chem.*, 22:363–373.
11. V. Vojvodić and B. Čosović, 1996. *Mar. Chem.*, 54:119–133.

Autori

Dr. Vjeročka Vojvodić

Dr. Božena Čosović

Vedrana Mudnić, dipl. Inž.

Institut Ruđer Bošković. ZIMO, Bijenička 54, 10000 Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 3.21.

Vode Hrvatske i Jadransko more u strategijskom planiranju

Mirjana Turnšek

SAŽETAK: Hrvatski prostor, zbog svoje izuzetne vrijednosti, i regionalne raznolikosti, pruža značajne razvojne mogućnosti. Među posebne vrijednosti prostora ubrajaju se rezerve pitke vode, nadzemne i podzemne, more i veliki dio prirodne obale mora. Primjerenom uporabom, vodni resursi i more dobivaju na vrijednosti i postaju važnim čimbenikom u životu države i naroda. Kvalitativna preobrazba razvoja u prostoru s osloncem na resurse, posebno vode i more, jedan je od općih strateških ciljeva.

Strategija prostornog uređenja Republike Hrvatske kao usvojeni dokument, rađena je u procesu integralnog planiranja primjenjujući ciljeve održivog razvitka uvažavanjem usklađivanja zahtjeva zaštite okoliša s poželjnim gospodarskim razvojem. U postupku je usvajanje Programa prostornog uređenja Republike Hrvatske kao dokumenta za provedbu Strategije. Na strateškoj razini planiranja posebno su naglašena područja resursa pitke vode, mora, morske obale i otoka, na kojima su potrebne sustavne intervencije zbog osobitih značajki i prepoznatljivosti prostora. Primjenom suvremenih svjetskih načela zaštite i unapređenja okoliša, uvažavajući osjetljivost prostora mora, nadzemnih i podzemnih voda, usmjeravati će se prostorni razvoj.

Na strategijskoj razini planiranja, korištenje i zaštita mora i voda zahtijeva trajno praćenje, uz izradu stručnih i znanstvenih podloga, koje treba ugraditi u Prostorne planove područja posebnih obilježja za područje Jadrana i porječja većih vodotoka.

KLJUČNE RIJEČI: razina strategijskog planiranja, zaštita i korištenje voda i mora

Croatian Waters and the Adriatic Sea in Strategic Planning

SUMMARY: Due to its exceptional value and regional diversity, the Croatian region offers significant opportunities for development. Particularly valuable capital includes potable water (surface and groundwater) reserves, sea and most of appurtenant coastal region. Adequate use of water resources and sea gives them additional value and they are becoming an important factor in life of state and people. Quality transformation of development processes in the region underpinned by its resources, water and sea in particular, is one of general strategic goals.

The Land-Use Planning Strategy for the Republic of Croatia is an adopted document, prepared within the framework of integrated planning, based on sustainable development targets, which respects the need for harmonization of environmental protection requirements and desirable economic development. The Land-Use Planning Program for the Republic of Croatia, which is a document for implementation of the Strategy, is currently in the process of adopting. On the strategic level of planning, the potable water, sea, marine coast, and islands have been particularly highlighted as resources which demand permanent actions because of their special characteristics and due to the particularities of the region. The regional development shall be steered by application of modern principles of environmental protection and improvement, and respect for maritime environment as well as surface and groundwater.

On strategic level of planning, use and protection of sea and waters, there is a strong demand for continuous monitoring, and preparation of professional and scientific background to be included in the Land-Use Plans for the areas with special characteristics within the Adriatic region and larger river catchment areas.

KEYWORDS: strategic planning level, protection and use of waters and sea

Polazišta

More i vode, podzemne i nadzemne potrebno je štititi i koristiti u okviru integralnih vrijednosti prostora. Stanje i istraženost resursa mora i voda, nužne sanacijske mjere, strateška usmjerenja i prioritetni zahvati uz poštivanje načela integralnog planiranja, trebaju biti prezentirani u dokumentima prostornog uređenja.

Provedbu načela održivog razvitka treba ostvariti zajedničkom politikom razvitka i gospodarenja vodama i morem, posebno zaštite, polazeći od vrednovanja ciljeva razvitka i vrednovanja vodnog dobra i mora. Da bi se načela održivog razvitka ostvarila uvjetuje se usklađivanje resornih dokumenata i prostornih planova.

Hrvatsku kao sredozemnu, srednjeeuropsku podunavsku zemlju treba također promatrati u okruženju susjednih zemalja, a resursnu osnovicu međusobno povezati na gospodarskoj razini i razini zaštite. Nadalje, treba trajno pratiti zbivanja u području voda i mora, te se aktivno uključiti u ovu problematiku.

Za izradu ovakovog zadatka i njegove primjene na strategijskoj razini prostornog planiranja, interes je osigurati i međunarodnu suradnju.

Obilježja Jadranskog mora i voda hrvatskog prostora

More

Jadranski prostor ubraja se među najznačajnije razvojne potencijale države. Površina teritorijalnog mora iznosi 33 200 km², a gospodarski pojas mora 23 870 km². Dužina morske obale prema najnovijim istraživanjima iznosi 5 856 km, od čega je 4 078 km obala otoka, a 1 778 km obala kopna. Razvedena morska obala s 1 185 otoka, otočića, grebena i hridi te oko 90% volumena morske vode visoke je kakvoće. Nezagađenost glavnine cjelokupnog akvatorija Jadranskog mora je njegova nesporna kvaliteta. Velik volumen i povoljna cirkulacija daje cjelokupnom sustavu potrebnu ekološku stabilnost.

Gospodarenje i zaštita područja hrvatskog Jadrana obuhvaća obalu, epikontinentalni pojas-nacionalne teritorijalne vode i pomorsku granicu Hrvatske. Temelj za gospodarenje područjem mora su dokumenti prostornog uređenja, Prostorni planovi područja posebnih obilježja, a usuglašeni s međunarodnim aktivnostima i konvencijama za Mediteran.

Uređenje prostora jadranskog mora uvjetovano je značajkama obalnog područja mora-obala, akvatorija i otoka. Planski elementi odnose se ponajviše na turističku, gospodarsku i infrastrukturnu komponentu (uvjeti i način korištenja područja obale, mjere poboljšanja kvalitete prostora obale i mora). Zajednički funkcionalni elementi odnose se na rješenje prometno gospodarskog sustava Jadrana kao dijela Mediterana, a u sklopu povezivanja područja unutar Hrvatske, Srednje Europe i Mediterana, Europe i Bliskog Istoka.

Stanje i problematika

More je najznačajniji obnovljivi prirodni resurs Hrvatske. Korištenjem mora razvijaju se brojne djelatnosti (pomorski promet, lučke usluge, nautički turizam, ribolov, mari-kultura – akvakultura, prerada ribe, rekreacija, sport uz priobalno područje mora i akvatorija, proizvodnja prirodnog plina i nalazišta nafte iz podmorja, proizvodnja soli i dr.). Dodatna istraživanja su potrebna kako zbog zaštite obalnog područja i otoka, mogućnosti proširivanja zone zaštite podmorja, tako i zbog korištenja mora na održiv način.

Ekosustav mora važan je potencijal glede ribljeg fonda, te je potrebno stimulirati i unaprijediti ribarstvo i marikulturu. Važne resurse podmorja: plin, nafta i mineralne sirovine, treba i nadalje istraživati. Da bi se ti potencijali razumno i dugoročno koristili, u planskim dokumentima treba u najužem obalnom pojasu izbjegavati sadržaje koji bi narušili osjetljiv ekosustav Jadrana.

Ocjena stanja kategorije mora na dijelovima koji proizlaze iz praćenja vodotoka, ukazuje na cjelokupnu problematiku i ugroženosti kakvoće mora. Obalno područje Države ima nekoliko kritičnih točaka zagađenja. Povećana zagađenja registrirana su u Limskom kanalu, kanalu Raše, Plominskom kanalu, luci Rijeka, te području Zadra, Šibenika, Splita, dijela Trogirskog i Kaštelanskog zaljeva, u Malostonskom zaljevu, ispred luke Ploče, te ispred Gruža i Župe Dubrovačke.

Ugroženost kakvoće mora, te kapacitet za prijem opterećenja, bitni su čimbenici za definiranje strategije zaštite mora. Radi očuvanja propisane kvalitete i postupne sanacije pojedinih ugroženih dionica obalnog mora od zagađenja s kopna, a s ciljem održivog razvitka potrebno je izraditi cjelovite planove zaštite mora.

Jadransko more i njegova kapitalna važnost jedna je od ključnih prostornih cjelina države. Strategija razvitka te prostorne cjeline počiva na pretpostavci da se gospodarski i prostorni razvitak jadranskog područja planira na temelju najvrednijih potencijala što ih taj prostor nudi. Pri tom, posebnu pažnju treba posvetiti načelu »održivog« razvitka, koje je definirano kao onaj razvoj koji zadovoljavanjem potreba sadašnje generacije ne ugrožava pravo i mogućnost slijedećih da to ostvare za sebe.

Ciljevi zaštite mora

Ciljevima treba osigurati opću ekološku funkciju mora i dodatne zahtjeve za kvalitetu ovisno o korištenju i upotrebi mora u okviru gospodarskog programa usklađenog sa zaštitom okoliša. S ciljem zaštite mora, a sukladno važećim propisima, nužno je integralno rješavanje sustava za obradu i dispoziciju otpadnih voda te sanaciju i realizaciju odvodnje. Rješenja se trebaju ugraditi u dokumente prostornog uređenja. Zaštita mora podrazumijeva i regulaciju i kontrolu plovidbe tankera i drugih brodova, sukladno važećim propisima.

Prioriteti i etapnost mjera za rješavanje zaštite mora proizlaze iz opće postavljenih ciljeva. Definiranjem jedinstvene strategije zaštite mora i unapređenjem zakonske regulative stvaramo preduvjete za racionalno i operativno djelovanje svih subjekata zaduženih za provođenje cjelovitih planova zaštite mora. Razgraničenje prava i odgovornosti pojedinih izvršitelja su preduvjet njihovog dobrog organiziranja. Zaštita mora ima strateško značenje za razvitak gospodarstva i za zaštitu ekoloških i prirodnih uvjeta življenja.

Na planu međunarodne suradnje treba voditi aktivnu politiku zaštite putem međunarodnih bilateralnih i multilateralnih ugovora i odgovarajućih tijela. Obzirom da velik dio hrvatske granice pripada moru potrebno je posebnu pažnju posvetiti suzbijanju i zagađivanju koje morem dolazi u naš akvatorij iz susjednih zemalja.

Obilježja vodnog resursa

Rijeke su ukupne dužine 3 500 km, s površinom porječja većom od 70 000 km², a jezera zauzimaju površinu od 103,5 km². Obnovljive godišnje količine pitke vode procjenjuju se na 10 000 m³ po stanovniku, a raspoložive zalihe voda mogu podmiriti sve tražene potrebe. S obzirom na klimatske, hidrološke, hidrogeološke i demografske prilike prostor Države, gledano u cjelini, obiluje kvalitetnom pitkom vodom. Zalihe slatke vode sastoje se od vode koja na kopneni dio Države dođe oborinama, vode koja dotječe rijekama sa područja drugih država. Dio tih voda ulazi u podzemlje stvarajući obnovljive zalihe podzemnih voda. Uz ove količine podzemnih voda imamo akumulirane vode iz prošlih vremena, čija količina nije dovoljno poznata. Zaštita i korištenje podzemnih voda temelji se na različitosti vodonosnika.

U prostorno planskoj dokumentaciji potrebno je provoditi koncept održivog gospodarenja vodama kao i upravljanja sustavom vodoopskrbe. Pri izradi Prostornih planova posebnu pažnju treba posvetiti ulaznim količinama i provjeri dosadašnjih projekata. To prvenstveno podrazumijeva usuglašavanje pojedinačnih postavki resora vodnog gospodarstva s mjerodavnim dokumentima prostornog uređenja.

Raspoložive zalihe podzemnih voda mogu podmiriti sve tražene potrebe dugoročnog razvitka vodoopskrbe. Preduvjet za njihovo korištenje su u većini slučajeva značajniji zahvati, kako radi uključivanja u vodoopskrbne sustave tako i radi provedbe zaštite.

Kvaliteta vode i pitanja zaštite okoliša daju novu dimenziju upravljanju vodnim resursima. Potrebe za većim količinama vode upozoravaju da je neophodno obratiti pozornost na učinkovitiju upotrebu sadašnjih izvorišta vode. U izradi prostorno planerske dokumentacije (PPŽ, PPPPO), treba u postupku određivanja prioriteta izgradnje vodoopskrbnih sustava vrednovati svaku specifičnost vodnih područja, i temeljem sveukupne analize donijeti konačne prijedloge.

Podzemne i nadzemne vode koriste se osim za vodoopskrbu stanovnika i industrije, i u drugim djelatnostima: energetska korištenje voda, navodnjavanje poljodjelskog zemljišta, mogućnost vodoopskrbe ribnjaka, plovnost. Ovako složen sustav zahtjeva racionalno gospodarenje vodnim dobrom, uključujući i zaštitu od voda, te zaštitu voda.

Provedbu načela održivog razvitka treba ostvariti zajedničkom politikom razvoja i gospodarenja vodama, posebno zaštite, polazeći od vrednovanja ciljeva razvoja i vrednovanja vodnog dobra.

Obilježja i potencijali mineralnih i geotermalnih voda

Mineralne i geotermalne vode predstavljaju značajan prirodni resurs Hrvatske. Unatoč višestoljetnoj tradiciji istraživanja i korištenja mineralnih i geotermalnih voda u Hrvatskoj, one još nisu dovoljno istražene niti se dovoljno koriste. S ciljem unapređenja i efikasnog korištenja mineralnih i geotermalnih voda, potrebno je vršiti kontinuirana istraživanja uz nužno primjenjivanje novih znanstvenih i istraživačkih metoda. Istraživanje i korištenje mineralnih i geotermalnih voda treba se s aspekta zaštite kontrolirati putem nadležnih resora, zbog mogućnosti nepovoljnog utjecaja na režime podzemnih voda, i općenito zbog očuvanja čovjekova okoliša. Realnim veličinama

crpljenja pojedinih ležišta, postići će se njihovo pravilno i dugotrajno korištenje. Preduvjet za veće korištenje obnovljivog resursa mineralnih i geotermalnih voda je izrada odgovarajuće prostorno-planske dokumentacije i efikasija zakonska regulativa.

Zaključci i smjernice

Zajednička obilježja prostornih cjelina, mora, vodotoka, jezera, utvrđena Strategijom i Programom prostornog uređenja, predstavljaju obuhvat uspostave jedinstvenih kriterija korištenja prostora zbog pripadnosti većim ekološkim ili razvojnim sustavima ili cjelinama specifičnih vrijednosti.

Planovi uređenja prostora većih prostornih cjelina (more, porječja), koji se izrađuju na temeljnom principu održivog razvoja, a za dulji rok, moraju obuhvatiti sve segmente koji se pojavljuju u prostoru. Strategija predstavlja temelj za trajni proces gospodarenja u prostoru.

Primjerenom uporabom, prostor mora i voda, podzemnih i nadzemnih dobiva na vrijednosti, pa je nacionalni interes očuvati i oplemeniti prostor kojim se raspolaže, kako bi bio pogodan za život i rad sadašnjih generacija i onih koje će tek doći.

Planiranjem korištenja i zaštite prostora utvrdila bi se slijedeća područja:

1. Područja na kojima su prisutni konflikti, i gdje treba izvršiti hitnu sanaciju, a kroz mjere zaštite u dokumentima prostornog uređenja (PPPPO) odrediti način daljnjeg korištenja prostora.
2. Područja koja prioritetno treba istraživati na razini Države, a rezultate istražnih radova ugraditi u dokumente prostornog uređenja na način kako je propisano Strategijom i Programom prostornog uređenja.

Provedba Strategije je prvenstveno usklađenje interesa korisnika prostora uz njihovo aktivno učešće, te se ne mogu donositi pojedinačne odluke bez sagledavanja utjecaja pojedinih zahvata na cjelinu prostora i okoliša Države i njenih dijelova. Izradom dokumenata prostornog uređenja usmjerava se i propisuju se mjere korištenja i zaštite vodnih resursa i mora.

Granično područje Države karakteriziraju: granica mora duljine 950 km i kopna duljine 2 028 km, koju većim dijelom čine granični vodotoci. Kako su granična područja u različitom položaju, uređenje graničnog prostora temeljiti će se na uspostavljanju zajedničkih ekoloških kriterija korištenja i zaštite voda i mora. Stoga je važno regionalno povezivanje i uključivanje u razvojne trendove sjevernog Mediterana i Srednjeg Podunavlja.

Sustav dokumenata i smjernice za provođenje Strategije

Sustavom dokumenata prostornog uređenja uspostavlja se trajna osnova planiranja, gospodarenja i praćenja procesa u prostoru. Za obuhvat prostornih sustava koji nadilaze županijsku razinu, te onih koji predstavljaju višeznačan problem ili obuhvaćaju određenu prostorno i funkcionalno sagledivu cjelinu kao što su područja važnijih vodotoka, jezera i mora, treba koristiti oblike dokumenata prostornog uređenja koji odgovaraju problemu kojeg treba riješiti drugim dokumentima prostornog uređenja (prostorni planovi područja posebne namjene i drugi). Tim dokumentima uspostavlja se kriterijii i elementi funkcionalne cjelovitosti (složene cjeline), kao osnovama za konkretizaciju razvojnih projekata.

Strategijsko planiranje u funkciji prilagodbe održivog razvoja mora i voda Hrvatske

3. Poglavlje:

Osnove za planiranje i usklađivanje prostornog razvoja

Sektor:

Područja osobitih vrijednosti i problemska područja

Tema:

Resurs voda i mora-korištenje i zaštita

Kompleksni programi jedinstvenih kriterija zaštite prostora i okoliša

Godina podataka - stanje/plan:

1995./2005. i 2015.

Izvori podataka:

Strategija i Program prostornog uređenja Republike Hrvatske

Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja

Zavod za prostorno planiranje, 1997./1998.

Državna uprava za vode

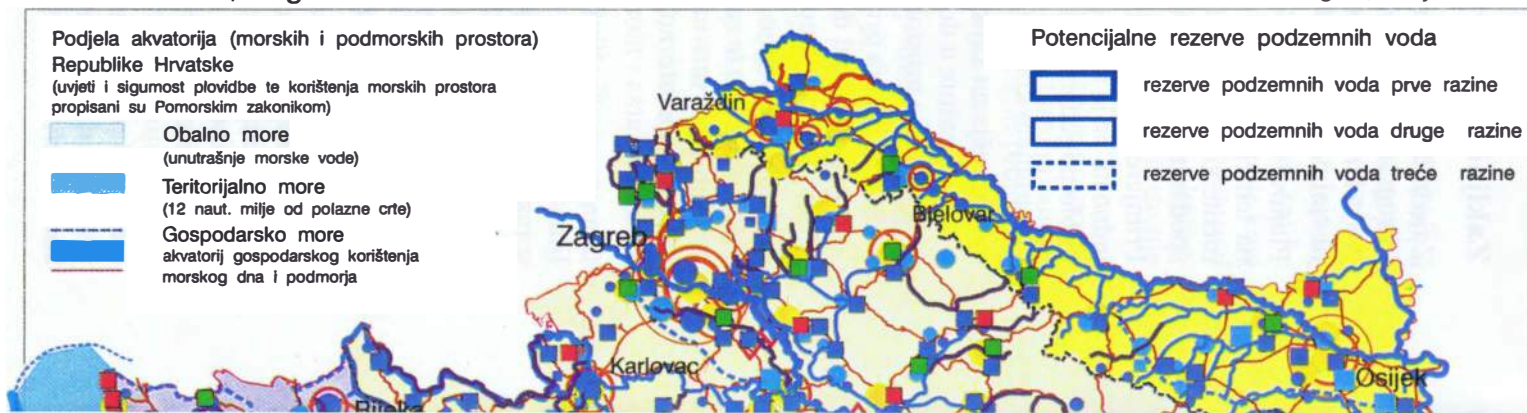
Hrvatske vode, Zagreb 1995.

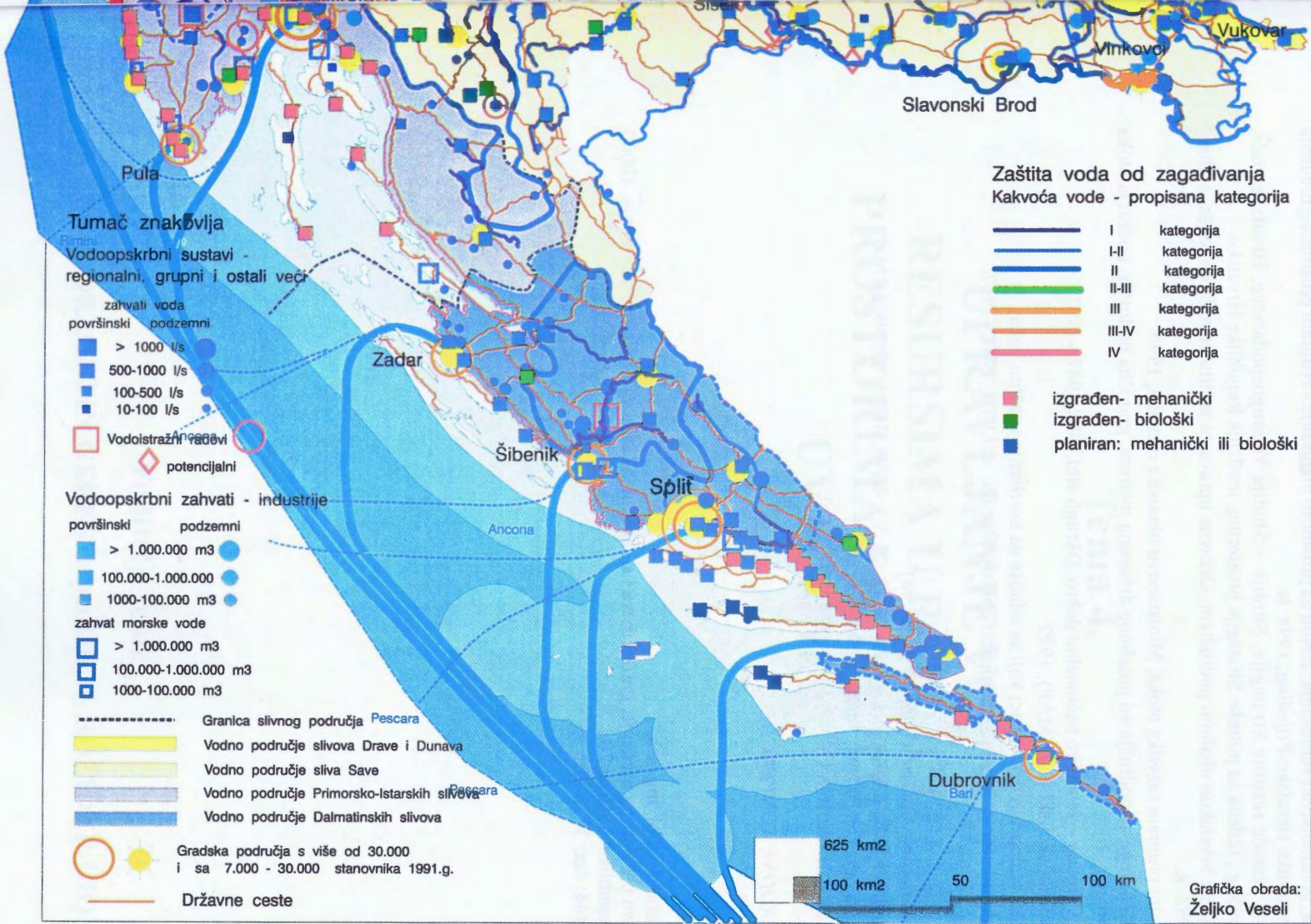


Kartografski prikazi:

08,15,16

Zagreb, ožujak 1999.





Literatura

1. Strategija prostornog uređenja Republike Hrvatske, lipanj 1997., Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja, Zavod za prostorno planiranje i Program prostornog uređenja Republike Hrvatske-Prijedlog, 1998. te
1.1. Prateće resorne Strategije, Studije – Studija Vodnogospodarstvo, Hrvatske vode, 1995. g., rađena za potrebe Strategije prostornog uređenja Republike Hrvatske
2. Upravljanje hrvatskim obalnim područjem, Državna uprava za zaštitu prirode i okoliša, svibanj 1998. g.
3. Nacionalni program razvitka otoka, Ministarstvo obnove i razvitka, 1996.
4. Stručne podloge za područja od posebnog državnog interesa, granična područja, područja otoka i obale
5. Hrvatski prostor – temeljno nacionalno dobro, Okrugli stol, UIH 1947.–1997.
6. Mediteranski akcijski plan (MAP), 1992.
7. »Hrvatska vodoprivreda«, članci koji se odnose na korištenje i zaštitu voda
8. »Hrvatski prostor – temeljno nacionalno dobro«, Okrugli stol UIH, 1947.–1997.

PROPISI

Zakon o prostornom uređenju (NN 30/94, 68/98)

Zakon o vodama (NN, 53/90, 9/91, 61/91, 26/93, 28 /93, 43/93, 95/94, 95, NN 107/95)

Pomorski zakonik (NN 17/94, 74/94, 43/96)

Zakon o zaštiti okoliša (NN 82/94)

MEDUNARODNE KONVENCIJE

AGENDA 21

Autor

Mirjana Turnšek, dipl. ing. arh.

Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja, Zavod za prostorno planiranje, 10000 Zagreb, Republike Austrije 20

tel. 3782-444; fax: 3772-822

Tema 4.

UPRAVLJANJE VODNIM RESURSIMA U RAZLIČITIM PROSTORIMA I HIDROLOŠKIM UVJETIMA

Voditelji teme:

doc.dr.sc. DRAGUTIN GEREŠ i prof.dr.sc. BOŽIDAR BIONDIĆ



HRVATSKE VODE

Ulica grada Vukovara 220
10000 Zagreb - Hrvatska

Telefon 01 6307 333
Telefax 01 6151 793

HRVATSKE VODE
SU TVRTKA KOJA UPRAVLJA
DRŽAVNIM I LOKALNIM VODAMA

DJELUJE ŠIROM HRVATSKE
KROZ VODNOGOSPODARSTVENE
ODJELE I ISPOSTAVE U TRIDESETIDVA GRADA



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.01.

Prijedlog metodološkog pristupa izradi vodnogospodarske osnove

Josip Petraš, Josip Marušić

SAŽETAK: Prikazuje se analitičko promišljanje o metodološkoj proceduri i daje jedan prijedlog metodološkog pristupa izradi vodnogospodarske osnove (VO). Polazi se od pretpostavke da se pristup izradi tog planskog dokumenta treba osnivati na teoriji vodnogospodarskih sustava (TVS) kao i znanjima dostignutim u znanstvenoj disciplini operacijskih istraživanja (OI), te se sugerira i obrazlaže sustavni pristup. Na osnovu teorije daju se dvije sheme rješavanja vodnogospodarskih upravljačkih zadataka, koje se predlaže koristiti prilikom izrade VO. Za cjelovito rješavanje složenih vodnogospodarskih problema i zadataka predlaže se za postupak izrade VO koristiti “tehnologiju rješavanja problema” (TRP), koja je kao metodološka procedura ustanovljena u OI. Predložene sheme rješavanja vodnogospodarskih upravljačkih zadataka obrazlažu se u opisu korištenja TRP-a kao osnovnog postupka izrade cjelovite VO. Zaključno se govori o posebnostima VO Hrvatske i predlaže jedan mogući način organiziranja njene izrade.

KLJUČNE RIJEČI: Vodnogospodarska osnova, plan, sustav, sustavni pristup, varijante, upravljanje, optimalizacija, rangiranje.

Methodology Proposed for Multipurpose River Basin Development Study Preparation

SUMMARY: An analytical consideration of methodological procedure and a proposal for a methodological approach to multipurpose river basin development study preparation are given. The basic presumption is that development of such a planning document should be approached by application of water management systems theory and knowledge gained by the operational research discipline. A systematic approach is suggested and elaborated. Theoretically, two diagrams are offered for resolving of water resources management tasks and their use is suggested in preparation of a multipurpose river basin development study. For comprehensive resolving of complex water resource management issues and tasks, application of “problem-resolving technology” is proposed which is a methodological procedure established within the operational research discipline. The proposed diagrams for resolving water resource management tasks are elaborated in description of application of the problem-resolving technology as the basic procedure in preparation of a comprehensive multipurpose river basin development study. In conclusion, some specific properties of the Croatian multipurpose river basin development study are discussed and a possible organization of its development proposed.

KEY WORDS: multipurpose river basin development study, plan, system, systematic approach, alternatives, management, optimization, ranking

1. Uvod

“Zakon o vodama” [1] propisuje u Hrvatskoj obvezu izrade i donošenja vodnogospodarske osnove (u daljem tekstu VO) od čl.18 do čl.23. U čl. 19. tog zakona VO se definira kao *dugoročni planski dokument kojim se utvrđuju osnove za upravljanje vodama, bilanca voda i poboljšanje vodnog sustava na temelju kojeg se osigurava cjelovit i usklađen odnosno jedinstveni vodni režim u Republici Hrvatskoj i na svakom vodnom području*. Ta i takova definicija VO implicitno podrazumijeva sustavni pristup izradi tog planskog dokumenta, tj. pristup sa stanovišta teorije vodnogospodarskih sustava (u daljem tekstu TVS) u okviru koje se primjenjuju generalizirane spoznaje *opće teorije sustava, kibernetike, operacijskih istraživanja, aksiologije, teorije vjerojatnosti, teorije informacija*, te drugih znanstvenih disciplina - prvenstveno iz domene hidrotehnike. Potreba za takovim (*sustavnim*) pristupom proizlazi iz činjenice što se temeljni ciljevi VO, koji se iskazuju u gornjoj definiciji, (*utvrđivanje osnova za upravljanje vodama, poboljšanje vodnog sustava*) mogu ostvariti samo uz pretpostavku primjene znanja iz spomenutih disciplina. Naime, vodni sustav prema definiciji u zakonu [1], čl. 4., čine svi vodotoci i druge vode te vodna dobra i vodne građevine na određenom prostoru. Prema toj definiciji pojam “vodni sustav” identičan je u TVS [2] pojmu “fizički dio vodnogospodarskog sustava”. Razvoj i poboljšavanje takovih sustava jest predmet proučavanja TVS, pa bi bila iluzija očekivati da se može izraditi dobra VO bez sustavnog pristupa i primjene znanja stečenih u okviru spomenute teorije. Sa stanovišta te teorije, u ovom članku autori prikazuju svoje promišljanje o metodološkom pristupu izradi VO.

2. Ciljevi izrade vodnogospodarske osnove

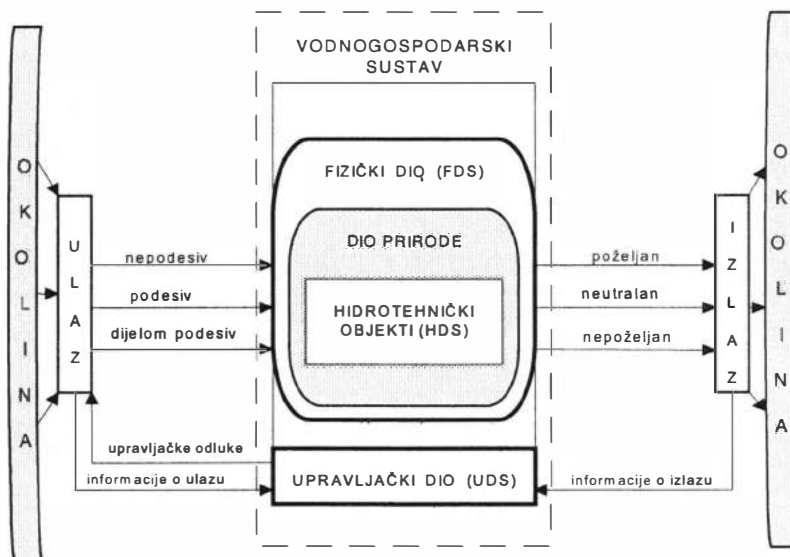
S obzirom na množinu vrlo različitih i specifičnih problema vezanih uz vodne resurse, koje je potrebno rješavati i zbrinjavati u okviru vodnog gospodarstva, izrada VO predstavlja vrlo složen i zahtjevan zadatak. Stoga je već u bivšoj Jugoslaviji još davne 1968.g. bila razrađena metodologija za izradu VO [3]. Znanost, posebice informatička, je od tog vremena znatno unaprijedila, pa je primjereno tome potrebno unaprijediti i metodologiju izrade VO. U tu svrhu treba ponajprije sagledati ciljeve izrade tog planskog dokumenta. Prema uvodno datoj definiciji iz zakona [1] jasno je da VO treba biti temeljni dokument kojim se utvrđuje osnovna strategija korištenja voda, zaštite od štetnog djelovanja voda i zaštite voda u okviru zaštite životne sredine, kao i vodno-gospodarska politika. U tom smislu mogu se specificirati slijedeći općeniti ciljevi VO:

- utvrđivanje raspoloživih vodnih resursa razmatranog područja;
- utvrđivanje uvjeta za zaštitu, uređenje i korištenje vodnih resursa;
- utvrđivanje odnosa između vodnog gospodarstva i ostalih gospodarskih i drugih djelatnosti;
- definiranje ciljeva razvoja vodnog gospodarstva u sklopu širih društveno-razvojnih ciljeva;
- sagledavanje vodnog gospodarstva kao poticajnog ali i ograničavajućeg faktora u okviru dugoročnih razvojnih ciljeva društva;
- utvrđivanje sukoba interesa u vezi s vodama i prijedlog mjera s kojima se konflikti optimalno razrješavaju
- usklađivanje razvoja pojedinih vodnogospodarskih grana;
- upućivanje na optimalne vidove gospodarenja vodama;
- izražavanje dugoročnih društvenih opredeljenja u području zaštite voda i zaštite od voda;

- davanje smjernica svim korisnicima prostora (svim sustavima) kako da usmjere i planiraju svoj razvoj kako bi se što bolje zaštitili od štetnog delovanja voda;
- iznalaženje i razmatranje varijanti tehničkih rješenja problema u vezi s vodom, njihovo vrednovanje i izbor najpovoljnijih rešenja za budući razvoj vodnog gospodarstva;
- sprečavanje da se pojedinim parcijalnim zahvatima oteža ili onemoguću kasniji razvoj kompleksnih vodnogospodarskih rješenja;
- usmjeravanje daljeg toka istražnih i studijsko-projektnih radnji na razmatranom području;
- planska rezervacija prostora neophodnog za budući razvoj vodnogospodarskog sustava.

3. Sustavni pristup izradi VO

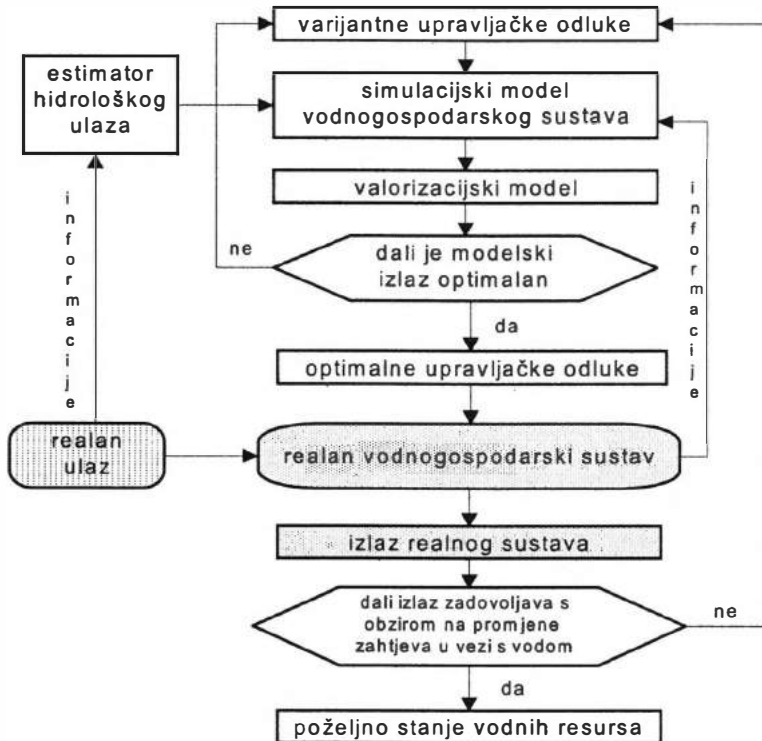
Prema TVS i prethodno navedenim ciljevima VO, može se reći da se tu radi o dokumentu koji treba dati cjelovit prikaz vodnogospodarskog sustava (u daljem tekstu VS - vidi sl. 1.) i njegovog funkcioniranja, te navesti uvjete i dati smjernice za optimalan razvoj tog sustava u budućnosti. Ovdje pojam *optimalnog* (razvoja) nije puka atribucija i odraz općenite težnje za iznalaženjem najboljeg rješenja, nego taj pojam sa stanovišta TVS podrazumjeva provođenje formalnog postupka optimalizacije, tj. iznalaženja najboljeg riješenja na osnovu primjene načela i znanja stečenih u domeni znanstvene discipline operacijskih istraživanja. Prema TVS, u upravljanju s VS-ima razlikuju se dva osnovna tipa optimalizacijskih zadataka. To su *zadaci optimalizacijske analize* i *zadaci optimalizacijske sinteze*. Zadaci optimalizacijske analize podrazumjevaju operativno upravljanje sa postojećim VS-ima. To su dakle zadaci kada je poznat fizički dio sustava (*vodni sustav*), a potrebno je odrediti upravljanje sa tim sustavom tako da se u što većoj mjeri ostvaruje poželjan izlaz, tj. poželjan vodni režim uz što manje troškove i što manje nepoželjnih posljedica.



Slika 1. Shematski prikaz vodnogospodarskog sustava

Da bi se odabralo najbolje upravljanje potrebno je unaprijed znati kakav će rezultat polučiti upravljačke odluke koje nam stoje na raspolaganju. To se u izvjesnoj mjeri može ustanoviti *analizom* funkcioniranja VS-a pod pretpostavkama različitih upravljačkih odluka. Praktično ti se zadaci rješavaju tako da se na osnovu identifikacije i analize funkcioniranja VS-a izradi njegov simulacijski model (SM) na kojem se ispituje ponašanje realnog sustava pod raznim pretpostavkama upravljačkih odluka. Dobiveni izlazi iz SM-a se zatim valoriziraju i uspoređuju, da bi se odabrale najbolje upravljačke odluke. Valorizacija dobivenih izlaza SM-a nije pri tom jednostavna. Vezana je na mnoštvo vodnogospodarskih ciljeva iz domene korištenja voda, zaštite od štetnog djelovanja voda i zaštite voda. Procedura iznalaženja najboljih upravljačkih odluka u zadacima *opimalizacijske analize* podrazumijeva dakle uspostavljanje vrijednosnog sustava, formuliranje ciljne funkcije i skupa ograničenja upravljačkih odluka, te metodu ili tehniku iznalaženja ekstrema ciljne funkcije. Ovo se zajedničkim imenom naziva valorizacijskim ili optimalizacijskim modelom, i on je konstitutivni dio upravljačkog dijela sustava (UDS na sl. 1). Ulaz u valorizacijski model u principu se dobiva kao izlaz SM-a, osim kad bi bilo moguće eksperimentirati na realnom VS-u.

Na slici 2. daje se jedan mogući prikaz dijagrama toka upravljanja VS-om u zadacima optimalizacijske analize. Važno je ovdje uočiti da postoje tri kategorije ulaza u simulacijski model. To su pretpostavljene upravljačke odluke, zatim informacije "on line" o trenutnom stanju i hidrološkom ulazu u realan (stvaran) sustav, te prognoze mogućih hidroloških ulaza u budućnosti, dobivene na estimatoru hidrološkog ulaza.



Slika 2. Dijagram toka rješavanja zadatka optimalizacijske analize

Estimator proizvodi sintetičku informaciju temeljenu na trenutnim i povijesnim hidrološkim podacima i zakonitostima stohastičkih procesa. I to uz pomoć hidrološkog software-a koji čini njegovu suštinu. Zadaci *optimalizacijske analize* pojavljuju se ne samo kao zadaci operativnog upravljanja sa postojećim VS-ima, nego i kod planiranja njihove izgradnje ili dogradnje, tj. kad imamo mogućnost izbora različitih varijantnih rješenja VS-a i pripadnih parametara, kako se to prikazuje ovdje u nastavku.

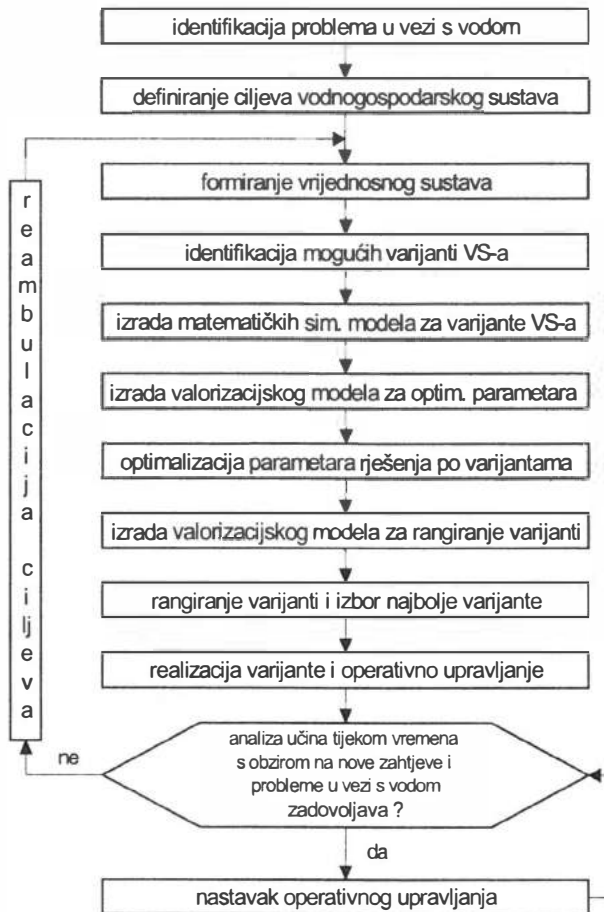
U slučaju kad fizički dio VS-a (*vodni sustav*) nije poznat potrebno je identificirati postojeće stanje i sve konstitutivne dijelove VS-a koji će se izvoditi i koristiti u budućnosti. Takovi zadaci spadaju u kategoriju planiranja VS-a, što prema rečenom podrazumijeva iznalaženje najpovoljnije varijante i parametara sustava, te najpovoljnijeg upravljanja. Radi se dakle o sintezi vodnogospodarskih zadataka, a kako je atribut najpovoljnije (varijante, parametara i upravljanja) vezan uz optimalizacijsku proceduru rješavanja kojom se taj atribut želi dostići i argumentirati, to se ovi zadaci prema TVS mogu nazvati *zadacima optimalizacijske sinteze*. Pošto kod planiranja VS-a postoje mogućnosti izbora između različitih varijanti i parametara fizičkog dijela VS-a, to se sa stanovišta kibernetike može reći da se sa VS-ima upravlja već u fazi njihovog planiranja. Pri tome se upravljanje može rasčlaniti na slijedeće glavne etape:

- Identifikacija vodnogospodarskih problema, definiranje ciljeva i ciljnih struktura na osnovu kojih će se tražiti najpovoljnija strategija vodnogospodarskog razvoja;
- Planiranje sustava kroz proces matematičkog modeliranja i vrednovanja raznih varijanti;
- Realizacija i organizacija VS-a;
- Korištenje upravljačkog sustava (US-a, sl. 1.) i optimalizacija operativnog upravljanja u realnom vremenu.

Na sl. 3. daje se jedan mogući prikaz toka upravljanja VS-ima u zadacima optimalizacijske sinteze.

Ako se problem izrade VO sagleda u svjetlu upravo opisanih procedura rješavanja optimalizacijsko upravljačkih zadataka VS-a, jasno je da izrada VO spada u kategoriju zadataka *optimalizacijske sinteze*. Ovdje treba primjetiti da u prethodnom tekstu nije bio riječi o veličini VS-a, nego samo o njihovoj strukturi. Lako je zaključiti da će svaki VS u okviru kojeg treba rješavati problematiku svih vodnogospodarskih grana navedenih u zakonu [1], biti vrlo složen. Ako se pritom radi još i o velikom području (prostranstvu) na kojem se želi unaprijediti VS, to se opisane optimalizacijske procedure mogu činiti ne prihvatljivim za rješavanje jednog tako opsežnog i kompleksnog zadatka.

No osim opisanih procedura, TVS nudi i druga znanja i naputke za rješavanje tako složenih zadataka. Ponajprije, riječ je o mogućnostima i naputcima za dekomponiranje (razlaganje) velikih i složenih VS-a na više manjih i/ili manje složenih podsustava, u okviru kojih će biti moguće primjeniti optimalizacijske procedure. Isto tako TVS nudi znanja i naputke za agregiranje (združivanje) manjih i/ili manje složenih (pod)sustava u veće i složenije sustave. Dekomponiranje i agregiranje VS-a može se obavljati prema raznim principima, npr. funkcionalnom (po vodnogospodarskim granama), no najbitniji je hidrografski princip dekomponiranja i agregiranja po slivovima. Taj je princip utemeljen na jednom vodnogospodarskom postulatu koji kaže da osnovna vodnogospodarska jedinica treba biti sliv. Izrada VO za jednu društveno političku teritorijalnu cjelinu (državu, pokrajinu, županiju) treba prema tome biti organizirana po hidrografskom ustrojstvu, tj. po slivovima, a cjelovita će se VO dobiti postupkom sustavnog agregiranja slivnih VO.

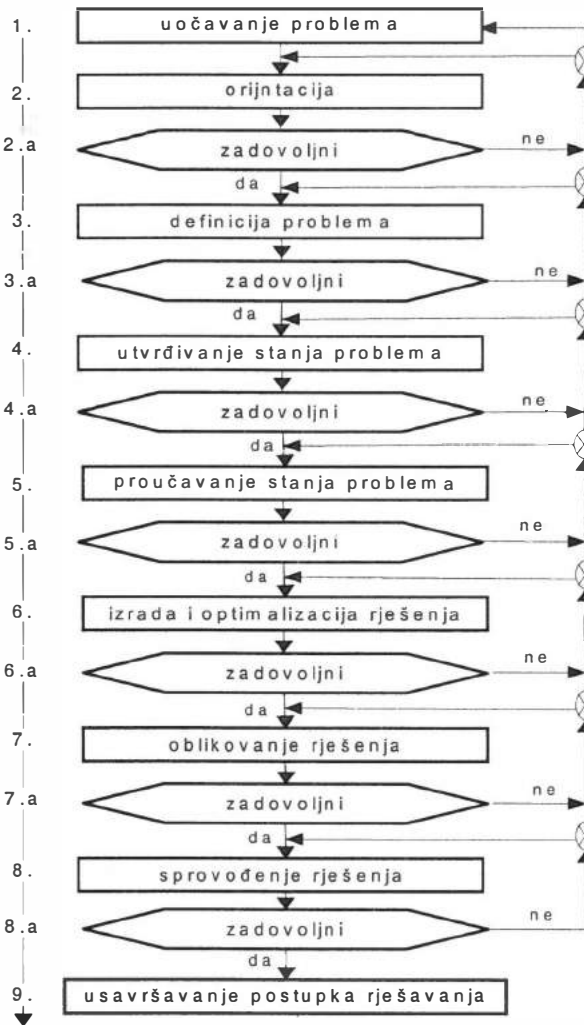


Slika 3. Dijagram toka rješavanja zadataka optimalizacijske sinteze

4. Prijedlog procedure izrade VO

U zadacima sustavne *optimalizacijske sinteze* VS-a, tj. vodnogospodarskog planiranja, u pravilu se pojavljuju vrlo složeni problemi, koji se unatoč dekompozicijskim i agregacijskim postupcima ne mogu formalizirati tako da bi bilo moguće izraditi jedan sveobuhvatni optimalizacijski model. Radi se o tome da su kod vodnogospodarskog planiranja problemi i zadaci uvijek vrlo složeni, s brojnim identificiranim i neidentificiranim vezama s okolišem, ciljevima koji čine vrlo složene ciljne strukture koje obično nisu i konačne, niti su svi ciljevi jasno definirani. Kod takovih problema mijenjaju se spoznaje o njima tokom njihovog rješavanja, a sama rješenja nisu moguća bez određenih heurističkih odlučivanja planera. Može se dakle reći da se u procesu vodnogospodarskog planiranja razjašnjava i mijenja struktura problema i zadataka, upravo tijekom njihovog rješavanja. Rješenja se prema tome postepeno poboljšavaju. U toj proceduri mogu se koristiti na različitim dekompozicijskim nivoima ili mjestima formalizirani optimalizacijski postupci rješavanja parcijalnih problema. Riječ je dakle o rješenju koje se može popravljati u idućim fazama planiranja i boljeg sagledavanja procesa u sustavu. Ovo je vrlo važna činjenica koje trebaju biti svjeni svi prostorni

planeri, posebice izrađivači VO. Posljedično tome, metodologiju izrade VO treba osmisliti tako da ta činjenica bude u tu metodologiju utkana, ili bolje rečeno metodologija izrade VO treba se osnivati na spomenutoj činjenici o postupnom poboljšavanju rješenja. Prema svemu rečenom, može se preporučiti da se izrada VO-e odvija po proceduri koja je razvijena u okviru operacijskih istraživanja pod nazivom “tehnologija rješavanja problema” (TRP). Na sl. 4. prikazan je dijagram toka te tehnologije prema [2].



Slika 4. Dijagram toka “tehnologije rješavanja problema”

Ta je tehnologija općenita, dakle primjerena svim vrstama problema, dok je prethodno opisana procedura prema dijagramu toka na sl. 3. primjerena zadacima *optimalizacijske sinteze* VS-a. Ako se uspoređi tok TRP-a (sl. 4.) sa opisanom procedurom izrade VO (sl. 3.), može se vidjeti da se te dvije procedure nadopunjuju. Naime, prvi korak naveden na sl. 3., tj. *identifikacija problema u vezi sa vodom* je sadržajno vrlo složen i zahtjeva velik obim savjesnog studijskog rada. Uspješnost gospodarenja vodnim resursima, čiji temeljni

dokument će biti VO, zavisi prije svega o pravilnoj i sveobuhvatnoj identifikaciji problema u vezi sa vodom. Stoga se može preporučiti da se taj korak rješava kroz prvih pet koraka TRP-a. Šesti korak TRP-a moguće je formalizirati prema bloku od drugog do devetog koraka procedure prikazane na sl.3. Pri tom će se naravno pojaviti potreba vraćanja na početak posla, kako je već rečeno i naznačeno na sl.4. Sedmi korak procedure TRP-a obuhvaća izradu projektne dokumentacije za konstitutivne elemente VS-a predloženog prema VO-i, dok osmi korak obuhvaća izvedbu i operativno upravljanje s VS-om. Pritom se kontinuirano prate sve promjene i novi problemi u vezi s vodom, koji će se zasigurno pojavljivati tijekom vremena - npr. novonastale potrebe za vodom mogu odstupati od prognoziranih, problemi zagađivanja voda mogu se ponegdje povećati zbog intenziviranja gospodarskog razvoja i td. Posljedično tome ukazuje se i potreba noveliranja VO, a to je u TRP obuhvaćeno korakom 8a. Posljednji, deveti, korak TRP-a podrazumjeva usvajanje svih korisnih noviteta koji su se pojavili kao dostignuće tijekom same procedure izrade VO-e, te se mogu primjeniti u postupku njenog noveliranja.

Na kraju treba reći da će uspješnost konačnog rješenja, odnosno kvaliteta VO puno više ovisiti o činjenici da li su prilikom njene izrade korišteni principi TRP-a, nego o tome koliko su dobari optimalizacijski modeli koji su primjenjeni. U stvari, primjena principa TRP-a vodi upravo do izrade dobrih optimalizacijskih modela.

5. Značaj i karakteristike VO s aspekta ostalih planova društvenog razvoja

S obzirom na prethodno navedene općenito formulirane ciljeve izrade VO-e i njenu prostorno-plansku atribuciju, treba nešto reći o njenim karakteristikama i značaju s aspekta ostalih planova društvenog razvoja. Kako je vodno gospodarstvo uvjetovano prirodnim zakonitostima i prostornom determinacijom (more, jezera, vodotoci i vodonosnici su tamo gdje jesu a procesi vezani uz vodu se odvijaju po prirodnim zakonima), i pošto bez vodnog gospodarstva ne može biti riječi o funkcioniranju društvene zajednice a kamoli o njenom razvoju, to VO da bi mogla ostvariti svoje osnovne ciljeve treba predhoditi svim ostalim planskim dokumentima (*planovima privrednog razvoja, prostornim i urbanističkim planovima, itd*). Imajući dakle u vidu da VS-i imaju najstrožije zahtjeve u pogledu prostora, sve ostale planove treba raditi tek nakon izrade VO, kako bi svoje koncepcije razvoja usaglasili sa prostornim ograničenjima i smjernicama koje definira VO. U stvari, ako bi se sustavni pristup primjenio na izradu svih planskih dokumenata, trebalo bi raditi simultano s tim da VO treba biti prva završena i usvojena. Pritom treba imati na umu da VO, iako ima atribuciju dugoročnog plana, nije statičan dokument već se mora stalno dopunjavati i mjenjati, u skladu sa novonastalim okolnostima na slivu i promjenama potreba društva. U tom smislu valja naglasiti da promjenljivost tijekom vremena treba biti ugrađena u samu suštinu VO, tako da se samim njenim usvajanjem usvaja i princip njenog periodičnog noveliranja.

U VO treba dati odgovore na pitanja: kakove dugoročne mjere vodnogospodarske politike treba sprovesti, što i gdje treba graditi (*rezervacija prostora*) u svrhu zaštite voda i zaštite od štetnog djelovanja voda kao i unapređenja korištenja vodnih resursa, te zašto je to neophodno. Međutim, VO ne može niti treba dati precizne odgovore na pitanja kada, s kojom cijenom i tko treba provesti realizaciju, niti kakova bi trebala biti podjela investicija u zajedničke višenamjenske objekte. Odgovore na ta pitanja trebaju definirati vodnogospodarski planovi, koji se rade nakon usvajanja VO kao vid njene operacionalizacije. U tom smislu, s gledišta finalizacije dokumenta VO treba:

– dati prikaz stanja i analizu vodnih resursa, po količini, kvalitetu i položaju;

- analizirati i utvrditi tendencije razvoja svih vidova korištenja prostora koji su bitni za razmatranje vodnogospodarskih rješenja, te provesti analizu razvoja i dati prognozu potreba za vodom svih vidova korištenja voda;
- predvidjeti konfiguraciju i definirati glavne parametre vodnih (pod)sustava koji će se razvijati na pojedinim hidrografskim teritorijalnim cjelinama odnosno slivovima;
- dati prikaz očekivane učinkovitosti predloženih rješenja u smislu ostvarivanja postavljenih vodnogospodarskih ciljeva, u okviru širih razvojnih ciljeva svih ostalih korisnika prostora;
- dati smjernice i definirati mehanizme za realizaciju VO, tj. predložiti sve mjere koje je potrebno sprovesti da bi se osigurao planirani vodnogospodarski razvoj.

U svezi s pitanjem odnosa vodnog gospodarstva i svih drugih korisnika prostora, za realizaciju rješenja danih u VO pobrinuo se zakon o vodama [1] propisivanjem instituta vodopravnih akata za sve korisnike prostora, tj. *vodopravnih uvjeta za projektiranje svih vrsta fizičkih zahvata o objektata u prostoru, vodopravnih suglasnosti na izrađene projekte i vodopravnih dozvola za korištenje izvedenih objektata*. Prema tome, VO predstavlja temeljni dokument na osnovu kojega se formulira sadržaj vodopravnih akata.

6. Posebnosti izrade VO hrvatske i zaključni prijedlog

U odnosu na sve rečeno o pristupu i načelima izrade VO kao strateškog vodnogospodarskog dokumenata, moguće je sagledavati i neke posebnosti njene izrade za Hrvatsku. S obzirom na zemljopisna i posebice gospodarska obilježja pojedinih regija u Hrvatskoj, posebnosti u izradi VO-e pokazati će se već prilikom identifikacije vodnogospodarskih problema. S jedne strane te će posebnosti proizlaziti iz vrlo velike raznolikosti prirodnih činioca vodnogospodarskog razvoja, a s druge strane posebnosti mogu proizaći iz strateških opredjeljenja šireg društvenog razvoja po regijama. Smatramo da nije pretenziono reći kako bi bilo vrlo teško, ili čak moguće u svijetu naći zemlju veličine Hrvatske pa i veću, koja bi imala tako veliku raznolikost prirodnih činioca vodnogospodarskog razvoja. Raznolikost tih činioca u Posavini, Podunavlju, Podravini, Međimurju, Hrvarskom Zagorju, Gorskom Kotaru, Istri, Primorju, Dalmaciji, hrvatskim otocima i td. tolika je da izrada VO za Hrvatsku predstavlja posebno složenu i odgovornu zadaću. Nadalje, posebnosti u izradi VO-e proizlaze i iz zakonodavstva i organizacijske strukture vodnog gospodarstva u Hrvatskoj. Prema zakonu [1], za obavljanje poslova upravljanja s vodama u Hrvatskoj osnovana je tvrtka “Hrvatske vode”, a teritorij Republike Hrvatske podjeljen je prema hidrografskom principu na četiri vodna područja, i to:

- vodno područje sliva Save
- vodno područje slivova Save i Dunava
- vodno područje primorsko-istarskih slivova
- vodno područje dalmatinskih slivova.

Za operativno upravljanje s vodnim resursima tvrtka “Hrvatske vode” organizirana je prema zakonu tako, da je za svako od navedenih vodnih područja ustrojen vodnogospodarski odjel, s tim da je zbog obima i specifičnosti vodnogospodarskih zadataka osnovan i zaseban odjel za područje Grada Zagreba. S obzirom na činjenicu da navedena vodna područja predstavljaju zasebne hidrografske cjeline, te s obzirom na ovdje opisana načela sustavnog pristupa izradi VO-e, predlaže se slijedeći pristupi izradi VO-e Hrvatske:

- da se pri Zavodu za vodno gospodarstvo (pri tvrtki “Hrvatske Vode”) oformi stručni tim za izradu VO, čiji će to biti jedini profesionalni radni zadatak;
- da taj tim bude sastavljen od istaknutih stručnjaka (eksperata) za pojedina područja vodnogospodarskih djelatnosti;
- da za svako vodnogospodarsko područje djelatnosti u stručnom timu budu zaduženi odgovarajući stručno-znanstveni djelatnici;
- da se za izradu VO kao osnovna primjeni metodološka procedura ustanovljena u teoriji operacijskih istraživanja, poznata pod nazivom “tehnologija rješavanja problema” (TRP), kao i ovdje opisani sustavni pristup izradi s optimalizacijskim postocima.
- da prvi radni zadatak stručnog tima bude detaljna razrada metodologije za izradu VO prema ovdje opisanom pristupu i načelima, s tim da na tom poslu budu angažirani i priznati znanstvenici iz domene upravljanja vodnim resursima kao i iz domene hidrotehnike.
- da se za praćenje izrade i reviziju VO formira “stručna komisija za reviziju VO” koja bi bila stručno tijelo Nacionalnog vijeća za vode (vezano uz toč. 3., čl. 175 Zakona o vodama); ta bi komisija trebala biti sastavljena od istaknutih znanstvenika i eksperata iz domene vodnog gospodarstva, koji nisu angažirani na samoj izradi VO, a njen bi zadatak bio da kontinuirano prati i vrši reviziju izrade VO.

Literatura

- [1] *Zakon o vodama*, Narodne Novine br. 107, prosinac 1995., s. 2910-2943
- [2] Đorđević, B.: *Vodoprivredni sistemi*, Građevinski fakultet Beograd, 1. izd., Beograd 1990.
- [3] *Metodologija vodoprivredne osnove Jugoslavije*, Institut “Jaroslav Černi”, Beograd 1968.
- [4] Hall, W.A.; Dracup, J.A.: *Water resources systems engineering*, McGraw-Hill Inc, 1970.
- [5] Major, D.C., Lenton R.L.: *Applied Water resources system planning*, Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1979.
- [6] Beraković, B.: *Vrdnovanje složenih vodoprivrednih rješenja*, disertacija, Građevinski fakultet Zagreb, 1991.
- [8] *Uputstva za vrednovanje višenamjenskih vodoprivrednih projekata*, Ekonomska zajednica za razvoj i suradnju, Pariz, 1982. (prijevod: Udruženje za vodoprivredu Jugoslavije, 1983.) Special technical session, Dubrovnik, 1988, p. 173 - 183.
- [9] Petraš, J., Tropan, Lj., Trninić, D.: *Primjena automatizacije u upravljanju vodoprivrednim sistemima*, Zbornik radova 37. međunarodni skup KOREMA, Zagrebb. 1992., s 165 - 170.

Autori:

Prof. dr. sc. Josip Petraš dipl. inž. građ.

Prof. dr. sc. Josip Marušić dipl. inž. građ.



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.02.

Model gospodarenja sustavom zaštite obalnog mora

Snježana Knezić i Jure Margeta

SAŽETAK: U okviru cjelovitog sustava za podršku odlučivanju na operativnoj i taktičkoj (planskoj) razini odlučivanja iskazuje se potreba za modelima koji podržavaju donošenje odluka u smislu davanja optimalnih rješenja za prilagođavanje postojećih sustava zaštite trenutnim i planiranim potrebama, kao i iznalaženje novih konfiguracija sustava zaštite. U ovom radu se opisuje jedan takav model. Model iznalazi optimalni raspored razine pročišćavanja na uređajima kako bi se prevladale poteškoće u incidentnim situacijama ili iznašla optimalna rješenja planiranih konfiguracija sustava zaštite obalnog mora. Za rješavanje ovog problema model kombinira simulacijski model zagađenja prijemnika i optimizacijski model preraspodjele resursa, uz zadovoljavanje svih ograničenja sustava. Dosadašnja iskustva u korištenju modela su pokazala njegovu učinkovitost i korisnost za primjenu u rješavanju praktičnih problema.

KLJUČNE RIJEČI: gospodarenje kakvoćom mora, simulacija, optimizacija, održivi razvoj

Territorial Sea Protection System Management Model

Summary: Regarding the quality control, the territorial sea protection is a complex task which needs to be considered as a part of an integrated management system including complex decision-making and managerial mechanisms. An integrated decision-making support system implemented both on operational and tactical (planning) level of decision-making indicates that there is the need for models to support decision-making process in order to obtain optimum solutions for tailoring of the existing protection systems to current and planned needs, and for finding new protection system configurations. The present paper describes such a model. The model finds an optimum sequence of treatment levels within the treatment plants, in order to surmount the obstacles in emergencies and find optimum solutions for planned territorial sea protection system configuration. To resolve this problem, the model combines a receptor pollution simulation model and a resources rearrangement optimization model, while respecting all the system limitations. The earlier experience with model application has proven it effective and useful for resolving of practical problems.

Key words: sea quality management, simulation, optimization, sustainable development

1. Uvod

Primjena operacijskih istraživanja u rješavanju optimizacijskih zadaća, kao i numeričkih metoda u rješavanju jednadžbi ravnoteže prirodnog sustava, te uspostavi simulacijskih modela, doprinijeli su učinkovitijem upravljanju na operativnoj razini. U području upravljanja kakvoćom vode mogu se prepoznati dva temeljna područja istraživanja (Margeta, 1984):

- traženje minimalnog troška pročišćavanja za točkaste i raspršene izvore onečišćenja koji bi zadovoljavali postavljene standarde kakvoće za razna korištenja obalnog mora,
- predviđanje kakvoće vode na odabranim kontrolnim postajama za različite kombinacije pročišćavanja i ispuštanja otpadnih voda (točkasti i difuzni izvori zagađenja), a koji su posljedica ljudskih aktivnosti u okolini prijemnika.

Ovi problemi su se tradicionalno rješavala odvojeno, to jest za izlaze pojedinih odabranih rješenja ili grupe rješenja primjenom simulacijskih modela usklađivalo bi se stanje prijemnika. Ukoliko su dobiveni rezultati simulacije bili zadovoljavajući (traženi standard) tada je proces završen, a ako nije tada su se unosile potrebne izmjene u rješenja i proces se ponavljao. Ovakvim pristupom bilo je upitno postizanje optimuma, a sam postupak je bio težak i dugotrajan. Tijekom vremena razvila se ideja o korištenju (ne)jednadžbi koje nastaju kao rezultat numeričkih metoda (simulacije) u formulaciji zadaća operacijskih istraživanja. Opći pristup povezivanja metoda operacijskih istraživanja i numeričkih metoda temelji se na poznavanju funkcionalne zavisnosti “ Φ ” varijabli stanja sustava “ s ” i varijabli odlučivanja “ o ”:

$$F(s,o) \tag{1}$$

Vrijednost varijabli odlučivanja i stanja sustava uvjetovane su ograničenjima “ Φ ” postavljenim nad njima zbog prirodnih osobina ili tehničko - tehnoloških mogućnosti sustava:

$$\Phi(s,o) \geq 0 \tag{2}$$

Osim zadovoljenja ograničenja, vrijednosti varijabli uvjetovane su i time da daju optimum za zadani kontekst “ K ” (minimalni trošak, minimalna količina uložene energije, maksimalna dobit, itd.):

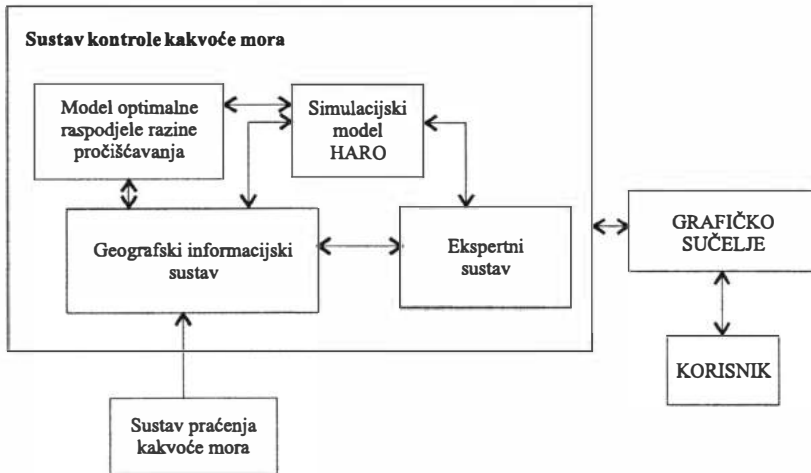
$$\text{Opt}\{K(s,o)\} \tag{3}$$

Ograničenja nastala zbog prirodnih uvjeta ravnoteže proizlaze iz prethodno definirane funkcionalne zavisnosti “ F ” varijabli stanja sustava i varijabli odlučivanja. Kako se ta funkcionalna zavisnost opisuje diferencijalnim jednadžbama, ona se numeričkim metodama svodi na oblike prihvatljive za rješavanje raspoloživim tehnikama optimizacijskih zadaća.

2. Sustav zaštite obalnog mora

Da bi se postigla cjelovitost i neprekidnost procesa odlučivanja, nužno je graditi sustav za podršku odlučivanju (SPO) koji obuhvaća sve razine upravljanja unutar sustava gospodarenja kakvoćom obalnog mora. Integracija baza podataka, modela širenja zagađenja, modela upravljanja kakvoćom vode, kako bi se podržale sve razine korisnika, od članova vlade do tehničkog osoblja, postaje sve učestalija prilikom modeliranja SPO-a. Postojeći sustavi za podršku odlučivanju se možda ne uklapaju u arhitekturu SPO-a u smislu implementacije svih triju modula “podaci-dijalog-modeli”, što je i razumljivo ukoliko se uzme u obzir vrlo zahtjevna implementacija. Sustav zaštite obalnog mora je dio cjelovitog sustava upravljanja i odlučivanja, te u tom smislu mora obuhvatiti sve elemente koji su potrebni za gospodarenje na kontrolnoj ali i na višim razinama. U tom

smislu, osnovni elementi su korisničko sučelje, baza podataka, te baza fizikalnih, ekonomskih i ostalih upravljačkih modela niže razine, objedinjeni u podsustav koji, uz bazu znanja, daju sliku ponašanja ekosustava šireg područja obuhvata (Slika 1).



Slika 1. Shema sustava zaštite obalnog mora

Sustavnom analizom prepoznate su tri glavne funkcije modela gospodarenja obalnim morem: praćenje ponašanja sustava, kontrola standarda, istraživanje. Funkcija “praćenje ponašanja sustava” uključuje aktivnosti koje se odnose na kontrolu svih sudionika u sustavu recipijent - sustav ispuštanja otpadnih voda, te kontrolu na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda. Druga funkcija “kontrola standarda” jest kontrola od strane javnih poduzeća koja održavaju kanalizacijski i vodoopskrbni sustav, a odnosi se na praćenje učinkovitosti rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kao što su, na primjer, stupanj i troškovi pročišćavanja. Važnu ulogu u rješavanju ovih zadaća ima baza podataka. Jedan od ciljeva pri implementaciji sustava zaštite obalnog mora je uključiti čim više modela koji podržavaju simulaciju, optimizaciju, analizu, ili pak dedukciju. Jedna od bitnih veza između kontrolne i viših razina odlučivanja je upravljački komunikacijski kanal kojim se dvosmjerno prenose informacije. U tom smislu je važno pravodobno reagirati i prenositi informacije o negativnim utjecajima na prirodni sustav kako bi se moglo pravodobno djelovati u smislu mijenjanja postojeće konfiguracije. Slijedeći implementiran modul sustava je baza znanja, odnosno ekspertni sustav koji sadrži znanje o prirodnom sustavu i njegovom međudjelovanju s ostalim sustavima. On služi kao “inteligentna pomoć” u procesu donošenja operativnih odluka i tvori sustav za podršku odlučivanju funkcionalnijim.

Modeli optimizacije rješavaju zadaće i podržavaju donošenje odluka na operativnoj razini, a koriste metode kao što su linearno i nelinearno programiranje, dinamičko programiranje, itd. Zadaća je strukturirana, poznati su odnosi među parametrima, a njihove vrijednosti izražene kvantitativno. Dakle, ovim modelima se reguliraju vrijednosti varijabli koje se mogu kontrolirati, a koji neposrednu utječu na vrijednosti parametara koji opisuju stanje prirodnog sustava. Pri tome moraju biti zadovoljeni cilj i ograničenja postavljena nad procesima sustava.

3. Model gospodarenja-kontrole standarda obalnog mora

U predloženom sustavu zaštite obalnog mora simulacijski model je korišten i u sprezi s optimizacijskim modelom preko ukupne matrice odgovora sustava za pokazatelje zagađenja: nedostatak kisika i BPK. Nakon primjene metode konačnih razlika na konvektivno-difuzijsku jednadžbu za prijenos mase, te uzimajući u obzir združeni sustav - nedostatak kisika i BPK, dobivena je slijedeća jednadžba:

$$(b) = [C]^{-1}(w_c) + [B]^{-1}(w_b) \quad (4)$$

gdje b predstavlja nedostatak kisika, W_b uvjete okoliša, i W_c BPK otpadnih voda. Elementi matrica $[C]^{-1}$ i $[B]^{-1}$ u sebi uključuju geometriju, koeficijente disperzije, koeficijente reakcije i advektivni tok za svaki element diskretiziranog prostora. Matrica $[C]^{-1}$ je vrlo korisna za daljnju analizu sustava jer iskazuje izravnu vezu između nedostatka kisika i BPK opterećenja. U konkretnom slučaju ona je korištena u optimizacijskom modelu za kontrolu ispuštanja otpadnih voda.

Za rješavanje prije navedenih problema "kontrola standarda" koristi se sprega optimizacijskog i simulacijskog modela preko ukupne matrice odgovora sustava, te se tako povećava učinkovitost sustava na operativnoj razini.

Ukoliko se prethodno opisan model širenja rješava metodom konačnih razlika, moguće je uspostaviti odnos između elemenata diskretizacije prostora (konačnim volumenima), odnosno koncentracije parametra " θ_i " u elementu:

$$\theta_i = a_{i1} w_1 + \dots + a_{ik} w_k + \dots + a_{in} w_n \quad (5)$$

gdje je " w_k " opterećenje u elementu k , a " a_{ik} " jedinični utjecaj k -tog elementa na element " i ". Varijable stanja sustava izražene su preko koeficijenata utjecaja " a_{ik} ", a varijabla odlučivanja jest količina opterećenja, odnosno stupanj pročišćavanja.

Neka " θ_i " označava željenu koncentraciju u elementu " i ", a μ_k stupanj pročišćavanja u elementu " k " gdje se nalazi uređaj, te w_k koncentraciju na uređaju prije pročišćavanja:

$$\theta_i = (1 - \mu_1) a_{i1} w_1 + \dots + (1 - \mu_k) a_{ik} w_k + \dots + (1 - \mu_n) a_{in} w_n \quad (6)$$

Neka $G_k(\mu_k)$ predstavlja funkciju troška uređaja za pročišćavanje smještenog u element "k", tada je ukupna funkcija troška:

$$F(x) = \sum_{k=1}^n G_k(\mu_k) \quad (7)$$

Dakle, treba minimizirati funkciju troška na uređajima za pročišćavanje:

$$\min \rightarrow F(x) = \sum_{k=1}^n G_k(\mu_k) \quad (8)$$

uz uvjet:

$$\sum_{k=1}^n \mu_k a_{ik} w_k = \sum_{k=1}^n a_{ik} w_k - \theta_i \quad (9)$$

$$0 \leq \mu_k \leq \mu_{k_max}$$

Međutim, ukoliko se radi o prekoračenju dozvoljene koncentracije parametra na kontrolnoj postaji, tada se zadaća raspodjele resursa mora formulirati u nešto izmijenjenom obliku:

Neka θ_i označava koncentraciju u elementu "i", a neka $\tilde{\theta}_i$ označava prihvatljivu koncentraciju u elementu "i", zadaća se može oblikovati tako da se razlika koncentracije $\Delta\theta_i = \theta_i - \tilde{\theta}_i$ "raspodijeli" na uređaje za pročišćavanje, ali tako da se minimiziraju dodatni troškovi:

$$\min \rightarrow F(x) = \sum_{k=1}^n G_k(\mu_k + \Delta\mu_k) \quad (10)$$

uz uvjete:

$$\sum_{k=1}^n a_{ik} w_k \Delta\mu_k = \Delta\theta_i \quad (11)$$

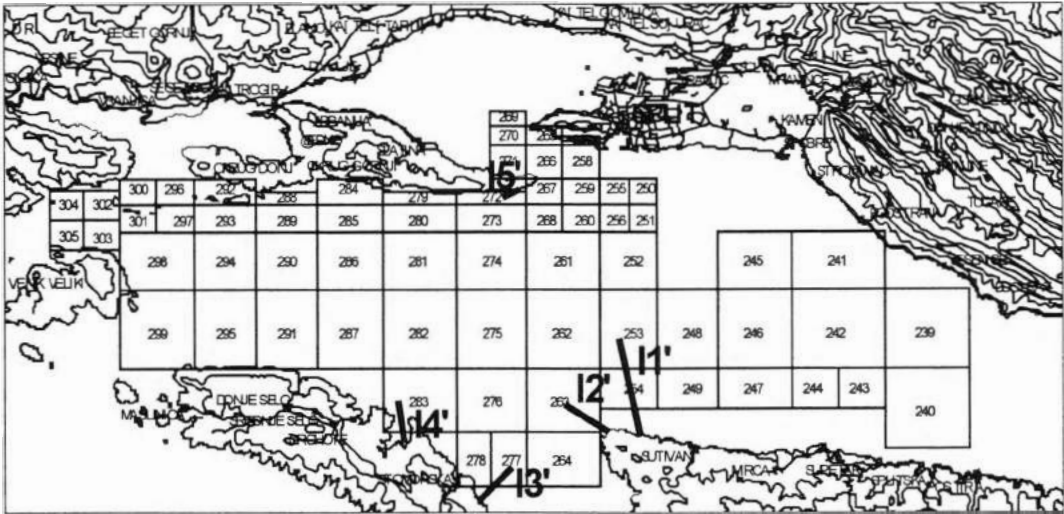
$$0 \leq \Delta\mu_k \leq \mu_{k_max} - \mu_k \quad (12)$$

4. Ilustrativni primjer

U ovom radu prikazat će se jedan ilustrativni primjer korištenja prikazanog modela na širem području grada Splita za koje je izrađen simulacijski model zagađenja mora. Nakon utvrđivanja povećanja nedostatka kisika oko podmorskih ispusta pokreće se sustav za kontrolu i regulaciju uređaja za pročišćavanje i određuje potrebna razina pročišćavanja na ispustima kako bi se zadovoljili traženi standardi. Optimalna razina pročišćavanja regulira se korištenjem opisanog dinamičkog optimizacijskog modela u kombinaciji sa simulacijskim modelom. Kako bi se prikazalo djelovanje optimizacijskog modela simulirat će se prekoračenje zagađenje u pridnenom elementu označenom brojem 275 na granici Splitskog i Bračkog kanala (Slika 2). Element je odabran budući da na njemu dolazi do prekoračenja standarda pod djelovanje pet hipotetskih ispusta (Tablica 1). Nedostatak kisika bez utjecaja ispusta, uzrokovan prirodnim procesima u elementu 275 je 2.0 mg/l (21%), a količina kisika pri saturaciji je 9.65 mg/l. Zbog utjecaja otpadnih voda iz pet ispusta nedostatak se povećao na 5.03 mg/l (52%).

Tablica 1. Podaci za element 275

ELEMENT	ISPUST	OPTEREĆENJE U ELEMENTU (10^6 #/dan)	KOEFICIJENT UTJECAJA 10^{-6}
253	I'_1	50	0.0096
263	I'_2	50	0.0140
277	I'_3	40	0.0178
283	I'_4	50	0.0154
272	I'_5	35	0.0103



Slika 2. Konfiguracija hipotetskih kanalizacijskih sustava za optimizacijski model

Da bi se ostvarila kakvoća mora druge kategorije potrebno je količinu kisika smanjiti na 3.7 mg/l, što iznosi 38% nedostatka kisika ili nešto je manje od 40% što je gornja granica za drugu kategoriju kakvoće mora. Model optimizacije opisan jednadžbama 5 do 11 za ovaj slučaj glasi:

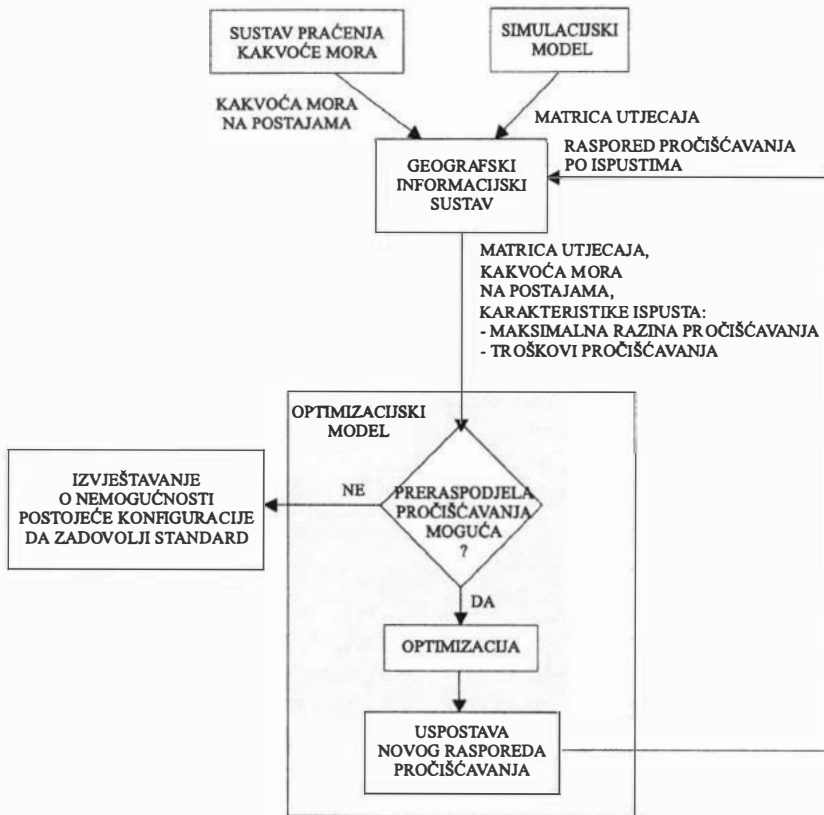
$$\min \rightarrow F(x) = \sum_{k=1}^5 G_k(\mu'_k + \Delta\mu'_k) \quad (13)$$

uz ograničenje s obzirom na količinu nedostatka kisika:

$$0.0096*50\mu'_1 + 0.0140*50\mu'_2 + 0.0178*40\mu'_3 + 0.0154*50\mu'_4 + 0.0103*35\mu'_5 = 1.7 \quad (14)$$

i pretpostavljena ograničenja s obzirom na najvišu razinu pročišćavanja na uređajima:

$$\begin{aligned} 0 &\leq \Delta\mu'_1 \leq 0.50 - \mu'_1 \\ 0 &\leq \Delta\mu'_2 \leq 0.70 - \mu'_2 \\ 0 &\leq \Delta\mu'_3 \leq 0.60 - \mu'_3 \\ 0 &\leq \Delta\mu'_4 \leq 0.85 - \mu'_4 \\ 0 &\leq \Delta\mu'_5 \leq 0.60 - \mu'_5 \end{aligned} \quad (15)$$



Slika 3. Proces kontrole kakvoće obalnog mora

te polinomi koji za potrebe ovog primjera predstavljaju funkcije troška rada uređaja za ispušte G_i , $i = 1, 2, 3, 4, 5$.

Dijagram toka procesa kontrole prikazan je na Slici 3, a rješenje optimizacijskog modela u Tablici 2.

Na sličan način mogu se riješiti i drugi problemi. Jednom razvijeni simulacijski model omogućava trajno korištenje matrice sustava u kombinaciji s odgovarajućim upravljačkim-optimizacijskim modelima.

Tablica 2. Rješenje optimizacijskog modela

ISPUST	OPTIMALAN RASPORED STUPNJEVA PROČIŠĆAVANJA
I_1'	0.445
I_2'	0.610
I_3'	0.600
I_4'	0.850
I_5'	0.000

5. Diskusija i zaključci

Korištenjem matrice sustava simulacijskog modela dobiju se kvalitetni ulazni podaci za optimizacijski model čime se dobije kvalitetniji i pouzdaniji rezultati optimizacijskih modela odnosno upravljačkih odluka. Simulacijski model omogućava kvalitetno i cjelovito oponašanje procesa koji se odvijaju u prijemniku kao posljedica utjecaja ispuštanja s kopna. Optimizacijski modeli omogućavaju rješavanje problema u skladu s postavljenim ciljevima i ograničenjima. Kombinacijom ovih dvaju modela dobiju se kvalitetne informacije za donošenje odluka na svim razinama sustava gospodarenja kakvoćom obalnog mora. Ovakvim izravnim, odnosno unutrašnjim povezivanjem simulacije i optimizacije izbjegava se dugotrajni i nesigurni iterativni proces odvojenog korištenja simulacije i optimizacije, a izravno se postiže globalni optimum.

Literatura

1. Futagami, T., Tamai, N., Yatsuzuka, M. (1976). "FEM Coupled with LP for Water Pollution Control" ASCE - Journal of the Hydraulics Division, Vol. 102, No. HY7
2. Knezić, S. (1998). "Model gospodarenja kakvoćom obalnog mora", doktorska disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu
3. Margeta et al. (1992). "Selection of the Optimal treatment Level for the Central Treatment Plant" Vol. 1, 2 i 3, UNEP MAP/PAP, Split, Croatia
4. Margeta, J., (1984), "Coupled Optimization-Simulation Water Quality Model for Regional Water Quality Management", Mathematics and Computers in Simulation XXVI, Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland)

Autori:

Snježana Knezić i Jure Margeta, Građevinski fakultet, Matice Hrvatske 15, 21000 Split



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.03.

Suvremen pristup upravljanju vodnim resursima i kratak prikaz rezultata fizibiliti studije “Vardarska dolina”

Jordan Stavrov, Zvonimir Vukelić

SAŽETAK: Tijekom posljednja dva desetljeća dolina rijeke Vardara bila je od najvažnijeg interesa za zemlju, a kasnije i za Europsku zajednicu. Održiv razvoj vodnih resursa je od osnovnog značaja za budući stabilan razvoj zemlje. Vode u slivu rijeke Vardara prožimaju skoro sve oblasti društva, njihova učinkovita i ekonomična uporaba je preduvjet razvoja u mnogim oblastima. Održiv razvoj podrazumijeva proširivanje i održavanje postojećeg sustava ovih resursa. Pojedinačni naponi i aktivnosti za procjenu kao i integralno korištenje potencijala Vardarske doline suočili su se s nizom zapreka koje su bile ograničavajući čimbenik u razvoju ovog koridora. Sve ovo je nametnulo potrebu pripreme preliminarnog programa integralnog razvoja doline. Organizacijski problemi u spomenutim točkama rezultirali su uspostavljanjem primjerene strukture akcionerskog vida-Makedonskog konzorcija “Vardarska dolina”.

KLJUČNE RIJEČI: vodni resursi, održivi razvoj, integralni pristup, vardarska dolina

Modern acces to the water resources management and short review of the feasibility study “Vardar Valley”

SUMMARY: During the last two decades the Vardar River Valley was of primer interest for the country and later for the wider European Community. Sustainable development of water resources is an essential of a feature of a future of stable development of the country. Waters from the Vardar Basin permeates almost all sectors of society, its effecient and economical use is a precondition for development in many other sectors. Sustainable development of these water resources implies extended and maintaining water resources systems. Partial efforts and activities for evaluation and activation as well as integral utilization of the potencial of the Vardar Valley have met certain obstacles that have been a limiting factor in the development of this corridor. All this has imposed the necessity of preparation of a Preliminary Programme for integral Development of theVardar Valley. Organizational problems of the mentioned points resulted by an establishment of corresponding structure of a stocholder type-Macedonian Consortium Vardar Valley.

KEYWORDS: water resources, sustainable development, integrated approach, vardar valley

1. Uvod

Republika Makedonija u razvojnim planovima uvijek je pokazivala osobit interes za prostor Vardarske doline. Promijenjeni uvjeti u gospodarenju i mogućnostima što ih pružaju novi zakonski propisi za angažiranje kapitala mješovitog vida, demokracija društva i uvođenje tržišnog gospodarstva, stvorili su uvjete za nov pristup budućim strateškim interesima. Za razvoj prostora doline i planiranje razvoja vodnih resursa, u novije vrijeme pokazuje interes i Europska Unija budući se Vardarska dolina poklapa s europskim interesima i koridorima razvoja. U tu svrhu urađen je Program integralnog

razvoja “Vardarska dolina” prihvaćen odlukom Vlade Republike Makedonije. Za realizaciju programa formiran je Makedonski Konzorcij “Vardarska dolina”. Pored Vlade Republike Makedonije osnivačiji i članovi tog konzorcija su sva javna poduzeća i više akcionarskih društava.

Radom je prikazan jedan suvremen integralni pristup upravljanju vodnim resursima, temeljni rezultati fizibiliti studije i novo vodogospodarsko rješenje Crne rijeke. Za realizaciju ovog rješenja predložen je financijski menadžment koji će predstavljati prvu etapu projekta “Vardarska dolina”.

2. Pristup izradi fizibiliti studije

Fizibiliti studija izrađivana u tri faze koje su završene i revidirane. Glavni naglasci u studiji su sljedeći:

Suvremeni pristup primijenjem u studiji razlikuje tri temeljne aktivnosti: razvoj, planiranje i upravljanje vodnim resursima.

- a) Razvoj vodnih resursa sadrži fizičke, ekonomske, političke, sociološke, ekološke, agronomske i tehničke aspekte.
- b) Planiranje vodnih resursa je u više sektora i s više različitih ciljeva i kriterija ograničenja. Planiranje će biti učinkovito samo ako svi zainteresirani tijekom planiranja i implementacije budu involvirani u donošenje odluka.
- c) Upravljanje vodnim resursima po definiciji integrira sve funkcije i aspekte povezane s vodom. Pri tome treba imati u vidu sljedeće: sve prirodne aspekte sustava vodnih resursa (površinskih i podzemne vode i kakvoće vode), interese svih korisnika vode u svim sektorima nacionalne ekonomije (poljodjelstvo, vodopskrba, zaštita prirode, hidroenergetika, ribogojstvo, rekreacija i drugo), bitne nacionalne ciljeve ograničenja (socijalne, institucionalne, ekološke i financijske), institucionalne okvire i zainteresirane strane (lokalne, nacionalne i regionalne) i prostorne varijacije resursa i potražnju (interakciju uzvodno-nizvodno, analizu cijelog sliva i transfer između slivova).

Zapravo, dobro i jedinstveno upravljanje vodama je integralno upravljanje. Također se može zaključiti da je upravljanje jedna složena aktivnost, ili jedan spektar aktivnosti, koje, kao što je spomenuto u fizibiliti studiji, su se odvijale postupno u tri faze.

3. Prva faza

Prva faza fizibiliti studije predstavlja bazu podataka dobivenih i verificiranih od strane nadležnih državnih organa i institucija. Obavljena je i inventarizacija tehničke dokumentacije od strane javnih poduzeća i znanstvenoistraživačkih institucija. Temeljne aktivnosti u ovoj fazi su se odvijale preko sljedećih analiza: svih studija i postojećih projekata i podataka, vodnih resursa preko hidroloških podataka, seizmoloških uvjeta, ekološkog stanja glavnog vodotoka s najvećim pritokama kao što su Treska, Crna rijeka, Pčinja i Bregalnica i potreba za električnom energijom u Republici Makedoniji do 2025. godine.

U prvoj je fazi, na taj način, bilo definirano 16 višenamjenskih vodogospodarskih objekata. U tablici (1) prikazane su tehničke karakteristike analiziranih objekata.

Na slici (1) prikazan opći opis projekta integralnog rješenja “Vardarska dolina”.

Tablica 1

Karateristični tehnički podaci hidroelektrana u slivu rijeke Vardara							
R.br.	Hidroelektrana						
	r.Vardar	Qi (m ³ /s)	Qs (m ³ /s)	H (m)	P (MW)	W (GWh)	Korisna ak. 10 ⁶ m ³
1.	Veles	3x65	86.3	59.0	93.00	300.60	64
2.	Babuna	2x120	91.2	8.5	17.34	56.90	/
3.	Zgropolci	2x120	91.2	8.5	16.93	55.50	/
4.	Gradsko	2x120	112.4	8.3	16.93	66.60	/
5.	Kukurečani	2x120	147.6	8.3	16.93	79.50	/
6.	Krivolak	2x120	148.9	8.3	16.93	80.00	/
7.	Dubrovo	2x120	149.6	8.3	16.93	80.20	/
8.	Demir Kapija	2x120	150.5	12.0	24.48	116.40	/
9.	Gradec	2x120	152.7	33.0	54.60	247.00	43
10.	Miletkovo	2x120	157.2	8.2	16.72	80.30	/
11.	Gavato	2x120	161.8	8.2	16.72	83.20	/
12.	Gevgelija	2x120	164.4	8.3	16.93	85.10	/
	Ukupno:				319.84	1331.30	107
	r.Treska	Qi (m ³ /s)	Qs (m ³ /s)	H (m)	P (MW)	W (GWh)	Korisna ak. 10 ⁶ m ³
13.	Kozjak	2x50	22.70	114	82.50	158.00	260
14.	Matka II	2x50	26.40	49	33.2	51.00	10
	Ukupno:				133	209.00	270
	r.Crna Rijeka	Qi (m ³ /s)	Qs (m ³ /s)	H (m)	P (MW)	W (GWh)	Korisna ak. 10 ⁶ m ³
15.	Čebren	3x60	27.70	180	253.8	265.1	690
16.	Galište	3x60	30.70	138.0	139.5	195.4	256
	Ukupno:				450.0	460.5	946
	SVEUKUPNO:				900.87	2000.8	1323

4. Druga faza

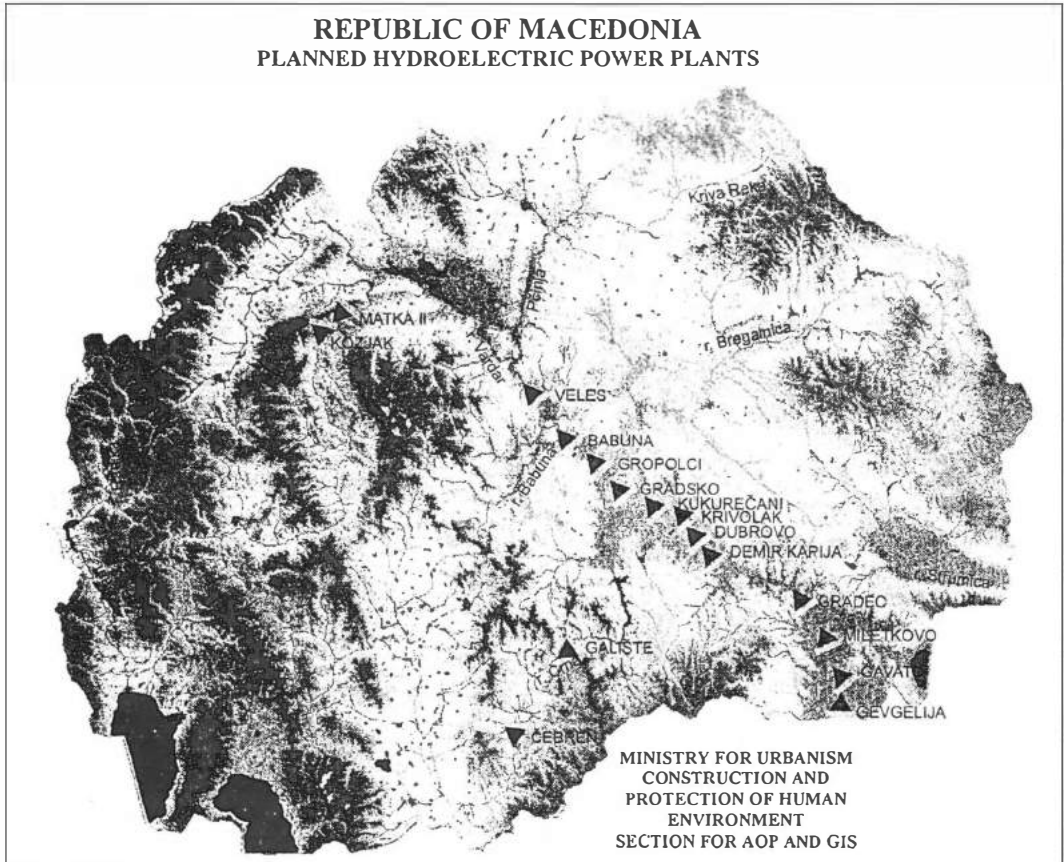
Spomenuta fizibiliti studija, suglasno svjetskim normama, u tehničko-ekonomskim kriterijima, stavlja na prvo mjesto vodu za komunalne potrebe, na drugo za navodnjavanje i proizvodnju hrane, na treće industrijske potrebe, na četvrto za ekološku zaštitu i na peto mjesto za energetske potrebe. Takav pristup je nametnuo potrebu izrade posebnog hidrauličkog modela optimalnog korištenja i upravljanja vodama u slivu rijeke Vardara.

4.1 Ekonomsko-energetska studija

Ključni podaci i parametri su dobiveni i potvrđeni od Elektrostopanstva Republike Makedonije i to za:

- predviđanje cijena goriva-energenata za 1 kWh (čvrstog goriva-lignita, naftnih proizvoda, prirodnog plina i hidroenergije),
- opis postojećih proizvodnih kapaciteta (termocentrala i hidroelektrana),

- opis mogućih načina proizvodnje u budućnosti (hidroenergetskih objekata, vodosposodarskih objekata-dobivenih od Zavoda za vodostopanstvo Republike Makedonije, termo objekata, godišnjih fiksnih dažbina (troškova) za održavanje i korištenje, cijene električne energije-0,04 USD/kWh i cijene sirove vode-0,01 USD/m³.



Slika 1.

Za proračun je korišten softverski program LOGOS od EDF-a (Francuska).

Globalni zaključak je da za razvoj proizvodnog sustava elektrogospodarstva Republike Makedonije, odnosno bazne proizvodnje, treba dobiti energiju iz termoelektrana na čvrsto gorivo. Vršnu energiju treba dobiti iz termoelektrana na mazut ili plin koje se mogu koristiti kao kombinirani sustavi. Akumulacije treba koristiti kao višenamjenske objekte za navodnjavanje i proizvodnju električne energije u vrhovima suglasno hidrološkim značajkama vodotoka, topografskim elementima profila i visinama brana i u ovisnosti o primjereno dimenzioniranoj opremi.

4.2 Studija potrebe za vodom i zaštite izvora vode

Studija raspolaže potrebnim značajkama vodotoka i akumulacija. Također i kapacitetima korištenja za vodoopskrbu i industrijske potrebe. Obradeno je komunalno i industrijsko onečišćenje i gradnja uređaja za pročišćavanje vode. Urađen je Glavni projekt zaštite od onečišćenja i procjena troškova u cilju postizanja zadovoljavajućih životnih uvjeta vodnog svijeta, flore i faune, zaštite zdravlja čovjeka, borbe protu eutrofikacije rijeka i jezera, usporedivosti kakvoće vode u vodnim tokovima s vodom u budućim akumulacijama, mjera i zaštite od industrijskog onečišćenja, osiguranja investicija i korištenja budućih uređaja za pročišćavanje, mogućih mehanizama za financiranje, financijskog upravljanja slivom i organiziranja planiranog sustava.

Studija sadrži više od 85.000 podataka koji se koriste za planiranje glavnih i sporednih vodogospodarskih objekata, pročišćavanje komunalnih i industrijskih onečišćenih voda, za izradu sustava za količinsko upravljanje izvorima vode i ekonomsku opravdanost vodogospodarskih objekata. Za sve ovo postoji informatički model vida NOPOLU koji osigurava verifikaciju podataka i njihovo korištenje, jednostavne metode za tumačenje i korištenje grafičkih i kartografskih sintetičkih modela.

4.3 Ekspertiza varijantnih rješenja za izmještanje željezničke pruge

Za potrebe ovog dijela studije obavljena je dopunska ekspertiza za izmještanje željezničke pruge na potezu Skopje-Veles (postoji više varijanata) i Demir Kapija-Miravci. Ekspertizom su potvrđena tehnička rješenja i utjecaj izmještanja na rentabilnost odgovarajućih objekata u dolini rijeke Vardara, te predloženo optimalno rješenje.

4.4 Optimizacija i dinamika realizacije

Ovaj dio pored ostalog sadrži model koji predstavlja cijelokupnost slivnog područja sastavljen od skupa čvorova, već izgrađenih hidrosustava i budućih hidroenergetskih sustava i sustava za navodnjavanje (16 hidroenergetskih i 40 melioracijskih sustava). Tako definirani čvorovi su međusobno povezani i može se simulirati funkcioniranje integralnog vodogospodarskog sustava. Sliv rijeke je u modelu podijeljen na deset zona, tj. rijeka Vardar s najvećim pritokama.

Dinamički model vodne bilance simulira upravljanje izvorima vode u danom razdoblju koje može biti više godina i svaki mjesec posebno. Ocjenjuje se zadovoljavanje različitih potreba za vodom za svaku potrošačku zonu. Pri tome se poštuju kriteriji dopuštenih protoka i razina vodogospodarskih objekata.

Za ispuštanje najmanjih protoka u modelu se koriste kriteriji koji vrijede u Francuskoj. Posebno je naglašen najmanji protok na dijelu između Makedonije i Grčke. Ovaj protok u studiji je 10% srednjeg godišnjeg protoka na vodomjernom profilu Gevgelija i iznosi od 15 do 17 m³/s. Istodobno je i biološki minimum.

Optimizacijom i simulacijom dobivene su vrijednosti instaliranih protoka (Q_i), dane u tablici (2).

Optimizacijski model pokazuje da su mnogi objekti predimenzionirani svojim prvotnim projektima (tablica 2) posebice Kozjak, Matka, Čebren i Galište. To znači da treba obaviti povratnu iteraciju (feed-back), tj. povratak na ponovnu optimizaciju s novim ulaznim podacima. Ovakvo ciklično planiranje se ponavlja više puta čime se povećava razina točnosti svih parametara spomenutih objekata.

Tablica 2. Vrijednosti instaliranih protoka u slivu rijeke Vardara (Q_i) u m^3/s

Rijeka	Vodogospodarski objekt	Projektirane vrijednosti Q_i (m^3/s)	Vodogospodarska osnova Q_i (m^3/s)	Fizibiliti studija Q_i (m^3/s)
Treska	Kozjak	100	60	50
"	Matka 2	100	60	50
Crna rijeka	Čebren	180	90	100
"	Galište	180	120	100
Vardar	Veles	195	130	195
"	Gradec	240	240	290

5. Treća faza

Suglasno preporukama Revidentnog povjerenstva i mišljenja izvršitelja studije, predloženi su, pored Tikveša kao postojećeg objekta, sljedeći objekti na Crnoj rijeci: Čebren, Galište i Skočivir. Razlozi su sljedeći: ekološka studija je pokazala da vode Crne rijeke imaju zadovoljavajuću kakvoću i da se mogu poduzeti relativno mali zahvati za zaštitu kakvoće vode, neće se potopiti obradivo zemljište i neće doći do iseljavanja stanovništva i obuhvaćaju se velike površine za navodnjavanje visoke zone Pelagonije i Povardarja do granice sa Grčkom, uz istodobno korištenje značajnih energetske potencijala.

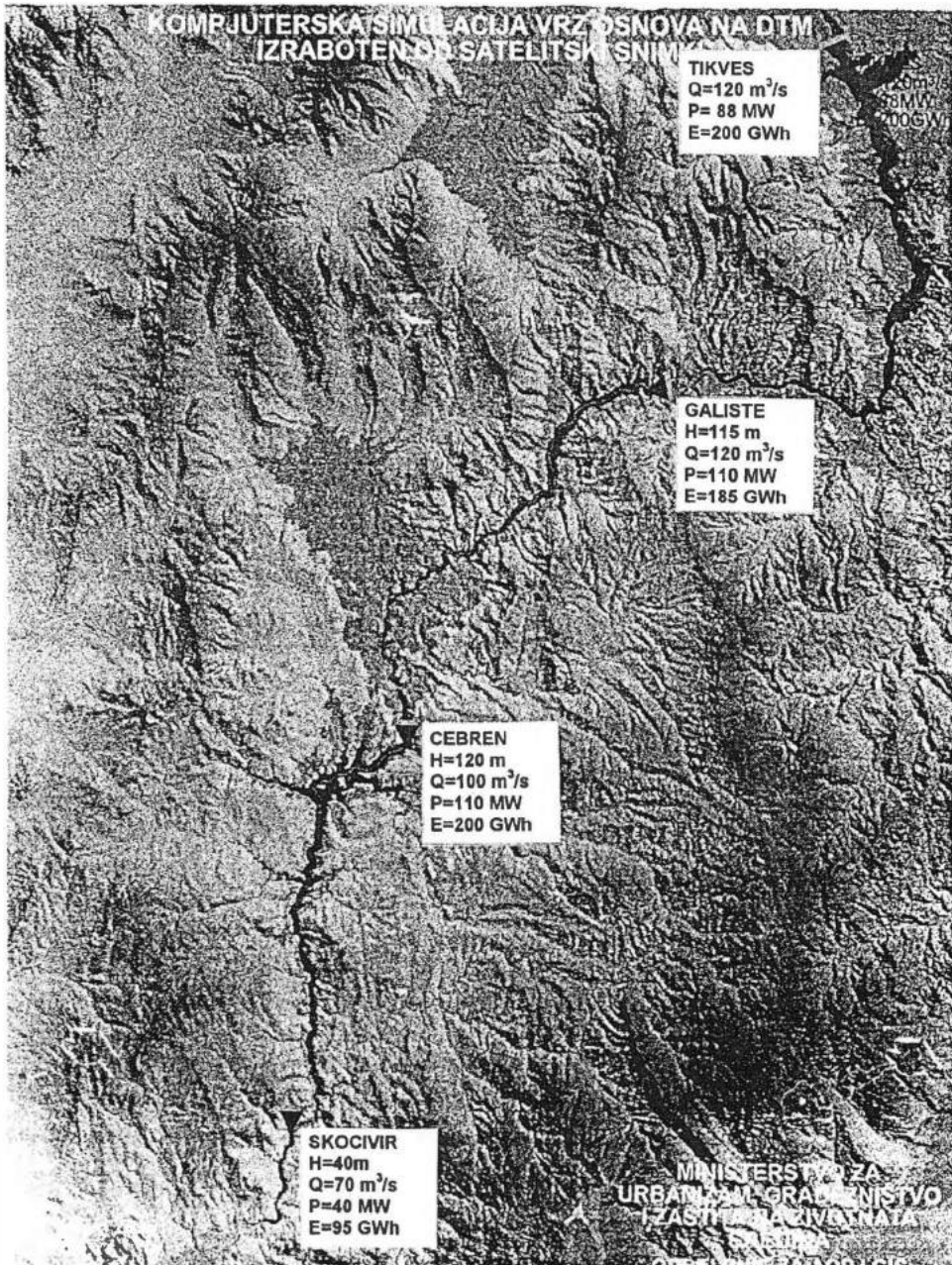
Cilj je iznaći optimalno rješenje za ove objekte i istodobno ne odstupiti od parametara u vodogospodarskoj osnovi i prethodne studije izrađene od strane MIT-a (Massachusetts

Tablica 3. Uređenje sliva Crne rijeke-značajke vodogospodarskih objekata

	Edinica	SKOČIVIR	ČEBREN	GALIŠTE	TIKVEŠ	UKUPNO
Kota najviše razine akumulacije	m u.m.	571	500	365	268.5	
Kota eksploatac. razine akumulacije	m u.m.	565	500	365	265	
Najniža kota	m u.m.	562.5	475	340		
Kota ispusta	m u.m.	495	375	263.3	165	
Kota terena	m u.m.				165	
Kota temelja	m u.m.	535	380	250	157	
Površina sliva	km^2	4500	4536	5030	5361	
Međugodišnji modul Q_s	m^3/s	25.71	29.27	32.59	34.75	
Prosječni godišnji dotjecaji (navodnjav.)	$M m^3$	811	924	1028	1097	
Najmanji godišnji dotjecaji (energija)	$M m^3$	727	824	879		
Korisni obujam	$M m^3$	5	135	60	333	528
Ukupni obujam	$M m^3$	6.5	260	175	475	916,5
Protok za dimenzioniranje	m^3/s	70	100	120	120	
Instalirana snaga	MW	40	110	110	88	350
Godišnja moguća proizvodnja	GWh	95	200	185	200	680
Trajanje korištenja	h	2400	1800	1700	1700	
Investicije	M US\$	59.5	133	157.5		350
Fiksni eksploatacijski troškovi	1.5% od inv. vrij.	0.89	2.00	2.36	1.50	6.75

Institute of Technology, USA). Obavljena je dopunska optimizacija i predložena nova koncepcija. Urađena je proširena fizibiliti studija koja dokazuje potpunu rentabilnost i dana je primjerena financijska konstrukcija za više varijanata predloženog sustava. Uređenje sliva Crne rijeke prema rezultatima dinamičkog modela je prikazano u tablici (3) i na slici (2).

MAP OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS FROM THE FIRST
PHASE OF REALIZATION
CRNA REKA SUBSYSTEM



Slika 2.

Usporedbom temeljnih tehničkih značajki prve faze (inicijalni projekt-tablica (1)) i druge faze (tablica (3)), može se uočiti znatna razlika. To ukazuje na činjenicu da se optimizacijom u drugoj fazi značajno smanjuju dimenzije brana Galište i Čebren, a predviđa se i nova brana Skočivir.

5.1 Tehnički aspekti sustava rijeka

Pristup novom prijedlogu se temelji na nakoliko premisa. Predlaže se realan koncept s realnim parametrima objekata, posebice glede smanjivanja investicijskih troškova. Na koncu, dobiva se ekonomska opravdanost realizacije projekta. Pri tome su uzeti u obzir i ekološki čimbenici za zaštitu životne sredine. Ukupna cijena Gališta, Čebrena i Skočivira treba biti oko $350 \cdot 10^6$ USD, ili $323 \cdot 10^6$ USD bez povezivanja u energetska mrežu. To je velika ušteda u odnosu na raniji prijedlog-samo za Čebren treba predvidjeti oko $336 \cdot 10^6$ USD.

5.2 Ekonomsko-financijski aspekti sustava Crna rijeka

U slučaju da se gradi samo hidroelektrana Čebren, prema prvotnom prijedlogu, interna stopa rentabilnosti bila bi 4,50%, nedostatna za prihvaćanje realizacije (pri procijenjenoj diskontnoj stopi od 7%), iako predstavlja poboljšanje-od ranijih 0,80% na 4,50%.

U slučaju gradnje Čebrena i Skočivira, interna stopa rentabilnosti bila bi 4,30%. Ako će se graditi Čebren, Skočivir i Galište stopa može biti samo 2,70%. Hidroelektrane Čebren, Skočivir i Galište, zajedno s postojećom hidroelektranom Tikveš, mogu imati stopu od 10,70% što će dati zadovoljavajuću rentabilnost i opravdati ulaganja u te objekte. Time se jasno ukazuje da hidroelektrana Tikveš ne samo što je dio cijelog sustava, nego da njezinim uključivanjem integralni projekt postaje ekonomsko-financijski izvodljiv i rentabilan. To znači da će biti interesantan za strane investitore što je i jedan od ispunjenja ciljeva fizibiliti studije.

6. Zaključak

Rezultati fizibiliti studije "Vardarska dolina" pokazuje da je upravljanje vodnim resursima mnoštvo tehničkih, institucionalnih i financijskih aktivnosti, te da pri suvremenom pristupu problematici treba koristiti ciklično planiranje i afirmirane softvere za proučavanje i korištenje vodnih resursa. Na takav način može se omogućiti optimizacija sustava određenom simulacijom pojedinih objekata. U prvoj etapi, u slivu Crne rijeke predloženo je novo rješenje kojim se smanjuju dimenzije hidroelektrane Čebren, a uvodi hidroelektrana Skočivir. U tom slučaju u tom slivu postajat će četiri hidroelektrane: Tikveš (postojeća), Galište, Čebren i Skočivir. U drugoj etapi trebalo bi pristupiti gradnji hidroelektrana u slivu rijeke Treske: Matka I je izgrađena, Kozjak je u gradnji i Matke II. Realizacija treće etape u sadašnjim uvjetima nije opravdana zbog velikih investicijskih troškova za zaštitu vodotoka od onečišćenja i djelomično izmještanje željezničke pruge.

Literatura

1. Long-term plan for development of railway transportation up to 2000.
2. Study of the Justification for Upgrading of the main road Tabanovci-Skopje-Gevgelija into highway, prepared by ITH-Zagreb, 1985.

3. Middle-term plan for development of PTT communications in the Republic of Macedonia for the period 1991-1995.
4. Review of development of energetics in Macedonia up to 2000.
5. Study for development of energetics in Macedonia up to 2000.
6. Study of hydroenergetics exploitation of Vardar River prepared by HEP and Civil Engineering Faculty, Skopje, 1989.
7. Integral Development of Vardar River prepared by MIT Cambridge, 1979.
8. Study of the Danube-Aegean Sea waterway.
9. Feasibility study of irrigation of Macedonia, 1975.
10. Basis of the Vardar Valley, 1955-1976.
11. Map of erosions in Macedonia, 1989.
12. Study of the utilization of Vardar River.
13. Study for protection of waters of Vardar River with tributaries against pollution, prepared by the Institute for Construction of Macedonia, 1992.
14. Programme for integral development of the Vardar Valley, prepared by Macedonian Consortium Vardarska Dolina, Skopje, 1994.
15. J. Jordaan, E.J. Plate, E. Prins and J. Veltrop: Water in Our Common Future, UNESCO, Paris, 1994.
16. Z. Vukelić, M. Vukelić: Sustainable development of water resources and risks from the bed influence of waters, the 3 rd Symposium "Water Economics in the Republic of Macedonia", Proceedings 239-248, 1996.
17. Z. Vukelić, J. Stavrov: Aspects of integral development of the Vardar Valley-Budapest, International Conference on European River Development (ICERD), Proceedings 47-52, 1998.
18. Etude de l'aménagement intégré de la Vallée du Vardar-Lyon, Compagnie Nationale du Rhône, 1998.

Autori:

Jordan Stavrov, dipl. građ. inž., Makedonski konzorcij "Vardarska dolina", Skopje, Makedonija

Prof. dr. sc. Zvonimir Vukelić, dipl. građ. inž., Građevinski fakultet Sveučilišta "Sveti Kiril i Metodij" u Skopju, Makedonija

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.04.

Plan integralnog upravljanja jadranskim slivom Bosne i Hercegovine

Tarik Kupusović, Esena Kupusović, Sanda Midžić,

SAŽETAK: Jadranski sliv BiH obuhvata prostor izgrađen od karstnih stijena specifične hidrologije i hidrodinamike, koje omogućavaju da se sva zagađenja nastala na ovom prostoru transportiraju kroz pukotine karstnih stijena direktno do hrvatske obale Jadranskog mora. Direktni utjecaj na kvalitet Jadranskog mora imaju i rijeka Neretva i priobalni dio BiH. Negativni okolinski efekti koji nastaju na ovom prostoru nikada nisu u potpunosti definirani i vrednovani. Postojeća strategija planiranja ovog prostora ne integrira sve komponente planiranja i upravljanja bitne za očuvanje prirodne ravnoteže i istovremeno njegova gospodarskog razvitka. Kako bi se u budućnosti izbjegle nepromišljene akcije na ovom prostoru koje bi mogle prouzročiti katastrofalne posljedice po prirodnu ravnotežu samog sliva, kao i hrvatskog priobalja, to je neophodno izraditi plan integralnog upravljanja Jadranskim slivom BiH. Plan treba razmotriti tehnički, institucionalni, te socio-ekonomski aspekt zaštite ovog prostora. Osnovni cilj je upravljanje i zaštita prirodne i kulturne baštine u kontekstu višeznačnih održivih ciljeva. To podrazumjeva sintezu zaštite biološke raznolikosti sa prisutnim rastom populacije, urbanog i gospodarskog razvoja, posebno razvoja turizma. Planom treba razviti strategiju i metodologiju upravljanja i dati smjernice za promjene u postojećem institucionalnom i zakonodavnom sistemu, kako bi se osigurao održivi razvoj područja. U ovom radu se prezentira koncept plana integralnog upravljanja Jadranskim slivom BiH, te ciljevi i očekivani rezultati.

KLJUČNE RIJEČI: integralno upravljanje obalnim područjem-IUOP, održivi razvoj, okoliš

Bosnia and Herzegovina Adriatic Catchment Area Integrated Management Plan

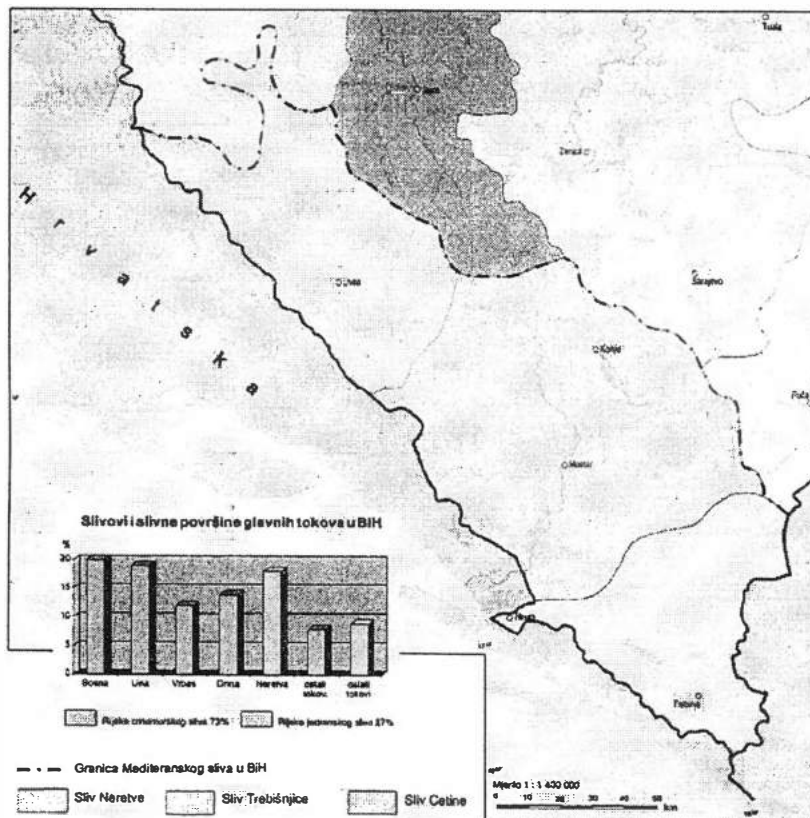
SUMMARY: The Adriatic catchment of Bosnia and Herzegovina encompasses the region built up of karst rock with specific hydrology and hydrodynamics enabling all pollution generated in the area to be transported through the joints in karst rocks directly onto the Croatian coast of the Adriatic Sea. The Adriatic Sea quality is directly affected by the Neretva River and the coastal belt of Bosnia and Herzegovina. Adverse environmental effects have never been fully defined and evaluated for this area. The current land use planning strategy does not integrate all the planning and management components essential for conservation of natural balance and economic development. In order to prevent undertaking of unwise activities in this area in the future, which might have disastrous consequences on the natural balance of the catchment area and the Croatian coastal area, it is necessary to develop a plan for integrated management of the Adriatic catchment area in Bosnia and Herzegovina. The plan shall consider technical, institutional and socio-economic aspects of the subject area protection. The essential objective is management and protection of natural and cultural heritage within a context of exhaustive sustainability targets. This means synthesis of protection of biodiversity while assuming increase in population, urban and economic

development, and particularly development of tourism. The plan shall develop strategy and methodology of management and render guidelines for modifications in the existing institutional and legislative framework in order to ensure sustainable development in the area. The present paper presents a concept of an integrated management plan for the Bosnia and Herzegovina Adriatic catchment area, its objectives and expected results.

KEY WORDS: integrated management of coastal area, sustainable development, environment

1. Uvod

Slivno područje Jadranskog mora obuhvata 13.000 km² ili 27% teritorija Bosne i Hercegovine. Granice slivnog područja su slivovi rijeka Cetine, Neretve i Trebišnjice (Sl.1). Bosansko-Hercegovačka obala duga je oko 25 km i obuhvata poluotok Klek, zaljev Neum-Klek sa prirodnom lukom Neum, akvatorij zaljeva Neum-Klek i obalni akvatorij kanala Mali Ston. Međusobni odnosi između obalnih resursa prirodno su vrlo jaki. Planinski obalni pojas često ima dominirajući utjecaj na more na samo nekoliko kilometara udaljenosti. Osnovu područja čine krečnjačke stijene sa specifičnom hidrologijom i hidrodinamičkim procesima. Cirkulacija površinskih i posebice podzemnih voda veoma je brza i koncentrirana je uzduž sistema podzemnih tokova. Auto-purifikacija je zanemarljiva, zbog veoma kratkog perioda zadržavanja vode u podzemlju.



Slika 1. Mediteransko područje Bosne i Hercegovine

Administrativno, BiH obalno područje dio je općine Neum koja pripada Hercegovačko-neretvanskoj županiji Federacije BiH. Bosanskohercegovačka obala presjeca hrvatsku obalu Jadranskog mora na dva dijela, stoga problem ne može biti razmatran odvojeno. Plan treba rezultirati procjenom međusobnih utjecaja BiH i hrvatskog obalnog područja, sa odgovarajućim upravljačkim mjerama za BiH obalno područje koje te utjecaje stavljaju pod kontrolu.

Prethodne aktivnosti na planiranju ovog prostora bile su u skladu sa trendom aktualnim sedamdesetih godina. Problem je obrađen u "Regionalnom planu za područje južnog jadrana SFR Jugoslavije", i kroz "Generalni urbanistički plan SR BiH (1981-2000)". Plan je bio fokusiran samo na urbani aspekt problema. Prirodna ravnoteža, ekonomski razvoj usklađen sa ravnotežom okoliša u potpunosti je zanemaren. Plan je pripremljen ranih devedesetih, ali nikada nije usvojen zbog neregularnog funkcioniranja odgovornih institucija neposredno prije i poslije rata. Osiromašenje društva može biti uzrok nepromišljenim investicijama za urgentno poboljšanje ekonomske situacije. To može prouzročiti degradaciju okoliša, pa takvi programi ne mogu dobiti epitet održivih. S toga, treba reagirati preventivno kreiranjem i usvajanjem novog, akciono orjentiranog upravljačkog procesa sa ciljem postizanja održivog razvoja obalnih područja.

2. Problematika

2.1 Procjena stanja okoliša

Intenzivni urbani razvoj BiH mediteranskog područja bio je u skladu sa ekspanzijom privrede sedamdesetih. Prisutan pozitivni ekonomski rast imao je često negativne posljedice za okoliš. U slivnom području rijeke Neretve smješteni su: industrija hrane, drvna industrija, metalna i aluminijska, itd. Industrijske otpadne vode ispuštaju se u vodotok bez ikakvog predtretmana. Utjecaj rijeke Trebišnjice znatno je manji jer su i industrijski kapaciteti grada Trebinja manji, a otpadne vode se tretiraju u postrojenju. U ljetnim mjesecima broj stanovnika u obalnim područjima umnožava se nekoliko puta, što mora ostaviti posljedice na tako osjetljivi ekološki sistem. Poljoprivredne aktivnosti i ribarstvo, kao i uzgoj morskih organizama nisu planirani, pa je time i njihov utjecaj na okoliš nepoznat. Objekti infrastrukture, stalna i turistička naselja izgrađena u ovom području degradirali su prirodne vrijednosti prostora. Neki dijelovi prirode izloženi su negativnim utjecajima, kao što je nelegalna izgradnja kuća i ekspanzija gradilišta, otpadnih voda, poljoprivrede, sječa i spaljivanje vegetacije, itd. Otpadne vode se ispuštaju direktno u more, jer projektirano postrojenje nije nikada izgrađeno.

2.2 Institucionalni i zakonodavni aspekt problema

Ekonomski i socijalni stresovi svakako nisu dobro okruženje u kojem bi donosioci zakona mogli problemu planiranja i upravljanja obalnim područjima, te okolišem uopće dati dugoročni prioritet. Činjenica je da BiH nije na pravi način vrednovala problem okoliša u svom zakonodavnom i institucionalnom sistemu. Bosna i Hercegovina je u ovom momentu potpuno politički i administrativno decentralizirana. U postojećem administrativnom i zakonodavnom sistemu, sektor okoliša je u nadležnosti entiteta tj. Federacije BiH i Republike Srpske. Pravno gledajući, ne postoji državni zakon po kojem bi se rukovodili u procesu upravljanja okolišem, pa tako ni obalnim područjem. U

federaciji opet, ove nadležnosti djelomično pripadaju i županijskom nivou, pa tako svaka županija treba usvojiti svoj zakon o okolišu. Ovaj sistem posljedica je ustavnog uređenja koji proizilazi iz Dayton-skog sporazma i koji najveće ovlasti daje županijama. Trenutačno, u Federaciji je okoliš dio sektora za prostorno uređenje tj. Federalnog ministarstva prostornog uređenja i okoliša. Zakon problematiku upravljanja obalnim područjima tretira kroz jedno poglavlje Zakona o prostornom uređenju. Zakoni koji su sada na snazi preuzeti su od bivše SFR Jugoslavije i bivše SR BiH i u potpunoj su suprotnosti s realnim političkim stanjem u regionu. Bosna i Hercegovina prije donošenja vlastitih zakona u oblasti planiranja i upravljanja obalnim područjima treba svakako potpisati sve međunarodne konvencije koje se tiču Mediterana, a najprije Barcelonsku konvenciju i njezine Protokole. Potpisivanjem ovih konvencija i protokola, donosiocima zakona zadaju se smjernice i pravni okvir djelovanja i time onemogućavaju apsurdne različitosti u zakonima različitog nivoa u horizontalnom i vertikalnom smislu.

3 Upravljanje jadranskim slivom BiH po načelima integralnog upravljanja obalnim područjima (IUOP)

3.1. Ciljevi

Plan izučava tehnički, institucionalni i socio-ekonomski aspekt zaštite BiH obalnog područja. Plan rezultira prijedlogom odgovornim institucijama za praktičnu strategiju, tehničku metodologiju i fleksibilni pristup postojećim institucionalnim aranžmanima, te mjerama zaštite i odgovarajućim upravljačkim mjerama. Ocjena postojećih razvojnih planova sa aspekta zaštite okoliša i održivog razvoja, treba biti uključena. To podrazumijeva kritičku procjenu vrijednosti njihovih ekonomskih efekata na društvo i okoliš.

Namjera predloženog plana integralnog upravljanja BiH obalnim područjem je da se kreira operacioni instrument za zaštitu prirodne i kulturne baštine. Cilj plana je da obezbijedi vodič za one koje donose odluke o zaštiti vitalno važnih i nezamjenljivih eko-sistema i kulturne baštine, na državnom, županijskom i općinskom nivou. Odluke koje se donose moraju doprinjeti realizaciji okolišno i ekonomski održivog razvoja za dobrobit lokalnog stanovništva.

Primarni ciljevi plana integralnog upravljanja BiH obalnim područjem su:

1. Upravlјati i zaštititi prirodna bogatstva i kulturno nasljeđe u konetektstu održivih višeznačnih ciljeva
2. Kreirati institucionalni, zakonodavni i finansijski okvir rada koji treba da omogući izradu projekta i uspješnu implementaciju.

3.2. Koncept plana

DIO I

Treba da sadrži osnovne informacije o prirodnim, kulturnim i drugim relevantnim karakteristikama obalnog područja BiH, procjenu stanja okoliša, kao i procjenu stanja u zakonodavstvu i institucionalnom sistemu. Složena ekonomska struktura obalnih područja, njihov jedinstveni i osjetljivi okoliš, za uspješno upravljanje zahtijevaju posebne administrativne i finansijske strukture, kao što su odgovarajući zakonodavni

okvir, finansijski mehanizam i političke instrumente. Jedan od najčešćih ograničenja za uspješnu primjenu IUOP-a je nepostojanje odgovarajućeg zakonskog okvira i nedovoljan broj uposlenih sa odgovarajućom naobrazbom.

1. Uvodne informacije:

- 1.1 Prirodne i kulturne karakteristike BiH obalnog područja;
- 1.2 Međusobni odnosi između BiH obalnih resursa, korišćenje i uzajamni utjecaji razvoja na ekonomiju i okoliš. Ovi međusobni odnosi trebaju biti shvaćeni ne samo u fizičkom i okolinskom smislu, nego i ekonomskom koji je podjednako važan za planiranje;
- 1.3 Ocjena prethodnih razvojnih planova sa aspekta zaštite okoliša i njihovih ekonomskih efekata na društvo i okoliš, sa naglaskom na one koji su dobro definirani.

2. Procjena stanja obalnog sistema:

- 2.1 Definicija granica posmatranog područja;
- 2.2 Definicija hot-spot baze podataka;
- 2.3 Zone osjetljivosti;
- 2.4 Karakterizacija značajnih staništa, bioloških vrsta i zajednica, živih i neživih resursa i njihovih međusobnih odnosa;
- 2.5 Procjena kratkoročnih i dugoročnih implikacija lokalnih promjena stanja okoliša na okoliš i društvo uopće;
- 2.6 Identifikacija posebnih pod-područja i stanja koje predstavljaju prioritete.

3. Procjena zakonodavnog i institucionalnog sistema:

- 3.1 Uloga i odgovornosti institucija prema skupinama problema koje razmatra plan;
- 3.2 Procjena sposobnosti, kapaciteta i kredibiliteta institucija za skupine problema koje razmatra plan;
- 3.3 Identifikacija postojećeg zakonodavstva za pojedina područja koje razmatra plan.

DIO II

U ovom dijelu definirale bi se upravljačke akcije kao i preporuke za neposrednu akciju. Uspješno upravljanje i proces zaštite u ovom području uključuje sljedeće ciljeve: očuvanje biološke raznolikosti ekosistema obalnih područja, obnova i održivo upravljanje resursima, te poticanje sukladnih aktivnosti a ne onih koje isključuju jedna drugu.

4. Regionalno planiranje:

Aspekti regionalnog planiranja koji će biti razmotreni po principima i smjernicama unutar sektorskih politika u kontekstu IUOP-a su sljedeći:

- 4.1 *Razvoj naseljenih područja*- urbani razvoj treba uskladiti sa kapacitetom infrastrukture, korišćenje koje nadilazi prihvatni kapacitet postojećih sistema ne smije se dopustiti. Slobodne prostore treba riješiti tako da odjeljuju gradska središta i pridonose zaštiti prirodnih i pejzažnih vrijednosti obalnih resursa. Gradnja uzduž obale treba bi biti zabranjena kako bi se poštivali prirodni obalni dinamički procesi.
- 4.2 *Korišćenje zemlje i mora*-poljoprivredna područja na obali ne trebaju biti samo izvorom hrane i zapošljavanja, već bi trebala postati sastavnim dijelom uređenja pejzaža i zelenih tampon zona koje odjeljuju gradske cjeline i služe kao prepreka neprekinutom lancu izgradnje uz obalu. Ribarstvo treba kontrolirati kako bi se

zaštitio riblji fond i morski rezervati. Područje za razvitak marikulture treba odabrati vodeći računa o ostalim djelatnostima na obali, te o postojećem ili mogućem ispuštanju otpadne vode u more.

- 4.3 *Industrija*- smještaj i rad industrijskih pogona treba kontrolirati, kako bi se spriječili njihovi negativni utjecaji na turizam i prirodne resurse, a sami pogoni trebaju poduzeti mjere za sprječavanje ili smanjenje zagađenja vode, zemljišta i zraka, te smanjenje buke,
 - 4.4 *Turizam*- turizam treba integrirati u politike razvitka i zaštitu prirode na način da se dio dobiti koju ostvaruje uloži u zaštitu i poboljšanje okoliša koji privlači posjetitelje.
5. *Upravljanje okolišem*:
 - 5.1 Generalni program za upravljanje otpadom;
 - 5.2 Generalni program za upravljanje vodom i potrebama za vodom;
 - 5.3 Generalni program za prikupljanje otpadnih voda;
 - 5.4 Plan upravljanja rizicima od požara;
 - 5.5 Istraživanje i monitoring stanja okoliša;
 - 5.6 Program za ekološko obrazovanje.
 6. *Preporuke za neposrednu akciju*:
 - 6.1 Prioriteti za implementaciju;
 - 6.2 Ekonomski instrumenti za upravljanje obalnim područjem;
 - 6.3 Institucijske i zakonodavne promjene.

4. Strategija izrade plana

Posebna politička situacija u BiH zahtijeva izuzetno pažljivu organizaciju rada na izradi ovoga plana. Posebno se mora voditi računa o razlikama koje postoje između interesa naroda koji žive na ovom prostoru. Donošenje odluka u bilo kojem sektoru djelovanja je proces koji se usporava ili potpuno opstruira jer se nacionalni interes uvijek stavlja ispred interesa globalnog okruženja u kojem ti narodi žive. Poseban program za jačanje svijesti učesnika u procesu izrade plana svakako je prioritetni zadatak. Ovaj program ima za cilj da pokaže da je kvalitet globalnog okruženja primarni interes svake nacije, te da je puni doprinos u izradi zakonskih i institucionalnih okvira na svim nivoima, kao i samog plana, njihov nacionalni interes.

U cilju učinkovitijeg rada na izradi plana treba ustanoviti zasebno administrativno tijelo. Činili bi ga predstavnici odgovornih sektorskih institucija sa federalnog, županijskog i općinskog nivoa. Uloga tijela bi bila podrška procesu izrade plana te puni doprinos u izradi u usvajanju projektnih rješenja (Sl. 2). Svi potrebni kontakti i pristup informacijama bi se ostvarivali uz njegovu podršku. Koordinacioni odbor za okoliš već je uspostavljen na nivou Vlada Federacije BiH i Republike Srpske i treba biti uključen u proces izrade plana. Iskustvo koje bi se steklo u radu oba ova tijela na izradi ovog plana svakako je dobar osnov za uspostavu buduće politike upravljanja za okolišem.

Proces identifikacije spornih pitanja i pripremu plana treba provesti u dvije faze za oba dijela (*DIO I* i *DIO II* plana). Prva faza predstavlja rad na izradi koncepta rješenja koje daju multidisciplinarni timovi stručnjaka organizirani u dvije radne skupine:

Tim 1- Procjena stanja obalnih ekosistema,

Tim 2- Procjena institucionalnog, zakonodavnog i finansijskog sistema.

Timove trebaju sačinjavati eminentni stručnjaci koji imaju reference iz oblasti planiranja i upravljanja obalnim područjima, te reference iz oblasti zaštite okoliša i biološke raznolikosti obalnih područja. Stručnu podršku timu BiH trebaju dati stručnjaci iz Hrvatske, čiji je stručni i naučni rad vezan za ovo područje, kao i stručnjaci iz Slovenije, koji su učestvovali u izradi plana integralnog upravljanja obalnim područjem Slovenije. Između faza unutar svakog dijela treba organizirati radionice koji imaju za cilj da suoče sve interesne skupine i uključe ih u proces rješavanja konfliktnih pitanja. Konflikti u obalnim područjima stvaraju se između vlasti na svim razinama ili između pojedinačnih korisnika obalnih resursa i obalnog stanovništva, kao i između korisničkih aktivnosti. Razumno rješenje ovih sukoba jedan je od najvažnijih ciljeva svakog upravljanja obalnim područjima. Učesnici radionica trebaju zastupati sve interesne skupine, kao što su predstavnici federalnih, županijskih i općinskih sektorskih institucija, građanskih udruženja, privatnog sektora, sindikata, ne-vladinih organizacija, religioznih skupina, itd. Cilj radionice koja se treba organizirati između faza unutar dijela I, je da se definiraju problemi koji će biti razmatrani u dijelu I plana, a radionica unutar faza dijela II, definiranje i usvajanje upravljačkih akcija. Druga faza je konačna u oba slučaja i u njoj se odabrana konceptualna rješenja razrađuju, a dijelovi plana I i II dobivaju svoju konačnu formu.

Ovakva metodologija rada ubrzava proces donošenja odluka, te čini učesnike javno odgovornim za svoje odluke.



Slika 2. Shema organizacije rada na izradi plana IUOP BiH

Literatura

1. UNEP: SMJERNICE ZA INTEGRALNO UPRAVLJANJE OBALNIM PODRUČJEM, S POSEBNIM OSVRTOM NA MEDITERANSKI BAZEN. Izvještaji i studije UNEP-ova Programa za regionalna mora br. 161. Split, Hrvatska, CRA/PPA (MAP-UNEP), 1995:
2. State Directorate for the Protection of Nature and Environment: COASTAL AREA MANAGEMENT IN CROATIA. Zagreb, State Directorate for the Protection of Nature and Environment of the Republic of Croatia. 1998
3. UNEP: MEDITERRANEAN ACTION PLAN AND CONVECTION FOR THE PROTECTION OF THE MARINE ENVIRONMENT OF THE COASTAL REGION OF THE MEDITERRANEAN AND ITS PROTOCOLS. Athens, UNEP-MAP. 1997

Autori:

Prof. dr. TARIK KUPUSOVIĆ, dipl. inž. građ;
Asistent ESENA KUPUSOVIĆ, dipl. inž. građ.,
Asistent SANDA MIDŽIĆ, dipl. inž. građ.

Institut za hidrotehniku Građevinskog Fakulteta u Sarajevu, Stjepana Tomića 1, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.05.

Zaštita krških vodonosnika

Božidar Biondić, Ranko Biondić, Franjo Dukarić, Elza Hrvojić:

SAŽETAK: Krški vodonosnici Dinarida imaju izuzetan značaj u razvitku Republike Hrvatske. Vodoopskrba Jadranskog dijela Hrvatske vezana je uz krške vodonosnike bez mogućnosti alternativnih rješenja. Osnovne karakteristike krških vodonosnika su otvorenost prema površini, velike brzine podzemnih tokova, mjestimice direktan utjecaj mora i opečnito visok stupanj ugroženosti, posebno u uvjetima razvitka pojedinih područja. Takovi osjetljivi prirodni sustavi zahtijevaju vrlo kompleksne sustave upravljanja, u kojem zaštita voda ima izuzetan značaj.

Kako zaštititi krške vodonosnike, a istovremeno omogućiti normalan razvitak što većem prostoru južne Hrvatske? To nije jednostavan posao, jer zahtijeva izuzetno poznavanje krških vodonosnika. Postoje ideje unificirane zaštite cijelih drenažnih sustava, međutim takav pristup pretvorio bi veći dio krških područja u bezperspektivna "geta" ili, što pokazuje iskustvo, u prostore bez primjene zaštitnih mjera. Naš pristup je što veće smanjenje zaštitnih prostora i maksimalna efikasnost mjera zaštite uz aktivni pristup cjelokupnom procesu.

U ovom radu ćemo temeljem iskustava u kršu Dinarida, ali i iskustava s europske razine, ukratko razjasniti potrebne podloge, osnovne kriterije i postupke do usvajanja odluka o zaštiti voda za pojedina područja, kao i način koji tijekom upravljanja sustavom može osigurati aktivan pristup, što znači "sigurnu" fleksibilnost cijelog pristupa u funkciji upravljanja podzemnim vodama, a u skladu s potrebama prostornog planiranja.

KLJUČNE RIJEČI: zaštita krških vodonosnika, Dinarski krš, karta ugroženosti, mjere zaštite

Protection of Karst Aquifers

SUMMARY: The Dinaric karst aquifers are particularly important for development of the Republic of Croatia. Water supply of the Adriatic region relies on karst aquifers and there are no alternatives. The basic characteristics of these aquifers are that they are unconfined, groundwater flow rates are high, they are sometimes directly exposed to sea impact, and level of their imperilment is generally high, particularly when a certain region is undergoing development. Such sensitive natural systems demand very complex management systems in which water protection is particularly important.

How to protect karst aquifers and concurrently enable normal development of as large part of the Southern Croatia as possible? It is not a simple task, because it demands exceptional knowledge of karst aquifers. There are ideas for uniform protection of entire drainage systems, but it would turn the most of the karst areas into "ghettoes" lacking prospective or, as confirmed by experience, into areas where no protective measures would be applied. Our approach involves maximum reduction of protected areas and maximum efficiency of protective measures, accompanied by proactive approach.

Based on experience gained with the Dinaric karst and the European experience, the present paper shall briefly describe necessary input, basic criteria and procedures preceding any water protection decisions for particular regions, and the methods for ensuring proactive approach to system management which means "safe" flexibility of the approach aimed at groundwater management and its compliance with land use planning requirements.

KEY WORDS: karst aquifer protection, Dinaric karst, imperilment map, protective measures

1. Uvod

Dinarskom kršu u Hrvatskoj pripada gotovo polovica kopnenog područja države, a ako se u to uračuna i Jadranski prostor, onda su to dvije trećine prostora. Važno je napomenuti da su to pretežito planinski prostori praktički natknute prirode s brojnim nacionalnim parkovima i zaštićenim rezervatima prirode.

Površinske i podzemne vode, koje istječu iz krškog podzemlja izuzetno su visoke kakvoće, a posebice u odnosu na druga krška područja u Europi. U velikoj mjeri se to može zahvaliti dosadašnjem slabijem razvoju krških područja, koja su praktički zaustavljena na razini pedesetih godina u svijetu. Problemi sa zaštitom su uglavnom vezani uz velike gradove, gdje su glavni vodoopskrbni izvori smješteni unutar urbanih područja ili su ugroženi deponijama otpada i nekontroliranim ispuštima otpadnih voda. Druga područja su u vrlo dobrom stanju, međutim koliko dugo? Prve mjere zaštite uspostavljene već krajem sedamdesetih godina bile su veliki korak u zaštiti, čak i krških područja. Iako se hidro stručnjaci i istraživači kod izrade Pravilnika o zaštiti voda (1986) nisu mogli usaglasiti oko zaštite krških vodonosnika, članak 4. Pravilnika omogućio je, i na neki način propisao, potrebu posebnih istraživanja za definiranje zaštitnih zona i mjera zaštite. Ta istraživanja bez utvrđenog pravilnika postala su autorski poligoni različitih grupa istraživača, pa otuda i šarenilo ideja i konačnih izgleda zona i mjera zaštite za pojedine krške izvore u Dinaridima. S današnjeg aspekta, to je i dobro, jer su se pristupi zaštiti krških vodonosnika postepeno približavali i danas smo stvarno u situaciji postaviti određena pravila za izradu studija takovog tipa i sugerirati neophodne i dodatne sadržaje i postupke u funkciji zaštite krških vodonosnika.

Ono što je također važno istaći da se u vodoopskrbi koristi tek neznatni dio ukupnih rezervi podzemnih voda u Dinarskom kršu (maksimalno do 3%) i da se određenim tehničkim zahvatima eksploatacijske količine mogu znatno povećati.

Velike količine zdrave pitke vode u krškim područjima slobodno otječu ili prema rijeci Savi ili Jadranskom moru i nemoguće je predskazati tko će prvi posegnuti za tim rezervama. Da li Zagreb, čiji su vodonosnici iz dana u dan sve opterećeniji urbanim i industrijskim razvojem ili Istra, čiji turizam, industrija i poljoprivreda također postepeno dovode krške vodonosnike u granične uvjete korištenja. U svakom slučaju te ogromne rezerve visoko kvalitetne krške vode treba štiti kao i vodonosnike danas aktivnih vodocrpilišta. Da li ćemo ih štiti pod nazivom "strateške rezerve" ili nekim drugim nazivom to nije važno. Važno ih je zaštititi već danas.

2. Dosadašnja iskustva

Prve aktivnosti na zaštiti krških voda vezane su uz grad Rijeku (Biondić, Goatti, 1979). Treba napomenuti da u to vrijeme Hrvatske još nije imala Pravilnika o zaštitnim mjerama i uvjetima za određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta vode za piće (NN br. 22/86) i nije imala famoznog članka 4. tog Pravilnika.

Prvi projekt zaštite temeljen je prvenstveno na hidrogeološkim podlogama, međutim već su tada predložene četiri zone zaštite s vrlo fleksibilnim mjerama (B. Biondić i V. Goatti, 1979), koje je na razini općine Rijeka pripremala jedna interdisciplinarna komisija, uzimajući u obzir sve specifičnosti prostora, uključujući i urbane i industrijske sadržaje.

Na području Istre u ranom razdoblju zaštitne zone izvorišta pitke vode radili su uglavnom stručnjaci Industroprojekta (M. Haček i M. Hanich, 1982). U području Dalmacije uglavnom je bio angažiran Institut za geološka istraživanja iz Zagreba (F. Fritz i T. Ramljak, 1992).

Ekipa RGN fakulteta iz Zagreba radila je ranih devedesetih na području Istre i to pretežito području sliva rijeke Mirne (A. Magdalenić i O. Bonacci, 1992).

Temeljem iskustva na projektima zaštite krških vodonosnika u Hrvatskoj ekipa Instituta za geološka istraživanja (B. Biondić i A. Šarin, 1989) predložila je i vodila jedan od najvećih projekata Europske Unije na području zaštite voda "Hydrogeological Aspects of Groundwater Protection in Karstic Areas", u koji su bili uključeni eksperti iz 16 europskih zemalja.

Kako krške vodonosnike štite europske zemlje i da li su one do u dovoljnoj mjeri prepoznale vrijednost krških vodonosnika? Austrija koristi sustav 4 zaštitne zone diferencirane dužinom transport vode iz pojedinog dijela. Slične pristupe imaju Njemačka i Švicarska. Slovačka koristi sustav od 3 zaštitne zone, ali također ovisno o vremenskom opažanju toka. Slovenija također koristi sustav od 4 zone zaštite, a u smjericama detaljno opisuju vrste istraživanja potrebne za definiranje zaštitnih prostora. U Italiji je zaštita ostavljena regionalnim vlastima i razlikuje se od regije do regije. Francuska je svoju pažnju usmjerila na 2 zone zaštite. Prvo je vremensko ograničenje od 50 dana. Drugo je vanjska zona, koju nije obvezno štiti. Španjolska također koristi 4 zone zaštite (24 sata, 100 dana, 1 godina).

Komparirajući navadne naše pristupe i iskustva europskih zemalja u definiranju zaštitnih prostora može se vidjeti da nema velikih razlika. Najveće su razlike u propisivanju mjera zaštite i implementaciji čitavog sustava zaštite.

Nisu samo važni propisi, da li četiri ili tri zone zaštite, već i sadržaji i tehnologija istraživanja, kojima se određuju zaštitne zone. Zbog izuzetno visoke cijene prostora zone zaštite se nastoje visokim stupnjem znanja o prirodnim sustavima svesti na što je moguće manju mjeru. Danas je trend u svijetu zaštite krških vodonosnika "uz što manje zaštitne zone, što efikasnija zaštita". Ove Smjernice rađene su u skladu s tom filozofijom. Zaštita pitkih voda u Republici Hrvatskoj, odnosno donošenje Odluka o zaštiti voda, je prema Zakonom o vodama RH prepušteno Županijskim skupštinama, dakle regionalnoj samoupravi. To može u slučaju nedefiniranih postupaka, slično kao i u Italiji, donijeti prevagu lokalnih ili privatnih interesa nad općim interesom očuvanja kakvoće pitke vode, pa stoga treba strugo lučiti što u budućem Pravilniku za zaštitu krških vodonosnika treba propisati, a što ostaviti fleksibilno.

3. Prijedlog sustava zaštite krških vodonosnika

Prema dosadašnjim iskustvima zaštite krških vodonosnika u Hrvatskoj i iskustava s EU COST projekta, predlaže se slijedeći postupak:

- I. Izrada generalne karte opasnosti od onečišćenja - definiranje zaštitnih zona i mjera zaštite krških vodonosnika
- II. Kartiranje ugroženosti visokih zona zaštite
- III. Konačni prijedlog zaštite i prihvaćanje na županijskim skupštinama
- IV. Upravljanje vodnim resursima u uvjetima rizika

Izrada generalne karte opasnosti od onečišćenja je s hidrogeološkog aspekta najznačajniji stupanj u postupku zaštite krških vodonosnika, jer treba identificirati prirodni drenažni sustav, njegovu geometriju, dinamičko funkcioniranje i što je najvažnije kojem od parametara prirodnih sustava pridati značaj pri definiranju osnovnih kriterija za zoniranje prostora. Dosadašnji kriteriji su bili usmjereni prema zaštiti izvorišta od bakteriološkog onečišćenja, a ograničenja od 50 dana su značila vrijeme maksimalnog preživljavanja bakterija u podzemnim vodama.

Međutim, situacija se razvojem prostora postepeno mijenjala, pa bakteriološka onečišćenja vodonosnika više na žalost nisu najveći problem u očuvanju kakvoće izvorskih voda u krškim terenima Hrvatske. Sve više se ističe problem ugljikovodika, nitrata i ostalih kemijskih onečišćivača. Kako i taj element unijeti u sustav definiranja zaštitnih zona? Sigurno ne kroz vrijeme toka, jer je raspad kemijskih onečišćenja puno duži, a osim toga kemijski onečišćivači su podložni procesima, koji ponekad stvaraju i veće probleme od iskonskih unešenih materija. Idealno bi bilo zaštititi cijelokupne slivove izvorišta pitke vode, ali krško područje Hrvatske bi u tom slučaju bilo pretvoreno u zaštitni prostor izvorišta, što bi praktički onemogućilo bilo kakav urbani, infrastrukturni i industrijski razvoj tog prostora. U takovim uvjetima, jedino moguć pristup je određivanje hidrogeološki različito aktivnih dijelova krških slivova i te dijelove stupnjevito zaštititi. Osnovni parametar kod toga trebaju biti brzine podzemnih tokova, tip infiltracije, funkcija nesaturirane zone i drugi prirodni elementi, koji mogu smanjiti visinu rizika. Zašto zonirati, kada je opasno u cijelom slivu. Opasno da, ali ne i jednako opasno. Ipak su daleko opasniji glavni drenažni smjerovi prema krškim izvorima i ponorne zone u slivu direktno povezane s vodoopskrbnim izvorima (Tablica 1).

Tablica 1. Temeljni kriteriji zaštite krških voda

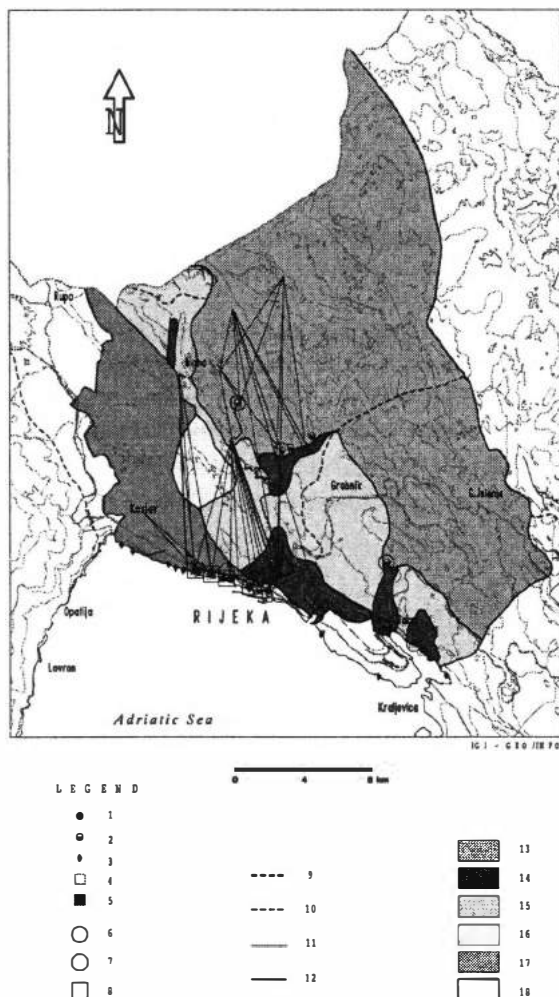
	ZAŠTITNE ZONE	VRIJEME TEČENJA PODZEMNE VODE DO CRPILIŠTA	PRIVIDNA BRZINA TEČENJA PODZEMNE VODE U cm/s I UVJETI	POTREBNA MJERILA HIDROGEOLOŠKIH KARATA
ZONA STROGOG REŽIMA ZAŠTITE	I A	NEPOSREDNO PODRUČJE CRPILIŠTA	MORA BITI OGRAĐENO	MJERILO 1:1000
	I B	NEPOSREDNI POVRŠINSKI SLIV	MORA BITI OZNAČENO	MJERILO 1:1000
ZONA STROGIH OGRANIČENJA	II	24 SATA	ZONA ISTJECANJA U SLIVU > 3 cm/s	MJERILO 1:5000
ZONA OGRANIČENJA I KONTROLE	III	1-10 DANA	1-3 cm/s PRETPOSTAVLJENA RETENCIJSKA ZONA	MJERILO 1:25 000
ZONA OGRANIČENE ZAŠTITE	IV	10-50 DANA	< 1 cm/s	MJERILO 1:50 000
POSEBNO ZAŠTIĆENE ZONE	VODOZAŠTITNI REZERVAT	GLAVNO PODRUČJE PRIHRANJIVANJA	PLANINSKO PODRUČJE PRETPOSTAVLJENA ZONA PRIHRANJIVANJA	MJERILO 1:50 000

Što je specifično u odnosu na dosadašnja razmišljanja? Osim što se u sustav zaštite unose 4 zone relativno poznatih mjera zaštite, treba istaći još dva važna momenta. Prvo je uvođenje termina "vodoopskrbni rezervat" za nedovoljno istražena glavna prikupljališta vode u brdsko-planinskom području, a drugo je kategorizacija izvorišta. Brojni krški izvori nemaju, niti će imati veći značaj u današnjoj, niti budućoj vodoopskrbi, a prema dosadašnjem Pravilniku, morali su biti zaštićeni do istih razina kao veliki vodoopskrbni izvori. Posebno je kategorizaciju važno načiniti u područjima većih gradova.

Nemoguće je propisati metode u ovom stupnju istraživanja, jer su krški tereni toliko heterogeni i nepredvidivi, da istraživačima treba ostaviti istraživačku slobodu, ali tek iznad minimalnih sadržaja. Osim toga, istraživačke metode su u posljednjih desetak godina silno tehnološki napredovale, posebice na području satelitske tehnologije, geohidrokemije i interpretativnih prikaza GIS metodama, pa sve te sadržaje treba ugrađivati i u projekte

zaštite voda u Republici Hrvatskoj. Danas je praktički nemoguće zamisliti upravljanje vodnim sustavima bez višeslojnih podloga i neophodnih banki podataka. Generalna karta ugroženosti vodonosnika radi se na topografskoj podlozi M 1:50.000 (slika 1).

Kartiranje ugroženosti visokih zona zaštite je slojevit i vrlo kompleksan posao, jer radi se o sve dubljem ulaženju u hidrogeološku problematiku i detaljnijem rješavanju problema zaštite. U svjetskoj terminologiji koristi se naziv "vulnerability mapping", vrlo popularan termin i kod istraživača prirodnih sustava i prostornih planera. Vulnerability kao termin se koristi za prezentaciju prirodnih uvjeta, koji određuju osjetljivost krških vodonosnika na onečišćenje ljudskom djelatnošću.



Slika 1. Primjer karte ugroženosti krških vodonosnika u gradu Rijeci. (1) stalni izvor; (2) povremeni izvor; (3) boćati izvor; (4) zahvat za vodoopskrbu; (5) galerija; (6) izvori unutar zaštitnih zona; (7) prva kategorija izvora; (8) druga kategorija izvora; (9) zonarna razvodnica između Jadranskog i Crnomorskog sliva; (10) zonarna razvodnica između slivova unutar Jadranskog sliva; (11) trasiranje podzemnih tokova; (12) granica zaštitnih zona; (13) vodozaštitni rezervat - planinsko područje; (14) druga zona sanitarno-tehničke zaštite; (15) treća zona sanitarno-tehničke zaštite; (16) četvrta zona sanitarno-tehničke zaštite; (17) zona djelomičnih ograničenja; (18) područje izvan zona sanitarno-tehničke zaštite

Predlažemo da se zona strogog režima zaštite (I) istražuje na topografskoj podlozi M 1:1000 sa svim detaljima hidroloških i hidrokemijskih promjena, a karta ugroženosti zone strogih ograničenja ili II. zone zaštite kao najvažniji posao drugog stupnja istraživanja na topografskoj podlozi M 1:5000. Radi se o kombiniranoj analizi prirodnih uvjeta, potencijalnih izvora onečišćenja i utjecaja mogućeg onečišćenja na krške podzemne vode. *Konačni prijedlog zaštite i donošenje Odluke* je slijedeća faza postupka.

Nakon završetka istraživačkog postupka, u kojem su definirane zone zaštite i temeljna ograničenja vezana uz te zone zaštite nastupa vrijeme pripreme mjera zaštite. Mjere zaštite i konačni prijedlog Odluke o zaštiti voda treba pripremati interdisciplinarno povjerenstvo, formirano od strane županijskih izvršnih vlasti u suglasnosti s Državnom upravom za vode i Hrvatskim vodama.

Odluke o zaštiti voda i dimenzije zaštitnih prostora prihvaćaju se na regionalnim razinama u županijskim skupštinama. Prijedlozi moraju biti dobro obrazloženi i načinjeni na visokoj znanstvenoj i stručnoj razini.

Uspješnost mjera zaštite vezana je za efikasno *upravljanje vodnim resursima u uvjetima rizika*.

4. Zaključak

Jedinstveni je zaključak da zaštititi krških vodonosnika u Hrvatskoj treba posvetiti veliku pažnju svih odgovornih struktura, koje upravljaju tim prostorima, i unijeti ih u prostorne i urbanističke planove. Dosadašnja iskustva naših istraživača su već dovoljna za donošenje odgovarajuće regulative i ovaj rad je usmjeren prema tom cilju. Ukoliko i u budućnosti želimo imati zdravu pitku vodu iz krških vodonosnika, sustav zaštite mora poprimiti dimenzije općeg razmišljanja.

Literatura

- Biondić B, Dukarić F (1993) Vodni resursi općine Rijeka. Hrvatske vode 1(1993)3, Zagreb, str. 185-190.
- Biondić B, Šarin A, Hertelendi E, Dukarić F, Hinić V, Hrvojić E, Goatti V, Ivičić D et al (1995) National report of Croatia. European Commission DG XII: Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas. COST 65 book, Brussels, pp 65-87.
- Biondić B, Biondić R, Dukarić F (1998) Protection of karst aquifers in the Dinarides in Croatia. Environmental Geology, 34 (4), Springer-Verlag, pp 309-319.
- Fritz F, Ramljak T (1992) Zaštitne zone izvorišta pitkih voda u kršu. Građevinar 44-5, Zagreb, str. 333-337.
- Haček M, Hanich M (1982) Hidrogeološki istražni radovi sa svrhom određivanja zona sanitarne zaštite vodocrpilišta Rakonek, te izvorišta Sv. Antun i Bolobani. Industroprojekt, Tehničko izvješće, Zagreb.
- Magdalenić A (1993) Sliv izvora Sv. Ivan u Istri - zone sanitarne zaštite - Hidrogeološka i hidrološka studija - dopuna studije. RGN fakultet, Tehničko izvješće.
- Urumović K, Vlahović T (1998) Promišljanje zaštite podzemnih voda u krškim predjelima. Okrugli stol: Voda na hrvatskim otocima. Zbornik radova. Hvar. str. 135-147.

Autori:

- Prof.dr.sc. Božidar Biondić, dipl.ing.geol., Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, Zagreb
- Ranko Biondić, dipl.ing.geol., Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, Zagreb
- Franjo Dukarić, dipl.ing.geol., Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, Zagreb
- Mr.sc. Elza Hrvojić, dipl.ing.geol., Hrvatske vode, VGO Rijeka, Ciottina 17b, Rijeka



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.06.

Hidrogeološka osnova zaštite vode u krškim poljima

Darko Ivičić i Ante Pavičić

SAŽETAK: Na krškim izvorima Prud, Modro oko, Klokun i Žrnovica u širem području desne strane donjeg toka Neretve kod minimalnih voda istječe preko 3,5 m³/s. Za vodoopskrbu se koriste izvori Klokun i i manji dio vode izvora Prud i Modro oko.

Sliv ovih izvora je najvećim dijelom zajednički, a seže do Imotskog, Duvanjskog i Livanjskog polja. Teren je uglavnom izgrađen iz propusnih karbonatnih naslaga, što uz složenu strukturno-tektonsku građu otežava tumačenje hidrogeoloških odnosa. Prevladava podzemno tečenje, a površinske vode vezane su uz krška polja.

Voda je zadovoljavajuće kvalitete, jer sliv zasad nije opterećen velikim zagađivačima. Zaštitna sredstava u poljoprivrednoj proizvodnji i otpadne vode naselja uz polja i magistralne prometnice, predstavljaju realnu opasnost za očuvanje kvalitete izvorskih voda. To se prvenstveno odnosi na najnižu morfološko-hidrološku stepenicu, u bližem zaleđu pojedinih izvora.

U zaleđu izvora Klokun i Modro Oko predložena je veća površina II zone sanitarne zaštite, nego bi to prema kriteriju brzine tečenja vode trebalo. Razlog je učestalo plavljenje nižih dijelova polja.

KLJUČNE RIJEČI: hidrogeologija, krška polja, zaštita vode, trasiranje

Hydrogeological Scheme for Karst Field Water Protection

SUMMARY: When the water level is minimum at the karst springs Prud, Modro Oko, Klokun i Žrnovica located in the greater area of the right hand side of the lower Neretva watercourse, the yield is over 3.5 m³/sec. The water supply exploits Klokun and, to a smaller degree, Prud and Modro Oko springs water.

These springs are predominantly located in the same catchment which stretches to Imotsko, Duvanjsko and Livanjsko Polje (karst fields). The ground is predominantly built of permeable carbonate layers which, with complex structural and tectonic structure makes interpretation of hydrogeological relations more complicated. The underground flow is predominant, and the surface water is connected with karst fields.

The water quality is satisfactory. Protective agents used in agricultural production, and waste water from settlements along the fields and arterial roads truly compromise preservation of spring water quality. This primarily relates to the lowest morphological-hydrological step in the immediate hinterland of some springs.

A surface area in the hinterland of Klokun and Modro Oko springs proposed to be designated for zone II sanitary protection is larger than necessary according to the water flow rate criterion. The reason behind such a decision is frequent flooding of the lower field sections.

KEY WORDS: hydrogeology, karst field, water protection, routing

1. Uvod

Više izdašnih krških izvora: Klokun, Modro Oko, Prud i u priobalju Žrnovica u vrijeme minimalnih voda daju ukupno preko 3,5 m³/s. Danas se za vodoopskrbu koristi izvor Klokun i dio voda izvora Prud i Modro Oko, ukupno oko 450 l/s.

Slivno područje razmatranih izvora seže preko 60 km u zaleđe, do razvodnice između jadranskog i crnomorskog sliva. Problematika zaštite podzemne vode vezana je uz definiranje slivnih površina pojedinih izvora. Udaljeniji dio sliva je zajednički, a tek na razini najnižih krških polja, vrši se otjecanje prema pojedinim izvorima. Vrgoračko polje je najniža stepenica odakle voda otječe prema spomenutim izvorima. Intenzivna agrikulturna aktivnost u uvjetima povremeno plavljenog krškog polja i postojanje brojnih ponora je realna opasnost za zaštitu kvalitete vode na crpilištu Klokun i izvoru Modro Oko.

2. Hidrogeološki odnosi i tečenje vode

Najveći dio terena u slivnom području izgrađuju vapnenci, a manjim dijelom dolomiti ili laporoviti vapnenci i lapori. U depresijama krških polja istaložene su kvartarne naslage sastavljene iz terigenih materijala.

U prikazu hidrogeoloških odnosa i tečenja vode na preglednoj karti (slika 1), stijene su izdvojene prema hidrogeološkim karakteristikama, a teren je rangiran prema hidrogeološkoj funkciji (Ivičić i Pavičić, 1996).

U tečenju vode iz hipsometrijski visokih dijelova terena, Vrgoračko polje je zadnja "stepenica" prije najniže erozijske baze, doline Neretve, odnosno mora. Trasiranjem je dokazano "kaskadno preljevanje" vode iz jednog polja u drugo sukladno pružanju geoloških struktura, ali i podzemno tečenje okomito na pružanje struktura, te povezanost voda ispod krških polja, koja najčešće funkcioniraju kao viseće barijere.

U razdoblju visokih voda, zbog nedovoljne propusnosti karbonatne podloge i smanjene propusnosti kvartarnih naslaga u poljima, javljaju se i brojni povremeni izvori, izdašnosti i do nekoliko m³/s.

Hidrogeološku barijeru u Vrgoračkom polju čini slabo okršeni tektonski blok i kvartarne naslage veće debljine, s čime je povezana pojava jakog izvora Butina. Ostali dio polja ima funkciju viseće barijere ili propusnog područja, ovisno o debljini kvartara i okršenosti podloge.

Voda u polje dotječe iz Rastok polja (58-62 m n.m.) i Kokoričke depresije preko brojnih ponora. Vrgoračkim poljem teče rijeka Matica koja odvodi vode krških izvora prema Jezercu i ponoru Crni vir, a iz ponorskog područja Krotuša tunelom se odvodi na Baćinska jezera. Unatoč velikog broja ponora uz vodotok i u polju propusna moć im je ograničena, pa se u najnižem dijelu polja stvaraju predponorske retencije. Izgradnjom odvodnog tunela nije riješen problem poplava.

Hidrogeološki odnosi u zaleđu Baćinskih jezera i izvora Klokun veoma su složeni. Najdublje recentno okršavanje zbilo se krajem pleistocena kada su se formirale depresije Vrgoračko polje i Baćinska jezera. Najveća današnja dubina Baćinskih jezera iznosi 34m (odnosno -33m), pa je i dubina okršavanja morala biti sigurno veća s obzirom na tadašnju razinu mora. Uzdizanjem mora u kvartaru dolazi do "zagušenja" najdubljih "kanala", a u depresijama sa talože finoklastični slabopropusni sedimenti. Lokalno su se zadržale "veze" kroz okršenu karbonatnu podlogu. Veza vode Klokuna i Baćinskih jezera sigurno postoji, barem u daljem zaleđu. Izvor Klokun je vjerojatno jedan od

“odušaka” koji je u vrijeme niske razine mora odvodio vodu iz okolnog terena. “Prekid”, odnosno današnje istjecanje na površinu uvjetovano je slabopropusnim jezerskim glinovitim taložinama.

3. Trasiranja podzemne vode

Unutar propusnog područja, nije bilo moguće detaljnije određivanje sliva bez trasiranja tokova podzemne vode.

Trasiranjem iz ponora u središnjem dijelu Rastok polja (Turner, 1955; 1959) utvrđena je veza s izvorom Butina i povremenim izvorima u istočnom dijelu Vrgoračkog polja, a iz jame Velika Banja (povremeni jaki izvor i kaptaža za vodoopskrbu Vrgorca) u sjevernom obodu Rastok polja, s izvorom Butina i izvorima u SZ dijelu polja (Bojanić, Ivičić i Batić, 1980).

Za definiranje istočne granice sliva poslužila je podzemna veza Vrcića ponora u polju Jezerac s izvorom Norin u Prudu (Slišković, 1996).

Ranijim istražnim radovima ustanovljeno je da vode od krajnjeg SZ dijela Vrgoračkog polja do Staševice podzemno otječu na priobalne izvore kod Gradca i Žrnovice, a vode iz brojnih ponora uz vodotok i rubni dio polja, od Otoka do Crnog Vira na izvore uz rub polja Desne u dolini Neretve. Time je definirana granica najnižeg dijela zajedničkog sliva izvora Klokun i Modro Oko.

Detaljnou strukturno-tektonskom analizom izdvojeni su tektonski blokovi što je omogućilo definiranje područja ponora i ponorskih zona s kojih vode teku na jedan ili drugi izvor. U graničnom području spomenutih tektonskih blokova izvedeno je trasiranje na ponorima Pod Spilom (slika 2) i utvrđena je veza s izvorom Modro Oko (i drugima u području Desne) i izvorom Čeveljuša, ali ne i s izvorom Klokun. Trasiranjem s ponora Crpala (uz korito rijeke Matice) dokazana je veza s izvorom Klokun i ponovo s izvorom Čeveljuša. Utvrđeno je da se u hidrološkim uvjetima srednjih i niskih voda, može odvojiti područje ponora čije vode gravitiraju izvoru Klokun od ponora povezanih s izvorom Modro Oko. Rezultati trasiranja ponora kod Crpala upućuju na podzemnu retenciju znatnog volumena i prostiranja u zaleđu izvora Klokun, a pojava boje na izvoru Čeveljuši kod oba trasiranja tumači se preljevanjem vode.

Pretpostavljamo da podzemna voda iz sjeveroistočnog tektonskog bloka prema izvoru Čeveljuši dotječe uzduž dijagonalnih pukotina južnije od spomenute retencije.

4. Zone sanitarne zaštite

Pravilnikom o zaštitnim mjerama i uvjetima za određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta vode za piće (Narodne novine od 3. 06. 1986) naglašeno je da se za područje krša priljevno područje, veličina i granica zona, te režim zaštite određuju na temelju provedenih hidrogeoloških i hidroloških istraživanja. Biondić i Linić (1986); Biondić i Dukarić (1993) daju prikaz zaštitnih zona izvora pitke vode na području Rijeke. Fritz i Ramljak (1989; 1992) načinili su Nacrt dopune važećeg Pravilnika s prijedlogom zona zaštite, koji se koristi na području Dalmacije (tablica 1).

Određivanje zona sanitarne zaštite u krškom području izgrađenom iz propusnih okšenih naslaga iziskuje posebne istražne radove jer svako pojedino područje ima specifičnosti koje treba uvažavati. Treba voditi računa da se veličine zaštitnih površina i odabir mjera svede u racionalni odnos s korištenjem terena, uz što efikasnije održanje privrednih aktivnosti u slivu.

Tablica 1. Prijedlog zoniranja zaštitnog područja izvorišta u kršu (Fritz i Ramljak, 1992)

Osn. zone sanitarne zaštite	Vrijeme tečenja vode	Prividna brzina tečenja podzemne vode (cm/s) u vrijeme velikih voda	Potrebna HG karta mjerilo
I		Ograda min. 50 m od crpilišta u smjeru dotoka vode	1 : 1.000
II	24 sata	Područje retardiranih voda i privilegiranih tokova i teren oko ponora brzine veće od 3 cm/s	1 : 5.000
III	do 10 dana	Područje s privilegiranim tokovima brzina tečenja veća od 1 cm/s	1 : 25.000 1 : 50.000
IV A	do 50 dana	Brzina tečenja manja od 1 cm/s	1 : 100.000 1 : 50.000
IIV B	više od 50 dana	Slabo okršeni tereni brzina tečenja manja od 1 cm/s	1 : 100.000

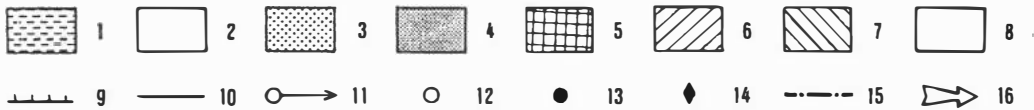
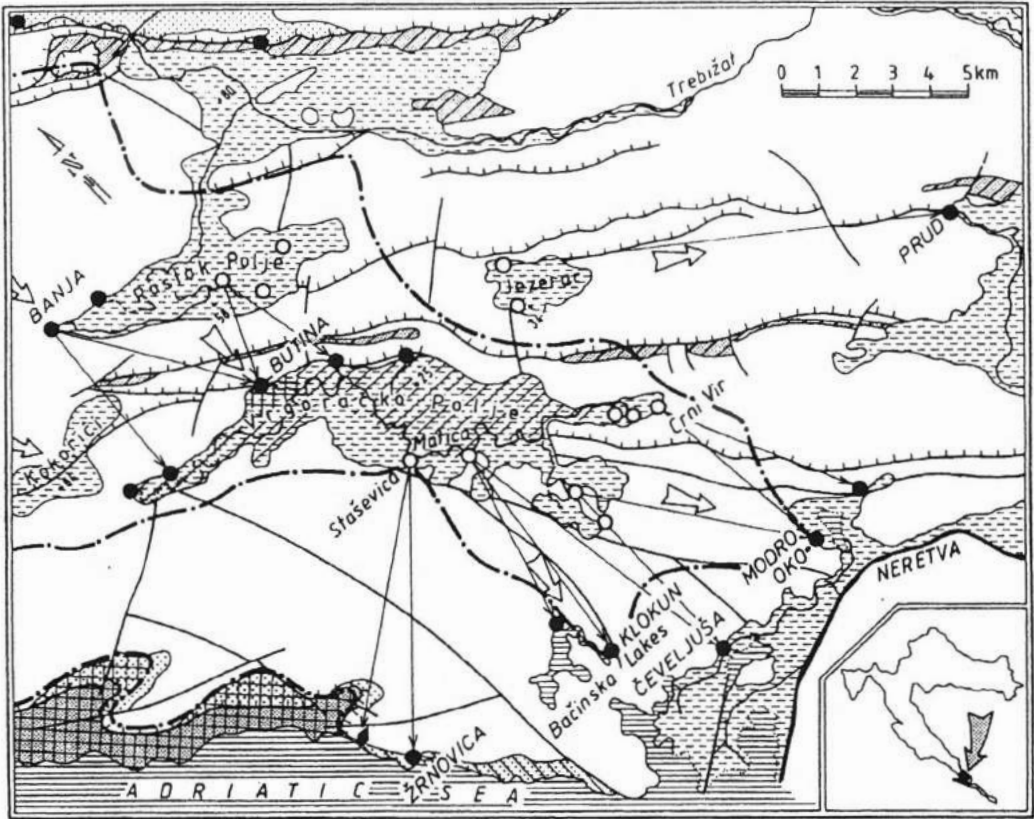
Karbonatno područje, u zaleđu izvora Klokun i Modro Oko, bilo je izloženo okršavanju kroz duže geološko razdoblje. Teren je malo iznad razine mora, s posebno složenim hidrogeološkim odnosima, gdje se dotjecanje vrši razrađenim kanalima, voda u zaleđu izvora je retardirana, a nadsloj nad podzemnom vodom je mali. Iznesene karakteristike terena, u zaleđu izvora i dijelu Vrgoračkog polja, zahtjevale su poseban pristup i ocjenu elemenata za izdvajanje zaštitnih zona.

Brzina tečenja podzemne vode, jedan od mjerljivijih elemenata za određivanje zona, ovom terenu je nepouzdan faktor. Naime, brzine tečenja podzemne vode dobivene provedenim trasiranjem, su relativno male (trasiranje kod Crpala 0.58 cm/s, Pod Spilom 1,3 cm/s, što je znatno manje od potrebnih (24 sata), da se dotični teren uvrsti u II zonu sanitarne zaštite. Kako uvjeti, kada je izvršeno trasiranje, nisu bili idealni, vjerojatno bi kod većeg uviranja tečenje bilo znatno brže. Držimo da je vrijeme dotjecanja vode s obodnog, povišenog terena još i dulje, ali ne iznad nekoliko dana, što bi to područje prema kriteriju brzine uvrstilo u III zonu.

Znatan dio Vrgoračkog polja s debljim kvartarnim naslagama uvrstili smo u II zonu (slika 3) iako su kvartarne naslage relativno male propusnosti, pa su i brzine relativno male. Međutim, zbog poplava koje se dešavaju svake godine moguće je spiranje eventualnih zagađenja sa svih površina koje su plavljene i njihovo odnošenje u podzemnu vodu i na izvore.

Osim na mjestima veće debljine kvartarnih naslaga, u uvjetima malog morfološkog nadvišenja, krške podzemne vode su blizu površine, pa je kroz brojne ponore u polju i koritu rijeke, moguća brza veza i prenošenje zagađivala s površine u podzemnu vodu. Želimo naglasiti razloge radi kojih smo se odlučili na izdvajanje dviju različitih površina unutar prikazane II zone sanitarne zaštite (slika 3). Specifični uvjeti određivanja zona zaštite u krškim terenima upravo su najizraženiji kod određivanja II zone. U nekrškim terenima najznačajniji faktor za određivanje pripadnosti zonama je vrijeme potrebno da zagađivalo stigne od mjesta infiltracije do izvora (50 dana). U krškim terenima vrijeme, pak kao kriterij prema kojem se dotični teren uvrštava u II zonu, određeno je putovanjem zagađivala do izvora za manje od 24 sata (vrijeme potrebno da se u akcidentnim situacijama može reagirati radi sprječavanja korištenja kontaminirane vode).

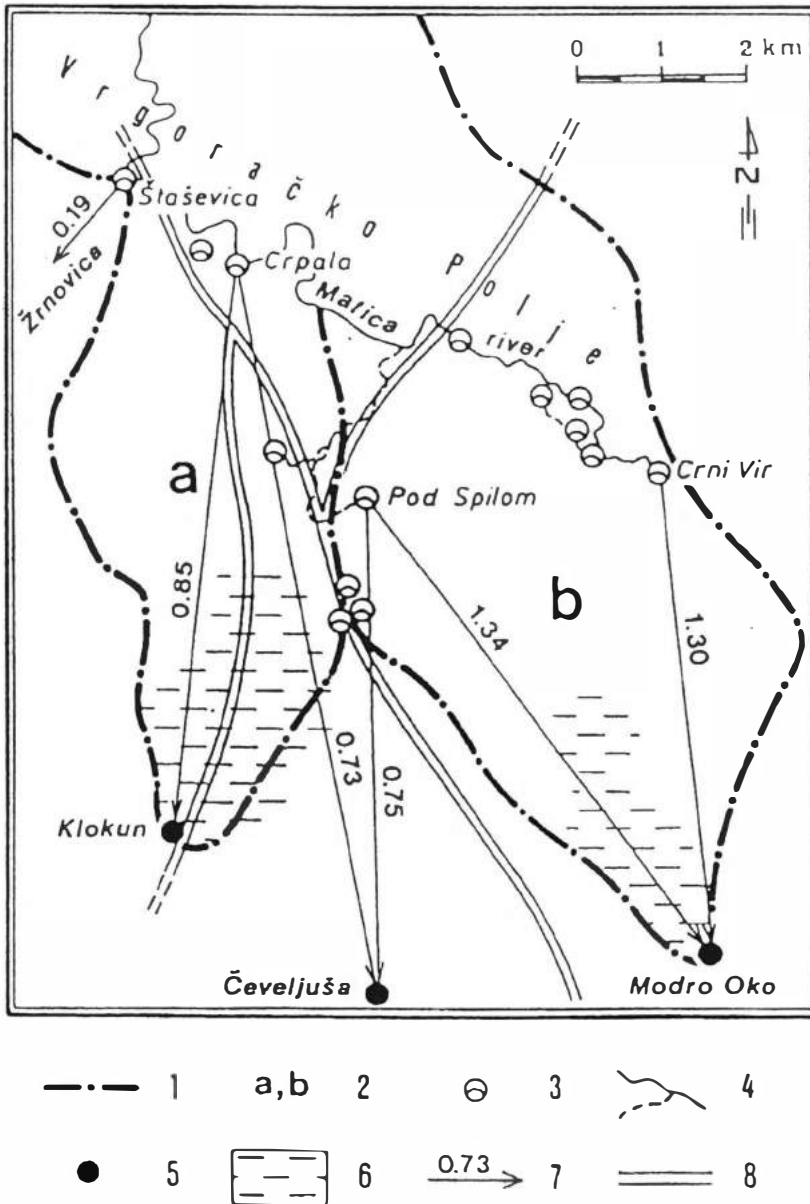
Ostali dio funkcije koju ima zabrana za II zonu u nekrškim terenima, "preuzima" u krškim terenima III zona, za koju je propisano vrijeme potrebno da zagađivalo od mjesta



Slika 1. Hidrogeološka karta; 1. Stijene naizmjeničnih osebina, 2. Propusne stijene, 3. Djelomično propusne stijene, 4. Nepropusne stijene 5. Potpuna barijera, 6. Nepotpuna viseća barijera, 7. Relativna barijera, 8. Propusno područje, 9. Reversni rasjed, navlaka, 10. Rasjed, 11. Podzemna veza (ponor-izvor), 12. Ponor, 13. Krški izvor, 14. Boćati izvor, 15. Razvodnica, 16. Pretpostavljeni smjer tečenja podzemne vode.

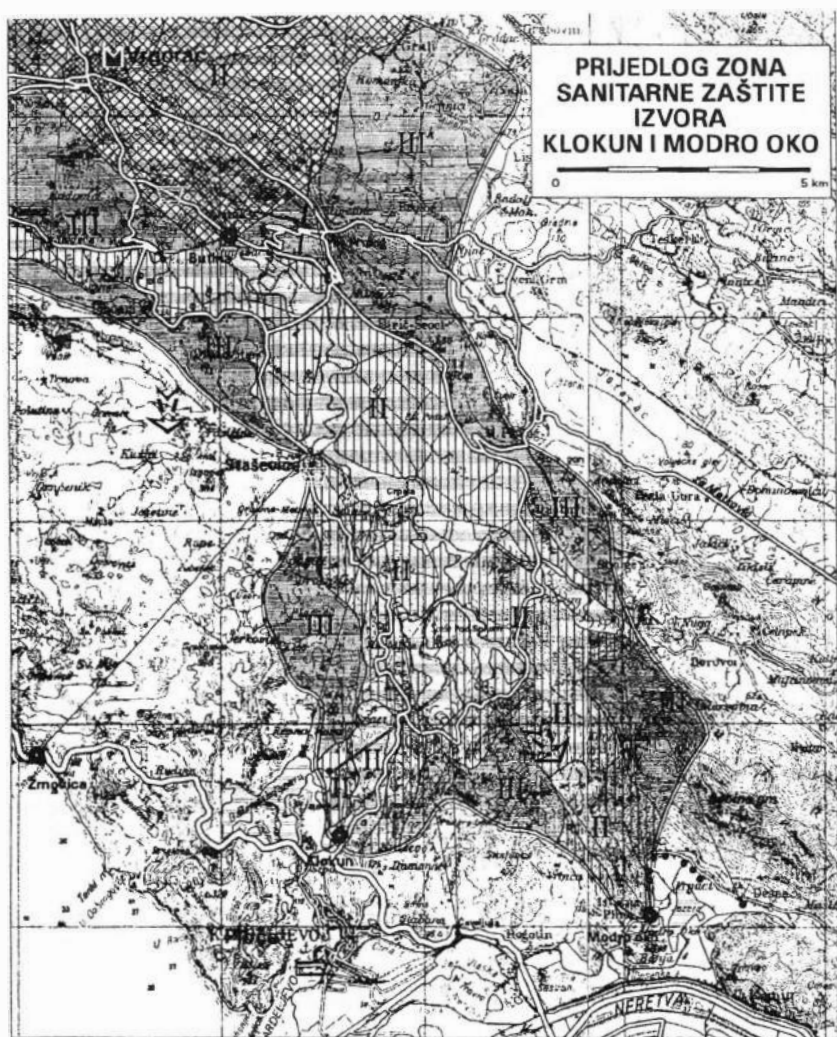
kontaminacije do izvora stigne za 10 dana. Međutim, kod zabrana korištenja prostora u važećem Pravilniku propisuju se jednake zabrane za II zonu i u krškim i nekrškim terenima. Očito je, da znatan dio terena u kršu, bez obzira na utvrđene prividne brzine manje od propisanih, treba uključiti u površine strogog šticeženja (zabrana).

Kod definiranja površina sanitarne zaštite posebno su osjetljiva i specifična područja krških polja. Naime, krška polja, s ponorima kojima voda brzo utječe u podzemlje, i debelim kvartarnim naslagama koje često ispunjavaju paleodepresiju polja, objedinjuju karakteristike krških i nekrških područja. Dok ponore u krškim terenima i teren neposredno uz njih obavezno uvrštavamo u II zonu, teren s debelim, najčešće nepropusnim, naslagama tretiramo kao nekrški. Pri tome treba uzeti u obzir hidrološke prilike vezane uz dotično polje kao značajan faktor pri prijedlogu zona. Različiti su



Slika 2.. Sliv izvora Klokun i Modro Oko; 1.Razvodnica, 2.Slivna područja: a) izvor Klokun b) izvor Modro Oko, 3. Ponor, 4. Površinski tok, 5. Izvor, 6. Podzemna retencija, 7. Podzemna veza, 8. Tektonska zona.

uvjeti ukoliko polje ima stalni ili povremeni tok, razvijenu hidrografsku mrežu i raspored i međusobnu udaljenost ponora, od polja bez tokova ili povremeno plavljenih polja. Kod plavljenih polja vrlo značajna je učestalost i trajanje inundacije odnosno brzina pražnjenja. Inundirano polje bez obzira na trajanje poplave, mora se tretirati s većim naglaskom na sigurnost. Svaka aktivnost na plavljenoj površini će povlačenjem vode u podzemlje utjecati na podzemnu vodu. To je ovisno o specifičnim karakteristikama



TUMAČ OZNAKA

- | | | | | | |
|-----|-----------------------------------|--|--|--|---------------------------------|
| • | 1-100 l/s | | Granica zaštitnog područja | | Državna granica |
| ● | > 100 l/s | | Granica zone sanitarne zaštite | | Naselja, potencijalni zagadivač |
| ● | Crpilište | | Teren je potrebno štititi zabranama za II zaštitnu zonu | | Klaonica |
| ● | Vrulja | | Područje obuhvaćeno zaštitom crpilišta Bania i Butina | | Odlagalište komunalnog otpada |
| ○ | Povremeni izvor | | Generalni smjer tečenja podzemne vode | | |
| ○ | Stalni ponor | | Podzemna veza utvrđena bojenjem s prividnom brzinom tečenja (cm/s) | | |
| ○ | Povremeni ponor | | Ovodni tunel | | |
|))) | Zona poniranja, povremeno aktivna | | | | |

Slika 3

pojedinih polja. U primjeru zaštite izvora Klokun i Modro Oko to se odrazilo kroz povećanu zaštitnu površinu II zone na redovito plavljenom Vrgoračkom polju. Bez obzira na sve, prikazani teren uvršten u II zonu, po oba kriterija treba štititi zabranama za II zonu spomenutih izvora.

5. Zaključak

Za razumjevanje hidrogeoloških odnosa u priobalnom krškom području nužno je upoznati genezu okršavanja i strukturno-tektonske odnose u najmlađoj fazi razvitka terena.

Obilježavanje podzemnog toka voda je nezaobilazna metoda kod definiranja hidrogeoloških slivova u krškim terenima i određivanja zona sanitarne zaštite izvora pitke vode. Na primjeru trasiranja vode uz južni rub Vrgoračkog polja prikazana je mogućnost izdvajanja slivova pojedinih izvora unutar tektonski razlomljenog i okršenog terena u uvjetima malog gradijenta između ponora i izvora.

U krškim poljima, područje uz ponor, bez obzira na utvrđene brzine podzemnog otjecanja, izdvaja se kao II zona sanitarne zaštite. Ostali dio terena ovisno o hidrogeološkim karakteristikama kvartarnih naslaga koje prekrivaju dno polja, rasporedu ponora i hidrološkim uvjetima u polju, pripada II ili III zoni sanitarne zaštite. Međutim, u slučaju plavljenog terena i stvaranja retencijskih područja, II zona zaštite proširuje se na cijelu inundiranu površinu.

U području Vrgoračkog polja i terenu južno od polja, osim povremeno inundiranog terena uvjetno je kao II zona izdvojen i povišeni krški teren u zaleđu prikazanih izvora. Potencijalnu i realnu opasnost za zagađenje podzemnih voda izvora Klokun i Modro Oko, predstavljaju prometnice Ploče -Vrgorac i Ploče - Ljubuški.

Literatura

- Biondić, B., i Linić, A. (1986): Zaštita podzemnih voda u krškim područjima na primjeru općine Rijeka. Jugosl. savj. zaštita izvorišta voda za vodoopskrbu, 247-254, Split.
- Biondić, B. i Dukarić, F. (1993): Vodni resursi općine Rijeka. Hrvatske vode, Vol. br. 3., 185-190, Zagreb.
- Bojanić, L., Ivičić, D. i Batić, V. (1980): Hidrogeološka studija područja Aržano-Brela-Metković. Fond struč.dok. Inst. za geol. istr., Zagreb.
- Fritz, F. i Ramljak, T. (1992): Zaštitne zone izvorišta pitkih voda u kršu. Građevinar, 44 (5), 333-337, Zagreb.
- Ivičić, D. i Pavičić, A. (1996): Hidrogeološki istražni radovi za zaštitne zone izvora Modro Oko. Fond struč. dok. Inst. geol.istraž., 1-38, Zagreb.
- Slišković, I., Kapelj, S. i Vidović, M. (1996): Hidrogeološki uvjeti sanitarne zaštite velikog krškog izvora Prud kod Metkovića. Priopćenje sa znanstveno-stručnog skupa: Zaštita prirode i okoliša i eksploatacija Mineralnih sirovina, 315-333, Varaždin
- Turner, S. (1955): Tehnički izvještaj o bojenju ponornica na području Imotski-Neretva. Bojenje Vrgorsko jezero-more. Fond dok. RHMZ., Zagreb.
- Turner, S. (1959): Bojenje Vrgorsko jezero-dolina Neretve. Bojenje br. 48 i 49. Fond dok. RHMZ., Zagreb.

Autori:

Darko Ivičić, dipl.ing.geol.

Dr.sc. Ante Pavičić, dipl.ing.geol.

INSTITUT ZA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA, SACHSOVA 2, ZAGREB



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.07.

Morfološke promjene kao posljedica izgradnje podzemne akumulacije u kršu

Mladen Kuhta, Srećko Božičević

SAŽETAK: Nastojanje formiranja podzemnih akumulacija u okršenim stijenama sekundarne poroznosti jedan je od najvećih izazova hidrogeološke struke u zadnjih desetak godina, kako u svijetu tako i kod nas. Dinarski krški prostor, karakteriziran bogatom podzemnom hidrografskom mrežom, svakako je vrlo zanimljivo područje za ostvarivanje ove ideje. Dosadašnji radovi najvećim dijelom su na razini idejnih rješenja i projekata. Ovdje obrađen zahvat izvor špilje Jedreš kod Nevesinja u Bosni i Hercegovini, primjer je pokušaja praktične realizacije podzemnog akumuliranja vode za potrebe trajnijeg lokalnog vodosnabdjevanja, ali na žalost s nizom nepredviđenih negativnih posljedica, koje su se prvenstveno manifestirale značajnim morfološkim promjenama u krškom podzemlju i na njegovoj površini. Obrađeni akcident nedvojbeno ukazuje na nužan oprez prilikom projektiranja i izvedbe sličnih podzemnih akumulacija u kršu - što je i osnovni cilj ovog rada.

KLJUČNE RIJEČI: krš, špilja, podzemna akumulacija, morfološke promjene

Morphological Changes as Consequence of Underground Reservoir Construction in Karst

Summary: During the last decade, the hydrogeological discipline both in Croatia and abroad has been faced with one of the major challenges - impoundment of underground reservoirs in karstified rocks of secondary porosity. The Dinaric karst area, characteristic for its rich underground hydrographic network, is a very interesting area for realization of this idea. The works carried so far have mainly been on the level of preliminary studies and conceptual designs. The present paper describes a project involving the Jedreš Cave spring near Nevesinje in Bosnia and Herzegovina, which has been an attempt to implement in practice underground storage of water for more permanent local water supply. However, such undertakings regretfully had a number of unpredicted adverse effects which primarily reflected in considerable morphological changes in the karst underground and on its surface. The described accident confirms beyond doubt that caution should be practiced in design and construction of similar underground reservoirs in karst - which is the baseline of the present papers.

KEY WORDS: karst, cave, underground reservoir, morphological changes

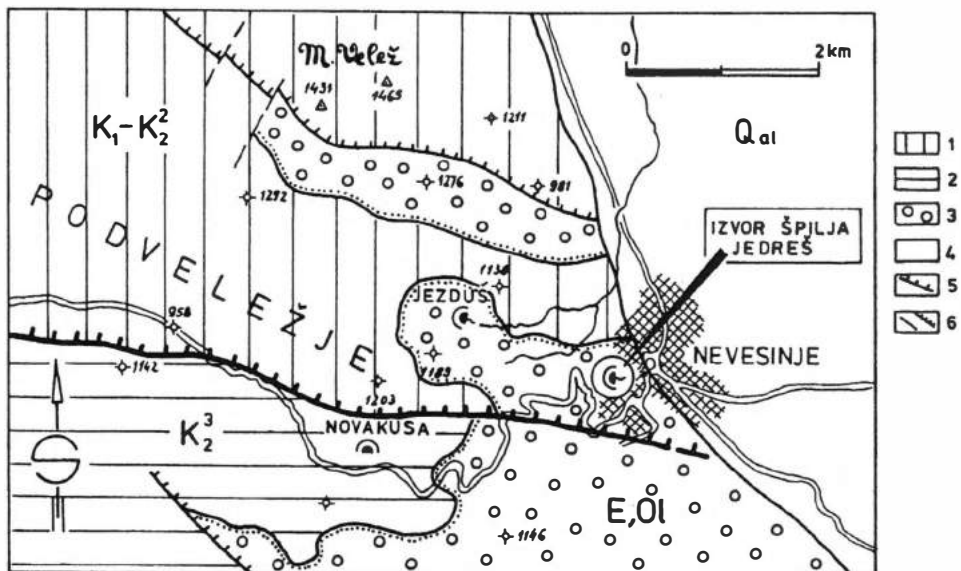
Uvod

Špilja Jedreš nalazi se u zapadnom dijelu grada Nevesinja, podno južnih padina planine Velež. Prema hidrogeološkoj funkciji špilja je stalan izvor te je već početkom stoljeća kaptirana za vodoopskrbu grada. Kaptazu su projektirali austrijski stručnjaci, a izvedena

je u obliku niskog potkopa (svjetli profil 0,7x0,7 m), kojim se ulazilo u prirodni špiljski kanal sa stalnim vodenim tokom. Ispred špilje izgrađen je sabirni bazen s taložnicom i 11 m dug preljeveni kanal. Svi objekti su ukopani u tlo, a potom zasuti slojem okolnog materijala. Dok je gradić imao manji broj stanovnika, količina prikupljene vode bila je dovoljna za vodoopskrbu tijekom cijele godine. U kišnom razdoblju višak vode slobodno se izljevao na izgrađen preljev i otjecao kao povremeni vodotok. Izvedenim hidrotehničkim zahvatom željelo se zadržati visoke vode i "pričuvati" ih u podzemlju za sušno razdoblje godine.

Geološki prikaz i osvrt na genezu špilje

Špilja Jedreš nalazi se u graničnom području između tektonskih jedinica Velež i Meka Gruda-Sniježnica, unutar geotektonske jedinice navlake "Visokog Krša" (Mojićević i Laušević, 1973). Zonu sučeljavanja karakterizira sustav reversnih rasjeda pružanja ZSZ - IJI, duž kojih su sedimenti starije krede navučeni na sedimente senona i paleogena (sl.1). Neposredno sjeverno od špilje teren izgrađuju vapnenci sa honrodontama i rudistima turonske starosti. Transgresivno na njima leže naslage paleogena, odnosno Promina formacije (E,O1), zastupljene debelom serijom konglomerata. Špilja Jedreš formirana je u zoni istjecanja podzemnih voda iz karbonatnog masiva Veleža, cca 200 m južno od kontakta ova dva litostratigrafska člana. Njezini do sada ispitani podzemni kanali pružaju se u smjeru sjeverozapada, a urezani su u konglomeratima. U neposrednoj blizini locirano je još nekoliko speleoloških objekata i stalnih izvora (Božičević, 1978), među kojima se posebno ističe izvor špilja Jezduš, koja je također kaptirana za vodoopskrbu dijela Nevesinja.



Slika 1. Položaj špilje Jedreš i pojednostavljena geološka situacija (prema; Mojićević & Laušević, 1973). 1- vapnenci i dolomiti, cenoman-turon, 2- senonski vapnenci, 3- Promina naslage, eocen-oligocen, 4- aluvijalne naslage, kvartar, 5- reversni rasjed, 6- normalna i tektonsko-erozijska geološka granica.

Tijekom speleološkog istraživanja špilje Jedreš uočeni su jasno izraženi tragovi višefazne geneze objekta. Osnovni pokazatelji ovakovog razvoja podzemnih objekata su etaže podzemnih kanala, njihova specifična morfologija na poprečnim presjecima te tragovi izmjene faza erozije i taloženja špiljskih sedimenata. Višefazna geneza speleoloških objekata odraz je većih promjena hidroloških uvjeta u podzemlju, najčešće uzrokovanih spregom tektonskih (spuštanje ili izdizanje blokova) i klimatskih promjena (izmjena glacijala i interglacijala).

Premda našim kratkim, na samo početnih stotinjak metara objekta ograničenim istraživanjem, nisu pronađeni prolazni kanali koji bi vodili u višu, neaktivnu etažu, ukazano je na mogućnost njenog postojanja. zbog toga je projektantu i investitoru predložen program detaljnih istraživanja cijelog objekta uz proširivanje prolaza u registriranim bočnim odvojcima. Nažalost, dodatna istraživanja nisu prihvaćena. Kako se kasnije pokazalo, iznad danas aktivnog kanala postoje "fosilni" špiljski prostori, koji su imali presudnu ulogu pri razvoju nastalih morfoloških promjena.

Morfologija špilje i dinamika punjenja podzemlja

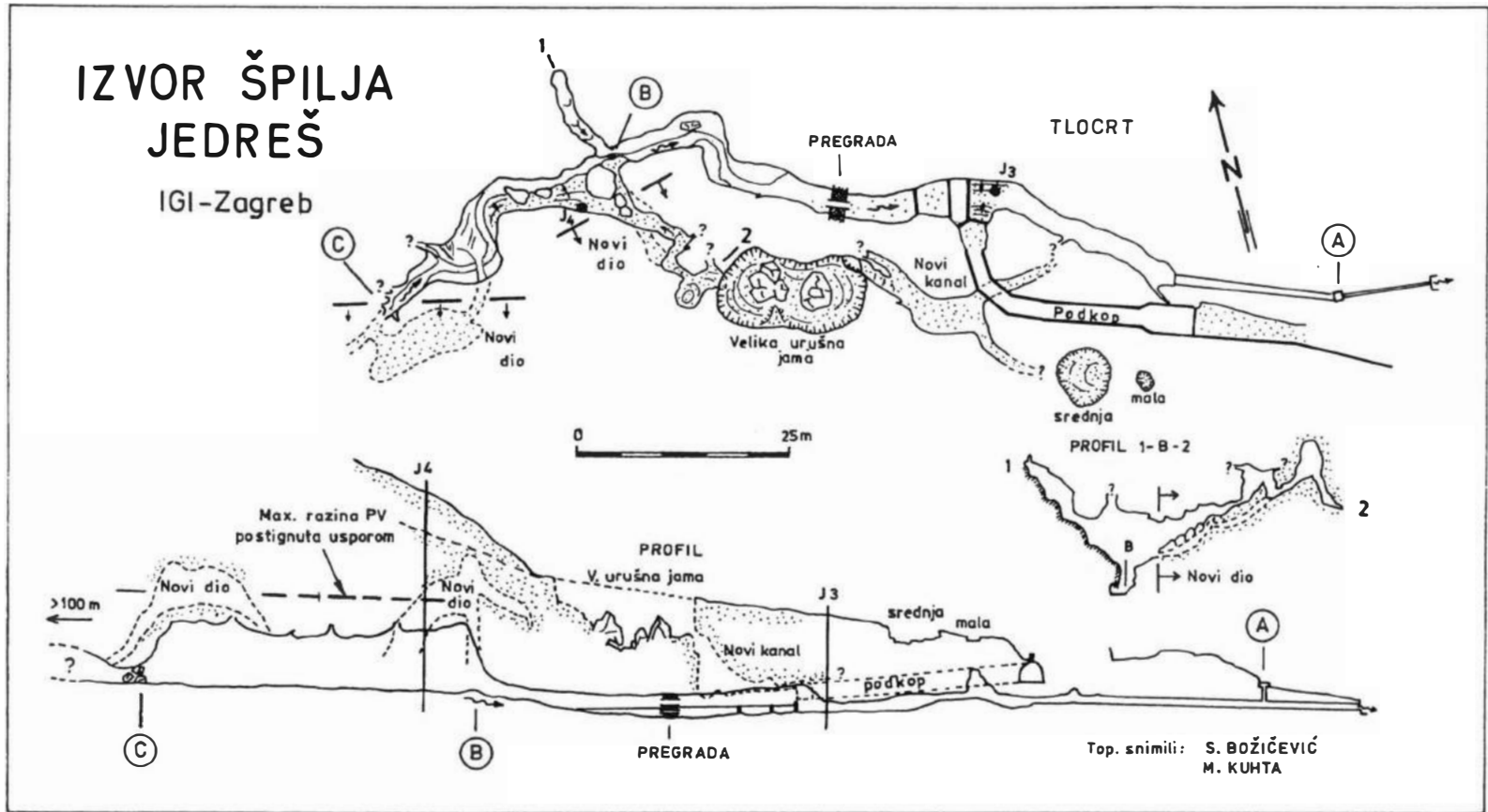
Razmatranje mogućnosti formiranja umjetne podzemne akumulacije u zaleđu izvor špilje Jedreš datira s početka osamdesetih, kada je u tu svrhu provedeno i prvo speleološko istraživanje. Tom prilikom u prirodne dijelove podzemne šupljine ušlo se kroz vertikalni šaht (Sl.2, točka A) i umjetno prokopan tunel. U prvih 70 metara špiljski kanal širok je 2-3 metra dok mu visina varira od 0,7 do 1,5 metara. U nastavku (od točke B), visina kanala poraste i prosječno iznosi oko 6 m do udaljenosti 110 m. Na ovom mjestu kanal je ispunjen urušnim kamenim blokovima (točka C). Provlačenjem kroz uske prostore između njih, uspjelo se doprijeti u nastavak objekta, koji je rekognosciran u dužini od preko 100 m. Na zahtjev investitora, speleološka istraživanja i topografsko snimanje provedena su samo do urušnih blokova, odnosno do 110 m od ulaza.

Građevinskim radovima koji su uslijedili, a zbog omogućavanja lakšeg pristupa u prirodni špiljski prostor, na ulaznom dijelu izveden je potkop dužine 28 m. Neposredno uzvodno od mjesta prodora, prirodni kanal je pregrađen betonskim čepom kroz koji su položene dvije cijevi s ventilima. Za kontrolu razine podzemnih voda predviđene su četiri piježometarske bušotine od kojih su dvije J-3 i J-4 izravno ušle u podzemni prostor špilje.

Po završetku građevinskih radova ventili su zatvoreni i započelo je punjenje podzemnog prostora u zaleđu špilje. Potrebno je istaknuti da ovaj proces nije popraćen adekvatnim opažanjima promjene razine podzemnih voda u podzemlju, kao ni mjerenjem količina podzemne vode koje su iz njega ispuštane.

Temeljem rezultata opažanja razine podzemnih voda u piježometru J-3, provedenim prije izgradnje betonske pregrade, dakle prije narušavanja prirodnog režima istjecanja, vidljivo je da su se zabilježene oscilacije razine podzemnih voda kretale u rasponu od približno 2,5 m odnosno u intervalu od 903,83 do 906,39 m n.m. (Sl. 3).

Dinamika podizanja razine podzemnih voda tijekom prvog punjenja može se rekonstruirati temeljem rezultata opažanja bušotine J-4, locirane cca 30 m uzvodno od betonske pregrade. U prvih nekoliko mjeseci razina vode je održavana na razini od približno 908,0 m n.m.. Nakon toga u veljači 1988. god. uslijedilo je podizanje razine do kote 915,38 m. Ova razina postupno je snižavana do sredine lipnja, kada je dosegnuta razina od 907,7 m. Oscilacije razine u tom razdoblju, a kojih je vjerojatno bilo, nisu



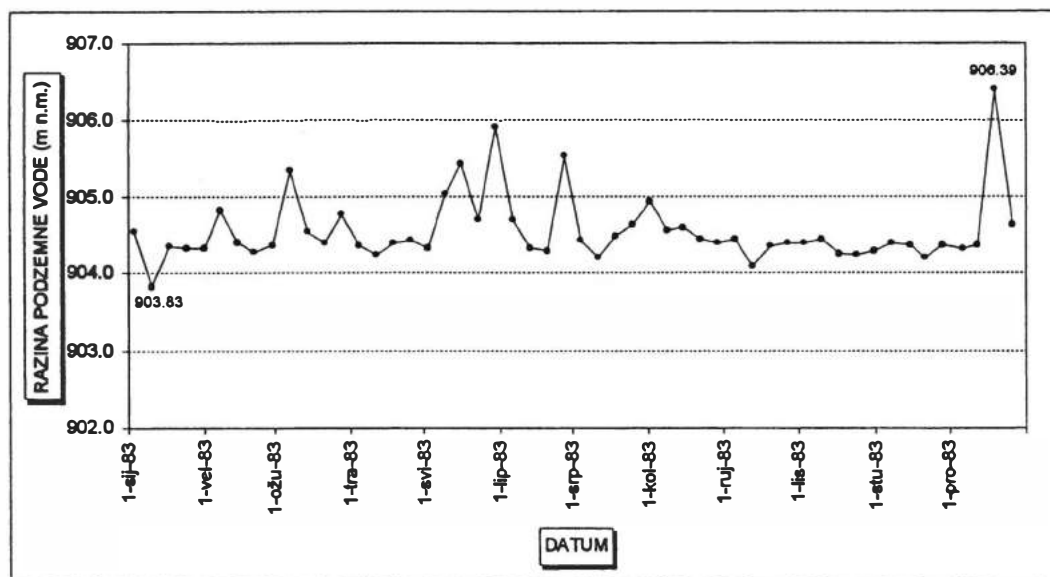
Slika 2. Topografski nacrt istraženog dijela špilje Jedreš.

nam poznate jer nema zapisanih podataka kontinuiranog opažanja. Ponovnim zatvaranjem ventila (18.6.88.) započeo je naredni ciklus punjenja podzemlja (sl. 4). Uslijed jakih kiša, za svega 5 dana, dosegnuta je razina od 916,62 m, kada su primjećene pojave prvih urušavanja na površini terena. Podaci opažanja pijeometara J-3 i J-4 ukazuju da je postignuta razina podzemnih voda viša za približno 12,8 m u odnosu na niske i 10.2 m u odnosu na visoke vode u prirodnom stanju objekta.

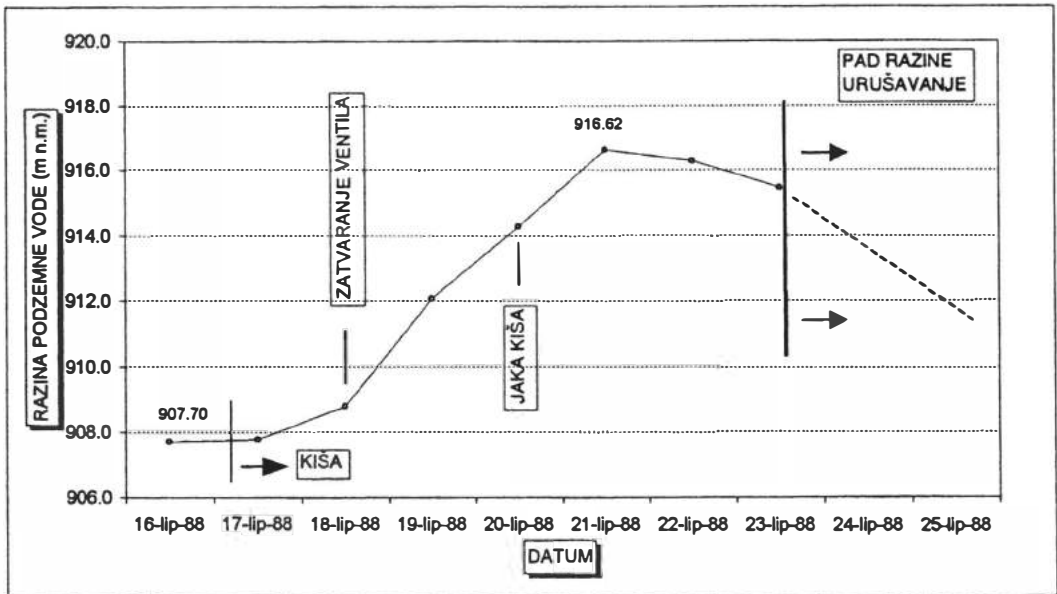
Analiza morfoloških promjena

Kada su ostvareni potrebni uvjeti, očišćen prostor oko ventila i ispuštena akumulirana podzemna voda, pristupilo se pregledu unutrašnjosti špilje i urušavanja nastalih na površini terena. Ovim radovima konstatirane su bitne promjene u morfologiji podzemnog prostora, koje su prikazane na priloženom topografskom nacrtu (Sl.2).

Prvi novo formirani kanal otkriven je kod bušotine J-4. Na tom mjestu prilikom prvog istraživanja postojao je vrlo uzak odvojak, istražen u dužini od 7 m. Zatečena situacija bitno se razlikuje od prijašnje. Novi kanal dug 22 m uzdiže se 7 m iznad razine vodotoka u glavnom kanalu. Pruža se u pravcu juga, a njegov završni dio nalazi se uz rub velikog urušavanja na površini terena. Tragovi zaglinjenog šljunka na bokovima i stropu šupljine, nedvojbeno ukazuju da se radi o starom špiljskom kanalu koji je uslijed spuštavanja erozione baze, odnosno usjecanja novih niže položenih kanala, potpuno izgubio svoju hidrogeološku funkciju, te je postupno zapunjen kvartarnim nanosom. U promjenjenim hidrostatskim i hidrodinamičkim uvjetima, došlo je do ispiranja i erozije velikih količina ovog materijala, što je dovelo do ponovnog otvaranja kanala. Slijedio je proces urušavanja nestabilnih svodova, kojim su formirani dijelovi šupljine iznad maksimalnih razina podzemne vode postignutih usporom. Za vrijeme istraživanja obrošavanja su još uvijek bila aktivna, a posebno u kupolastoj dvorani pri kraju kanala. Opasnost od zarušavanja spriječila nas je u pokušaju zavlčenja u nizak, silazni kanal, primjećen uz sjeveroistočni rub dvorane.



Slika 3. Nivogram pijeometra J-3 za 1983. godinu na osnovi tjednih mjerenja.



Slika 4. Nivogram pijezometra J-4 za kritično razdoblje.

Slijedeći novo otvoreni kanal nalazi se kod točke C, dakle na kraju ranije istraživanih dijela špilje. Zavlačenjem u novo otvoreni strmi bočni kanal ušlo se u 4-5 m široku i oko 12 m dugu podzemnu prostoriju. Na zapadnoj strani dvorana je silaznim kanalom povezana s neistraženim dijelom špilje iza urušenih kamenih blokova. Tlo dvorane prekriveno je zaglinjenim šljunkom i pjeskovitom glinom, a tragovi ovog materijala vidljivi su na stijenama stropa i bokova dvorane, što ukazuje da se i ovdje radi o fosilnoj šupljini, koja je naknadnim procesima bila zapunjena, a sada ponovno isprana do svog prvobitnog oblika. Kao posljedica otvaranja novih šupljina u podzemlju došlo je i do urušavanja terena na površini. Registrirane su tri urušne jame od kojih najveća i ujedno na padini najviše položena, ima dimenzije 16.5x8x5 m, srednja 6,5x6x1,5 m te najmanja 2x1,5x0,5 m (urušavanja su se također događala navedenim slijedom). Uz istočni rub velikog urušavanja nalazi se vertikalni prolaz prema još jednom novo formiranom podzemnom kanalu. Nakon petnajstak metara od ulaza, vrlo niski i 2-3 m širok kanal razdvaja se u dva kraka. Jedan se pruža prema srednjoj i maloj urušnoj jami dok je drugi orijentiran prema glavnom špiljskom kanalu. Zanimljivo je da ovaj krak prelazi preko pristupnog tunela, otkrivajući gornji dio njegove betonske oplata. Vjerujemo da je na tom mjestu tijekom iskopa bila otkrivena kaverna ali na žalost nije speleološki istraživana. Možda se već tada moglo indicirati mogućnost kasnije nastalih problema. Oba navedena kraka postupno se zatvaraju svježim nanosom gline i šljunka te daljnji prolaz nije bio moguć. Na osnovi topografskog nacrtu može se pretpostaviti povezanost lijevog (sjevernog) kraka s uskim kanalom registriranim prilikom prvog istraživanja u ulaznom dijelu špilje. Navedeno ukazuje na mogućnost da je ovaj kanal bio jedan od glavnih smjerova transporta erodiranog nanosa iz novo nastalih kanala u pristupni tunel i ulazni dio špilje. Nažalost, tijekom našeg obilaska ulazni dio špilje još je uvijek bio ispunjen naplavljenim nanosom i ujezerenom vodom, te ovu pretpostavku nismo mogli detaljnije ispitati.

Zaključna razmatranja

Rezultati provedenih istraživanja ukazuju da je špilja Jedreš formirana snažno izraženom višefaznom erozijom. Glavna morfološka karakteristika podzemnog prostora je njegova razvedenost i razvoj u međusobno povezanim etažama. Dijelovi starih, neaktivnih kanala, dijelom su bili otvoreni prema površini paleoreljefa, što je pogodovalo njihovom zapunjavanju deluvijalnim materijalom.

Erozionim procesima u podzemlju formirani su novi, recentno aktivni kanali na nižim razinama. Paralelno s njihovim usijecanjem, odvijao se proces zapunjavanje neaktivnih kanala i šupljina, deluvijalnim materijalom s površine terena. Komunikacija s površinom bila je vrlo izražena, te su svi neaktivni kanali gotovo u cjelosti zapunjeni. U posljednjoj fazi došlo je do zadebljanja deluvijalnog pokrivača na površini terena, te je on potpuno prekrrio stijenski paleoreljef i prikrio njegovu izuzetnu razvedenost.

Zapriječenjem prirodnog puta istjecanja podzemnih voda, došlo je do očekivanog podizanja njihove razine ali i do neželjenih i neplaniranih posljedica. Sukcesivno s porastom razine, podzemne vode su prodirale u fosilne, zapunjene kanale, bilo kroz pukotine u osnovnoj stijenskoj masi (konglomerat), bilo kroz preostale neispunjene dijelove podzemnih kanala. Pored toga, materijal koji ispunjava kanale i sam ima svojstva srednje propusne sredine međuzrnske poroznosti. Uspostavom tečenja prema području manjeg pritiska, dakle prema prostoru iza pregrade, prvo su aktivirani procesi "ispiranja sitnih čestica" (outwashing). Pri uvjetima povećanog pritiska vrlo brzo ostvareni su uvjeti turbulentnog toka i intenzitet procesa ispiranja eksponencijalno se pojačavao. Stvaranjem većih šupljina i njihovim povezivanjem s već postojećim, nezapunjenim prostorima starih kanala, pokrenuta je snažna erozija, a narastajuća energija vodenog toka ubrzo je omogućila transport i najkrupnijih valutica.

S padom razine podzemnih voda uslijedio je proces statičke prilagodbe formiranih šupljina, odnosno došlo je do urušavanja nestabilnih svodova. Na mjestima gdje su veće novo nastale šupljine bile prekrivene tanjim nadslojem, urušavanja su se reflektirala i na površini terena.

Na osnovi grubog proračuna volumena novo formiranih podzemnih kanala i volumena urušnih jama na površini terena, proizlazi da je vodena bujica u svega nekoliko dana iz podzemlja isprala preko 750 m³ materijala.

Opisane morfološke promjene izazvane umjetnim usporom podzemnih voda, ostvarenim izravnim pregrađivanjem kanala u speleološkom objektu, nedvojbeno ukazuju na izuzetnu važnost detaljnih speleoloških istraživanja, kao osnovne podloge projektiranju i izvođenju ovakvih hidrotehničkih zahvata. Nikako nije uputno, speleološka istraživanja limitirati na uže područje same pregrade i svesti ih na puko snimanje topografije objekta, kao što je to ovdje bio slučaj.

Cilj speleoloških istraživanja treba biti sveubuhvatna obrada podzemnog prostora, od izrade detaljnog i preciznog nacрта do snimanja svih relevantnih geoloških, hidrogeoloških i hidroloških karakteristika objekta. Na osnovi prikupljenih podataka i analizom geneze objekta može se pripomoći definiranju mogućeg razvoja događaja u promjenjenim uvjetima nakon formiranja podzemne akumulacije.

Značajnije podzemne akumulacije u kršu, premda prema našim saznanjima do sada nigdje u svijetu nisu izravno ostvarene, realan su i izvediv projekat. U krajnjoj liniji, izvedene površinske akumulacije (u kršu) uključuju i određeno akumuliranje vode o podzemlju. Naravno, u tom slučaju podizanje razine u podzemlju je prateća, a ne

projektirana pojava. Za realizaciju projekata podzemnih akumulacija, kao i u slučaju površinskih, prije svega potrebna je povoljna ali i detaljno istražena prirodna situacija.

Literatura

- Božičević, S. (1978): Hidroelektrane na Trebišnjici, speleološka istraživanja Nevesinjsko polje i ponor Ponikva. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Božičević, S. & Kuhta, M. (1988): Hidroelektrane na Trebišnjici, speleološka istraživanja Fatnica - Nevesinje, Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Mojićević, M. & Laušević, M. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Nevesinje. Geološki zavod Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Mojićević, M. & Laušević, M. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Nevesinje. Geološki zavod Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.

Autori:

Mladen Kuhta dipl.ing.geol.

dr.sc. Srećko Božičević dipl.ing.geol.

Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.08.

Hidrogeološke značajke fliša Istre na primjeru izvora Momjan

Andrea Bačani, Marko Šparica

SAŽETAK: Fliške naslage u Istri sastoje se pretežito od podsječenih siliciklastičnih *Bouma* - *sekvencija* s intervalima Tb,c,d. Izgrađene su od sedimenata sitnijeg zrna (pješčenjaci i lapori). Arenitski i pelitski intervali nalaze se u ritmičkoj izmjeni. Debljina sekvencija je 5 do 50 cm.

U hidrogeološkom smislu ove stijene su nepropusne, odnosno uvjetno propusne u slučaju tektonske razlomljenosti ili kada su arenitski slojevi veće debljine.

Siliciklastični fliš sadrži u različitim nivoima uložene karbonatne turbidite s intervalima Ta,b,c,d, debljine od 0,2 do 10 m. Neke od ovih karbonatnih sekvencija se lateralno u prostoru istanjuju i isklinjuju, dok se najdeblje mogu pratiti na udaljenosti većoj od desetak km². Sastoje se od breča, konglomerata, karbonatnih pješčenjaka različite veličine zrna. U hidrogeološkom smislu to su vodopropusne naslage.

Na donjem kontaktu karbonatnih i siliciklastičnih turbidita, česte su pojave izvora male izdašnosti (<1 l/s), gdje voda gravitacijski istječe na kontaktu propusno-nepropusno. Rjeđi su izvori veće izdašnosti, poput onoga u Momjanu, kada su kaptirani i služe za lokalnu vodoopskrbu. Izvor u Momjanu je uzlazno vrelo čija je pojava u svezi s karbonatnom podlogom fliša.

KLJUČNE RIJEČI: hidrogeologija fliša, Momjan, Istra

Hydrogeological Characteristics of the Istrian Flysch - Momjan Spring Case Study

SUMMARY: Flysch deposits in Istria generally consist of cut siliciclastic *Bouma sequences* with intervals Tb,c,d. They are built of fine-grain sediments (sandstones and marls). Arenitic and pelitic intervals are in rhythmic alternation. Sequence depths range between 5 and 50 cm.

Hydrogeologically, these rocks are impermeable or conditionally permeable in the event of tectonic fractures or when arenite layers are of larger depth.

Siliciclastic flysch contains carbonate turbidites with Ta,b,c,d intervals (thickness 0.2 to 10 m) intercalated at different levels. Some of these carbonate sequences are laterally thinned and wedged in space, while the thickest may be observed at the distance exceeding some 10 km². They consist of breccias, conglomerate, carbonate sandstone with grain of different size. Hydrogeologically, these are highly impermeable layers.

On the lower contact of carbonate and siliciclastic turbidite, the low-yield springs are quite frequent (<1 l/sec), with water running off by gravity on the contact between permeable and impermeable. Springs of higher yield are rare, such as the spring in Momjan, and they are tapped and included in the local water supply system. The Momjan spring is a pressure spring whose occurrence is related with the carbonate flysch base.

KEY WORDS: flysch hydrogeology, Momjan, Istria

Uvod

Brojni izvori različite izdašnosti koji su prisutni u naslagama fliša sjeverne Istre, gotovo redovito se nalaze na kontaktu siliciklastičnih i karbonatnih turbiditnih sekvencija. Pretežito su to izvori male izdašnosti (0,1 do 1 l/s), međutim nalaze se i vrela većeg kapaciteta poput kaptiranog vrela Momjan (procijenjeno >5 l/s). Ove vodne pojave zaslužuju pažnju s hidrogeološkog aspekta, jer se nalaze u specifičnom klastično-karbonatnom stjenskom kompleksu, a također su od značaja za vodoopskrbu lokalnog stanovništva.

Namjera je da se dade prilog rješavanju složene hidrogeološke problematike ovih naslaga na primjeru vrela Momjan.

Kratki pregled geoloških odnosa

Razmatrano područje obuhvaća širu okolicu naselja Momjan u sjevernoj Istri blizu granice s Republikom Slovenijom. Izgrađeno je od karbonatnih naslaga cenoman-turonske i paleocensko-eocenske starosti, klastično-karbonatnih naslaga (fliša) srednjoeocenske i gornjoeocenske starosti te kvartarnih taložina.

Na istraživanom području karbonatne stijene *cenomana* i *turona* nalaze se u jugozapadnom rubnom području kod naselja Kremenje (sl. 1). Sastoje se najčešće od odlično uslojenih vapnenaca, koji su mjestimično i debelo uslojeni. Izdanci su znatno okršeni. Česta je pojava paralelne laminacije što uz orijentiranost mineralnog detritusa, ukazuje na utjecaj morskih struja u procesu taloženja. Katkada se nalaze ostržišća lečastog oblika u kojima su planparalelno postavljene ljuštore krupnih oštriga (hondrodonte) i fragmenti rudista.

U tektonskom kontaktu s prethodnim vapnencima slijede različiti strukturni tipovi vapnenaca objedinjeni nazivom "foraminiferski vapnenci". Pretežito su to slabouslojeni, bioakumulirani vapnenci s krupnim foraminiferama (alveoline, numuliti i dr.), koje su malo transportirane. U vršnim dijelovima nalaze se raspršena rijetka zrna glaukonita. Pripadaju *donjem i dijelu srednjeg eocena*.

Ovi vapnenci postupno prelaze u tzv. "pelazne slojeve" izgrađene od glinovitih vapnenaca s glaukonitom i tempertitskim strukturama. Osim čestih nalaza makrofosila (školjkaši, ježinci, rakovice i dr.), ovi vapnenci sadrže mikrofosilnu zajednicu u kojoj se nalaze bentoske i planktonske foraminifere koje ukazuju na taloženje u dubljem marinskom okolišu. Iako male debljine (<15 m) ove naslage se nalaze u širokom prostoru i značajni su indikator početka krupnih geotektonskih promjena, odnosno početka stvaranja dubokovodnog bazena u kojem će se taložiti fliš. Srednjoeocenske su starosti. Mala pojava ovih stijena (nije izdvojeno na geološkoj karti) registrirana je uz tektonski kontakt s flišem sjeverozapadno od Kremenja.

Na istraživanom području fliš je u tektonskom kontaktu s karbonatnim naslagama (sl.1). U širem prostoru (područje Buje-Grožnjan-Motovun i dalje) naslage fliša su u erozijsko-diskordantnom odnosu s "prelaznim slojevima", "foraminiferskim vapnencima", ali i s karbonatima donje krede (Motovun), što pokazuje blizinu karbonatne platforme koja čini južni i jugozapadni rub fliškog bazena, koji je snažno tektoniziran i diferenciran prije taloženja fliša.

Naslage fliša, koje na istraživanom prostoru prekrivaju najveće površine, pretežito se sastoje od podsječenih siliciklastičnih turbiditskih sekvencija (tipa Bouma) s intervalima

Tb,c,d i Tc,d. Intervali Tb i Tc pretežito su izgrađeni od srednjozrnastih i sitnozrnastih siliciklastičnih pješčenjaka. Sedimentne strukture i tekture su najčešće dobro izražene. Debljina ovih intervala je od 5 do 50 cm (prosječno 10 do 20 cm). Intervale Td i Te izgrađuju lapori i predstavljaju najfiniju frakciju turbiditskog toka (Td) ili rjeđe, gravitacijski taložen sediment između dva turbiditna toka (Te). Debljina ovih intervala je od 10 do 100 cm.

Unutar siliciklastične fliške sukcesije nalaze se karbonatne Bouma – sekvencije s intervalima Ta do Td. Debljina ovih sekvencija je 0,2 do 10 m. Neke se lateralno istanjuju i najčešće isklinjuju, dok se deblje mogu pratiti na udaljenosti većoj od desetak kilometara². Fliš je taložen u srednjem i dijelu gornjeg eocena.

Geološki stup Momjan (sl. 1) koji je snimljen na kaptiranom vrelu Momjan pokazuje litološki sastav karbonatne sekvencije, koji je uz neznatne promjene prisutan i u širem prostoru. Zbog toga će ovdje biti detaljnije opisan.

Sekvencija počinje intervalom Ta debljine 7,5 m, koji se u oštrom i neravnom kontaktu nalazi sa siliciklastičnim sekvencijama u njegovoj podini. Na kontaktu se nalazi vrelo Momjan. Prvih dva metra debljine je krupnozrnasti konglomerat izgrađen od srednjezaobljenih i zaobljenih valutica raznovrsnih stijena (pretežito vapnenci kredne i paleogenske starosti). Promjer valutica koje su nesortirane je 5 do 20 cm. Vezivo je glinovito-pješčani sediment. U razmaku od 2,5 do 7,5 m slijedi čvrsti konglomerat u kome se smanjuje veličina valutica stijena (gradacija) i povećava udio bioklasta u sastavu (kršje krupnih foraminifera i algi). Valutice su promjera 1 do 5 cm, gusto pakirane i vezane čvrstim karbonatnim vezivom.

U postupnom prejelazu slijedi interval Tb s grubom donjom paralelnom laminacijom. Izgrađen je od srednjozrnastog karbonatnog pješčenjaka, u kome je zapaženo smanjenje udjela karbonatnog detritusa i povećanje siliciklastičnih klasta. Ovaj interval je debljine 1 m (od 7,5 do 8,5 m u stupu naslaga).

Interval Tc je registriran od 8,5 do 9 m (debljina 0,5 m) i slijedi u postupnom prijelazu na prethodni. Izgrađen je od sitnozrnastog pješčenjaka s valovitom laminacijom i konvolucijom.

Karbonatna sekvencija u krovini postupno prelazi u siliciklastične intervale i dalje u ritmičku izmjenu siliciklastičnih sekvencija.

Veličina i petrografski sastav valutica i klasta ukazuje na blizinu izvorišnog područja, a to je karbonatna platforma s koje je erodirani materijal turbiditskim tokovima donasan u fliški bazen.

Kvartarne naslage pripadaju genetskom tipu aluvijalnih nanosa i nalaze se u potočnim dolinama (sl. 1). Sastoje se od gline i pijeska s valuticama i oblucima čvrstih stijena.

Fliš Istre je sastavni dio velikog sedimentacijskog sustava koji se proteže priobaljem istočnog Jadrana od područja Trsta, jugozapadne Slovenije, Istre, Hrvatskog Primorja i Dalmacije.

Taloženju fliša uzrokom su velike promjene u režimu sedimentacije na prostoru karbonatne platforme, koje u području Istre počinju u srednjem eocenu pod djelovanjem pirinejskih orogenetskih tektonskih pokreta (Marinčić & Matičec, 1991).

Ove geotektonske promjene karbonatne platforme koje su prethodile taloženju fliša, rezultiraju izdizanjem cijelog područja zaleđa, dok se u karbonatnoj platformi ugiba koritasta depresija “dinaridskog” pružanja kao inicijalno “fliško” korito. Isti tektonski

pokreti istovremeno su uzrokovali okopnjavanje jugozapadnih prostora izgrađenih od platformnih karbonatnih naslaga gornjokredne i paleocen-eocenske starosti (Marinčić et al., 1996).

Sedimentacija fliša počinje kada su stvoreni uvjeti za njegovo taloženje, što podrazumijeva formiranu paleogeomorfologiju bazena: šelf, kontinentalna padina, bazensko dno.

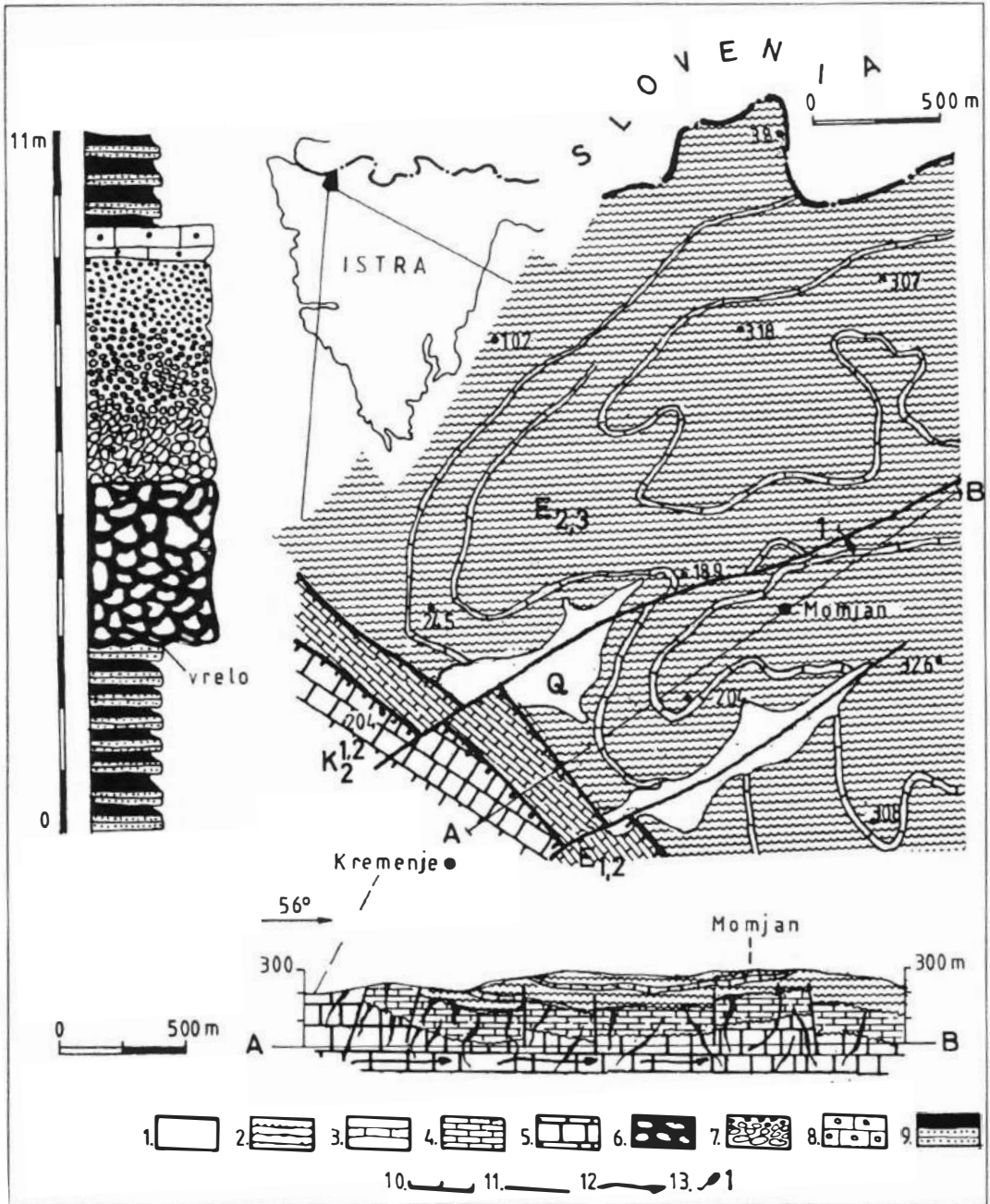
U sjeveroistočnom području Istre naslage fliša se kontinuirano talože na karbonatnim stijenama podloge (“inicijalno korito”), a u zapadnom i jugozapadnom području u erozijskoj diskordanciji na naslage platformskih karbonata različite starosti; od vapnenaca cenomana do srednjoeocenskih foraminiferskih i glaukonitskih vapnenaca. Fliš je u ovom području (kome pripada istraživani prostor) u transgresiji na ranije okopnjele, snažno tektonizirane i okršene prostore, pa svojim napredovanjem prekriva sve starije naslage. Prema Marinčiću et al. (1966) pod utjecajem sve prisutnijeg djelovanja “pirinejskih” tektonskih pokreta, fliški bazen pomiče se prema jugozapadu, zbog čega ranije okopnjele naslage karbonatne platforme postaju podloga bazenskog dna.

Naslage fliša u području Momjana su u tektonskom odnosu s foraminiferskim vapnencima donjo i srednjoeocenske starosti koji pripadaju karbonatnoj strukturi Savudrija – Buzet poznatoj u literaturi kao “Bujska antiklinala” (sl. 1). Njezina prostorna orijentacija je divergentna u odnosu na glavne strukture koje su nastale “pirinejskim” tangencijalnim tektonskim pokretima. Pruža se pravcem ZSZ – IJI u dužini od cca 45 km, prosječne širine 5 km. Sa sjeverne i južne strane rasjedima je odvojena od naslaga fliša, koji su reverznog tipa, ali suprotne vergencije (Matičec, 1994). Isti autor postanak ove strukture veže za neotektonsku aktivnost, a specifičnu orijentaciju objašnjava djelovanjem regionalnog stresa, približnog pravca S – J. Analizom morfoloških odnosa Mihaljević (1998) također dolazi do zaključka da se ova struktura izdigla u mlađe geološko doba.

Naslage fliša u čitavom prostoru sjeverno od ove strukture, blago su položene, najčešće horizontalne, osim uz tektonski kontakt s karbonatima, gdje su ustrmljene i često borane. Međutim, već nakon nekoliko desetaka metara od tektonskog kontakta, poprimaju primarni horizontalni položaj. Uzrok tome vjerojatno je u litološkom sastavu fliške sukcesije koja se relativno neutralno ponaša spram tektonskog stresa.

Hidrogeološke značajke fliša

Fliš svojim prostornim položajem uvjetuje hidrogeološke odnose na području sjeverozapadne Istre. On predstavlja barijeru kretanju podzemne vode kroz karbonate te svojom nepropusnošću omogućava pojavu izvora, površinskih tokova te na kontaktu s karbonatnim naslagama pojavu ponora. Prema tome u regionalnim odnosima fliš je nepropusna sredina u odnosu na karbonatne naslage. Međutim fliš kao cjelina za sebe je vrlo heterogen i sastoji se od učestale izmjene litoloških članova različitih hidrogeoloških osobitosti. Na području sjeverozapadne Istre dobro propusne stijene unutar fliških naslaga predstavljaju karbonatne sekvencije čije se debljine kreću od 0,2 do 10 m (na lokaciji Momjan 9,5 m), a prostiranje im može iznositi više desetaka km². Registrirani su brojni izvori čija je pojava vezana za kontakt dobro propusne karbonatne sekvencije i siliciklastične nepropusne podloge. Najčešće se radi o izvorima silaznog tipa, različitog kapaciteta od 0,1 do 1 l/s, na kojima voda gravitacijski istječe preko nepropusne podloge. Oni značajnijeg kapaciteta su kaptirani.



Slika 1. Geološka karta okolice Momjana

Tumač oznaka: 1. Aluvijalne taložine (kvartar, Q); 2. Fliš (srednji i dijelom gornji eocen, E_{2,3}); 3. Karbonatne turbiditske sekvencije; 4. Foraminiferski vapnenci (donji i dio srednjeg eocena, E_{1,2}); 5. Vapnenci (cenoman-turon, K_{1,2}); u geološkom stupu: 6. Konglomerati s glinovito-pjeskovitim vezivom; 7. Konglomerati s gradacijom; 8. Karbonatni pješčenjaci; 9. Siliciklastični fliš; 10. Reverzni rasjed; 11. Rasjed; 12. Pretpostavljeni smjer toka podzemne vode; 13. Vrelo Momjan (1).

Vrelo Momjan također je vezano za kontakt nepropusnih lapora siliciklastične sekvencije i dobro propusnih, krupnozrnatih konglomerata karbonatne sekvencije (sl.1). Voda izbija kroz nekoliko pukotina što otežava mjerenje izdašnosti, no procijenjena izdašnost je između 5 i 10 l/s u sušnom razdoblju. Prema usmenim informacijama mještana vrelo nikad nije presušilo i uvijek je približno istog kapaciteta. Ova, za flišku sredinu velika izdašnost može se protumačiti blizinom rasjedne zone "bujske antiklinale" tj. tektonski predisponiranim putevima podzemne vode iz okršene karbonatne podloge kroz relativno tanke, neotektonskom aktivnošću raspucale fliške naslage (sl.1).

Zaključak

Unutar fliških naslaga sjeverozapadne Istre mogu se izdvojiti dobro propusne stijene – vodonosnici i slabopropusne do nepropusne stijene – barijere. Vodonosnike čine karbonatne sekvencije promjenljive debljine 0,2 do 10 m, izgrađene pretežito od konglomerata koji prema vršnom dijelu prelaze u pješčenjake, dok siliciklastične sekvencije pješčenjaka i lapora imaju ulogu barijere. Na kontaktu ovih dviju hidrogeološki različitih sredina brojne su pojave izvora. Izvorišta većeg kapaciteta poput vrela u Momjanu su kaptirani.

Ove vodne pojave zaslužuju pažnju s hidrogeološkog aspekta, jer se nalaze u specifičnom klastično-karbonatnom stjenskom kompleksu, koji se u izučavanju regionalnih hidrogeoloških odnosa krških područja smatra nepropusnom sredinom, a također su od značaja za vodoopskrbu lokalnog stanovništva.

Literatura

- Marinčić, S & Matičec, D. (1991): Tektonika i kinematika deformacija na primjeru Istre. Geol. Vjesnik, 44, 257-268, Zagreb.
- Marinčić, S., Šparica, M., Tunis, G. & Uchman, A. (1996): The Eocene Flysch deposits of the Istrian Peninsula in Croatia and Slovenia: regional, stratigraphic, sedimentological and ichnological analysis. Annales 9, 3, 139-156, Koper.
- Matičec, D. (1994): Neotectonic Deformations in Northern Istria, Croatia. Geol. Croat., 47/2, 199-204, Zagreb.
- Mihljević, D. (1998): Reljef strukturnog podrijetla i strukturno-geomorfološke regije Istre i Kvarnera. Prirodoslovna istraživanja riječkog područja (1996), Prir. muzej Rijeka, 277-302, Rijeka.

Autori:

- Doc.dr.sc. Andrea Bačani, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb
Dr.sc. Marko Šparica, Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.09.

Utjecaj sedrene barijere na krški izvor

Ante Renić, Ante Pavičić

SAŽETAK: Izdašan krški izvor Torak, čije vode se crpe za vodovod Dalmatinske zagore, nalazi se u kanjonu rijeke Čikole. Razvitkom sedrene barijere Skradinskog buka visine preko 50 m od pleistocena do danas je stvoreno ujezerenje u kanjonskim dolinama rijeka Krke i Čikole. Time su bitno promijenjeni hidrološki odnosi u širem krškom području iz kojega vode istječu na izvoru Torak. Tijekom "rasta" sedrene barijere Skradinskog buka, taložene su velike količine jezerskog sedimenta u kanjonu Čikola, a stalnim istjecanjem vode na izvoru sprječavano je zatrpavanje izvora Torak jezerskim sedimentima. Tako je nastao jedinstven tip izvora u našem kršu u obliku jezera dubine 47 m i promjera 180 m. Vode i danas istječu iz kanala u karbonatnom dnu jezera na istom mjestu gdje je izvor bio u pleistocenu, prije stvaranja sedrene barijere i ujezeranja. Poznavanje razvitka i funkcije izvora, čije vode se korite za vodoopskrbu, omogućuje cjelovitiji pristup kod njegove zaštite.

KLJUČNE RIJEČI: krški izvor, razvitak sedrene barijere, zaštita voda

Sinter Formation Impact on Karst Spring

SUMMARY: A high-yield Torak karst spring, located in the Čikola River canyon, has been used by the Dalmatinska Zagora Water Supply System. Development of over 50 m high Skradinski Buk waterfall sinter formation from the Pleistocene period until the present day resulted in impoundment of the canyon valleys of the Krka and Čikola Rivers. This has resulted in a considerable change in hydrological relations within the wider karst area. While the Skradinski Buk sinter formation has been "growing", large quantities of lacustrine deposits have been settling in the Čikola canyon. Continuous water outflow prevented clogging of the Torak spring with lacustrine deposits. This led to formation of a unique type of karst spring a 47 m deep and 180 m wide lake. Water is outflowing from the conduits in the carbonate lake bottom which are still where they had been located in Pleistocene, before the sinter formation and impoundment were formed. Knowledge of spring development and function (water supply) enables undertaking of adequate steps towards its protection.

KEY WORDS: karst spring, sinter formation development, water protection

Uvod

Posljednjih godina rađena su, u svrhu poboljšanja vodoopskrbe Šibenika i Dalmatinske zagore, brojna hidrogeološka istraživanja u slijevnim područjima rijeka Krke i Čikole. Posebna pozornost se poklanja zaštiti pitkih voda na izvorima Torak i Jaruga. Za potrebe iskorištenja hidroenergetskog potencijala Čikole, rađena su početna istraživanja za ostvarenje akumulacije u kanjonskom dijelu toka Čikole, koji je cijeli u slijevnom području navedenih izvora. Šire područje toka Čikole istražuje se i u sklopu izrade Osnovne hidrogeološke karte, list Drniš.

Izvor Torak se nalazi neposredno uz najuzvodniji dio ujezerenja Čikole neposredno ispod lijeve strme strane kanjona oko 3,5 km uzvodno od Skradinskog buka. Izvor je jezerce gotovo kružnog oblika, promjera oko 180 m i dubine 47 m. Voda izvire iz šupljine u stijeni na dnu jezera i istječe iz jezera kratkim kanalom u Čikolu. Razina vode u jezercu je na oko 49 m n.m., što znači da je dno jezera na koti oko 2 m n.m. Približno na istoj koti je i istjecanje vode na izvorima Jaruge uz lijevu obalu Krke, neposredno nizvodno od Skradinskog buka. Voda u jezeru Torak se povremeno kratkotrajno zamućuje, a zamućenja nisu u vezi s lokalnim padalinama. Izdašnost izvora nije mjerena, a prema podacima vodovoda iznosi oko 1000 l/s kod srednjih voda. Zadnjih godina krajem dugih izrazito sušnih razdoblja, registrirano je uviranje iz ujezerenja uzvodno od Skradinskog buka u jezerce izvora, pa Torak ima obilježje estavele. U to vrijeme vode iz jezera izvora Torak jedino mogu istjecati na izvorištu Jaruga, što su pokazali rezultati dosadašnjih istraživanja koji nedvojbeno dokazuju hidrauličku povezanost izvora Torak s više izvora uz lijevu obalu Krke, na lokalitetu Jaruga.

Hidrogeološke značajke terena i postanak izvora

Postanak izvora Torak u izravnoj je vezi s razvitkom reljefa šireg područja slijeva. Rijeka Čikola je nizvodno od Drniša, isto kao i Krka nizvodno od Knina usječena u sjevernodalmatinsku zaravan. To područje grade karbonatne stijene taložene od gornje krede do kraja paleogena s nekoliko faza emerzije i ponovne transgresije. Na prijelazu krede u paleogen i u početku samog paleogena pokreti laramijske faze uzrokovali su prvu emerziju i prekid sedimentacije. U donjem eocenu obnovljena je sedimentacija najprije slatkovodno-brakičnih kozinskih vapnenaca, a zatim i marinskih foraminiferskih vapnenaca, te završno fliša. Nova emerzija uslijedila je nakon taloženja fliša, a njezin kraj obilježen je taloženjem prominskih naslaga. Pokreti koji prekidaju sedimentaciju molasnih prominskih naslaga izazvali su posljednju emerziju koja traje i danas (Ivanović i dr. 1978). U vrijeme svake emerzije aktiviraju se površinski erozijski i korozijski procesi, a posebno su bili intenzivni nakon pirenejskih pokreta kada su stvoreni uvjeti da površinske vode uđu u podzemlje preko tektonskih pukotina podložnih procesu okršavanja. Vode uz pukotine dopiru do nepropusne podloge ili lokalne erozijske baze gdje istječu na površinu (Bahun, Fritz, 1987). Od svih faza u sklopu alpskog orogenskog ciklusa najznačajnije izdizanje, a s tim u vezi i boranje, navlačenje, te rasjedanje, vezano je za pirenejske pokrete. Njima je konačno izdignuta glavovina karbonata na površinu (Herak i dr., 1969). U to vrijeme nastalo je i Petrovo polje s nepropusnim stijenama u podlozi polja na kojima nastaje jezero. Za okršavanje dubljih dijelova karbonatnog podzemlja uvjeti su stvoreni vjerojatno već od srednjeg oligocena (Fritz i dr., 1993), a sigurno od miocena. Položaji krajnje erozijske baze i povezanost s fluktuacijom morske razine, može se sa sigurnošću pratiti od pliocena do danas (Šegota, 1963). Razina mora bila je u nekoliko navrata viša ili niža od današnje razine, pri čemu visoke razine mora odgovaraju razdobljima interglacijala, a niske razine glacijacijama. Od početka kvartara, pa do sredine glacijala Günz, razina mora postupno opada od oko +300 m do oko +36 m u odnosu na današnju razinu. U interglacijalu Günz-Mindel razina mora ponovo raste na +60 m, a u vrijeme idućih glacijala najniža je znatno niža od razine u Günz glacijalu, pa u Mindelu doseže -90 m, Rissu maksimalnih -110 m, te Würmu -100 m, nakon čega se postupno diže do današnje razine. Za razvitak povezanih podzemnih šupljina, kojima teku podzemne vode, presudnu ulogu u slijevu Torak imaju te stare, niske razine mora - erozijske baze u vrijeme glacijala. Današnja podzemna mreža kanala

s povremenim ili stalnim tokovima voda, najvećim dijelom se razvila tijekom pleistocena prije nastanka sjeverodalmatinske zaravni i proboja Čikole. Razvitkom podzemnih kanala snižava se razina podzemnih voda brže od snižavanja reljefa, a odlučujući faktor u brzim krškim procesima u podzemlju imaju neotektonski pokreti (Bahun i Fritz, 1987). Krajem pliocena iz jezera u Petrovom polju vode otječu u podzemlje preko ponora koji su i danas uz jugozapadni obod (Fritz, 1991), što je posljedica okršavanja karbonatnog podzemlja. Smjer tečenja je na jugozapad, a taj smjer zadržan je do danas. Nakon nastanka sjeverodalmatinske zaravni u gornjem pliocenu (Cvijić, 1926; Friganović, 1961) ili u starijem pleistocenu (Fritz, 1972), iz depresije Petrovog polja počinje površinsko istjecanje i usijecanje kanjona Čikole u sjeverozapadni dio Moseća i sjevernodalmatinsku zaravan. Usijecanje je monofazno, barem što se tiče kanjonskog dijela od Drniša do Miljevića drage, dolina je vrlo mlada, a to usijecanje traje još i danas (Fritz, 1991). U kanjonskom dijelu doline nema istaložene sedre, a tek mjestimice su tanje pojave riječnog nanosa. Danas tok Čikole redovito presušuje. Izrazitih ponora u koritu Čikole nema, a poniranje manjih količina voda registrirano je na više mjesta u dnu korita uzduž rasjednih pukotina (Fritz i dr., 1984).

U svim hidrološkim stanjima, razina podzemne vode je znatno ispod dna korita kanjonskog dijela Čikole, pa je taj dio toka Čikole u "visećem" dijelu doline (Fritz i Pavičić, 1982). Usijecanje kanjonskog dijela doline do Miljevića drage nije doseglo dubinu do glavnih podzemnih kanala kojima teče podzemna voda prema izvorima Torak, odnosno Jaruga.

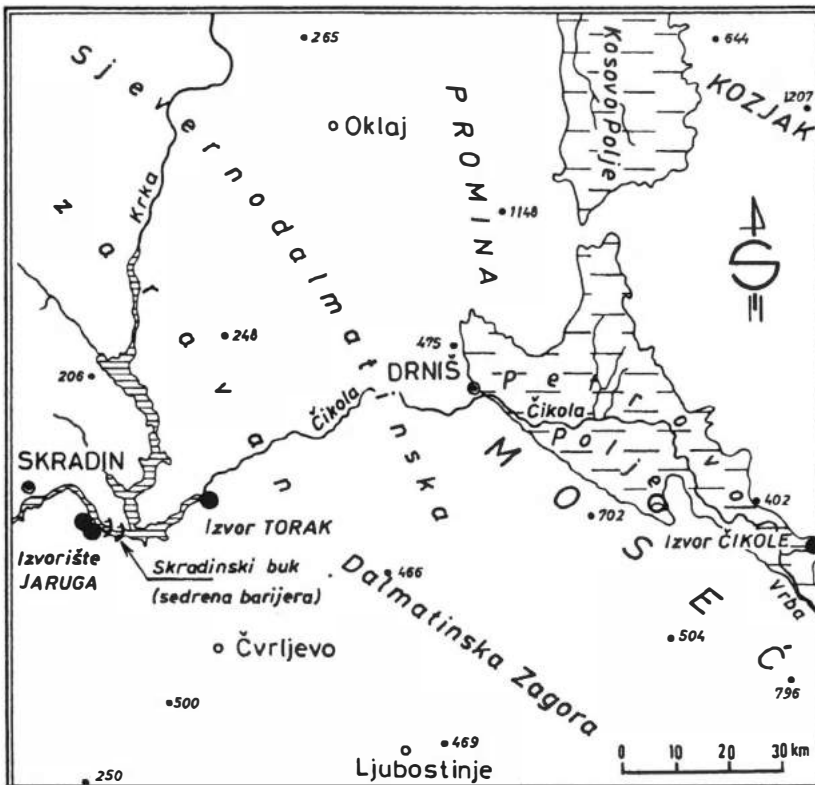
Osim tzv. kontaktnih izvora, koji su normalna pojava uz kontakt propusnih i nepropusnih naslaga, česta je pojava izvora kao posljedica dinamike razvitka krša u podzemlju u odnosu na dinamiku razvitka krškog površinskog reljefa (Bahun i Fritz, 1987). Izvor Torak tipičan je primjer takvog načina postanka izvora u kršu s dodatnim specifičnostima vezanim samo za taj izvor.

Dno doline Čikole nizvodno od Miljevića drage, pa do Skradinskog buka, znatno je dublje usječeno u karbonatne naslage sjevernodalmatinske zaravni nego što je to slučaj u dijelu kanjonskog toka između Drniša i Miljevića drage. Brza i snažna erozija dna korita Čikole, i dna korita Krke nizvodno od utoka Čikole u Krku, dosegula je dubinom podzemne kanale kojima teče podzemna voda iz udaljenih dijelova slijeva prema tadašnjoj erozijskoj bazi i presjekla ih. To najdublje usijecanje završeno je krajem posljednjeg glacijala kad su velike količine vode s velikom količinom krupnog nošenog materijala tekle Krkom i Čikolom. U to vrijeme erozijska je baza, odnosno razina mora još znatno niža od današnje, ali ipak viša od najniže u würmskom glacijalu od prije oko 40.000 godina (Šegota, 1963). Iz presječenih podzemnih kanala podzemne vode istječu u korito Čikole na mjestu današnjeg dna jezera Torak, odnosno u korito Krke na mjestu današnjeg izvorišta Jaruga. Krajem würmskog glacijala i nastupom toplije klime postglacijala, prije oko 10.000 godina, nastaju povoljni uvjeti za razvitak sedre. U duboko izdubenom koritu Krke nizvodno od utoka Čikole u Krku na brzacima počinje stvaranje sedre i relativno brz rast sedrene barijere. U to vrijeme razina mora je još uvijek znatno niža od današnje razine, pa se sedra stvara i u dijelu toka nizvodno od Skradinskog buka. Rastom sedrene barijere Skradinskog buka u uzvodnom dijelu tokova Krke i Čikole nastaje ujezerenje koje se od kraja würmskog glacijala pa do današnjih dana povećava. Cijelo to razdoblje vode Čikole donose erodirani materijal iz Petrovog polja i kanjonskog dijela toka. Zbog postupnog rasta sedrene barijere na utoku Čikole u Krku smanjena je u tom dijelu toka energija vode, pa se donešeni materijal odlaže u dnu

korita Čikole. Osim donešenog materijala u ujezerenju se taloži i karbonatni mulj ispunjavajući međuprostor između krupnih frakcija sedimenata. Snažno istjecanje podzemnih voda iz kanala u stjenovitom dnu korita Čikole na mjestu današnjeg jezerca Torak, spriječavalo je zatrpavanje izvora, pa se donešeni materijal odlaže kružno oko izvora. Povišenjem sedrene barijere Skradinskog buka i ujezerenja uzvodno od buka do današnje visine, te zatrpavanja korita u okolici izvora Torak, nastao je jedinstven oblik izvora - jezerce kružnog oblika dubine 47 m odvojeno uskim pojasom donešenog materijala od voda Čikole.

Izvor Torak, korištenje i zaštita

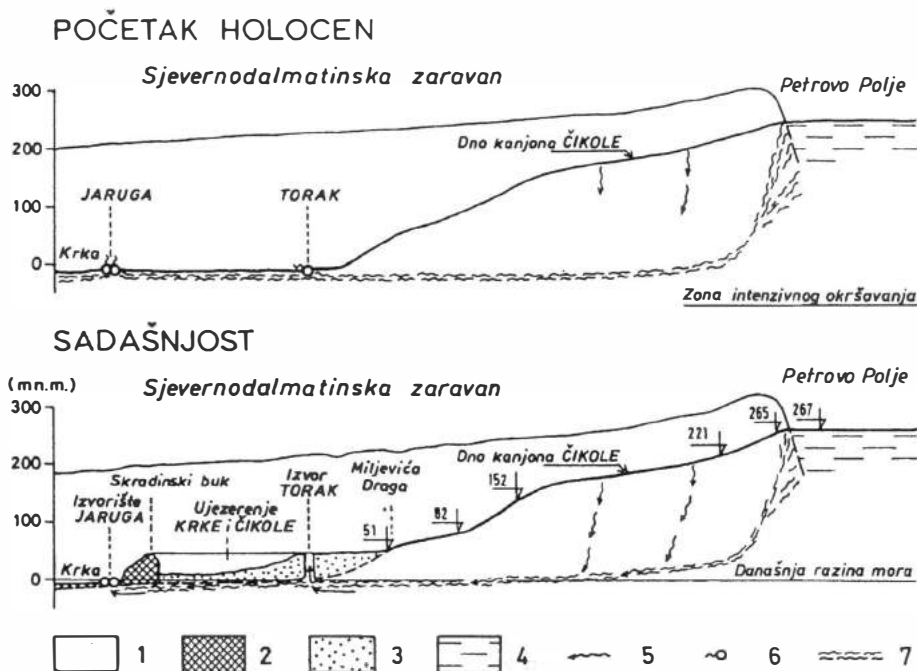
Uz jezerce izvora Torak izgrađeno je crpilište vodovoda Drniša i Dalmatinske Zagore. Voda se zahvaća na dubinu od 30 m, odnosno 17 m od dna jezerca (grupa autora, 1979). Instalirane su tri crpke od kojih su dvije u pogonu, a treća je zamjenska. Ukupno se najviše crpi 50 l/s vode. Posljednjih godina, od kada je vodoopskrba Drniša riješena zahvatom podzemne vode izvora Čikole, voda s izvora Torak isključivo se koristi za vodovod Dalmatinske zagore, a za drniški vodovod voda Torka je samo znatno skuplja pričuva. Zbog činjenice da u ekstremno sušnim razdobljima u jezerce izvora Torak teče voda iz ujezerenja uzvodno od Skradinskog buka, moguće je zahvaćati dodatne količine vode za vodovod samo u vrijeme velikih i srednjih voda.



Slika 1. Šire područje izvora Torak

Slijevno područje izvora Torak najvećim dijelom je zajedničko s izvorom Jaruga (Fritz i dr., 1993). To su tereni južno od Petrovog polja do crte Kladnice-Ljubostinje-Čvrljevo, područje sjevernodalmatinske zaravni između Promine i Krke na sjeveru do Oklaja, te posredno Petrovo polje (Fritz, 1990). Istočna granica slijeva nije u potpunosti određena, iako je rezultatima obilježavanja ponornih voda južno od sela Kljake otvorena mogućnost da dio podzemne vode iz slijeva izvora Čikole, podzemljem otječe prema Torku i Jaruzi (Fritz i dr., 1993). Najveći dio padalinskih voda koje padnu na površinu slijeva izgrađenog iz relativno slabo propusnih karbonata, ponire postupno u krški teren. Većih koncentriranih uviranja nema, čemu svakako doprinosi i zaravnjenost većeg dijela slijeva i izostanak izrazitih jaraka i ponora. To su pozitivni elementi kod razmatranja zaštite voda Torka. Podzemnim vodama izvora Torak pridružuju se i manje količine ponornih voda iz kanjonskog dijela toka Čikole, što je potvrđeno obilježavanjem ponornih voda na pukotinskoj zoni u koritu Čikole oko 1,5 km nizvodno od Drniša. Budući da osim izvora Torak i Jaruga drugih vodnih objekata reprezentativnih za podzemne vode u tom prostranom slijevu nema, kvaliteta podzemne vode se može pratiti tek na samim izvorima. Na izvoru Torak zamućenja su povremeno u studenom, prosincu i siječnju. Sadržaj klorida je mali, između 8 i 24 ml/l, a sadržaj sulfata u ljetnim mjesecima iznosi 64 ml/l. Tvrdoća je između 14,0 i 17,6 nj°. Voda je dobro zasićena kisikom i sadrži malo otopljenog ugljičnog dioksida.

U slijevu je relativno malo zagađivača. Glavni i najveći je grad Drniš, čije otpadne vode nepročišćene otječu u Čikolu. Kako je rečeno, ponorne vode Čikole izravno ugrožavaju



Sl. 2. Postanak izvora TORAK: 1-VODOPROPUSNE KARBONATNE NASLAGE; 2-SEDRA (barijera -Skradinskog buka); 3.-JEZERSKI SEDIMENT; 4-VODONEPROPUSNE KLASTIČNE NASLAGE; 5-SMJER PODZEMNOG TEČENJA VODE; 6-KRŠKI IZVOR; 7-OSNOVNI TOKOVI PODZEMNE VODE.

vodu izvora Torak, a taj je utjecaj osobito jak ljeti kad je koncentracija zagađivala najviša i kad sve vode Čikole poniru u podzemlje. Budući je nepobitna hidraulička veza Torka i Jaruge ovim su ugrožene i vode izvorišta Jaruga.

U sklopu zaštite pitkih voda Torka također je potrebno očuvati čistom i vodu rijeke Krke ugroženu otpadnim vodama Knina, jer u vrijeme ekstremne suše voda Krke teče u jezerce Torka, pa tada izravno utječe na kvalitetu vode Torka. U vrijeme dužih sušnih razdoblja ovaj, iako mali utjecaj posredno se može odraziti i na kvalitetu vode izvora Jaruga. Iz tog razloga je potrebno hitno riješiti problem otpadnih voda Drniša, a zbog utjecaja posredno preko voda Krke i otpadne vode grada Knina.

Izgradnjom akumulacije u kanjonskom dijelu Čikole, izdašnost izvora Torak ne bi se značajno povećala zbog male propusne moći uzduž pukotina u koritu Čikole. Taj utjecaj bio bi izražen nešto jače u ljetnim mjesecima i Torak bi vjerojatno u vrijeme ekstremnih suša izgubio funkciju estavele i postao stalan izvor.

Zbog zajedničkog slijeva izvora Torak i Jaruge i njihove hidrauličke veze, koja je još uvijek nedovoljno poznata, kod predlaganja zona sanitarne zaštite voda oba izvora, izvedeni su zajednički istražni radovi.

Literatura

- Bahun, S., Fritz, F. (1987): Postanak izvora u dinarskom orogenskom akumuliranom kršu. Krš Jugosl. 12/2, 27-37, Zagreb.
- Cvijić, J. (1926): Geomorfologija knj. 2, Beograd.
- Frganović, M. (1961): Polja gornje Krke. Radovi geogr.inst. sveuč. u Zagrebu, 3, Zagreb.
- Fritz, F. (1972): Razvitak gornjeg toka rijeke Zrmanje. Krš Jugosl. 8/1, 1-16, Zagreb.
- Fritz, F., Pavičić, A., Renić, A. (1984): Hidrogeološka studija područja Trogir-Šibenik-Drniš-Knin. Fond IGI br. 248/84, Zagreb.
- Fritz, F., Pavičić, A. (1982): Hidrogeološki viseći dijelovi rijeka Krke i Zrmanje. Zbornik referata VII Jugosl.simp. o hidrogeol. i inže.geol., Novi Sad.
- Fritz, F. (1990): Izvor Jaruga i Torak. Hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarne zaštite. Fond IGI br. 43/90, Zagreb.
- Fritz, F. (1991): Utjecaj recentnog okršavanja na zahvaćanje voda. Geološki vjesnik 44, 281-288, Zagreb.
- Fritz, F., Renić, A., Pavičić, A. (1993): Hydrogeology of the Hinterland of Šibenik and Trogir, Croatia. Geol. Croat. 46/2, 291-306, Zagreb.
- Grupa autora (1979): Vodovod grada Šibenika 1879-1979. Monografija, Šibenik.
- Herak, M., Bahun, S., Magdalenić, A. (1969): Pozitivni i negativni utjecaji na razvoj krša u Hrvatskoj. Krš Jugosl. knj. 6, 45-78, Zagreb.
- Ivanović, A., Sikirica, V., Marković, S., Sokač, K. (1978): Osnovna geološka karta list Drniš, tumač. Sav.geol.zav. Beograd.
- Šegota, T. (1963): Geografske osnove glacijacija. Radovi geogr.instit., 4, Zagreb.

Autori:

Mr.sc. Ante Renić, dipl.ing.geol. i Dr.sc. Ante Pavičić, dipl.ing.geol.

Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Sachsova 2



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.10.

Konflikt melioracijskih zahvata s korištenjem prostora Donje Neretve

Mirjana Švonja, Živko Barbarić

SAŽETAK: Prvi regulacijski radovi na rijeci Neretvi su izvedeni krajem prošlog stoljeća radi uspostave plovnog puta od mora do Metkovića. Melioracijskim zahvatima koji su se u dolini Neretve počeli provoditi 50-tih godina pokrenut je proces vrlo intenzivnih društvenih i gospodarskih promjena. Melioracija se najintenzivnije provodila do 70-tih godina. Zadnjih desetak godina radovi na dovršetku melioracijskog sustava posustaju, a izgrađeni objekti se devastiraju i zapuštaju. Sustav obrane od poplava štiti samo državne poljoprivredne površine jer gradovi Metković i Opuzen, područje Vidrice i gotovo cijeli privatni kompleks poljoprivrednih površina još nemaju cjelovito izgrađene obrambene objekte. Odvodnja unutrašnjih voda se provodi kontinuiranim crpljenjem, a navodnjavanje je djelomično riješeno. Danas je prostorna struktura u dolini Neretve potpuno poremećena. Nedostatak ukupne planerske osnove razvoja pridonio je ekstenzivnoj izgradnji stambenih objekata zauzimanjem poljoprivrednih površina uzduž kanala, nasipa i prometnica. Trend dalje prenamjene melioriranog poljoprivrednog zemljišta je sve izraženiji. Gradi se zračna luka, šire naselja kojima u pravilu nedostaje kanalizacijska mreža s uređajem za pročišćavanje, planira "provlačenje" koridora autoceste samom deltom i sl. Na ovom jedinstvenom, ali osjetljivom prostoru potrebno je hitno redefinirati razvojnu sliku i utvrditi kriterije za provođenje održivog razvoja. Provođenje revitalizacije zahtijeva osim administrativnih mjera i ogromna ulaganja, te promjenu odnosa lokalnog stanovništva prema prirodi.

KLJUČNE RIJEČI: melioracija, devastacija, prostor, izgradnja, prenamjena, revitalizacija.

Conflict between Reclamation Works and Utilization of the Lower Neretva Region

SUMMARY: First river training on the Neretva River were undertaken in late nineteenth century in order to establish the navigation track between the sea and town of Metković. Reclamation works, which were started in the Neretva valley during the fifties, triggered intensive social and economic changes. The most intensive land reclamation activities were those during the seventies. During the last ten years the activities related to completion of the reclamation system have been losing breath, and the constructed structures are devastated and neglected. The flood control system protects only state-owned agricultural land, since the towns of Metković and Opuzen, along with the area of Vidrica and almost entire private arable land complex still have no flood control structures. Drainage is carried out by continuous pumping, and irrigation is resolved only partly. The spatial structure in the Neretva valley is completely disturbed. Lack of any land use planning basis for development contributed to extensive construction of residential buildings and occupation of agricultural land along the canals, embankments and roads. Trend of future

conversion of reclaimed arable land is becoming more pronounced. An airport is under construction, the residential areas are being built which generally lack sewage network and treatment plant, there are plans for a highway corridor running through the delta, and the like. This unique and highly sensitive region demands urgent redefining or developmental framework and setting up of sustainable development criteria. In addition to administrative measures and enormous investment, revitalization demands change in attitude of local population and rising of environmental awareness.

KEYWORDS: reclamation, devastation, space, construction, conversion, revitalization

1. Uvod

U bliskoj prošlosti je područje Donje Neretve (dolina rijeke Neretve između državne granice kod Metkovića i mora) predstavljalo zamočvarenu deltu, s izrazito razvijenim meandrima i relativno plitkim jezerima. Prvi veći regulacijski zahvat u dolini Neretve je izveden krajem prošlog stoljeća u svrhu osiguranja brodske plovidbe rijekom Neretvom od mora do luke Metković. Osim napuštanja starog ušća Neretve u uvali Ploče i usmjeravanja glavnog toka u jedan od rukavaca delte (krak Velike Lisne), tada je prokopano novo korito Neretve (do dubine od -5,00 m n.m.) od brežuljka Kozjak do mora (na dužini od 3.400 m) i presječena dva meandra između naselja Jerkovac i Kule Norinske (na dužini od 3.300 m). Također su na obje strane rijeke podignuti nasipi u kojima su ostavljeni brojni otvori kako bi se za vrijeme većih voda mogao provoditi proces kolmacije zaobalja (podizati nivo tla nanosom kojeg donosi rijeka). Kolmacijom nisu postignuti očekivani efekti, pa se kasnije od nje odustalo.

Prvi melioracijski radovi u Donjoj Neretvi su izvedeni na području Luke na desnoj obali Neretve između Krvavca i Komina, bruto površine oko 300 ha. Građevinski radovi na izgradnji melioracijskih objekata područja Luke su započeli 1948. god. ali su iste godine bili prekinuti i ponovo nastavljeni 1953. god. Te su godine pokrenute i aktivnosti na melioraciji područja Koševo - Vrbovci - Boturica u lijevom zaobalju Neretve, ukupne površine oko 1290 ha. Idejni projekt melioracije područja Koševo - Vrbovci - Boturica je bio završen 1954. god. a građevinski radovi su počeli 1955. god.

U skladu s odlukom UN o sudjelovanju organizacije FAO u poljoprivrednom osvajanju zamočvarenog područja Donje Neretve, ovdje su sredinom 1962. god. bili pokrenuti obimni i vrlo kompleksni istraživački, a paralelno s njima i projektantski radovi. Prema konceptu melioracije kojeg su predložili eksperti FAO, prvo je za realizaciju odabrano područje Opuzen - Ušće, bruto površine oko 3100 ha, koje je zahtijevalo primjenu najsloženijih hidrotehničkih i melioracijskih zahvata. Odmah po završetku izrade projekta melioracije u ljeto 1963. god. započela je na području Opuzen - Ušće gradnja objekata obrane od poplava, odvodnjavanja i navodnjavanja. Melioracija tog područja do danas nije završena.

Na području Vidrice, bruto površine oko 500 ha, je provedena etapna gradnja objekata obrane od poplava i odvodnje u razdoblju od 1974. do 1980. god. Melioracija dijela područja Kutina, bruto površine oko 2600 ha, je započela 1978. god. prekinula se 1980. god. pa opet nastavila 1986. god. i ponovo prekinula 1990. god. Do sada je na tom području izgrađeno oko 80 % objekata obrane od poplava i realizirana prva faza glavnih odvodnih kanala. Preostali, najniži dio područja Kutina, koji predstavlja značajan ornitološki i ihtiološki rezervat, ostavljen je u izvornom prirodnom stanju.

Zadnjih desetak godina radovi na dovršetku melioracijskog sustava Donje Neretve sve više posustaju. Postojeći objekti se devastiraju i zapuštaju, a dio melioriranih površina više se ne obrađuje.

Izgradnjom hidroenergetskih objekata u gornjem i srednjem toku rijeke Neretve, s akumulacijama Jablanica (1954. god.), Rama (1969. god.), Grabovica (1981. god.), Salakovac (1981. god.) i Mostar (1985. god.), te kompenzacijskih bazena HE Čapljina u Popovom polju i području Svitave (1978. god.) bitno je promijenjen vodni režim rijeke Neretve. Općenito je na području Donje Neretve postignuta efikasnija obrana od poplava, pa čak i povoljnije stanje malih voda, ali je došlo i do negativnih pojava, kao što su izostanak produkcije i pronosa nanosa, te aktiviranje jačih erozijskih procesa. Donošenje vučenog nanosa je gotovo zaustavljeno, a suspendiranog nanosa dosta smanjeno. Povećane oscilacije vodostaja Neretve usljed rada uzvodnih hidroelektrana ozbiljno ugrožavaju stabilnost pokosa i cestovnih nasipa s obje strane rijeke. Najveća oštećenja su nastala na desnoj obali Neretve između Komina i ušća u more, na dužini oko 7.200 m, te uzvodno od Opuzena. 1995. god. započelo se s etapnom provedbom sanacijskih radova čiji obim ovisi o raspoloživim financijskim sredstvima.

2. Sustav obrane od poplava

Područje Donje Neretve je u zimskom razdoblju potrebno štititi od poplavnih voda i odvodnjavati od oborinskih i izvorskih voda, a u sušnom, vegetacijskom razdoblju, navodnjavati i braniti od prodora soli.

Nasipi uz korito rijeke Neretve predstavljaju glavne objekte za obranu od velikih voda Neretve. Na Maloj Neretvi u Opuzenu i na ušću u more izgrađene su ustave za regulaciju protoka velikih voda i spriječavanje prodora mora u akvatorij Male Neretve za vrijeme navodnjavanja. Prema važećem pravilniku o rukovanju ustavama i brodskim prevodnicama na Neretvi i Maloj Neretvi, velike vode rijeke Neretve se pri određenom vodostaju rasterećuju Malom Neretvom otvaranjem ustave u Opuzenu i ustave na ušću u more. Svi propusti nizvodno od Metkovića u lijevoobalnom i desnoobalnom nasipu rijeke Neretve se zatvaraju, osim ušća Norina i Crne Rijeke na desnoj obali koji ostaju otvoreni.

Sustav obrane od poplava funkcionira na način da se od velikih voda uglavnom štite samo bivše društvene površine, dok su privatne površine ostavljene u inundacijskim područjima (uz Malu Neretvu i Vidrice). Gradovi Metković i Opuzen, područje Vid - Norin i gotovo cijeli privatni kompleks poljoprivrednih površina još uvijek nemaju do kraja izgrađene objekte za zaštitu od velikih voda. U sadašnjem stanju na područje Vid-Norin, osim velikih voda Neretve koje ulaze kroz otvor mosta na Norinu, dolaze i oborinske vode s lokalnog međusliva i tu se razlijevaju. Dotok iz Neretve ili istjecanje iz područja Vid-Norin u Neretvu ovisi o ispunjenosti tog područja vodom.

Od izgradnje ustava na Maloj Neretvi (1968.-1972. god.) u Donjoj Neretvi nije bilo izuzetno velikih voda, pa se u praksi nije mogla provjeriti efikasnost postojećeg sustava obrane od poplava. Takvo je stanje potaklo mnoge stanovnike Opuzena i Podgradine na izgradnju kuća u inundacijskom području uz Malu Neretvu koje nije predviđeno da se brani i ne može se braniti od velikih voda Neretve, odnosno Male Neretve, sve dok su na snazi odredbe sadašnjeg pravilnika obrane od poplava. Ako se problemu urbanizacije inundacijskog prostora uz Malu Neretvu pridoda i statička nestabilnost ustave u Opuzenu, tada je očito da postojeći sustav obrane od poplava treba u cjelosti revidirati i usuglasiti s realnim stanjem.

Do sada su na području Donje Neretve izgrađeni sljedeći objekti obrane od poplava:

I Uz rijeku Neretvu

Lijevi nasip Metković – Opuzen	9,1 km
Lijevi nasip Opuzen – more	11,9 km
Obaloutvrda na desnoj obali uzvodno od mosta u Metkoviću	0,8 km
Desni nasip Norin – Luke	6,5 km
Zid u Kominu	1,3 km

II Na području Opuzen - Ušće

Desni nasip Mala Neretva	9,0 km
Morski nasip “Diga	2,6 km

III Lateralni kanali i nasipi

Koševo – Vrbovci	9,4 km
Vidrice	5,0 km
Luke	0,6 km
Kuti (u izgradnji - izgrađeno 80%)	13,1 km
Ukupno nasipa i obaloutvrda (u izgradnji 13,1 km)	56,2 km
Ukupno lateralnih kanala (u izgradnji 13,1 km)	14,73 km
Ukupno reguliranih vodotoka (Neretva i Mala Neretva)	32,0 km

IV Objekti posebne namjene

Brana Ušće
Brodaska prevodnica Ušće
Brana Opuzen s brodskom prevodnicom
Ustave širine preko 2 m (Nokat, Kula, Komin 4 kom, Crepina, Jarčilog)
Ustave širine manje od 2 m (Pržinovac, Komin 28 kom)
Žablji poklopci Duvrat i Jerkovac

3. Sustav unutrašnje odvodnje

Odvodnja melioriranih površina Donje Neretve se provodi zajedno s obranom od poplava kao jedinstvena cjelina. U sustav unutrašnje odvodnje su samo djelomično uključeni dijelovi privatnog posjeda (oni koji su ostali unutar sustava). Sve izvan ovog sustava je prepušteno plavljenju ili zaslanjivanju.

Održavanje odgovarajućeg režima tečenja u odvodnim kanalima u izravnoj je vezi s kretanjem podzemne vode. Relativno niske kote terena (dijelom i ispod razine mora) i relativno visoke razine podzemnih voda zahtijevaju primjenu kontinuiranog crpljenja radi zaštite vode i tla od zaslanjivanja. Osiguranje energije, automatizacija, daljinsko upravljanje i vođenje procesa unutrašnje odvodnje do danas nije dovedeno na viši stupanj, jer sustav nije završen.

Osim izvedenih objekata unutrašnje odvodnje (crpnih stanica, kanala i drenažne mreže), ovdje je zastupljen i tradicionalan način kopanja kanala “jendečenjem” na privatnim i zaposjednutim državnim površinama. Postojeća kanalska mreža se uglavnom slabo održava, pa je najvećim dijelom obrasla i deformirana usljed slijeganja zemljišta.

Do sada su na području Donje Neretve izgrađeni sljedeći objekti unutrašnje odvodnje:

	Glavni kanali		Crpne stanice	
	I reda (km)	II reda (km)	Kapacitet (m ³ /s)	Instal. Snaga (kW)
OPUZEN UŠĆE	19,7	1020		
- Modrič	8,36	33,7		
- Jesenska	8,97	47,57		
- Glogačko jezero	4,4	27,38		
VIDRICE	2,25	27,82	6,45	336
KOŠEVO	1,9	4,2	2,2	64
VRBOVCI	3,55	15,7	4,4	350
LUKE	2,28	8,9	2,45	122
Ukupno:	31,71	165,27	35,2	1892

4. Sustav navodnjavanja

Kako je na području Donje Neretve podzemna voda slana i boćata, a prilikom priliva slatke vode u ljetnoj sezoni vrlo mali i zamjetan samo na kontaktu s brdom uz područja Luke, Vid - Norin i Kuti, potrebne količine slatke vode za natapanje se mogu zahvatiti jedino iz rijeke Neretve uzvodno od Metkovića, gdje ne dolazi do znatnijeg utjecaja mora.

Problem navodnjavanja doline Neretve još uvijek nije u potpunosti riješen. Postojeći natapni sustav ne predstavlja dugoročno, jeftino i sigurno rješenje navodnjavanja s mogućnošću kontrole utroška i naplate vode. Konceptija navodnjavanja se zasniva na crpnoj stanici koja je izgrađena uzvodno od Metkovića na teritoriju BiH, glavnom natapnom kanalu koji je prokopan kroz nestabilno i slabo nosivo tlo, te upuštanju cjelokupne količine vode u korito Male Neretve. Početak pumpanja vode ovdje započinje već krajem svibnja (mjesec dana prije završetka kišnog razdoblja) kako bi se umjetno održala kvaliteta vode u akvatoriju Male Neretve do početka natapanja krajem lipnja. Postojeći sustav navodnjavanja čine sljedeći objekti:

- Magistralni natapni kanal dužine 10 km
- Hidrotehnički tunel za navodnjavanje dužine 500 m
- Glavna crpna stanica za navodnjavanje kapaciteta 7,50 m³/s
- Tlačni sustavi za navodnjavanje dužine 30 km
- Tlačne crpne stanice za navodnjavanje kapaciteta 550 l/s
- Tlačne crpne stanice za navodnjavanje mobilnom opremom kapaciteta 200 l/s

Nezavršen je ostao sustav za navodnjavanje Jesenska površine 500 ha gdje je ugrađena stacionarna cijevna mreža dužine 19 km, te izgrađen crpni bazen i dovod crpne stanice. Magistralni natapni kanal je uslijed očekivanog slijeganja dobio znatne deformacije. Na cijeloj trasi kroz Koševo i Vrbovce (dužina oko 4 km) potrebno ga je obnoviti i obložiti nepropusnom oblogom, jer se u protivnom neće moći ostvariti doprema predviđenih natapnih količina vode. Voda koja se doprema ovim kanalom je dostupna svima i može se uzimati posve nekontrolirano, a izložena je i velikom isparavanju,

utjecaju slanih podzemnih voda i osjetljivom i nesigurnom rukovanju "morskim" ustavama. Sve dok količina iskorištene vode može opravdati utrošenu energiju i skupo održavanje natapnog kanala, sve dotle će se moći tolerirati ovakav način dopreme vode. U sustavu magistralnog natapnog kanala tlačna cijevna mreža za navodnjavanje je zastupljena na državnom sektoru jedino na površinama bivšeg Glogačkog jezera (450 ha). Ostale površine koje se navodnjavaju za sada nisu u sustavu magistralnog natapnog kanala.

Područje Koševo - Vrbovci ima zahvate za natapanje u lateralnom kanalu, a navodnjavanje se vrši pomoću mobilne opreme i cijevi.

Područje Luke ima izgrađenu mrežu za navodnjavanje koja se zasniva na zahvatu iz izvorišta Modro Oko. Nakon katastrofalne hladnoće 1985. god. koja je uništila gotovo sve trajne nasade u Lukama, ono više nije bilo sposobno osigurati ni minimum sredstava za održavanje. Sada je u lošem stanju, nema proizvodnje, a objekti su zapušteni i devastirani.

5. Zaštita , korištenje i uređivanje prostora

Za područje Donje Neretve su na snazi sljedeći dokumenti prostornog uređenja:

- Prostorni plan (bivše) općine Metković (dopuna, 1989. god.)
- Prostorni plan (bivše) općine Ploče (izmjene i dopune, 1987. god.)

Od donošenja ovih planova do danas došlo je do značajnih promjena u društveno-političkom uređenju, administrativno-teritorijalnom ustroju i korištenju prostora, a time i do velikog odstupanja od planskih rješenja. Područje Donje Neretve je konfliktno područje na kojem je zbog međusobnog suprotstavljanja različitih aktivnosti, a posebno zbog promjena okoliša ugrožen daljnji razvoj. Sučeljavanje konfliktnih zahtjeva za korištenjem prostora nalaže hitnost sagledavanja cjelokupne strategije razvoja na ovom području.

Postojeća prostorna struktura u dolini Neretve je potpuno poremećena. Izražena su sučeljavanja između potreba daljnje melioracije i zaštite izvornih prirodnih vrijednosti područja koje su u znatnoj mjeri narušene. Sve je izraženija tendencija dalje prenamjene melioriranog poljoprivrednog zemljišta. Naselja se ekstenzivno i neracionalno šire uz kanale, nasipe i duž prometnica, bez riješene infrastrukture (posebno kanalizacijske mreže) i primjerenih uvjeta života. Istovremeno se planira polaganje trase buduće autoceste dolinom rijeke Neretve, grade se zračne luke u Pločama i Opuzenu, šire se naselja i turističke zone, a pojedinci i dalje samovoljno i nezakonito zaposjedaju i osvajaju močvarno područje.

Usljed nastalog stanja na ovom jedinstvenom, ali osjetljivom prostoru, potrebno je hitno redefinirati razvojnu sliku područja i utvrditi kriterije njegovog održivog razvoja. Obnovu i revitalizaciju područja treba provesti u skladu s očuvanjem i zaštitom izuzetno vrijednih prirodnih cjelina. Stoga je svaku buduću izgradnju naselja potrebno usmjeriti na interpolaciju u okviru postojećih naseljskih struktura, a ne na zauzimanje novih površina.

Radi svog ornitološkog značaja donji tok Neretve je uvršten u Ramsarski popis močvara od međunarodne važnosti, te u projekt kojeg provodi Bird Life International pod nazivom Important Bird Areas in Europe (Ornitološki značajna područja u Europi). Najveća raznolikost ptičjeg svijeta zabilježena je u Hrvatskoj upravo u donjem toku Neretve.

Preko 310 vrsta ptica ovdje zimuje ili dolazi u selidbi na preletu. Na popisu posebno zaštićenih objekata prirode u Donjoj Neretvi, što ga je 1991. god. izradilo Ministarstvo graditeljstva i zaštite okoliša nalaze se:

- ornitološki rezervati: Orepak (100 ha), Podgrede (587 ha) i Prud (250 ha)
- ihtiološko-ornitološki rezervat: Jugoistočni dio ušća Neretve (250 ha)
- značajni krajolik: Modro Oko i jezero Desne (370 ha)
- park šuma: Predolac - Šibanica (67 ha)

Bivša općina Ploče je proglasila zaštitu i nad prostorom lagune Parila (ihtnološko-ornitološki rezervat) površine 410 ha, te na području Baćinskih jezera (značajni krajolik) površine 286 ha.

Područje Donje Neretve je izloženo višestrukim opasnostima zbog neriješenog problema odvodnje otpadnih voda. Na području bivše općine Ploče kanalizacijska mreža je izgrađena samo za uži dio gradskog naselja i nema uređaja za pročišćavanje, pa se sve otpadne vode ulijevaju u more. Slično je stanje i na području bivše općine Metković gdje samo uže područje grada ima izgrađenu kanalizacijsku mrežu s ispuštanjem direktno u Neretvu. Ostala naselja problem odvodnje otpadnih voda rješavaju individualnim septičkim jamama ili direktnim ispustima u rijeku ili more. Osim toga, područje je ugroženo i zagađenjima koja dolaze s uzvodnog dijela sliva rijeke Neretve, kao i pretjeranom uporabom umjetnih gnojiva i pesticida u poljoprivredi.

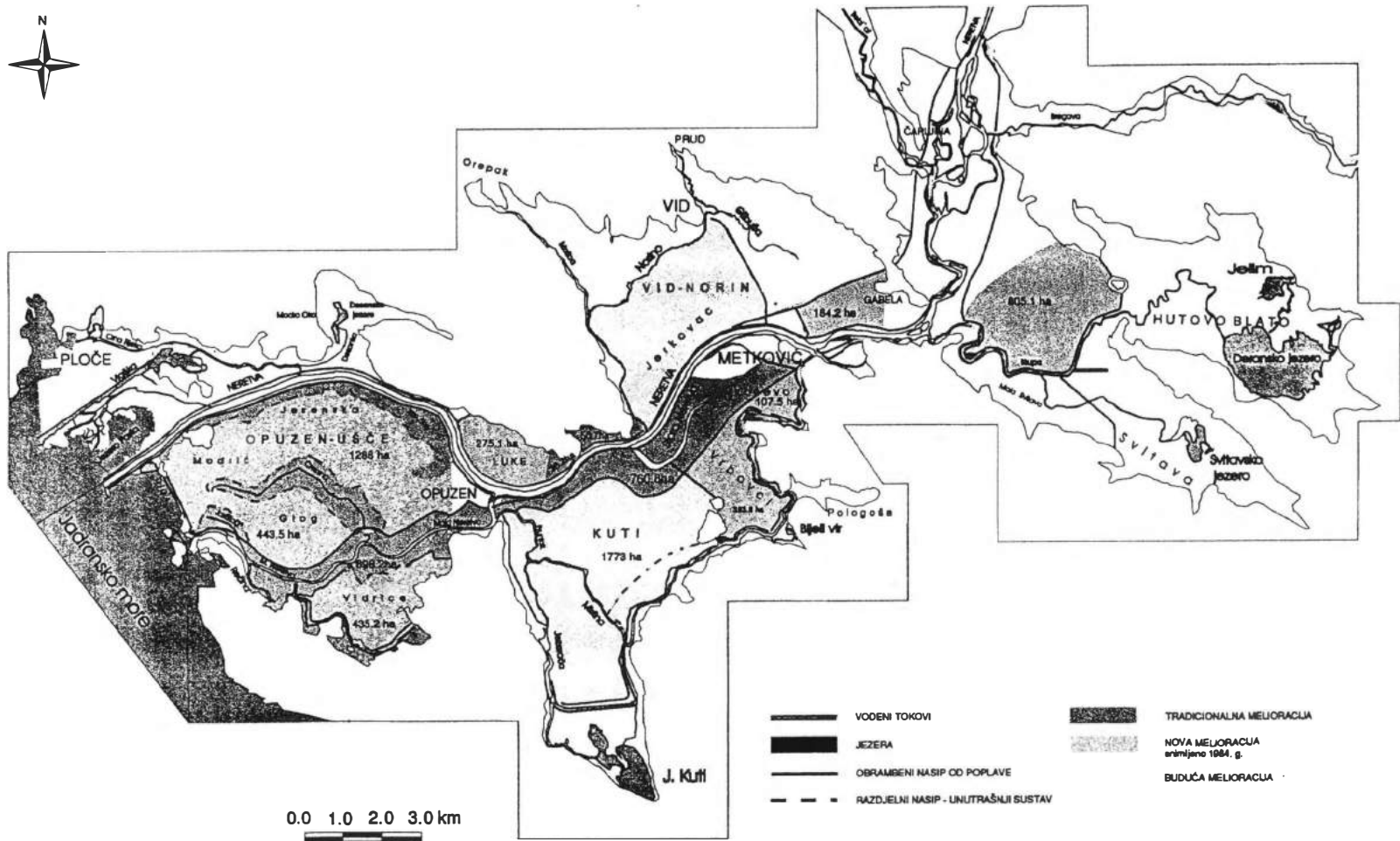
Na području Donje Neretve postoji velik broj izvora, ali su samo za nekoliko najvažnijih (izvor rijeke Norin u Prudu, Modro Oko i Klokun) tek 1996. god. napravljena hidrogeološka istraživanja, te izrađen prijedlog zona sanitarne zaštite.

6. Zaključci i smjernice za daljnji rad

Prostornim planom Hrvatske je predložena zaštita prirode u kategoriji parka prirode za cijelo područje Donje Neretve, uključujući sve meliorirane površine, građevinska područja gradova Metkovića, Opuzena i Ploča i ostalih naselja s njihovom složenom strukturom, te kompletnu infrastrukturu. Do konačnog donošenja odluke o granicama zaštićenih djelova prirode, neophodno je što prije provesti sveobuhvatnu valorizaciju namjene, korištenja i zaštite prostora.

Postojeći melioracijski sustav je trenutno u vrlo lošem stanju i zahtjeva hitnu intervenciju u skladu s daljnjom orijentacijom poljoprivrednog razvoja. Stoga nadležne državne institucije trebaju što prije usvojiti strategiju razvoja poljoprivredne proizvodnje čije su odrednice posebno važne za ovo područje. Također treba odmah spriječiti sve nekontrolirane radnje na državnom zemljištu, zaustaviti devastiranje i uništavanje izgrađenih objekata melioracijskog sustava, te usvojiti model upravljanja i gospodarenja cjelokupnim prostorom Donje Neretve.

Radovi na izgradnji sustava obrane od poplava se moraju nastaviti kako bi se i veća naselja u desnom zaobalju zaštitila od plavljenja (Jerkovac, Unka, Krvavac, Kula Norinska). Intenzivna izgradnja i urbanizacija na području Donje Neretve, a naročito u inundacijskom prostoru Male Neretve imaju za posljedicu da se Mala Neretva više praktično ne može koristiti za rasterećenje velikih voda Neretve u poplavnom razdoblju. Ove promjene, kao i činjenica da je postojeći pravilnik obrane od poplava zasnovan na obradi hidroloških podataka koji potječu iz razdoblja do početka 70-tih godina, nameću potrebu usvajanja novog pravilnika.



Slika 1. Melioracija u donjoj Neretvi

Ni jedno naselje na ovom području nema izgrađenu kanalizacijsku mrežu s uređajem za pročišćavanje, pa se sve otpadne vode direktno ispuštaju u vodne resurse. Stoga je ovdje nužna izgradnja kanalizacijskih sustava otpadnih voda s uređajem za pročišćavanje u svim urbanim sredinama, te primjena potrebnih predtretmana na industrijskim pogonima, kao i stalna kontrola svih odlagališta krutog i tekućeg otpada. Potrebno je spriječiti sve negativne utjecaje poljoprivrede na zagađenje voda, te uvesti strogu kontrolu primjene agrotehničkih mjera i korištenja pesticida.

Složenost hidrološkog sustava Donje Neretve, povezana sa socio-ekonomskim, političkim i gospodarskim odnosima na slivnom području koje obuhvaća prostor dviju država uvjetuje kompleksan i cjelovit pristup u rješavanju problema korištenja i zaštite vodnih resursa. U tu svrhu je nužno što prije međudržavnim ugovorom utvrditi prava i obveze svih korisnika voda na slivu rijeke Neretve, uspostaviti detaljan monitoring i pokrenuti aktivnosti na izradi projekta upravljanja hidrosustavom sliva rijeke Neretve.

Literatura

1. Eksperti FAO – inženjeri SSSR (1963): Projekt melioracije donjeg toka rijeke Neretve, Opuzen
2. PIK NERETVA (1966): Melioracija područja Opuzen – Ušće, Vodoprivredni zaštitni objekti, Opuzen
3. OPĆE VODOPRIVREDNO PODUZEĆE (1974): Dopuna vodoprivrednog rješenja Donje Neretve, Split
4. PIK NERETVA (1980): Projekt kanala za navodnjavanje od Predolca do Opuzena, Opuzen
5. OPĆE VODOPRIVREDNO PODUZEĆE (1982): Pravilnik o rukovanju ustavama i brodskim prevodnicama na Neretvi i Maloj Neretvi, Split
6. GRAĐEVINSKI FAKULTET (1996): Vodnogospodarsko rješenje i uređenje sliva Donje Neretve – I faza, Split
7. URBOS (1996): Analiza i ocjena prostorno-planske dokumentacije, demografskih kretanja i gospodarstva Donje Neretve, Split
8. URBOS (1996): Smjernice demografskog, gospodarskog i prostorno-urbanističkog razvoja Donje Neretve, Split
9. MINISTARSTVO KULTURE, Uprava za zaštitu kulturne i prirodne baštine (1997): Nacionalni seminar o zaštiti i korištenju vlažnih područja u Hrvatskoj “Socioekonomski aspekt korištenja doline rijeke Neretve”, Metković

Autori:

Mr.sc.Mirjana Švonja, dipl.inž.građ., HRVATSKE VODE, VGO Split, Vukovarska 35, Split

Živko Barbarić, dipl.inž.građ., HRVATSKE VODE, VGO Split, Vukovarska 35, Split

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.11.

Vodni resursi izvorišta Gacke

Ožanić Nevenka, Rubinić Josip

SAŽETAK: U radu je razmatran hidrološki aspekt izvorišnog dijela rijeke Gacke u cilju njegove valorizacije i zaštite. Zbog nadmorske visine od oko 450 m n.m., te vrlo ujednačenog režima otjecanja koji je posljedica velike akumulacijske sposobnosti podzemlja, izvorišni dio Gacke predstavlja iznimno vrijedan - strateški vodni resurs koji se za sada samo dijelom koristi. S izvora Gacke se zahvatom lokalnog značenja dio voda neposredno koristi za potrebe vodoopskrbe grada Otočca i okolnih naselja. Isto tako, vode Gacke se i energetski koriste u okviru sustava HE Senj, pri čemu se nakon miješanja voda Gacke i Like iste koriste i za potrebe vodoopskrbe područja Senja i regionalnog vodovoda - Južnog ogranka vodovoda Hrvatskog primorja.

S obzirom da je vodoopskrbni potencijal ovoga izvorišta daleko veći nego li je za sada planirana namjena ovoga izvorišta, a u cilju objektivnijeg sagledavanja strateškog značenja ovoga izvorišta visokog Dinarskog krša, u radu su istaknute njegove osnovne hidrološke značajke. Dan je i osvrt na režim postojećeg korištenja voda ovog izvorišta, kao i prijedlozi za primjereniju valorizaciju vodoopskrbnih vodnih resursa Gacke - najznačajnijeg izvorišta šireg regionalnog prostora Like te sjevernojadranskoj priobalja i njemu gravitirajućih otoka.

KLJUČNE RIJEČI: izvori u kršu, hidrologija, hidroenergetika, vodoopskrba, Gacka

The Gacka Spring Water Resources

SUMMARY: The paper discusses hydrological aspects of the Gacka River spring area within the framework of its rehabilitation and protection. Because of altitude of about 450 m a.s.l. and very uniform outflow regime which is the consequence of high storage capacity of the underground, the Gacka spring area is an exceptionally valuable strategic water resource which has been only partially exploited so far. The Gacka spring is used in local water supply of the town of Otočec and neighboring settlements. Also, the Gacka water is used within the Senj HPP system where it is mixed with the Lika River water and used for water supply of Senj and for the regional water supply system - the Southern Branch of the Hrvatsko Primorje Water Supply System.

Since the water yield of the spring area exceeds its planned exploitation, and in order to objectively reconsider strategic importance of this Dinaric karst spring, the paper highlights its hydrological characteristics. The current exploitation is also discussed, and the proposals are given for more adequate valorization of possible use of the Gacka resources as the most important source area within the broader Lika region and North Adriatic coastal area, including the gravitating islands.

KEY WORDS: karst springs, hydrology, hydropower generation, water supply, the Gacka River

1. Uvod

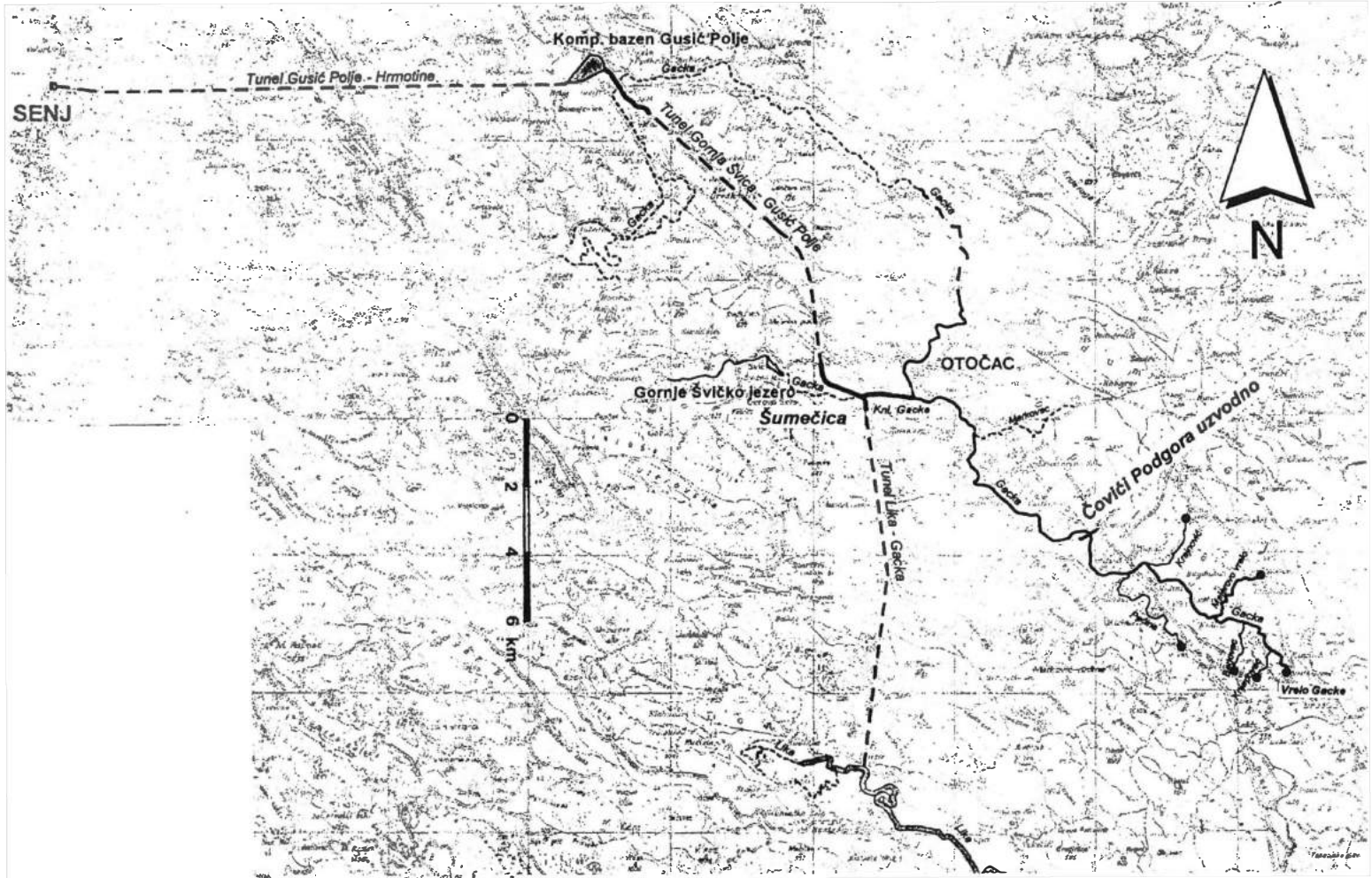
Gacka je ponornica Dinarkog krša koja svoj površinski tok započinje na jugoistočnom rubu Gackog polja gdje se, na nadmorskoj visini od oko 450 m n.m., javlja više vrlo jakih, uglavnom uzlaznih vrela. Najznačajnija su Veliko Tonkovića vrelo (zvano Vrelo Gacke), gdje je i vodozahvat, te Majerovo vrelo i vrelo Pećina. Ponorske zone locirane su na krajnjem sjeverozapadnom dijelu prostrane doline - u području Švice i Hrvatskog polja, u koje su prije izgradnje energetskog sustava HE Senj dotjecale vode Gacke koje su se u Otočcu dijelile u dva kraka. Od sredine šezdesetih, po izgradnji hidroenergetskog sustava HE Senj i prevođenja dijela voda sliva Like u sliv Gacke, bitno je promijenjen prirodan vodni režim Gacke nizvodno od Otočca. Od tada, osim u izuzetnim slučajevima, vode Gacke otječu tunelom kroz Velebit ka postrojenju HE Senj, koje je locirano na obali kod Sv. Jurja (slika 1).

U hidrografskom smislu izvorišnim dijelom Gacke smatra se područje uzvodno od hidrološke postaje Čovići - Gacka. Površina sliva za taj profil iznosi oko 492 km², od čega na neposredni sliv otpada 127 km² (Stepinac, 1983), a prosječne godišnje količine oborina su 1350 mm (Žugaj, 1993). Za cca 2 km nizvodniji profil Čovići Podgora-uzvodno, srednja godišnja protoka za razdoblje (1972-1996) iznosi 14,4 m³s⁻¹, prosječno najmanje protoke su u kolovozu 8,51 m³s⁻¹, a najveće u travnju 19,4 m³s⁻¹. Ekstremno najveća protoka tijekom analiziranog razdoblja bila je 59,9 m³s⁻¹ (1993), a minimalna 2,28 m³s⁻¹ (1985). Relativno uzak raspon kolebanja vrijednosti protoka na toj postaji ukazuje na ujednačen režim istjecanja voda iz podzemlja, a što je posljedica iznimno velike prirodne akumulativnosti vodonosnika izvorišnog dijela Gacke. Prema (Stepinac, 1983), volumen tog podzemnog vodonosnika procijenjena je na 218 mil. m³.

Unatoč ovako povoljnih hidroloških značajki izvorišnog dijela Gacke, za vodoopskrbu se koristi samo vrlo mali dio njene vodne bilance - oko 2,5 mil. m³ godišnje sa samog Vrela Gacke. Dio voda Gacke sadržan je i u cca 5 mil. m³ voda koje se za vodoopskrbu priobalja koriste iz sustava HE Senj, dakle nakon miješanja voda Gacke s vodama Like. Kako je vodni potencijal izvorišnog dijela daleko značajniji od postojećega režima korištenja, to bi izvorišni dio Gacke, kao nadasve vrijedan vodni resurs kvalitetne podzemne vode, trebalo odgovarajuće valorizirati za zadovoljavanje potreba za vodom šireg regionalnog prostora. Osobito je značajno već sada poduzeti odgovarajuće pripreme aktivnosti kako bi buduća vodoopskrbna rješenja bila koordinirana s planovima HEP-a pri dogradnji hidroenergetskog sustava.

2. Energetsko korištenje vodnih resursa Gacke

Izgradnja hidroenergetskog sustava HE Senj završena je 1961.g., ali su planovi o korištenju zavelebitskih voda bili prisutni znatno ranije. Tako je već 1911.g. županijska oblast u Gospiću dala jednom dioničkom društvu sa Sušaka koncesiju, tj. "dozvolu za porabu rijeke Gacke u hidroelektrične svrhe". No, kako usporedno s tom koncesijom nije bilo riješeno pitanje korištenja vode Gacke u druge svrhe (vodoopskrba, poljoprivreda), 1913.g. županija je dozvolu stavila van snage donoseći novu odluku s preciziranim podacima o tome koju količinu voda dotično dioničarsko društvo može koristiti za energetske svrhe. Skori početak I sv. rata omeo je početak radova. Godine 1919.-22. započeli su istražni radovi u svrhu pripreme spomenutog projekta, ali su prekinuti 1922. Ponovni interes za energetskim potencijalom Gacke pokazalo je 1938.g. "Banovinsko električno poduzeće", no ovaj je puta II sv. rat omeo realizaciju planova.



Slika 1. Prikaz analiziranog područja sliva Gacke

Istražni su radovi nastavljeni odmah nakon 1946.g., da bi 1961.g. započeli i radovi. Godine 1965. puštena su u pogon dva generatora HE Senj, čime je počelo energetske korištenje voda Like i Gacke. (Bognar i dr., 1975).

Prosječna godišnja proizvodnja HE Senj u razdoblju 1968.-1995. iznosila je 969,9 GWh, a što uz prosječni energetske ekvivalent $1 \text{ kWh} = 1.02 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ odgovara radnom protoku HE Senj od $31,35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Institut za elektroprivredu i energetiku, 1997). Prema istom izvoru, u tom je razdoblju prosječni dotok Gacke u čvor Šumečica iznosio $14,46 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, dotok Like $17,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, a prosječni preljev na Šumečici $0,38 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (bilancna razlika od 0,5% potječe iz neusklađenosti mjerenih podataka i podataka dobivenih na osnovu proizvodnje HE Senj).

Po izgradnji hidroenergetskog sustava HE Senj, vode Gacke u čvorištu Šumečica kod Otočca miješaju se s vodama Like koje dotječu 10,5 km dugom tunelom kapaciteta $49 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Odatle se Lika i Gacka zajednički vode na postrojenje HE Senj. Maksimalni instalirani kapacitet postrojenja HE Senj iznosi $60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, tako da preko brane na čvorištu Šumečica viškovi vode otječu ka ponorskim zonama na području Švice. Dolinski tok Gacka (s prevedenim vodama Like) završava u kompenzacijskom bazenu Gusić polje koji ima volumen od 1,5 mil. m^3 . Tu započinje 13,6 km dug tunel kroz Velebit do vodne komore Hrmotine, a dalje vodi tlačni cjevovod ka postrojenju HE Senj na obali kod Sv. Jurja. Maksimalna razina vode na ulazu u tunel je 436,5 m n.m., a na izlazu iz tunela nalazi se vodna komora s kotom od 403,2 m n.m..

S obzirom da se i nakon izgradnje postojećeg sustava HE Senj dio voda slivova Like i Gacke ne može iskoristiti u energetske svrhe, nego se prelijeva i završava u ponorima, HEP planira dogradnju postojećeg hidroenergetskog sustava. Prema (Institut za elektroprivredu i energetiku, 1997) prosječni godišnji preljevi Like na lokaciji Selište iznose $8,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, a na lokaciji Šumečica (Gacka + Lika) $0,38 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Za bolje energetske iskorištenje tih voda, između ostalog, planirana je izgradnja akumulacije Kosinj u slivu Like, nizvodno od postojeće akumulacije Kruščica. Time bi u spomenutim dvama akumulacijama bio osiguran korisni volumen od 539,5 mil. m^3 . Planirana je i izgradnja nove HE Senj 2, s novim kompenzacijskim bazenom na Gusić polju, kao i novim derivacijskim tlačnim kanalom i tlačnim cjevovodom do njezina postrojenja. Preliminarnom je analizom utvrđeno da bi instalirani protok HE Senj 2 mogao iznositi $95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, što zajedno s postojećom HE Senj daje moguću instaliranu protoku od $155 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, te moguću prosječnu godišnju proizvodnju od 1413,6 GWh (Institut za elektroprivredu i energetiku, 1997).

3. Korištenje vodnih resursa Gacke za vodoopskrbu

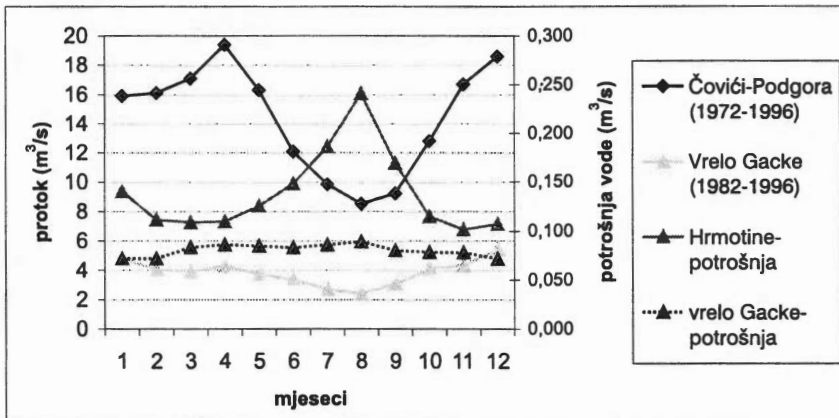
Početkom šesdesetih godina, kako je već rečeno, započeto je korištenje vodnih resursa Gacke u energetske svrhe sustava HE Senj. Izgrađen je i vodozahvat na glavnom izvoru Gacke (Veliko Tonkovića vrelo) za vodoopskrbu područja Otočca (kapaciteta 110 l/s), kojim se sada godišnje crpi oko 2,5 mil. m^3 , tj. prosječno oko 80 l/s. Godine 1989.g. izgrađen je vodozahvat u Hrmotinama kapaciteta 440 l/s (u konačnoj fazi 675 l/s). Njime se dio voda na izlazu iz tunela Gusić polje - Hrmotine (401 m n.m.) odvaja za potrebe vodoopskrbe područja koga pokriva tada osnovano distributivno poduzeće - vodovod "Hrvatsko primorje - južni ogranak" (Hrvatska vodoprivreda, OJ Rijeka, 1995). Tim se zahvatom godišnje za potrebe vodoopskrbe odvaja oko 5 mil. m^3 (1997.). Radi se o mješavini voda Gacke koju karakterizira pretežno podzemno prihranjivanje putem

njenih izvorišta, s vodama Like koju karakterizira površinsko prihranjivanje. S obzirom da je površina sliva hidroenergetskog sustava HE Senj 1755 km² (Institut za elektroprivredu i energetiku, 1997), a površina izvorišnog dijela Gacke 492 km², jasno je da su takvim zahvatom, s velikim udjelom površinskih voda, prisutni i problemi zaštite kakvoće voda. Ti će problemi naročito doći do izražaja kada se u mirnodopskim uvjetima na području Like budu značajnije aktivirale privredne aktivnosti a što ima za posljedicu i povećani unos i površinsko spiranje onečišćivača u vode sustava HE Senj. Radi uvida u količine voda koje se sada koriste za vodoopskrbu iz vrela Gacke i iz zahvata Hrmatine u odnosu na ukupne vodne potencijale Gacke, na slici 2. dan je prikaz sr. mjesečnih protoka na vrelu Gacke (1982-1996), sr. mj. protoka koje se koriste za vodoopskrbu sa tog vrela (1998.), srednjih mjesečnih protoka na postaji Čovići Podgora uzvodno - Gacka (1972-1996), kao i srednjih mjesečnih protoka voda Like i Gacke koje se koriste za vodoopskrbu na zahvatu Hrmatine (1997.-1998.). Vidljivo je da se za vodoopskrbu koriste relativno male količine voda od ukupnog vodnog potencijala kojega pruža izvorišni dio Gacke. Tako se npr. kod vrela Gacke za analizirane godine u prosjeku koristilo svega 2,1% od ukupne raspoložive količine voda koje daje taj izvor. Na razini mjesečnih podataka taj je omjer vrlo sličan i kreće između 1,8% kod prosinca i 3.32% kod kolovoza. Ukoliko se pak usporede prosječne količine voda Like i Gacke koje se zahvataju na Hrmatinama i protoke Gacke na profilu Čovići Podgora uzvodno, dobiva se da je taj odnos na razini srednjih godišnjih protoka svega 0,96%, pri čemu se na razini mjesečnih podataka taj postotak kreće između 0,58% u prosincu i 2.8% u kolovoza. Kad se usporede srednje količine voda zahvaćene na vodozahvatu Hrmatine i protoke samo sa vrela Gacke, dobili bi da se taj omjer kreće između 2,44% u travnju i 9,0 % u kolovoza. Ukoliko se usporede količine voda koje se tijekom razdoblja najveće potrošnje koriste za vodoopskrbu s ekstremno najmanjim do sada zabilježenim protokama tijekom tih mjeseci, dobili bi također veoma povoljne međuodnose. Tako je npr. za kolovoz udio između korištenih količina voda sa vrela Gacke u odnosu na minimalne zabilježene preljevne izdašnosti 6,9%, omjer između zahvaćenih količina voda za vodoopskrbu na Hrmatinama i minimalne izdašnosti tog vrela 19%, a omjer zahvaćenih voda na Hrmatinama i minimalne zabilježene protoke u kolovoza na profilu Čovići Podgora - uzvodno 5%. Iz danih je usporedbi vidljivo da izvorišni dio Gacke pruža mogućnosti za daleko značajnije korištenje voda za vodoopskrbu.

4. Osnovne hidrološke značajke izvorišnog dijela Gacke

Izvorišni dio Gacke čini nekoliko jakih stalnih vrela - Veliko Tonkovića vrelo (često nazivano i Izvor ili Vrelo Gacke), Malo Tonkovića vrelo, Klanac, Majerovo vrelo, Pećina, kao i niz drugih manjih stalnih (Graba vrelo, Marusino vrelo, Jamić vrelo, Knjapovac, Kanciper. ...) i povremenih vrela (Pucirep, Begovac vrelo...). Sva ova vrela utječu u Gacku uzvodno od hidrološke postaje Čovići Podgora uzvodno - Gacka, osnovane 1970., koja se može smatrati repnim profilom cjelokupnog izvorišnog dijela Gacke.

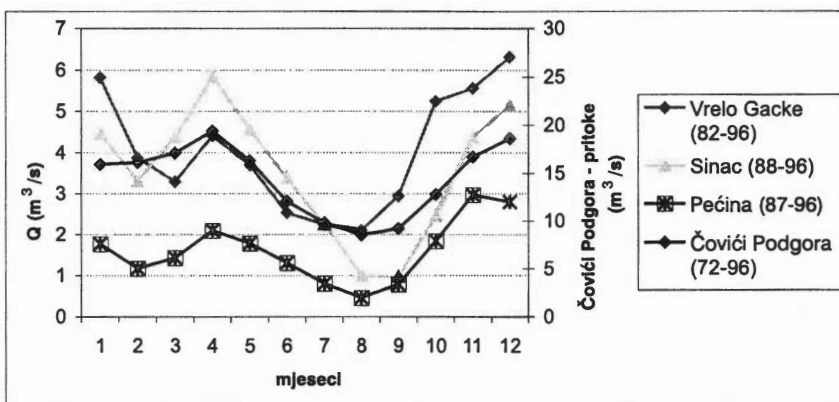
Praćenja izdašnosti pojedinih vrela vršena su tijekom različitih razdoblja, često i s dugotrajnijim prekidima, ili pak razdobljima za koje nije definirana konsumpcijska krivulja. Najprije su uspostavljena opažanja na Vrelu Gacke (1948.), Majerovom vrelu (1962.) i Pećini (1956.). Tijekom 1986. i 1987.g., u cilju sagledavanja nultog stanja na izvorima (prije izgradnje planirane akumulacije Kosinj) dolazi do obnove hidroloških praćenja na gotovo svim prethodno spomenutim značajnijim vrelima u izvorišnom dijelu



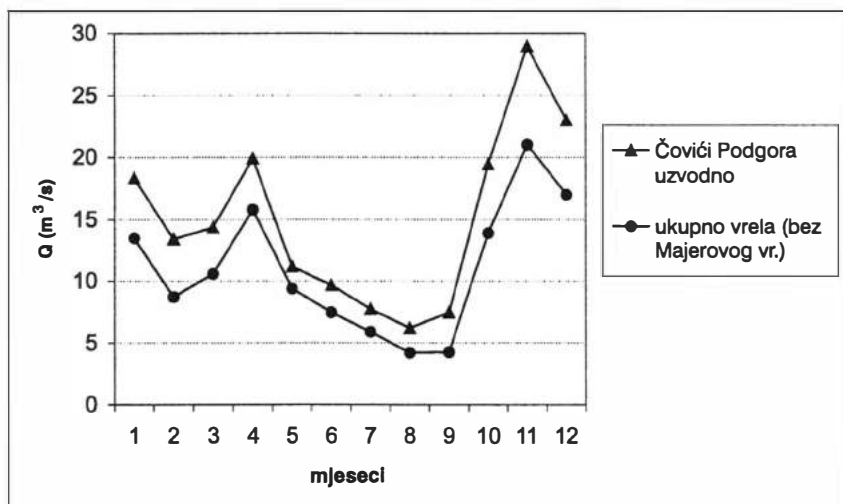
Slika 2. Prikaz postojeće razine korištenja voda izvora Gacke za vodoopskrbu i zahvata voda iz sustava HE Senj za vodoopskrbu (Hrmatine)

Gacke, ali zbog ratnih prilika na tom području jedino su za razdoblje 1992.-94. na raspolaganju stajali kompletni podaci o mjenim protokama na svim izvorima izuzev Majerovog vrela kod kojega za to razdoblje nije bila definirana konsumpcijska krivulja. Radi njihove međusobne usporedbe, na slici 3. dan je prikaz raspoloživih srednjih mjesečnih protoka za tri najizdašnja vrela (Vrelo Gacke, Sinac i Pećinu), kao i za hidrološku postaju Čovići Podgora uzvodno - Gacka. Na slici 4 dan je usporedni prikaz ukupnih sr. mjesečnih izdašnosti vrela na kojima su uspostavljena hidrološka osmatranja i srednjih mjesečnih protoka Gacke u profilu Čovići Podgora uzvodno za analizirano razdoblje zajedničkog rada (1992.-1994.).

Iz prikaza je vidljivo da se hodovi izdašnosti analiziranih vrela podudaraju, kao što se podudaraju i ukupne mjerene izdašnosti svih analiziranih vrela i protoke Gacke na profilu Čovići Podgora uzvodno. Šteta je da nisu obuhvaćene i izdašnosti Majerovog vrela, za kojega je na osnovu tada raspoloživih rezultata hidroloških osmatranja procijenjena sr.god. izdašnost od $4,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, (Elektroprojekt, 1971), dok je za minimalnu navedeno da



Slika 3. Prikaz sr. mj. protoka značajnih vrela u izvorišnom dijelu Gacke za cjelokupno razdoblje raspoloživih podataka hidroloških osmatranja



Slika 4. Prikaz sr. mj. protoka izvorišnog dijela Gacke na profilu Čovići Podgora uzvodno - Gacka i ukupnih registriranih protoka na pojedinim vrelima - bez Majerovog vrela za razdoblje 1992.-1994.

postoji stalna protoka, ali da je po kazivanju mještana ipak (1947.) izvor presušio. Karakteristične vrijednosti srednjih godišnjih ($Q_{sr.g}$) protoka, te minimalnih (Q_{min}) i maksimalno opaženih protoka (Q_{max}) pojedinih vrela dane su u tablici 1.

Tablica 1. Prikaz karakterističnih protoka pojedinih vrela u izvorišnom dijelu Gacke te protoka Gacke u profilu Čovići Podgora – uzvodno

VRELO (HIDROLOŠKA POSTAJA)	RAZDOBLJE MOTRENJA	$Q_{sr.g}$ (m^3s^{-1})	Q_{min} (m^3s^{-1})	Q_{max} (m^3s^{-1})
Vrelo Gacke – preljevi	1982.-1994.	3.43	0.910	8.95
Klanac	1987.-1994.	3.40	0	16.0
Majerovo vrelo*		4.0	0	
Pećina	1987.-1994	1.39	0.001	11.3
Marusino vrelo	1992.-1994.	0.976	0.303	1.46
Pucirep	1990.-1994.	0.196	0	1.52
Graba	1986.-1992.	0.184	0.123	0.80
Begovac	1992.-1994.	0.138	0	1.16
Čovići Podgora uzvodno – Gacka	1972.-1994.	14.0	2.28	59.9

* prema Elektroprojekt (1971).

5. Zaključna razmatranja s prijedlogom za primjereniju valorizaciju vodoopskrbnih resursa Gacke

Izvorišni dio Gacke predstavlja vrijedan vodni resurs koji je za sada samo dijelom iskorišten - pretežno u energetske svrhe, a samo manjim dijelom i za vodoopskrbu. Pri tom vodoopskrbnom korištenju voda Gacke samo se za područje Otočca vode Gacke koriste neposredno iz njene izvorišne zone, dok se za vodoopskrbu priobalnog dijela zahvatom na kraju hidroenergetskog tunela na lokalitetu Hrmotine koriste zajedničke vode izvorišnog

dijela Gacke i vode površinskog sliva Like i Gacke. Sa stanovišta osiguranja kakvoće vode znatno bi povoljnije rješenje bilo da se za vodoopskrbu koriste vode iz samoga izvorišnog dijela Gacke.

Planirana dogradnja hidroenergetskog sustava HE Senj pruža priliku da se optimalizira i način korištenja vodnih resursa Gacke u vodoopskrbne svrhe, kao i da se izvorišni dio Gacke valorizira kao strateški vodoopskrbni potencijal šireg regionalnog prostora. U tu bi svrhu trebalo planirati poseban vodoopskrbni cjevovod cjelokupnom dolinom Gacke, te ga separatno voditi - ugraditi i u planirani novi tunel kroz Velebit za prevođenje voda ka postrojenju HE Senj 2. Izdašnosti vrela u izvorišom dijelu Gacke pružaju mogućnost korištenja daleko većih količina voda vrlo dobre kakvoće. Zbog značajne akumulativnosti vodonosnika mogu se koristiti i tijekom ljetnog razdoblja kada su potrebe za vodom u priobalju najveće. Time bi se moglo osigurati cjelokupno zadovoljenje planiranih potreba za kvalitetnom pitkom vodom područja Otočca i priobalja koje je vezano uz postojeći zahvat na Hrmatinama. Daleko bi bilo jednostavnije osigurati provođenje mjera unutar zona sanitarne zaštite izvorišta, jer bi se one, s postojećim načinom korištenja, osim za izvorišni dio Gacke, trebale protezati na cjelokupni površinski sliv Like i Gacke koji gravitira sustavu HE Senj.

Valjalo bi proučiti mogućnost i većeg korištenja voda izvorišnog dijela Gacke, reda veličine i do $2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, pri čemu bi se mogla analizirati i mogućnost da se, u ekstremno sušnim situacijama, oduzete vode izvorišnom dijelu Gacke kompenziraju odgovarajućim dovodom voda Like (akumuliranih u akumulacijama Kruščica i Kosinj) separatnim cjevovodom. Isti bi sa savladavanjem vrlo male visinske razlike od desetak metara dovodio vodu iz izvorišta Šumečica. Moguće je da će se planiranom izgradnjom akumulacije Kosinj povećati izdašnosti pojedinih vrela u izvorišnom dijelu Gacke, što bi također moglo ići u prilog mogućnostima njihova većega korištenja. Povećanim korištenjem voda izvorišnog dijela Gacke, te njihovim oduzimanjem imalo bi za posljedicu donekle smanjenu proizvodnju električne energije HE Senj. Ukoliko bi se iz izvorišnog dijela Gacke u budućnosti, uz postojećih 7-8 mil. m^3 , osiguravalo dodatnih 23 mil. m^3 vode za vodoopskrbu, tj. u prosjeku oko $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, gubitak u proizvodnji HE Senj iznosio bi oko 0,0225 MWh, tj. svega oko 0,0016% od ukupno planirane proizvodnje.

Usporedi li se vrijednost 1 m^3 pitke vode i vrijednosti spomenutog energetskog ekvivalenta za HE Senj od cca 1 kWh za 1.02 m^3 očito je da osiguranje pitke vode ima i ekonomsku prednost. Osim toga, gubitak energije u proizvodnji HE Senj nije, globalno gledajući, i energetski gubitak. Naime, obzirom na visinski položaj ostalih izvorišta podzemne vode iz koga se opskrbljuje priobalje, kao i na visinski položaj potrošača, vodozahvatom na koti od oko 400 m n.m. osigurava se gravitacijska opskrba vodom cjelokupnog gravitirajućega područja, te se time smanjuju troškovi, odnosno potrebna električna energija za crpljenje vodoopskrbnih količina voda.

Zbog značaja koji ima izvorišni dio Gacke danas, a posebno u perspektivi, nužno je osigurati primjerenu zaštitu kakvoće svih njezinih izvorišnih voda koje predstavljaju prirodno bogatstvo u vodoopskrbnom, te ambijentalno-ekološkom pogledu.

Literatura

Bognar, A., Pavić, R., Riđanović, J., Rogić, V., Šegota, T. 1975. Geografija SR Hrvatske - knjiga 4 - Gorska Hrvatska. Školska knjiga. Zagreb. 196 str.

- Božičević, S. 1984. Hydrogeology of the Lost River Gacka in the Dinaric Karst After Completion of Hydroelectric Power Plant Senj (Rijeka Gacka - Hidrogeologija ponornice nakon energetskeg zahvata za HE "Senj"). Krš Jugoslavije 11/2. 13-70.
- Elektroprojekt. 1971. Vodoprivredna osnova slivova Like i Gacke. Neobjavljeno.
- Hrvatska vodoprivreda. 1995. Vodoopskrba na vodnom području Organizacijske jedinice Rijeka. Neobjavljeno.
- Institut za elektroprivredu i energetiku. 1997. Produljivanje nizova dnevnih protoka i hidrološko bilanciranje HE Senj i Sklope. Neobjavljeno.
- Institut za geološka istraživanja. 1997. Studija ugroženosti izvorišta rijeke Gacke. Neobjavljeno.
- Stepinac, A. 1983. Vodni režim rijeka Like i Gacke pod uplivom krša. Studija za Elektroprojekt. Zagreb. Neobjavljeno.
- Žugaj, R. 1993. Regionalna analiza hidroloških parametara u kršu. Disertacija. Građevinski fakultet. Zagreb. Neobjavljeno.
- Podaci Banke hidroloških podataka DHMZ-a iz Zagreba i ostali podaci iz arhive Hrvatskih voda.

Autori:

- Ožanić Nevenka, Hrvatske vode, VGO primorskoistarskih slivova, 51000 Rijeka, Ciottina 17b
- Rubinić Josip, Hrvatske vode, VGI "Raša - Boljunčica", 52220 Labin, Zelenice 18

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



Rad 4.12.

Primjena prognostičkih produkata modela ALADIN na slivu rijeke Kupe

Krešo Pandžić, Dušan Trninić

SAŽETAK: U radu se opisuju produkti francuskog numeričkog modela za kratkoročnu prognozu vremena pod nazivom ALADIN (Aire Limitee Adaption Dynamique Development International). Osnovni produkti modela su trodimenzijalna prognostička polja: temperature i vlažnosti zraka, vjetera, naoblake i oborine. Rezultati su raspoloživi za trosatna razdoblja do 48 sati unaprijed tj. za dva dana. Spomenuti produkti pak primjenjivat će se kao ulaz u hidrološke modele za prognozu: vodostaja, protoka i volumena vodnih valova. Kao pilot projekt poslužit će sliv rijeke Kupe do hidrološke stanice Brodarci (Pršić i sur., 1995.). na tom mjestu je projektirano ili izvedeno više hidrotehničkih objekata.

KLJUČNE RIJEČI: numerička prognoza vremena, hidrološke prognoze, sliv Kupe

Application of Aladin Model Forecast Model to the Kupa River Catchment

SUMMARY: The paper describes products of the French numerical model called ALADIN (Aire Limitee Adaption Dynamique Development International), which is used in short-term weather forecasts. The basic model products are 3D forecast fields, i.e. air temperature and humidity, wind, cloud cover and precipitations. The results for three-hour periods are available up to 48 hours in advance, i.e. for two days. The said products shall be used as an input into hydrological models forecasting water levels, flow rates and water wave volumes. The Kupa river catchment to the Brodarci recording station (Pršić *et al.*, 1995) shall be used for pilot project, since this site is occupied by a number of designed and constructed hydrotechnical structures.

KEY WORDS: numerical weather forecast, hydrological forecast, the Kupa River catchment

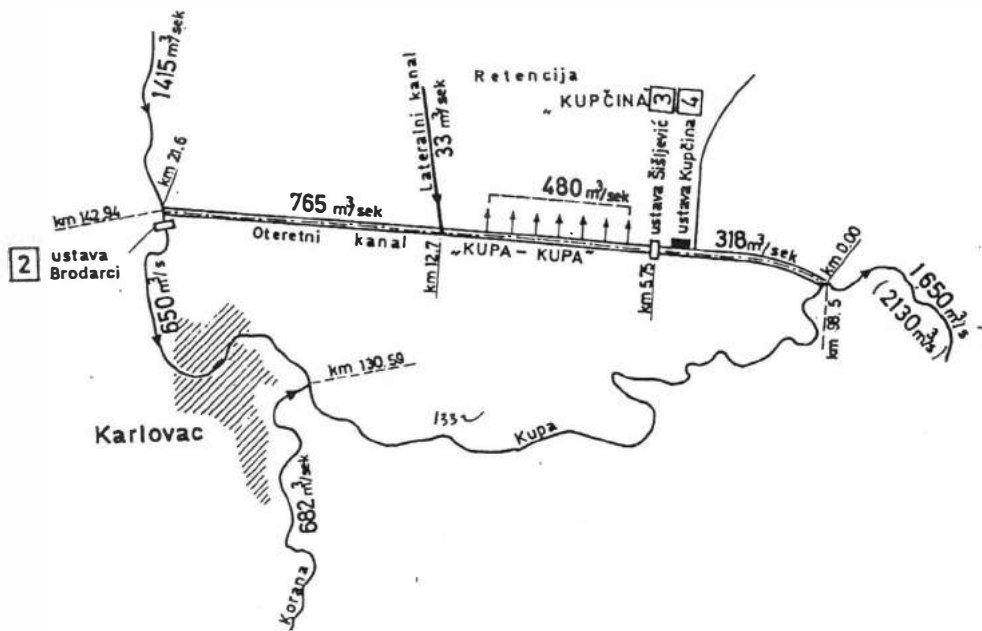
1. Uvod

U ne tako davnoj prošlosti nisu se u dovoljnoj mjeri koristili prognostički produkti meteoroloških elemenata za prognozu stanja površinskih voda (usmena komunikacija s više stručnjaka). Međutim, u novije vrijeme to se stanje ubrzano mjenja (Miller and Kim, 1996). Naime, meteorološki prognostički produkti postaju jedan od temeljnih ulaza u hidrološke modele za prognozu stanja površinskih voda. Takva predviđanja su važna da bi se umanjile štete od poplava i hidroloških suša i racionalno planiralo gospodarenje vodnim resursima. Cilj ovog rada je da ukaže na mogućnost razvoja tih metoda u Hrvatskoj, najprije s primjenom na pilot projekt sliva rijeke Kupe.

Međutim, primjena prognostičkih produkata koji direktno proizilaze iz modela nije preporučljiva bez daljnje prilagodbe na lokalne uvjete. To se može postići korištenjem različitih statističko-determinističkih postupaka. Jasno je, da u budućnosti treba pratiti i analizirati uspješnost primjene prognostičkih produkata ALADIN paralelno radeći i s rezultatima drugih, sličnih modela.

3. Sistem srednje posavlje - čvor brodarci

Za pilot projekt odabire se područje sliva Kupe jer je ono prilično proučeno i najvećim je djelom u Hrvatskoj (Direkcija za Savu, 1967, 1975, Srebrenović, 1972, Pandžić i Trninić, 1991.). U pilot projektu koji se priprema, prognoza oborina za 2 dana unaprijed pomoću numeričkog modela Aladin, bit će ulazna veličina kod hidroloških prognostičkih modela: oborina - otjecanje. Navedeni pilot projekt bit će za sliv Kupe, a u prvoj fazi će se raditi do hidrološke stanice Brodarci, odnosno do ulaza u oteretni kanal Kupa - Kupa i ustave "Brodarci". Poznato je, da su u čvoru Brodarci projektirani, a neki su i izvedeni, sljedeći objekti: ustava Brodarci, oteretni kanal Kupa - Kupa, retencija Kupčina, ustava Šišljević i ustava Kupčina. Na slici 2. shematski je prikazano djelovanje oteretnog kanala Kupa - Kupa, kao i ostalih objekata, kod velikih voda frekvencije 1 %.



Slika 2. Shematski prikaz djelovanja kanala "Kupa - Kupa", kao i ostalih objekata, kod velikih voda frekvencije 1 %

Kanal Kupa - Kupa ima prvenstvenu namjenu da reducira velike vode Kupe kod Brodaraca u cilju obrane od poplava grada Karlovca, ali značaj da se limitiraju vode Kupe kod Jamničke Kiselice kod stogodišnjih voda na 1650 m/s nije ništa manji. Glavni objekt raspodjele voda je ustava "Brodarci" (višenamjenski vodoprivredni objekt). Osnovna funkcija joj je ipak obrana od poplava, gdje na toj lokaciji vrši ulogu distribucije voda na: Kupu i oteretni kanal.

Slijedeći objekt, ustava "Šišljević" ima osnovnu zadaću da kontrolira vodne nivoe kanala "Kupa-Kupa" radi aktiviranja preljeva, odnosno odterećenja voda u retenciju "Kupčina". Time se indirektno postiže i kontrola protoka kod hidrološke stanice Jamnička Kiselica. Ovdje treba raći da je vrijeme koncentracije do hidrološke stanice Brodarci 128,0 sati, da je vrijeme propagacije, npr. od hidrološke stanice Hrvatsko do Karlovca oko 26 sati, i da modelom Aladin dobijamo prognozu oborina za dva dana unaprijed. Iz ovih podataka je vidljivo da postoji dovoljno vremena za poduzimanje odgovarajućih mjera za provedbu obrane od poplava, organizacije pravodobnih hidrometrijskih mjerenja (npr. u kanalu Kupa-Kupa) kao i drugih radnjih u sustavu obrane od poplava Karlovca, odnosno Zagreba i Siska.

Na slivu Kupe trenutno egzistiraju slijedeće automatske hidrološke stanice: Radenci, Zapeć, Pribanjci, Kamanje, Brodarci, Karlovac i Jamnička Kiselica na rijeci Kupi, Veljun na Korani, Lešće na Donjoj Dobri i Juzbašići na Donjoj Mrežnici. Glavne meteorološke stanice su u Pargu, Rijeci, Karlovcu, Ogulinu, Sisku te u Kočevju i Črnomlju na teritoriju Republike Slovenije. Iz ovih podataka je vidljivo da postoji vrlo dobra pokrivenost sliva s meteorološkim i hidrološkim podacima u realnom vremenu što znatno olakšava primjenu i pouzdanost hidroloških prognostičkih modela.

4. Zaključak

Jasno je, da treba koristiti sve mogućnosti za ekonomski prosperitet zemlje, a ovaj pilot projekt, je sigurno jedan od takvih. S jedne strane pravovremenim informacijama, prognozama i upozorenjima smanjujemo štete od elementarnih nepogoda, a s druge strane boljim gospodarenjem s vodnim resursima povećavamo ekonomsku dobit. Sve to je moguće ako s zadovoljavajućom točnošću možemo predvidjeti što će se u atmosferi i na vodotocima dešavati, za sada, nekoliko dana unaprijed.

Literatura

- Direkcija za Savu: Obrana od poplava Zagreba, Siska i Karlovca, Zagreb, 1967.
- Direkcija za Savu: Analiza režima velikih voda : uslovljena djelovanjem obrambenog sustava Srednje Posavlje, Zagreb, 1975.
- Members of ALADIN: Mesoscale modelling seenas a basic tool for weather forecasting and atmospheric research, Meteo-France, Toulouse, 1997.
- Miller, N.L. and J.H. Kim: Numerical prediction of precipitation and river from over Russian river watershed during the January 1995, California
- Storm. Bull. Amer. Meteo. Soc., 77, 101-105, 1996.
- Pandžić, K. i Trninić, D.: Principal component analysis of a river basin discharge and precipitation anomaly fields associated with the global circulation. J. Hydrol., 132, 343-360, 1991.
- Pršić, M., i sur.: Hrvatsko vodoprivredno nazivlje, Građevinski godišnjak, 96, HDGI, 292-301, Zagreb, 1996.
- Srebrenović, D.: Problemi velikih voda, Tehnička knjiga, 1972.

Autori:

Doc. dr. sc. Krešo Pandžić

Doc. dr. sc. Dušan Trninić

Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.13.

Ivan Slišković, Darko Ivičić

Hidrogeologija sliva i korištenje voda rijeke Trebižat

SAŽETAK: U okviru višenamjenskog iskorištavanja podzemnih i površinskih voda sliva rijeke Trebižat, otvaraju se mogućnosti za razvitak poljoprivrede, turizma, hidroenergije i gospodarstva uopće. Hidrogeološkim i hidrološkim istraživanjima ustanovilo se da je sliv rijeke Trebižat izrazito asimetričan i da su razlike između orografskog i podzemnog sliva velike. U radu su opisani hidrogeološki odnosi u krškim vodonosnicima i iskoristivost podzemnih i površinskih voda. Stvaranjem umjetnih akumulacija doći će do poremećaja površinskog i podzemnog režima voda, i djelomičnog izravnjanja hidrološkog minimuma, što će se pozitivno odraziti na vodoopskrbu i poljoprivredu. Ukazano je i na mogućnosti vodozahvata u zaleđu velikih krških vrela, što je od vitalne važnosti za ruralno stanovništvo na udaljenim i bezvodnim krškim terenima.

KLJUČNE RIJEČI: krški izvor, trasiranje, hidroenergetski potencijali, sliv, akumulacija

Trebižat River Catchment Hydrogeology and Water Use

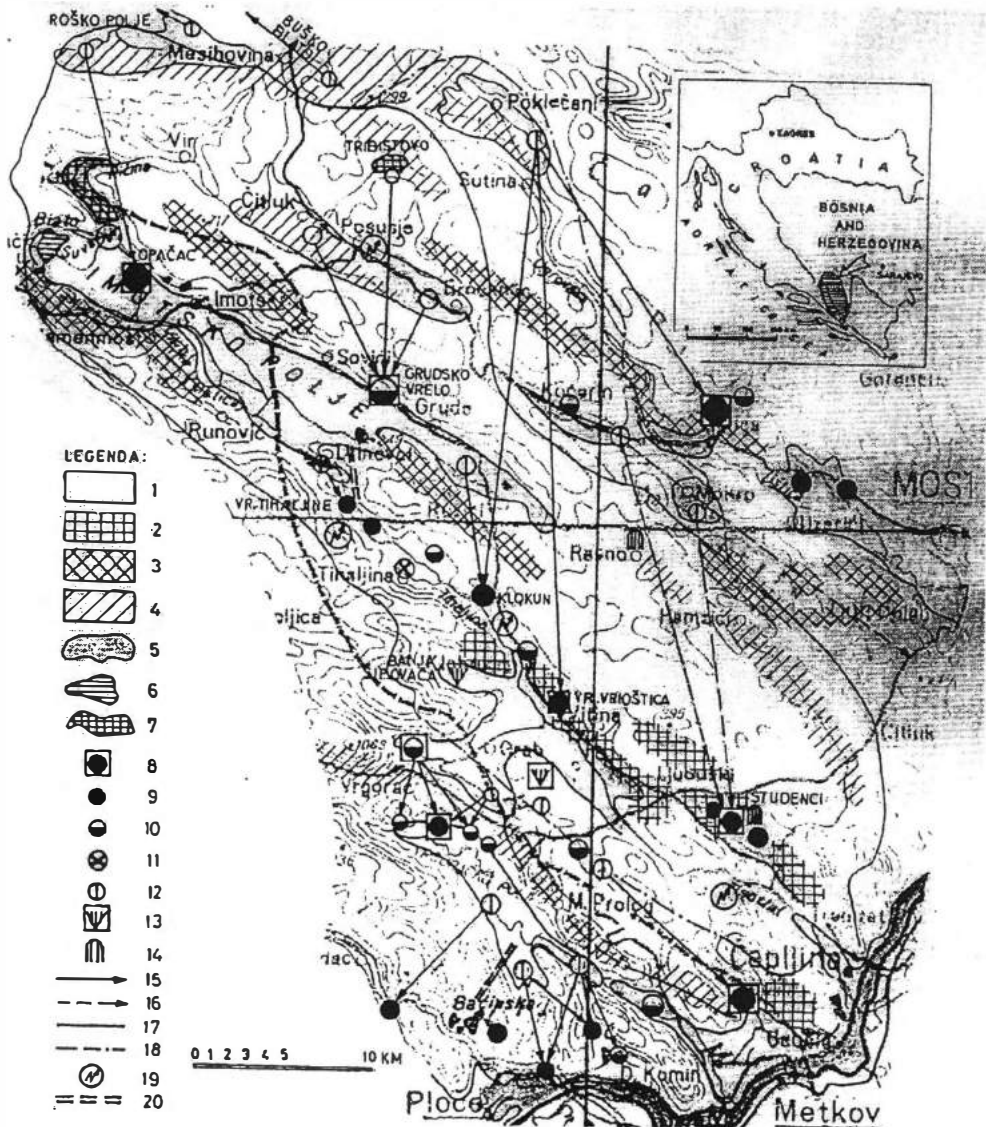
SUMMARY: Multipurpose development of ground and surface water of the Trebižat River catchment opens the possibilities for development of agriculture, tourism, hydropower and economy in general. Hydrogeological and hydrological investigations determined that the Trebižat catchment is highly skewed and that differences between orographic and underground catchment are significant. The paper describes hydrogeological relations in karst aquifers and possible exploitation of surface and groundwater. Impoundment of reservoirs shall cause disturbance in surface and groundwater regimes and partial regulation of hydrological minimum, which shall have positive effect on water supply and agriculture. The possibility is presented for water tapping in the hinterland of large karst springs, which is particularly important for rural population in remote and waterless karst regions.

KEY WORDS: karst spring, routing, hydropower potential, catchment, reservoir

1. Uvod

Sliv Trebižata pripada neprekinutom toku Tihaljine, Mlade i Trebižata, dugačkom 48 km od izvora Peć-Mlini do utoka u Neretvu, nizvodno od Čapljinje. Računajući i vodotoke s gornjih horizonata (Imotskog polja i uzvodnije do Tribistova), sveukupna dužina riječnog toka je 123 km. Sliv je potpuno asimetričan s dotjecanjem podzemnih voda sa sjevera i sjeverozapada, i gubicima prema jugu i jugoistoku. U građi slivnog područja (slika 1) dominantne su karbonatne naslage gornje krede i paleogena pretežno

vapnenjačkog razvoja, a znatno slabije su rasprostranjeni dolomiti i dolomitični vapnenci donje krede i eocenski fliš. Ovi potonji čine podinske i bočne barijere za podzemne vode. Rasjedna i plikativna tektonika ima značajnu ulogu u usmjeravanju tečenja podzemnih voda prema izvorima u slivu Trebižata. Posljedica okršavanja karbonatnih stijena je pomanjkanje površinskih tokova, brza infiltracija u podzemlje i otjecanje prema



Slika 1. Hidrogeološka karta sliva rijeke Trebižata:

1. propusna područja - vapnenci i dolomiti; 2. potpuna topografska barijera - fliš; 3. relativna barijera u dubini - dolomiti; 4. nepotpuna viseća barijera - fliš; 5. krško polje; 6. prirodno jezero; 7. umjetno jezero; 8. kaptirani izvor; 9. krški izvor; 10. povremeni krški izvor; 11. estavela; 12. ponor; 13. jama s vodom u dubini; 14. špilja s vodom; 15. utvrđen podzemni tok; 16. pretpostavljen podzemni tok; 17. razvodnica - topografska i podzemna; 18. podzemna zonarna razvodnica; 19. projektirane hidroelektrane; 20. odvodni tunel.

erozijskoj bazi i kontaknoj zoni Imotskog polja i rijeke Tihaljine. Litološki sastav, strukturno-tektonski odnosi i hidrogeološke karakteristike naslaga u zaleđu Imotskog polja, veoma su složeni. Kompleks prominskih sedimenata je znatno slabije vodopropustan od vapnenca, pa ima ulogu regionalnog usmjerivača podzemnih voda prema jugu. Miocenski sedimenti u bazenima Duvanjskog, Posušskog, Virskog i Rakitnog polja su na različitim nadmorskim visinama od 580 do 900 m n.m., što je posljedica tektonske aktivnosti unutar prvobitno cjelovitog bazena. Te naslage predstavljaju viseće barijere kretanju podzemnih voda.

Hidrološka opažanja od Ljubuškog (Humac) do vodopada Kravica, upućuju na gubitak vode iz korita Trebižata i otjecanje prema vrelu Norinske rijeke u Prudu. Ovu je postavku potrebno potvrditi trasiranjem ponora u Humcu i Vitaljini.

Površinska i podzemna voda se relativno dobro koristi u poljoprivredi, ali hidroenergetska iskoristivost postoji samo u idejnim projektima. Potrebno je objediniti sve aspekte korištenja voda, i pristupiti faznom iskorištavanju ovih prirodnih resursa.

2. Veličina sliva i smjerovi tečenja podzemnih voda

Sliv Trebižata ima površinu od cca 1450 km², a dužina mu je od Tribistova do ušća u rijeku Neretvu 123 km. Sjeverna vododjelnica se proteže od planine Čvrsnice prema zapadu zaobilazeći Rakitno polje, i povija prema jugu kod Mesihovine. Ide južnim obroncima Midne planine, presjeca istočni dio Roškog polja i izbija na Prološko blato. Tu poprima zonarni karakter, jer dio voda podzemno otječe prema vrulji u Dubcima, a drugi dio tokom Sije prema rijeci Vrlici. Jugozapadna vododjelnica se pruža između Zagvozda i Poljica na brdo Vjeternik, približava se Runovićima, izbija na Osoje i Orah, odakle se pruža preko Rastok polja na Prolog, i preko Novih Sela i Vida izlazi na rijeku Neretvu. Ovim okruženjem je obuhvaćen i sliv izvora Norin u Prudu zbog podzemnog prelijevanje vode Trebižata u sliv Norinske rijeke.

Najveći dio slivnog područja izgrađen je od propusnih stijena s kompliciranim tektonskim odnosima. Unutar ovog područja značajnu hidrogeološku ulogu imaju prominske naslage Zavelima, eocenski fliš Vira i Ričica, miocensko-laporovite naslage Posušskog polja, te dolomitno-vapnenjačka antiklinala Gornji Vinjani - Gorica. Kvartarne naslage debljine i preko 140 m, u većem dijelu Imotskog polja imaju funkciju nepotpune barijere.

Bojenjem ponora Ponir u Roškom polju dokazana je podzemna veza s izvorom Opačac u Imotskom polju, a s ponora Rastovača u Posuškom polju i Mrke stine kod Gruda, dobivena je veza s izvorima u dolini rijeke Tihaljine. Trasiranjem bušotine u Tribistovu dokazana je veza s Grudskim vrelom, kao i s ponora u koritu Ričine zapadno od Posušja. Djelomična pripadnost sliva Rakitnog polja i povremenog toka rijeke Ugrovače slivu Tihaljine, dokazana je bojenjem ponora Markovića jama u Sutini.

Rijeka Trebižat dijelom je "viseća", jer je razina podzemne vode u okršenim vapnencima niskih krških zaravni Vašarovića i Humca na dubini od 6-50 m, a u krškim poljima i duž toka rijeke Trebižata do vodopada Kravice na dubini od 0-10 m. Pretpostavka je da rijeka Tihaljina većim dijelom prihranjuje izvor Norinske rijeke.

Plitka dolina Trebižata, nizvodno od Humca, urezana je u staru fluvijalnu zaravan. Bokovi su izgrađeni od okršenih vapnenaca, a dno od pretaložene sedre, pijeska i gline. Do vodopada Kravica nema izvora, a ponori manjeg kapaciteta postoje na obje dolinske strane na kontaktu s vapnencima i u riječnom koritu. Hidrološka mjerenja u Humcu i iznad vodopada Kravica pokazuju manjak vode od 1,5 - 2,2 m³/s, što se može objasniti

gubicima u djelomično kolmiranom koritu. Korito Trebižata je, u evolucijskom smislu, u fazi formiranja viseće doline iz koje se gube vode k nižim erozijskim bazama.

Podzemne vode iz krških zaravni Šipovače, Vašarovića i Humca, te krških polja Rastoka i Jezerca, javljaju se na izvoru Norin. Na površini terena zastupljen je tanki nekontinuirani pokrivač od crvenice i zaglinjenog kršja, a na poljima aluvijalne jezerske naslage debljine 5-10 m. Povremena vrela se javljaju na zapadnim i sjevernim rubovima polja. Stalni vodotok je kanal koji dovodi vodu iz Tihaljine u Rastok polje. Ispod polja i Vašarovića nalaze se značajne rezerve podzemne vode i u sušnom razdoblju, što potvrđuju podaci iz jame Romanjka u kojoj je minimalna razina na 18 m ispod površine, a i u najsušnijem razdoblju godine iz jame se crpi 10 l/s pitke vode.

Visoka voda polja Rastok preko ponora Konjsko, Betina i drugih istjeće na povremenom vrelu Klokun u Jezercu, plavi polje i ponovo ponire, te se konačno javlja na izvoru Norin. Za ekstremno visokog vodostaja vode poniru i na južnom obodu Jezerca. Sa zapadnog dijela Rastok polja poniruće vode izvire u Vrgoračkom polju (Butina i dr.). Akumulacije podzemnih voda sjeverozapadno od čela navlake Čapljina-Studenci-Klobuk uvjetuju pojavu niza velikih krških izvora od Tihaljine preko Klokuna, Vrioštica i Studenačkih izvora, s ukupnom minimalnom izdašnošću preko 12 m³/s.

3. Hidrogeološki odnosi i retencije podzemnih voda

Odnosi stijenskih naslaga i njihove različite hidrogeološke funkcije u zaleđu Imotskog polja veoma su složeni. Serija prominskih sedimenata ima naizmjeničnu poroznost i znatno slabiju propusnost od vapnenaca. Naslage neogena u Posuškom i Vir polju su viseće barijere za podzemne vode, a okolni vapnenci neravnomjerno su razlomljeni i dobri su sprovodnici podzemnih voda prema jugu. Važnu ulogu u raspodjeli podzemnih voda odigrali su jezerski sedimenti u Imotskom polju. Kao posljedica navedenih činitelja nastali su složeni sistemi cirkulacije prema erozijskim bazama - neposrednom Imotskom polju (izvor Opačac $Q_{sr}=13$ m³/s) i moru (vrulja Dubci $Q_{sr}=22$ m³/s).

Rijeka Ričina ima povremeni tok, a nastaje iz potoka koji s Tribistova prikupljaju površinsku vodu. Teče kanjonom do horizonta Posuško-čitlučke zaravni, gdje od Posušja do Ričica prima vodu povremenog toka Topale s lijeve strane i povremenih tokova, Studenog potoka, Žukovice, Sutine i Vrbice s desne strane. Nizvodno od akumulacije Ričice kroz kanjon Badnjevice do Prološog blata nosi ime Suvaja.

Kroz Imotsko polje protječe stalni tok rijeke Vrljike u koju se ulijeva vodotok Jaruga (Sija), koja je nastavak Suvaje iz Prološkog jezera. Nizvodno od Kamen Mosta Vrljika se naziva Matica, a ponire na jugozapadnom dijelu polja u ponoru Šajnovci, a veći dio otjeće tunelom kroz brdo Petnik u rijeku Tihaljinu.

Na sjeveroistočnom obodu Imotskog polja nalazi se veliko krško vrelo - Opačac, minimalne izdašnosti oko 1,0 m³/s. Izvor je kaptiran za Imotski i dio Imotske općine, i dijela Hercegovine. Sjeverozapadno od Opačca je stalni izvor Vrljike-Utopišće.

Posebno su interesantna Imotska jezera, kako zbog svoje veličine, tako i zbog hidroloških specifičnosti i ljepote. Iz odnosa kota izvora Opačac i minimalnih razina podzemne vode u Imotskim jezerima, vidljivo je da se voda u Modrom jezeru spušta i 30 m, a u Crvenom jezeru 15 m ispod Imotskog polja. Maksimalne razine su i do 50 m u Crvenom jezeru, i oko 75 m u Modrom jezeru, iznad kote Opačca. Različite oscilacije vodostaja u Modrom i Crvenom jezeru, M. Petrik i J. Roglić tumače odvojenim hidrološkim sistemima, odnosno odvijanjem i dotjecanja i otjecanja u Modrom jezeru kroz dno, a

kod Crvenog jezera i kanalima u bokovima. Crveno je jezero dublje od Modrog za 245 m. Prema najnovijim istraživanjima (Garašić i dr., 1998), do sada najveća izmjerena dubina Crvenog jezera je 281m, a dno jezera je na 6 m ispod mora. Prološko Blato i okolna mala jezera čine zaseban sistem čija je razina na koti 261 do 266 m n.m. Oscilacije vode su od 1,5 m do 5 m.

Uz rub polja prema Donjim Vinjanima nalazi se niz manjih izvora, i kod Gruda jako povremeno vrelo. Izbija iz više jama na potezu od 70 m, a u suhom razdoblju godine voda se povlači u dubinu 10 do 30 m. Jezero Krenica kod Drinovaca nalazi se u kvartaru, a vodu dobiva iz kamenitog (vapnenjačkog) dna s dubine 35 m. Izdašnost Krenice u minimumu je 25 l/s.

Na hidrogeološkoj karti (slika 1.) izdvojene su stijene prema njihovoj funkciji u terenu. Podjela je temeljena na litološkim značajkama, tektonskoj oštećenosti, morfologiji i hidrološkim pojavama. Najveću površinu zauzimaju dobro propusni i okršeni vapnenci koji imaju funkciju hidrogeoloških kolektora. Tihaljina (Trebižat) ima stalni tok kroz ove krške terene zbog toga što od izvora pa do ušća, prima vodu izvora velike izdašnosti, a korito joj je djelomično kolmirano recentnim kvartarnim talogom i sedrom. Svi registrirani ponori i zone sufozijskog poniranja, vezani su za gornjokredne i paleocensko-eocenske vapnence. Dolomiti i dolomitični vapnenci, odlikuju se pukotinskom, a rijeđe kaverno-znom poroznošću. Samo pojedine antiklinalne strukture sjeverno od Ljubuškog su u odnosu na susjedne stijene manje propusne i vrše funkciju relativne barijere u pličim, i apsolutne barijere, u dubljim horizontima. Gornjokredni dolomiti s lećama vapnenaca na lijevoj dolinskoj strani od izvora Tihaljine do Podgraba, praktički nemaju ulogu barijere, jer kroz njih protječu vode sa sjevera na velika krška vrela.

U zoni Ljubuško-klobučke navlake, gdje su gornjokredni vapnenci i dolomiti navučeni na eocenski fliš, javljaju se najveći krški kontaktni izvori: Klokun, Vrioštica i Studenac. Poremećene i izdignute naslage eocenskog fliša na potezu od Vrgorca do Vida, čine viseću barijeru podzemnim vodama.

Akumulirane podzemne vode, sjeverno od Imotskog polja, izljevaju se na vrelo Opačac ($Q_{sr}=13 \text{ m}^3/\text{s}$) i nizu izvora uz sjeveroistočni rub Imotskog polja. U području Gruda izbija povremeno vrelo, prosječne izdašnosti $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Vrlika ponire kod sela Drinovci i javlja se na vrelo Tihaljine s prosječnom izdašnosti $9,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Tihaljina u gornjem toku s lijeve dolinske strane prima vode iz jakih krških vrela od kojih je najjače Klokun ($Q_{min}=4 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{sr}=7,5 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{max}=19,4 \text{ m}^3/\text{s}$). Dokazana podzemna veza s ponorom Markovića Mlinica u Raktinom polju (Sutina), upućuje na procjenu slivne površine ovog izvora od 260 km^2 (Slišković, 1983.).

Nizvodno od Klobuka povremeno vrelo Podgrab $Q_{sr}=2,2 \text{ m}^3/\text{s}$ presuši 3-4 mjeseca, ali se voda stalno zadržava u "ždrijelu". Izvor je preljevnog tipa, pa bi se bušenjem u zaleđu mogle dobiti značajne količine podzemnih voda za vodoopskrbu. Na desnoj dolinskoj strani Tihaljine, u gornjem toku, značajna su povremena vrela Zloriba i Meljava. Zloriba ponekad funkcionira i kao ponor, jer u nju uviru velike vode Tihaljine.

Uz jugozapadni obod Vitinskog polja, nalaze se značajni izvori Šipovačka Banja (povremeni) i Sedra ($Q_{min}=400 \text{ l/s}$). U Vitini je vrelo rijeke Vrioštice čija je izdašnost $Q_{min}=1,250 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{sr}=3,8 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_{max}=16,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Prema razlici na vodomjeru Grab i Humac, dobije se prosječni proticaj $6,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Povećanje od $3,8$ na $6,9 \text{ m}^3/\text{s}$ nastaje zbog priliva voda od izvora Sedre, Radišića i drugih stalnih i povremenih izvora. U Studencima rijeka Trebižat prima vodu Studenčice, koja nastaje od tri jaka stalna vrela. Vrelo Vakuf, ima najnižu kotu istjecanja i najbolje je uravnoteženo ($Q_{sr}=3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_{max}=5,1 \text{ m}^3/\text{s}$), što

je povoljno za vodoopskrbu šireg područja Ljubuško-čitlučke regije. Osim ova tri izvora postoji i cijeli niz malih, stalnih i povremenih vrela. Nizvodno od vodopada Kravica do ušća Trebižata u rijeku Neretvu, javljaju se samo povremeni izvori s obje strane riječnog toka. U širem području sela Trebižat formirana je aluvijalna zaravan širine 500-800 m u dužini od 6 km.

4. Korištenje podzemnih i površinskih voda

Mogućnosti korištenja podzemnih i površinskih voda u slivu rijeke Trebižata su višestruke; od korištenja za natapanje u inteziviranju poljoprivredne proizvodnje, vodoopskrbi stanovništva i industrije, do iskorištavanja hidroenergetskog potencijala. U Imotsko-bekijskom polju je predviđena melioracija 8.400 ha (od toga 4.400 ha u Republici Hrvatskoj), u sklopu koje je izgrađena akumulacija Ričica ukupne zapremine 35 hm^3 i s predviđenom proizvodnjom $7,7 \text{ Gwh/g}$ električne energije.

S vrela Opačac opskrbljuje se vodom veće područje općine Imotski, a planirano je i proširenje vodoopskrbe pa i na dio Hercegovine. Uzvodniji dio sliva u Tribistovu, izgradnjom prve faze akumulacije na Ružičkom potoku, ukupne zapremine $4,95 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, koristi se za vodoopskrbu Posušja i nekih sela u Imotskoj općini. Planira se dogradnja akumulacije na $15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, što će omogućiti minimalni kapacitet vodovoda 600 l/s , dovoljno za vodoopskrbu cjelokupne Posuške općine i natapanje većeg dijela Posuškog polja i okućnica. Predviđena kota uspora ove akumulacije je $916,5 \text{ m n.m.}$, pa bi se neto padom od 150 m proizvodilo $2,7 \text{ Gwh/g}$ električne energije. Akumulacija će pozitivno utjecati i na obranu od poplava nizvodnog područja. Na povremenom vodotoku Topali u Posuškom polju izgrađena je akumulacija zapremine $23,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ na koti 609 m n.m. , radi sprječavanja erozije zemljišta, taloženja mulja i obrane od poplava. U krajnje sjeverozapadnom dijelu Imotskog polja rijeka Suvaja ulijeva se u prirodnu akumulaciju Prološko Blato (274 m n.m.), maksimalne zapremine $11,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Osim Prološkog Blata, u obodnom dijelu polja nalazi se cijeli niz manjih jezera i "oka".

Rijeka Vrlika kod Drinovaca ponire, a višak otječe prema tunelu Petnik kapaciteta $55 \text{ m}^3/\text{s}$ što je malo za odvođenje visokih voda, pa se povremeno stvara retencija zapremine $170 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Hidrotehničkim projektom je predviđeno proširenje tunela na $90 \text{ m}^3/\text{s}$ kojim bi se eliminirale poplave u Imotskom polju i osigurala godišnja proizvodnja 120 Gwh/g električne energije. U mjestu Klobuk, projektirana je brana i akumulacija $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ hidroenergetskim potencijalom $33,8 \text{ Gwh/g}$. Akumulacija u Klobuku uvjetuje izgradnju hidroelektrane na izvoru rijeke Tihaljine i proširenje tunela Petnik, uz eliminiranje poplava u gornjem toku rijeke Tihaljine.

Na Grudskom vrelu je bušenim zdencima zahvaćeno 80 l/s pitke vode, ali su potrebe i do 180 l/s u vegetacijskom razdoblju, što zahtijeva dodatne istražne radove. Očekuje se da se na potezu od Imotskog do Gruda, uz sjeverni obod polja, može dobiti i do 250 l/s kvalitetne pitke vode. Na to upućuju povoljni hidrogeološki, tektonski i morfološki odnosi.

Nizvodno od Klobuka rijeka Tihaljina utječe u prostrano Vitinsko-ljubuško polje s razvijenim kanalskim sustavom za natapanje. Jedan krak kanala odvodi vodu i u Rastok polje ispod Vrgorca, što omogućava značajno povećanje poljoprivrednih prinosa u ovom krševitom kraju. U polju i niskoj krškoj zaravni oko Graba i Vašarovića, te u Veljacima i Šipovači, izbušen je cijeli niz bušotina za natapanje obradivih površina i plastenika. Voda se crpi iz plitkog krškog vodonosnika ($10\text{-}25 \text{ m}$).

Na obodu polja u Vitini, izvire jako krško vrelo Vrioštice ($Q_{\min}=1,2 \text{ m}^3/\text{s}$), koje je djelomično kaptirano za vodoopskrbu Ljubuškog, a znatno većim dijelom voda otječe irigacijskim kanalima istočnim dijelom Vitinskog polja do Humca. Od ulaska u polje do vodopada Kravica, Trebižat djelomično ponire, a voda se javlja na izvoru Norinske rijeke. U mjestu Studenci tri su jaka krška vrela od kojih je Vakuf kaptiran za vodoopskrbu Čitlučko-ljubuške krške zaravni. Kapacitet izvora je $2 \text{ m}^3/\text{s}$, što znatno premašuje potrebe za pitkom vodom, pa se koristi i za natapanje Studenačkog polja. Vodopad Kravica (pad 20 m), zbog ljepote sedrenih barijera turističko je izletišta, a projektirana je i manja hidroelektrana.

Iz svega navedenog vidljiv je izuzetan značaj koji imaju (i koji bi mogle imati) vode u slivu rijeke Trebižat za cjelokupni razvoj Imotskog kraja i zapadne Hercegovine.

Literatura

- Bahun, S. (1991): O postanku Crvenog i Modrog jezera kod Imotskog. Geol. vjesnik 44, str. 275-280, Zagreb.
- Bojanić, L., Ivičić, D., Batić, V. (1981): Hidrogeologija Imotskog polja s osvrtom na značaj u regionalnom smislu. Geol. vjesnik 34, str. 127-135, Zagreb.
- Đerković, B. (1970): Rezultati hidrogeoloških istraživanja na krškim poljima zapad. Hercegovine. Kolokvij o geologiji Dinarida, str. 145-154, Ljubljana.
- Goluža, M., Slišković, I. et al (1995): Višenamjensko korištenje voda na slivu Neretve i Cetine s posebnim osvrtom na akumulacije i male hidroelektrane. Zbornik I savjet. hidroenergetičara Republike Hrvatske i Herceg-bosne, str. 59-73, Mostar.
- Komatina, M. (1975): Hidrogeološke odlike slivova centralnodinaridskog karsta. Geozavod, spec. izdanje, 138 str., Beograd.
- Pavičić, A. & Ivičić, D. (1997): Drainage basin boundaries of major springs in Croatia determined by means of groundwater tracing in their hinterland. Tracer Hydrology 97, 273-278, Balkema, Rotterdam.
- Petrik, M. (1969): Karakteristike voda na Dinarskom kršu. Zagreb.
- Slišković, I. (1994): On The Hydrogeological Conditions of Western Herzegovina and Possibilities for New Groundwater Extractions. Geologia Croatica, Vol. 47/2, p 221-231, Zagreb.
- Slišković, I. (1995): Hidrogeološke značajke Hercegovine s posebnim obzirom na korištenje i zaštitu podzemnih voda. I hrvatski geološki kongres, Opatija, listopad 1995. Zbornik radova 2, str. 542-547, Zagreb.
- Slišković, I., Kapelj, S., i Vidović, M. (1997): Zaštita izvorišta Norinske rijeke. Hrvatske vode, br. 19, str. 147-149, Zagreb.

Autori:

Dr.sc. Ivan Slišković, dipl.ing.geol.

Darko Ivičić, dipl.ing.geol.

INSTITUT ZA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA, SACHSOVA 2, ZAGREB

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.–22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.14.

Hidrologija akumulacije Boljunčica u Istri

Rubinić Josip, Tomašić Mirko, Ožanić Nevenka, Kukuljan Igor

SAŽETAK: U radu je razmatran hidrološki aspekt akumulacije Boljunčica u Istri. Radi se o akumulaciji značajnog volumena (cca 6,5 mil. m³), koja je kao dvonamjenski objekt izgrađena 1970.g. No, obzirom na značajne gubitke iz zaplavnog prostora koji prilikom izgradnje brane nisu bili odgovarajuće sagledani, za sada je akumulacija isključivo u službi zaštite od poplava. Na primjeru akumulacije Boljunčica analiziran je problem izgradnje značajnih vodnogospodarskih objekata bez dostatnih hidroloških podloga i njihove odgovarajuće interpretacije. U radu je dan prikaz osnovnih hidroloških značajki vodne bilance Boljunčice i promjena koje je izazvala izgradnja akumulacije, kao i prikaz komunikacije površinske akumulacije i podzemnih voda u okruženju.

KLJUČNE RIJEČI: akumulacija Boljunčica, vodna bilanca, gospodarenje vodama, Istra

Boljunčica Reservoir (Istria) Hydrology

SUMMARY: The paper considers hydrological aspect of the Boljunčica Reservoir located in Istria. This is a storage basin of considerable volume (approximately 6.5 mil m³) built as a double-purpose structure in 1970. However, with respect of inundation area which has not been adequately analyzed during the dam construction, the reservoir is currently used exclusively as a flood control structure. The Boljunčica Reservoir was used for analysis of issues related to construction of important water management structures when hydrological input and its interpretation are insufficient. The paper is an overview of the basic hydrological characteristics of the Boljunčica water balance and changes caused by construction of the reservoir, along with the presentation of communication between the surface reservoir and groundwater in the neighborhood.

KEY WORDS: Boljunčica reservoir, water balance, water management, Istria

1. Uvod

Akumulacija Boljunčica je izgrađena na istoimenom bujičnom vodotoku koji prikuplja vode sjeveroistočnog dijela istarskog poluotoka zapadno od najveće istarske gore Učke. Izgradnjom brane Letaj 1970.g. formirana je akumulacija koja je trebala funkcionirati kao dvonamjenski objekt - za zaštitu nizvodnijeg dolinskog toka Boljunčice - Čepičkog polja od velikih voda, kao i u svrhu osiguranja vode za navodnjavanje Čepičkog polja na kojemu je izgrađen hidromelioracijski sustav s oko 1400 ha obradive zemlje. Nekada je oko polovice tog polja, tj. njegov najnižvodniji dio, zauzimalo Čepičko jezero. Jezero se praznilo putem ponora lociranih uz rub doline, a pri visokim vodostajima vode Boljunčice dijelom su prelijevale u susjedni sliv Raše. Godine 1932. izvršen je prokop tunela dugog 4530 m kojime je isušeno jezero, te od tada vode Boljunčice njime otječu ka Plominskom zaljevu.

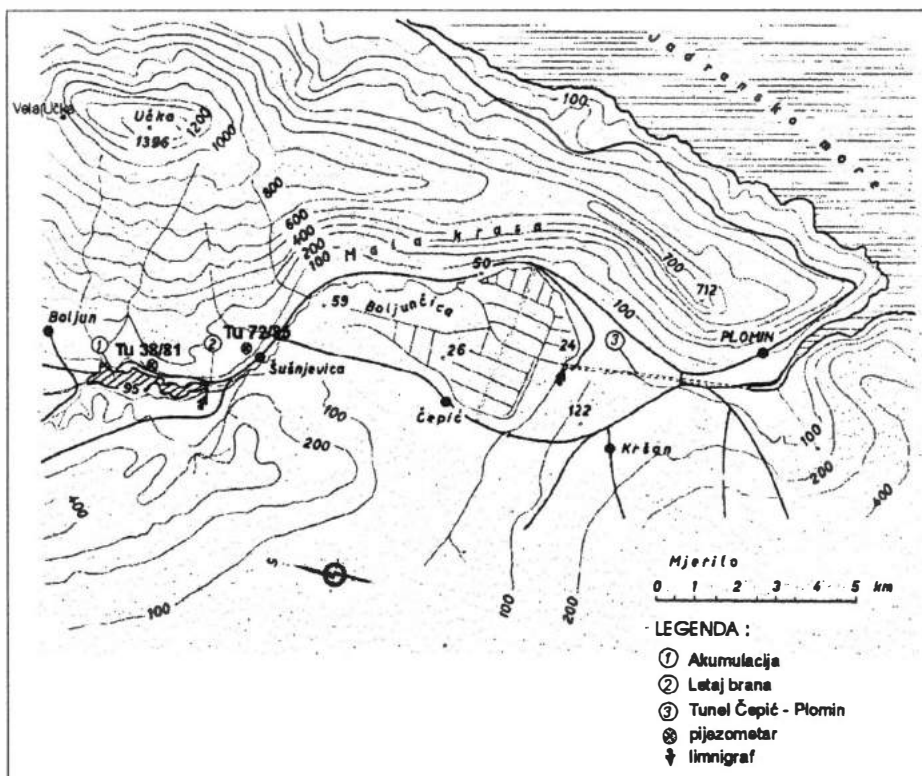
Izgradnja brane Letaj u gornjem dijelu sliva Boljunčice, imala je za posljedicu povećanje sigurnosti nizvodnijeg hidromelioracijskog sustava od pojava velikih voda. No, zbog izraženih gubitaka vode iz zaplava formirana akumulacija nije u stanju da osigura zalihe vode za navodnjavanje, kako je to bilo planirano u glavnom projektu (Elektroprojekt, 1968). Naime, u tom je elaboratu pretpostavljeno da “okršavanje lijevog boka je relativno mlado, i radi toga je tu malo razvijena krška drenažna mreža, te se ocijenuje da četu gubici biti relativno ograničeni.” Tada je kao zona potencijalnih gubitaka jedino uočena zona u lijevom boku oko 80 m uzvodno od brane, te je tu izveden dio injekcijske zavjese u duljini od svega 20-tak m. Nekoliko godina nakon izgradnje brane, po uočenim gubicima vode, provedeni su istražni radovi u svrhu ocjene mogućnosti povećanja vododrživosti (Elektroprojekt, 1977.). Ti radovi, nažalost nisu rezultirali primjerenim sanacijskim mjerama. Tijekom posljednjih nekoliko godina intenzivirani su istražni radovi vezani uz akumulaciju Boljunčicu u cilju primjerenije valorizacije njenog vodnog potencijala (JVP Labin, 1993. i 1996: Hidroinženjering 1994. i 1996.) Sastavni dio tih istraživanja su i hidrološka praćenja i analize. Obnovljen je sustav osmatranja površinskih voda vezanih uz akumulaciju, a započeli su i hidrogeološki radovi vezani uz praćenje dinamike kolebanja razina podzemnih voda u vezi s akumulacijom.

U radu su prikazani osnovni hidrološki pokazatelji koji karakteriziraju vodnu bilancu akumulacije Boljunčice i njen odnos s vodama nizvodnog dijela toka Boljunčice, kao i sa krškim podzemljem. Veći dio tih podloga prikupljen je nakon izgradnje brane, a posebno u najnovijem razdoblju istraživanja, kada su dijelom i kvantificirane razlike između projektiranih i zapaženih elemenata vodne bilance. Treba napomenuti da se je i prije izgradnje brane, odgovarajućom interpretacijom i regionalnim sagledavanjima već tada raspoloživih hidroloških podataka, mogao uočiti deficit otjecanja na repnom profilu Letaj - Boljunčica. Takva interpretacija, da je bila provedena prije odluke o izgradnji i namjeni akumulacije, ukazala bi na prisustvo znatnih gubitaka u zaplavu akumulacije, što bi vjerojatno već tada usmjerilo hidrogeološke istražne radove na taj problem.

2. Hidrološke značajke površinskih voda Boljunčice

Akumulacija Boljunčica formirana je na najnižvodnijem dijelu Boljuskog polja, gdje je u kanjonskom dijelu toka Boljunčice, izgrađena 35 m visoka lučna betonska brana Letaj (slika 1.). Površina neposrednog sliva Boljunčice do brane Letaj iznosi cca 74 km². Kota praga preljeva akumulacije je na 93,00 mn.m., čemu odgovara površina vodnog lica od 0,844 km², te volumen od cca 6,5 mil.m³. Područje akumulacije karakterizira izrazita tektonika. Geološku građu karakterizira kontakt navlačnih struktura nasiva Učke i flišne podloge središnjeg dijela istarskog platoa. Prevladavaju vapnenci krede i eocena, te eocenski fliš. Dno akumulacije pokriveno je kvartarnim taložinama. Čelo navlake iz okršanih vapnenačkih stijena pruža se lijevim bokom akumulacije. Obzirom na takvu strukturu terena, voda se iz akumulacije prazni putem niza izraženih ponora.

Viši dijelovi slivnog područja akumulacije pripadaju gorju Učke koje je izgrađeno većim dijelom od vodopropusnih vapnenačkih stijena, dok niže dijelove sliva čini “istarski fliš”. Sliv se pružana na, po količinama oborina, najvodnijem dijelu Istre. Višegodišnji prosjek godišnjih količina oborina kreće se između 1150 mm kod postaje Letaj - brana (100 mn.m.) do 2040 mm kod postaje Vela Učka (850 mn.m.). Sliv Boljunčice karakterizira i pojava intenzivnih oborina, pa tako npr. za postaju Letaj satna vrijednost 5-godišnjih maksimalnih



Slika 1. Prikaz položaja akumulacije Boljunčica i šireg okolnog područja

oborina iznosi 44,7 mm, a 100-godišnjih 79,3 mm. Vrijednost maksimalnih dnevnih oborina kod 5-godišnjeg povratnog perioda je 134.1 mm, a kod 100-godišnjeg 278.3 mm (JVP Labin, 1996.). Procijenjena vrijednost sr. god. isparavanja iznosi oko 700 mm.

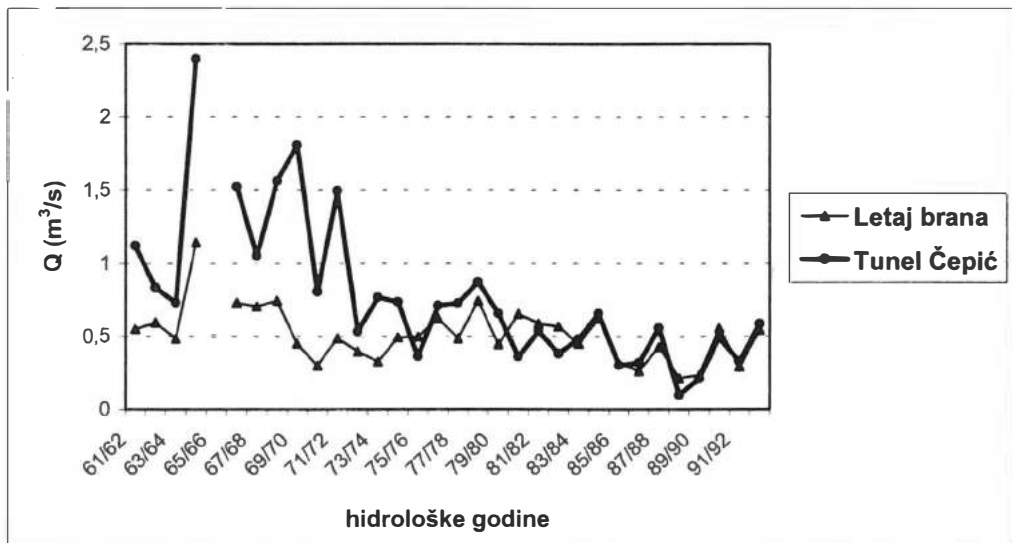
Obzirom na geološki sastav sliva, konfiguraciju sliva kojemu se nadmorska visina kreće između 93 i 1396 mn.m. (Vrh Učke), razvijenu hidrografsku mrežu s vrlo strmim nagibima te pojave intenzivnih kratkotrajnih oborina, sliv Boljunčice karakterizira vrlo velika produkciju i pronos nanosa u slivu. Nakon izgradnje akumulacije intenzivirani su procesi taloženja nanosa. Tako je u razdoblju 1972.-1993. u akumulaciji istaloženo cca 305.000 m³ nanosa (JVP Labin, 1993.), što znači da je u svega 20-tak godina zapunjeno više od 60% mrtvog prostora akumulacije planiranog s volumenom od 0,5 mil. m³. Posebno je intenzivan proces taloženja u pribranskom dijelu akumulacije, gdje je u odnosu na stanje prije izgradnje akumulacije nataloženo i do 10 m nanosa, što predstavlja problem za normalno funkcioniranje temeljnog ispusta.

Prilikom projektiranja akumulacije bilo je predviđeno da se do kote od 90,00 mn.m. prostor akumulacije koristi za osiguranje vode za navodnjavanje, a da se prostor u akumulaciji volumena 2,25 mn.m. koji je iznad te kote koristi za zadržavanje i redukciju vodnih valova. Projektirani srednji godišnji dotok u akumulaciju iznosio je 0,823 m³s⁻¹, odnosno cca 26 mil.m³. Planirana potrebna količina voda za navodnjavanje iznosila je 3,9 mil.m³, a za tada pretpostavljene gubitke na isparavnje i procjeđivanje na početku sezone navodnjavanja u akumulaciji je moralo biti osigurano najmanje 4,3 mil.m³ (Elektroprojekt, 1968.). Najnovije procjene o potrebama za vodom za navodnjavanje

na gravitirajućem području su niže - 2,422 mil.m³, te je ocijenjeno da je za 100%-tno zadovoljavanje tih potreba nužan korisni prostor u akumulaciji Boljunčica od 2,5 mil.m³, a za 80%-tno zadovoljavanje 2,1 mil.m³ (Građevinski fakultet Rijeka, 1998.).

No, zbog izraženih gubitaka vode iz akumulacije, akumulacija za sada funkcionira isključivo kao retencija. Zbog toga je do sada svega dva puta prelijevala. Prvi je puta to bilo prilikom pojave velikih voda u siječnju 1977. s maksimalnom razinom vode u akumulaciji od 93,31 mn.m.. Drugi je puta akumulacija prelijevala pri katastrofalnom vodnom valu u listopadu 1993.g. kada je dosegnut maksimalni vodostaj u akumulaciji od 93,50 mn.m., a čemu je odgovarala maksimalna preljevna protoka od cca 23 m³s⁻¹. Tom je prilikom zapaženi vodni val volumena od čak 6,5 mil.m³ gotovo u cijelosti prihvaćen u akumulaciji. Prema provedenim analizama (Rubinić, 1995), da je taj vodni val naišao na akumulaciju s razinom vode na koti od 90 mn.m., koliko je bilo i namijenjeno za osiguranje prihvaća velikih voda, maksimalna preljevna protoka bila bi čak 98 m³s⁻¹. S obzirom da je u akuulaciji stalno osiguran daleko veći prostor za prihvat vodnog vala, ispuštanje vode iz akumulacije vrlo je rijetko, te se gotovo u cijelosti vodna bilanca s uzvodnijeg dijela sliva Boljunčica gubila u ponorskoj zoni akumulacije. Na osnovu novijih hidroloških analiza utvrđeno je da su velike vode veće od prognoziranih vrijednosti iz glavnog projekta. Tako je npr. umjesto dosadašnjih vrijednosti karakterističnog 100-godišnjeg velikog vodnog vala maksimalne protoke od 156 m³s⁻¹ i volumen 4,423 mil.m³, novoproračunata maksimalna protoka 200 m³s⁻¹, te volumen 5,8 mil. m³ (JVP Labin, 1996).

Utjecaj akumulacije na promjene vodnog režima nizvodnijeg dijela toka Boljunčice najzornije je vidljiv iz prikaza srednjih godišnjih protoka na nizvodnijoj postaji Čepić - Boljunčica (Slika 2). Postaja je locirana neposredno prije ulaska Boljunčice u tunel koji vodi ka Plominskom zaljevu. Kapacitet tunela je ograničen na cca 24 m³s⁻¹, pa se velike vode retencioniraju ispred tunela u prostoru samog korita Boljunčice i njenih obuhvatnih



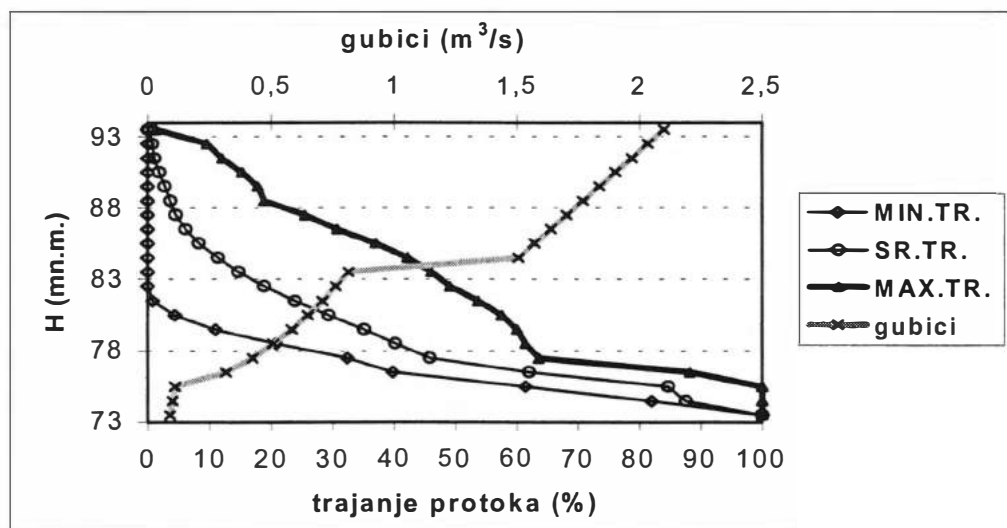
Slika 2. Hod srednjih godišnjih protoka Boljunčice u profilima brane Letaj i tunela Čepić (hidr. godine 1961./62.-1992./93.)

kanala, kao i u prostoru posebne retencijske zone volumena cca 1,8 mil. m³ koja je od korita Boljunčice odvojena sustavom zapornica. Na istoj je slici dan i prikaz srednjih godišnjih protoka Boljunčice u profilu brane Letaj, određenih na osnovu rezultata hidroloških osmatranja na profilu Letaj - Boljunčica (1961.-1967.) produljenih, s obzirom da do početka 1999.g. nisu postojali mjereni dotoci u akumulaciju, na analizirano 20-godišnje razdoblje 1961./62.-1992./93. na osnovu korelativne veze s postajom Dubravica - Pazinčica (JVP Labin, 1996). S obzirom da akumulacija presušuje, pri analizi uzete su hidrološke godine s početkom na dne 1. listopada. Proračunate vrijednosti srednje godišnje protoke tijekom analiziranog 20-godišnjeg razdoblja kretale su se između 0,213 i 0,746 m³s⁻¹, a prosječna 0,468 m³s⁻¹, dakle svega 57% od prognoziranih prije izgradnje brane.

Na slici 2. uočljiv je utjecaj izgradnje akumulacije Boljunčica 1970.g. na bilancu voda profila Čepić - Boljunčica kojemu površina neposrednog sliva, uključivo i sliv akumulacije Boljunčica iznosi 242 km². Uočljiv je i trend opadanja srednjih godišnjih protoka, koji za razdoblje 1961./62.-1992./93. kod profila Letaj - Boljunčica iznosi 2,2% godišnje. Slični, iako manji, trendovi opadanja srednjih godišnjih protoka zapaženi su i na ostalim istarskim vodotocima - npr. kod profila Portonski most - Mirna 0,5% godišnje, a kod profila Potpićan - Raša 1,2% godišnje.

3. Hidrološka analiza vodnog režima u akumulaciji i njenog utjecaja na promjene vodnog režima podzemnih voda

Za sagledavanje vodnoga režima u akumulaciji Boljunčica, interesantna je analiza trajnosti zabilježenih vodostaja u akumulaciji, čiji su rezultati - srednje i ekstremne min. i max. zabilježene trajnosti, dani na slici 3. Uslijed zapunjavanja zaplavnog prostora nanosom, trenutno je minimalna razina vode u akumulaciji oko 76 mn.m.. Tijekom analiziranog razdoblja 1977.-1994., akumulacija je bila potpuno suha prosječno 11.6% dana (najviše 1994 - 218 dana). Na razini mjesečnih podataka, prosječna presušivanja



Slika 3. Grafički prikaz rezultata analiza trajnosti vodostaja (1977.-1994.) i krivulje gubitaka na poniranje iz akumulacije Boljunčica

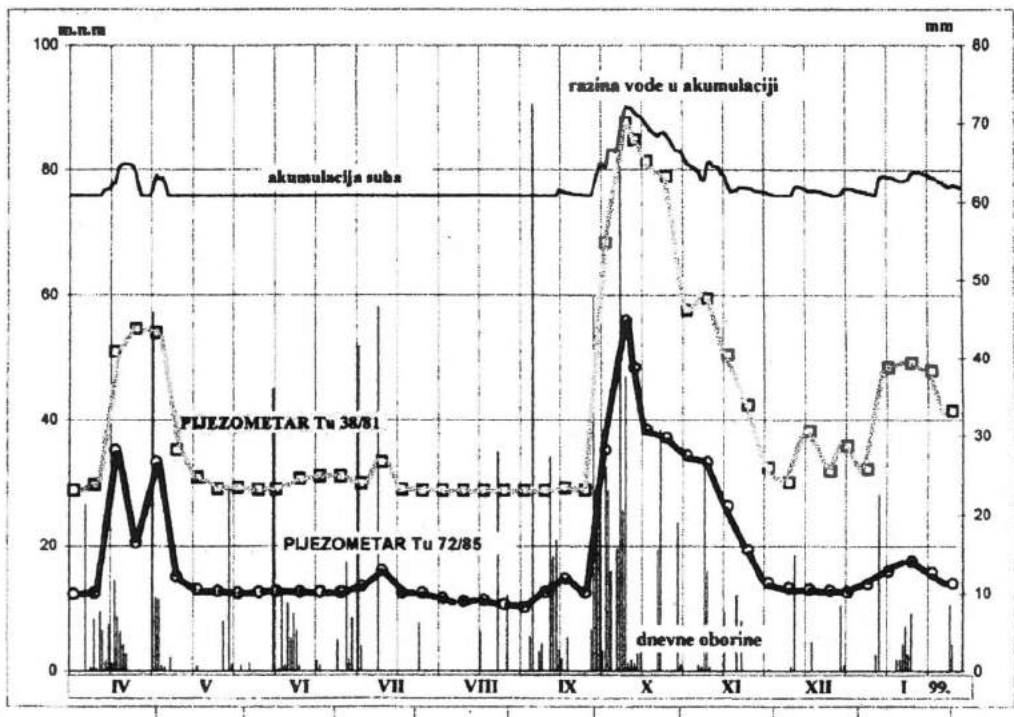
kreću se između prosječnih 0,74% u travnju do 27,42% u kolovozu. Srednji dnevni vodostaji viši od 80 mn.m. (odgovarajući volumen vode u akumulaciji cca 0,5 mil.m³) u prosjeku traju svega 29,4% dana, a iznad 90 mn.m. oko 1,9 % dana u godini. Razlog niskih vodostaja u akumulaciji su stalni gubici voda preko ponora u lijevom boku akumulacije i njezinom dnu. Ti su gubici po prvi puta kvantificirani na osnovi provedenih hidroloških opažanja u razdoblju 1976./1977. (Elektroprojekt, 1977). Tom prilikom dobivena krivulja gubitaka pokazuje da se pri punoj akumulaciji gubici kreću oko 2 m³s⁻¹, pa i više. Ti su rezultati potvrđeni rezultatima dvaju serija simultanih mjerenja dotoka u akumulaciju provedenih 1993. i 1996./97., kada je utvrđeno da nataloženi nanos u akumulaciji nije imao mjerljivog utjecaja na smanjenje gubitaka (Rubinić, 1995.). Stoga je na slici 3. radi usporedbe, uz prikaz trajnosti stanja vodostaja u akumulaciji prikazana i aproksimativna, osrednjena Elektroprojektova krivulja gubitaka iz akumulacije. Iz slike je vidljivo da gubici vode iz akumulacije imaju izraženi gradijent, te da se naglo povećavaju pri vodostaju od oko 82-83 mn.m., da bi pri koti od 93 mn.m. poprimili prosječnu vrijednost od oko 2 m³s⁻¹. To ukazuje na moguće aktiviranje novih ponora pri spomenutom rasponu vodostaja.

Obzirom na stalno prisustvo značajnih gubitaka vode iz akumulacije, u cilju osiguranja potrebnih podloga za ocjenu mogućnosti otješnjenja akumulacije nužno je, uz detaljniju kvantifikaciju tih gubitaka po amplitudi vodostaja, razmotriti i međuodnos dinamike kolebanja razine vode u akumulaciji i podzemlju. Početna kontinuirana osmatranja na pijezometarskim bušotinama vršena su (s prekidima) u razdoblju 1975.-82, tj. kada je nakon izgradnje akumulacije postalo očito da je za zadržavanje vode u akumulaciji nužno temeljitije riješiti problem gubitaka vode iz akumulacije. Te su bušotine (20-tak pijezometara) uglavnom bile locirane u lijevom boku brane neposredno uz ili u samom zaplavnom prostoru te u zoni nastavka osi brane jer se prema tadašnjim hidrogeološkim koncepcijama smatralo da je dominantni smjer tečenja podzemnih voda po lijevom boku okomito na os brane. Smatralo se da bi se injektiranjem toga lijevog boka moglo sprečiti otjecanja podzemnih voda, te time osigurati smanjenje gubitaka vode iz akumulacije. No, zbog takvog položaja bušotina, a kod dijela bušotina i njihove preplitkoće s kojom se nisu mogle pratiti niske razine podzemnih voda, međuodnos pojave površinskih voda i značajki tečenja podzemnih voda nije cjelovito sagledan.

Sredinom devedesetih, kada se ponovno intenziviraju istražni radovi vezani uz akumulaciju Boljućicu, posve su nov pristup sagledavanju kretanja podzemnih voda u zoni akumulacije omogućile praktički zaboravljene hidrogeološke podloge Istarskih ugljenokopa. Naime, u cilju istraživanja ugljenonosnih slojeva na širem prostoru Labinskog bazena na širem je prostoru akumulacije Boljunčice izvedeno dvadesetak vrlo dubokih bušotina koje sežu i do nekoliko stotina metara ispod razine mora, a s kojima je pokriveno više geoloških profila okomito na smjer pružanja akumulacije, kao i uzduž nje. Podaci o geološkoj strukturi terena dobiveni na osnovi jezgrovanja bušotina, kao i pri bušenju zabilježene vrlo niske razine podzemnih voda, inicirali su uključenje tih podataka, kao i osposobljavanje i uspostavu motrenja razina podzemnih voda na dijelu tih dubokih bušotina (7 lokaliteta) u zoni akumulacije počev od 01.04.1998.

Utvrđene su vrlo niske razine podzemnih voda, koje se, ovisno o lokaciji, kreću u rasponu od cca 10 - 30 mn.m. Opažene amplitude kolebanja razine vode u zoni utjecaja akumulacije su vrlo visoke, i kreću se između 36 i 64 m (GEO-5, 1999.). Utvrđeno je

da je utjecaj površinskih voda - gubitaka vode iz akumulacije na razine podzemnih voda izražen i brz, a što je posljedica vrlo kratkih i otvorenih puteva vode u podzemlje. Za trajanja niskih razina podzemnih voda, pojedinačne izrazitije oborine koje ne izazivaju značajniji dotok u akumulaciju, nemaju niti utjecaj na kretanje razine voda u podzemlju. U vodnijim razdobljima tijekom godine, zapažaju se nagla podizanja razine podzemnih voda uzrok čega su, uz oborinske prilike, i prodori voda iz akumulacije. Tome doprinosi i mogućnost samo jednosmjerne drenaže voda s tog prostora u pravcu istoka - jugoistoka. Duboki i moćni razvoj vodonepropusnog fliša regularnog desnog krila akumulacije sprečava otjecanje podinskih voda prema zapadu. Registrirani podaci razina podzemnih voda ukazuju na postojanje dvije jače otvorene drenažne zone u lijevom boku akumulacije. Takva slika kretanja podzemnih voda ukazuje da je zona komunikacija akumulacije s podzemljen mnogo rasprostranjenija, kao što je i karstificiranost čitavog lijevog boka daleko jače razvijena nego li se to do sada smatralo. Radi ilustracije, na slici 4. dan je prikaz međudnosa palih oborina, razine vode u akumulaciji i razine vode u dvije karakteristične bušotine. Pijezometar Tu 38/81 lociran je svega 50-tak metara od akumulacije, u izrazito kavernožnom lijevom boku središnjeg dijela akumulacije te stoga neposredno oslikava utjecaj gubitaka iz akumulacije na dinamiku kolebanja razina vode u toj zoni. Pijezometar Tu 72/85 lociran je cca 1,5 km jugoistočno od akumulacije. Svojim niskim razinama podzemnih voda ukazuje na prisutvo jače poprečne drenaže podzemnih voda s šireg prostora prema moru.



Slika 4. Međudnos palih oborina, razina vode u akumulaciji i razina vode u pijezometrijskim bušotinama (IV.1998.-I.1999.)

5. Zaključci

Akumulacija Boljunčica interesantan je vodnogospodarski objekt koji zbog nedovoljno sagledanih elemenata vodne bilance prilikom njezina planiranja, od njene izgradnje 1970.g. do danas funkcionira isključivo kao retencija za zadržavanje velikih vodnih valova. Osnovni uzrok tome su izraženi gubici na poniranje iz zaplavnog prostora.

Provedene hidrološke analize pokazale su da su dotoci Boljunčicom u akumulaciju značajnije manji od prognoziranih, a velike vode veće. Rezultati analize međudnosa vode u akumulaciji i podzemnih voda na širem utjecajnom području akumulacije ukazuju na postojanje neposredne i brze veze akumulacije i podzemlja. Pokazuju i to da su smjerovi tečenja podzemnih voda u zoni akumulacije ka istoku i jugoistoku, kao i da je zona otjecanja - gubitaka vode iz akumulacije praktički po čitavom njenom lijevom boku s naglašenim dvama drenažnim pravcima. U cilju boljšeg sagledavanja hidroloških elemenata vodne bilance akumulacije a posebno značajki poniranja, nužno je na osnovu novouspostavljenih mjerenja dotoka vode u akumulaciju i praćenja dinamike kolebanja vode u akumulaciji, provesti detaljniju kvantifikaciju krivulje gubitaka.

Literatura

- Elektroprojekt. 1968. Akumulacija Boljunčica - Pregrada Letaj (glavni projekt-knjige 1 i 2). Zagreb. Npublicirano.
- Elektroprojekt. 1997. Akumulacija Letaj - Registriranje gubitaka vode - Studijska interpretacija za tehničko rješenje otješnjenja - knjige 1 i 2. Zagreb. Npublicirano.
- GEO-5. 1999. Rezultati osmatranja razina podzemnih voda akumulacije Letaj - Boljunčica u 1998.g. Rovinj. Npublicirano - u izradi.
- Hidroinženjering. 1994. Akumulacija Letaj - Sažeti prikaz tehničke dokumentacije. Zagreb. Npublicirano.
- Hidroinženjering. 1996. Akumulacija Letaj - Program opažanja i istraživanja u svrhu sanacije akumulacije. Zagreb. Npublicirano.
- JVP istarskih slivova. 1993. Akumulacija Letaj - 1993. - Rezultati premjera i prethodnih hidroloških osmatranja. Labin. Npublicirano.
- JVP istarskih slivova. 1996. Hidrološka analiza akumulacije Boljunčice. Labin. Npublicirano.
- Rubinić, J. 1995. Poplava u Istri 1993. godine i rad akumulacija. Građevinar 47/6. 331-338.
- Rubinić, J., Kukuljan, I. 1997. Rezultati hidrološke analize akumulacije Boljunčica u Istri. Hrvatske vode - VGI Labin. Labin. Npublicirano.

Autori:

Josip Rubinić, Hrvatske vode, VGI "Raša - Boljunčica", 52220 Labin, Zelenice 18

Mirko Tomašić, Marcijani 7a, 52220 Labin

Nevenka Ožanić, Hrvatske vode, VGO primorsko-istarskih slivova, 51000 Rijeka, Ciottina 17b

Igor Kukuljan, Hrvatske vode, VGI "Raša - Boljunčica", 52220 Labin, Zelenice 18



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.15.

Rješenje izmjene vode u jezeru Birina kod Ploča

Mijo Vranješ, Petar Bilač, Vinko Jović, Damir Vidoš

SAŽETAK: Na istočnoj strani grada Ploča nalazi se jezero Birina (ostatak lagune) koje je vrlo uskim propustima povezano preko kanala Crna rijeka s akvatorijem luke. Izgradnjom istočnog dijela grada bez potrebite infrastrukture, posebice kanalizacijskog sustava, znatno se pogoršalo stanje u jezeru, jer veće količine otpadnih voda iz septičkih jama i na druge načine dolaze u jezero. Budući da je prirodna izmjena vode u jezeru, naročito u ljetnom razdoblju, zanemariva dolazi do velikog pogoršanja kakvoće vode i nezdravog stanja. Slično se događalo i ranije dok nisu dolazile u jezero onečišćene vode, ali u puno manjoj mjeri. Rješenje se traži, prije svega u izgradnji kanalizacijskog sustava istočnog dijela grada Ploča, ali i u boljoj izmjeni vode u jezeru. Potrebno je poboljšati protočnost kroz jezero. Prva zamisao je bila dovod vode kroz tunel iz Bačinskih jezera ili kroz tunel iz Vrgorskog polja. Međutim, u ljetnom razdoblju i u njima nedostaje vode. Zato u Neretvi ima dovoljno vode, samo dio toka treba odgovarajućim objektima skrenuti kroz Birinu. U nestacionarnim uvjetima tečenja, posebice pod utjecajem plime i oseke, pomoću matematičkog modela za takvo tečenje u sustavu prirodnih vodotoka, zasnovanom na potpunim hidrodinamičkim jednadžbama, varijantnim pristupom problemu došlo se do optimalnog rješenja.

KLJUČNE RIJEČI: jezero Birina, kakvoća vode, sustav prirodnih vodotoka, nestacionarno tečenje, matematički model

Water Exchange Concept for the Birina Lake near Ploče

SUMMARY: The Birina Lake (former lagoon) is located on the eastern part of the town of Ploče. By very narrow culverts, through the Crna Rijeka canal, it is connected with the Ploče port basin. Construction of the eastern part of the city, unsupported by adequate infrastructure (particularly sewerage), has considerably deteriorated the lake condition because large quantities of waste water from septic tanks and other sources is being discharged into the lake. Since the natural water exchange in the lake is negligible, particularly during the summer season, the water quality significantly degrades and the conditions have become unsound. The situation was similar earlier, when no contaminated water was released into the lake, however to a smaller scale. The solution could primarily rely on construction of sewage system in the eastern part of the town of Ploče, and in improved water exchange through a tunnel from the Bačinska Jezera Lakes or the one from Vrgorsko Polje. However, their water availability during the summer season is also low. The Neretva River abounds in water, and it is only necessary to divert part of its watercourse through Birina, using adequate structures. Under unsteady flow conditions, particularly in presence of ebb and tide, an optimum solution to the problem could be found by a mathematical model developed for this sort of flow in the natural watercourse system based of complete hydrodynamical equations and variant problem approach.

KEY WORDS: Birina Lake, water quality, natural watercourse system, unsteady flow, mathematical model

1. Uvod - Sustav Donje Neretve

Sustav donje Neretve prema zamišljenom rješenju melioracije tek je dijelom izgrađen, a u zadnjih desetak godina aktivnost oko uređenja tog prostora znatno se usporila. Kontrola sustava sve je manja, održavanje nedovoljno, što dovodi do nužnog propadanja izgrađenih objekata i do pojave neodrživog stanja na dijelovima sustava.

U svrhu zaustavljanja propadanja i nastavka izgradnje u okviru izrade studije o uređenju Donje Neretve prikupljena je sva raspoloživa dokumentacija o sustavu zbog proučavanja, nadogradnje, i izrade novih projekata, te povećana aktivnost oko dovršenja uređenja prostora. Između niza zadaća koje treba rješavati je i "ozdravljenje" jezera Birina kod Ploča.

Područje Donje Neretve od davnina je bilo zanimljivo obitavalište ljudima uz vrlo bogato razvijen biljni i životinjski svijet. Pisani tragovi postoje još od rimskih pisaca i srednjeg vijeka, tako da su ostali tragovi opisa ušća Neretve i njegova nastajanja. Aktivnost oko uređenja donjeg toka rijeke u području ušća počinje nakon poraza Turaka 1694. godine. Za vrijeme Mletačke republike nastaju prvi planovi uređenja močvarnog područja, a za vrijeme vladavine Austrije rade se prvi hidrotehnički radovi na regulaciji rijeke od Metkovića do ušća. Izgrađeni su nasipi i na dijelovima korigirano korito zbog plovnosti od ušća do Metkovića. U dvadesetom stoljeću izrađeni su brojni projekti za regulaciju toka rijeke Neretve.

Slivno područje rijeke Neretve većim se dijelom nalazi u dinarskom planinskom masivu. Površina sliva nije točno određena i procjenjuje se od 9000 do 10 000 km². Sjeverni dio klimatski je u kontinentalnom pojasu, dok je južni u području sub mediteranske i mediteranske klime pod utjecajem mora.



Slika 1. Područje Donje Neretve

Od ušća Krupe (25 km od mora), nizvodno počinje područje ušća Neretve s posebno složenom hidrografijom i utjecajem mora. Po rubu doline brojni su izvori iz kojih voda dotječe u manje vodotoke, a iz ovih u rijeku Neretvu i Malu Neretvu. Prije bilo kakvih hidrotehničkih radova rijeka je premještala tok po mnogim meandrima od čega je do danas ostalo nekoliko vidljivih rukavaca (staroriječje) kao što su Glibuša, Norino, Lukavac, Desanska, Crna rijeka, Vlaška i Lisna (slika 1.).

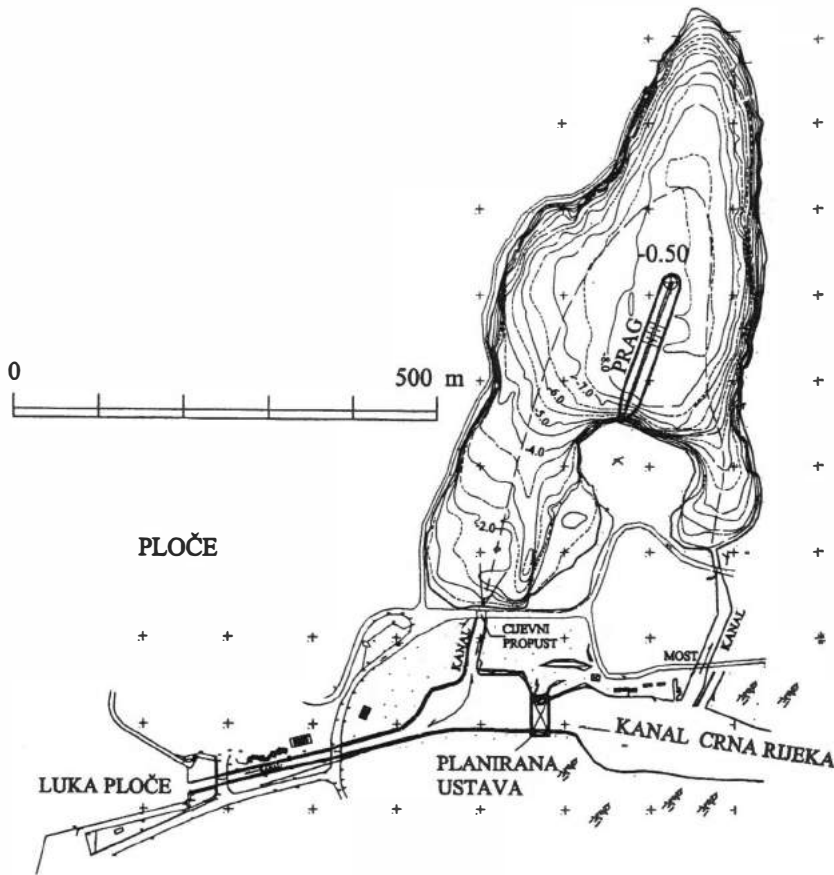
U okolišu ušća u more postoji izrazito djelovanje morskih mijena i valova na tečenje u koritu rijeke Neretve tako što promjene razine mora određuju vodostaje i režim tečenja u rijeci. Posljedice toga su i promjene protoka usljed promjenljivog rubnog uvjeta na kontaktu s morem. Utjecaj se širi sve do Metkovića, a za vrijeme visokih plima i relativno manjih dotoka s uzvodnog dijela sliva taj utjecaj seže do Gabele. Promjene razine mora uvjetovane su morskim mijenama i uslijed izdizanja razine mora pod djelovanjem vjetera. Zajedno sa morskim valovima ove promjene na ušću mogu uzrokovati vrlo otežane uvjete tečenja. Trajanje faze plime i oseke u Jadranskom moru mijenja se od 10 do 15 sati, a u prosjeku je to 12 sati. Poremećaj uzrokovan promjenom razine mora putuje koritom prosječnom brzinom oko 7 m/s uzvodno ili nizvodno ovisno o tome je li plima ili oseka.

U različitim hidrološkim uvjetima dubina prodora mora u Neretvu u uzvodnom smjeru je različita. Zimi, kad su dotoci s uzvodnog dijela sliva veliki, slana voda je skoro potpuno istisnuta iz korita rijeke, dok u ljetnom razdoblju, kada su dotoci s uzvodnog dijela sliva mali, prodor slane vode ide čak uzvodnije od Gabele.

2. Jezero Birina - problem osvježenja vode

Jezero nema značajniji izvor svježe vode u sušnom (ljetnom) razdoblju, premda je u blizini cijeli niz izvora (Bačinska jezera, Klokun, Desna). U ranijem vremenu (prije regulacije Neretve), jezero je bilo povezano sa bliskim koritom Neretve, pod izravnim utjecajem rijeke i mora preko širokog i relativno dubokog otvora. Regulacijom Neretve nestao je pretežni dio utjecaja vodenih mijena u jezeru. Izgradnjom željezničke pruge Ploče - Metković, zatrpan je prirodni otvor u kome je ostao tek mali prolaz za komunikaciju vode iz okolnih vodotoka u jezero. Na istočnom dijelu probijen je otvor dimenzija oko pet metara širine i oko jedan metar dubine vode. Kasnija izgradnja ceste išla je preko novog nasipa kroz koji je ostavljeno šest cijevi promjera jedan metar na mjestu zapadnog, nekad većeg otvora. Močvarno tresetna podloga ceste svojim je slijeganjem poremetila cijevi, vodena vegetacija zatvorila dio otvora i jezero je ostalo gotovo bez ikakve mogućnosti izmjene vode preko razlike vodostaja u vrijeme plime i oseke. Jezero ima površinu 15,6 ha, najveća dubina je 8 m, a uz južni dio je plitko, skoro u cijelosti uz obalu je zaraslo u močvarno raslinje (slika 2.).

U neposrednoj blizini ostavljen je jedan rukavac Desanske rijeke koja se pruža od jezera Vlaška kroz otvor mosta nove željezničke pruge do akvatorija luke Ploče. Dio kanala djelomično je uređen. Jezero je praktički ostalo bez vodene veze sa okolnim vodotocima i morem. Vrlo mala izmjena vode, pojačano onečišćenje, te zagrijavanje vode, dovelo je jezero do lošeg stanja. Često dolazi do "prevrtanja" vode u jezeru pri prvim burama koje zapušu u jesen ili krajem ljeta, kada voda sa dna opterećena procesom anaerobne razgradnje dolazi na površinu. Tada se oslobađa vrlo neugodan miris, boja postaje tamna, gotovo crna. U cilju otklanjanja onečišćenja jezera poduzete su radnje na izgradnji kanalizacije grada Ploče.



Slika 2. Jezero Birina

3. Prijedlog rješenja

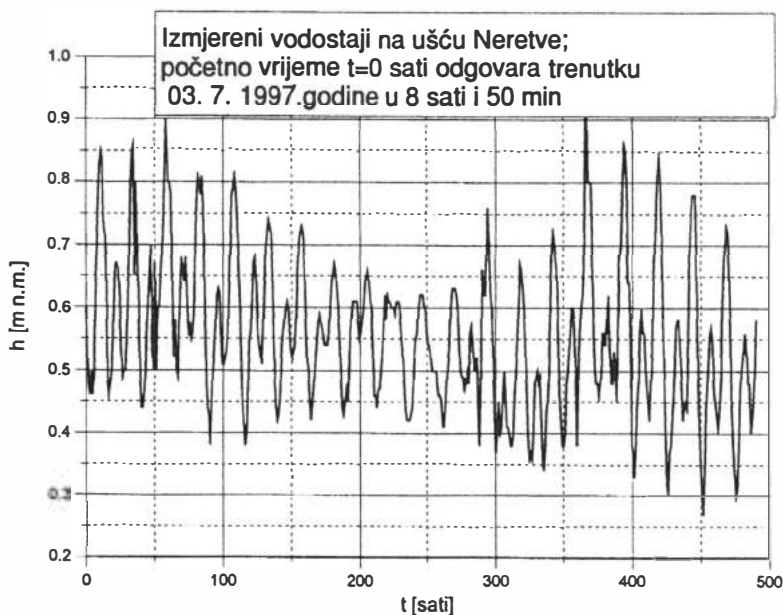
Prijedlog rješenja obrađen u ovom radu nudi mogućnost sanacije stanja u jezeru Birina dovođenjem vode iz rijeke Neretve preko rukavca Crne rijeke i manjim dijelom iz Desanske rijeke koja ulazi u Crnu. Ideja je da se u Crnoj rijeci, između dva spoja sa jezerom Birina kod Ploča, postavi ustava koja bi usmjerila cijeli tok kroz jezero (slika 2.). U jezeru bi bilo potrebno izgraditi jedno nasuto potopljeno pero, koje bi prisililo tok vode da uđe što dalje u jezero kako bi izmjena vode bila što bolja i cjelovita. To bi pero bilo duljine oko 100 m. Prikazan je i mogući učinak postavljanja fleksibilne (pokretne) pregrade na rijeci Neretvi nizvodno od spoja sa Crnom rijekom. Ovo rješenje omogućilo bi još veći dotok u jezero Birina. Osnovna funkcija ovakve pregrade je zaustavljanje prodor klina slane vode (mora) u Neretvu.. Tako bi se uzvodno od pregrade stvorio prirodni rezervoar slatke vode podobne za navodnjavanje. Daljnje poboljšanje se postiže izgradnjom lagane ustave na spoju Crne rijeke i jezera Vlaška, koja bi u ljetnim mjesecima spriječila istjecanje iz Crne rijeke u jezero Vlaška, čime bi se tok prema jezeru povećao.

Postoji još jedna mogućnost, a to je dovođenje vode iz Baćinskih jezera za što bi trebalo izgraditi novi hidrotehnički tunel dugačak oko dva kilometra. Međutim, radi se o znatno

skupljem i nesigurnijem rješenju, a Baćinska jezera ljeti ostaju skoro bez ikakvog dotoka iz okolnih izvora, pa bi odvođenje vode iz njih izazvalo negativne ekološke posljedice. U tijeku je izrada studije odvodnje Vrgorskog polja, gdje se kao mogućnost predviđa dio velikih voda (zimi) usmjeriti kroz tunel u jezero Birina. Ovo bi pospješilo snažnije ispiranje jezera u zimskom razdoblju, ali predstavlja i opasnost od dodatnog onečišćenja ovisno o kakvoći vode koja bi došla iz Vrgorskog polja. Taj dotok i dalje izostaje u ljetnom razdoblju, kada je najpotrebniji.

4. Proračun tečenja

Proračunom nestacionarnog tečenja u Neretvi, Crnoj rijeci i kroz jezero Birina obuhvaćeno je sušno (ljetno) razdoblje kada su dotoci s uzvodnog dijela sliva minimalni. Pogonskim pravilnikom rada uzvodnih hidroelektrana određen je minimalni protok 50 m³/s. Za takav dotok na režim tečenja u vodotocima Donje Neretve najveći utjecaj ima more, dakle plima i oseka, uz morske valove. Zato je za nizvodni rubni uvjet na ušću Neretve i na ušću kanala Crna rijeka u luci Ploče zadavan vodostaj iz zapisa razina mora na mareografu kod Male Neretve, npr. od 03. srpnja 1997. godine s početkom u 8 sati i 50 minuta (slika 3.), što je uzeto kao nulto vrijeme. Na dijagramu su vidljiva karakteristična razdoblja mrtvih (od 0 do 100 sati) i živih (od 200 do 300 sati) voda plime i oseke.

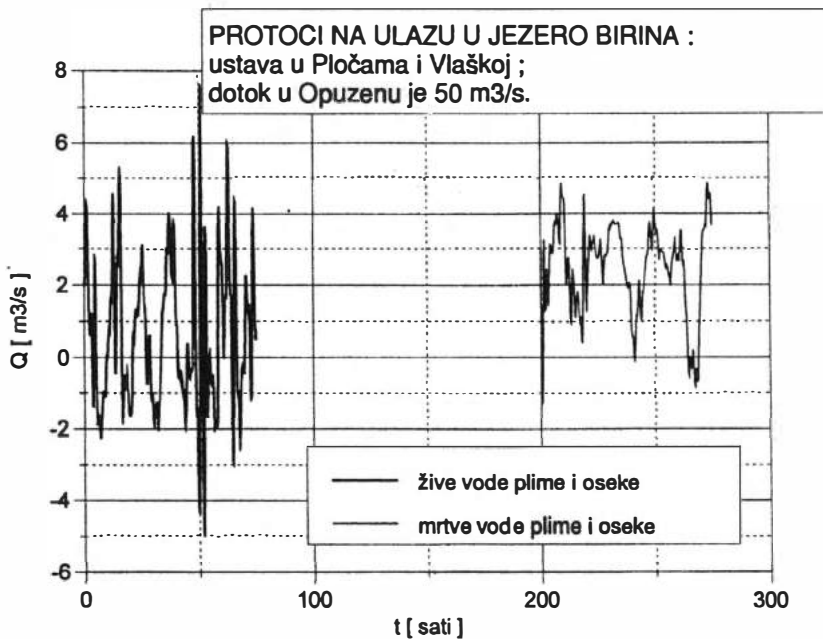


Slika 3. Razine mora

Na uzvodnom kraju Neretve je zadavan stacionaran dotok i to minimalan protok 50 m³/s, te približno srednji protok rijekom Neretvom od 250 m³/s kada rade hidroelektrane. U ovako složenom sustavu prirodnih vodotoka, gdje je naglašeno usporno djelovanje vodostaja na nizvodnom rubu, mora se koristiti matematički model zasnovan na potpunim hidrodinamičkim jednadžbama nestacionarnog tečenja. Ovdje je proračun napravljen matematičkim modelom KORSIM. Obradeno je više varijanti postavljanja (izgradnje)

ustava. Prethodno je za navedene rubne uvjete izračunano sadašnje stanje, bez ikakvih objekata. Zatim je izračunano tečenje s pretpostavljenom ustavom na spoju Crne rijeke i jezera Vlaška. Slijedeća varijanta je dodavanje ustave u Pločama kod jezera Birina na kanalu Crna rijeka. Nakon toga slijedio je proračun uz pretpostavku da je izgrađena i pokretna lagana pregrada (barijera) u rijeci Neretvi nizvodno od Rogotinskog mosta, uz dva nadvišenja vodostaja na pregradi u odnosu na prirodno stanje i to 10 cm i 20 cm. Za sve varijante izgradnje ustava kombinirani su rubni uvjeti koji odgovaraju razdoblju mrtvih i živih voda plime i oseke, te dva navedena dotoka rijekom Neretvom. Iz niza zanimljivih rezultata vodostaja i protoka na promatranom području prikazani su karakteristični za profil ulaza u jezero Birina.

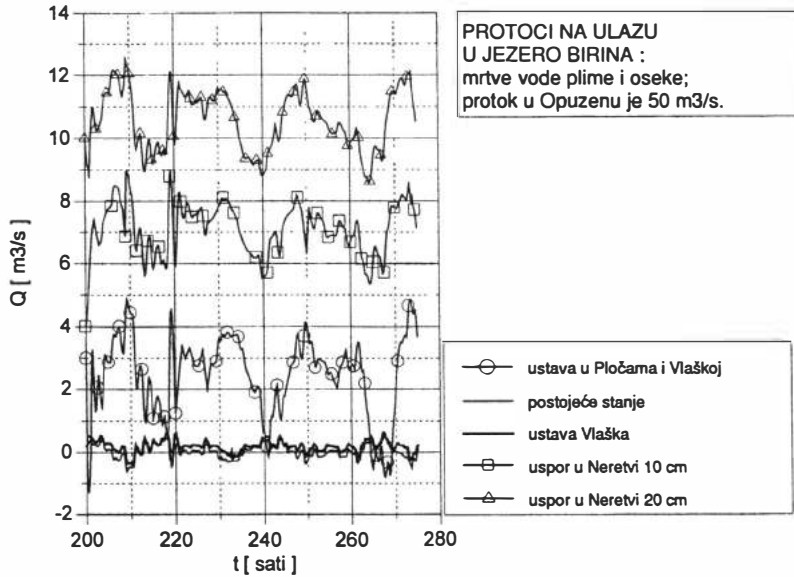
Na slici 4 se vidi razlika protoka kroz ulaz u jezero za vrijeme živih i mrtvih voda plime i oseke u varijanti postavljanja ustave kod jezera Vlaška i u Pločama (Birina). Odabran je minimalni protok 50 m³/s rijekom Neretvom u Opuzenu. Pozitivan protok na ulazu u jezero je utjecanje, a negativan istjecanje iz jezera. Vidljivo je kako je prosječna vrijednost protoka pozitivna, oko 1,50 m³/s za živih voda i oko 2,50 m³/s za mrtvih voda. Uvijek postoji prosječan protok koji ulazi u jezero i tako uspostavlja tečenje kroz jezero i istjecanje kroz drugi propust (otvor) prema luci Ploče.



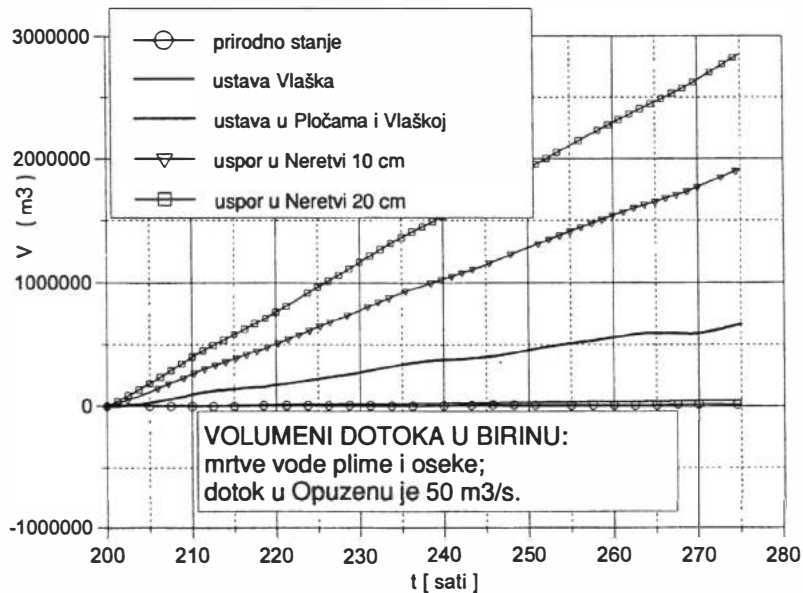
Slika 4.

Na slici 5 su nacrtani protoci kroz ulaz u jezeru za različite faze izgradnje ustava, Protok rijekom Neretvom je minimalan, 50 m³/s. Uzeto je razdoblje mrtvih voda plime i oseke. Vidljivo je kako u prirodnim (sadašnjim) uvjetima izgrađenosti praktično nema nikakvog protoka kroz jezero. Međutim, dodavanjem ustava kod jezera Vlaška, pa u Pločama kod jezera Birina, te pregrade u rijeci Neretvi bitno se mijenja protok na ulazu u jezero. Tako je npr. za ustave Vlaška i Ploče te za uspor na pregradi u Neretvi od 20 cm, prosječan protok kroz ulaz u jezero Birina 10,96 m³/s.

Izračunavanjem volumena vode koja ulazi u Birinu (slika 6.) može se odrediti vrijeme potrebno za zamjenu ("osvježenje") ukupnog volumena jezera, koji je oko 1.000.000 m³. U tablici su upisane vrijednosti prosječnog protoka koji ulazi u jezero i vrijeme potrebno za izmjenu ukupnog volumena vode po varijantama.



Slika 5.



Slika 6.

Tablica 1. Dotok vode u jezero Birina za vrijeme mrtvih voda i uz protok u Neretvi 50 m³/s

Varijanta	Prosječni dotok u jezero (m ³ /s)	Vrijeme izmjene vode u jezeru (dani)
Sadašnje stanje	0,05	250
Ustava samo na jezeru Vlačka	0,17	66,5
Ustava u Pločama i na jezeru Vlačka	2,45	4,7
Sve ustave i pregrada u Neretvi		
- uspor na pregradi 10 cm	7,12	1,6
- uspor na pregradi 20 cm	10,96	1,1

5. Zaključak

S obzirom da u rijeci Neretvi ima dovoljna količina vode za sve korisnike na području Donje Neretve i u sušnom (ljetnom) razdoblju, "osvježenje" jezera Birina treba tražiti u skretanju toka vode iz Neretve kroz Crnu Rijeku prema jezeru, što se može postići relativno jednostavnim postavljanjem laganih ustava na Crnoj rijeci kod jezera Vlačka i kod Ploča uz jezero Birina. Ako bi se izgradila pregrada na rijeci Neretvi za sprječavanje prodora mora (soli) u korito rijeke, tada je moguće potpuno upravljanje raspoloživom vodom i usmjeravanje prema korisnicima u dovoljnoj količini. Tražiti rješenje ozdravljenja jezera Birina na drugi način je nelogičan i znatno skuplji zahvat.

Literatura

1. Xia,R. (1997) "The Study and Praktice of Developing a Fresh Water Resources in the Estuary of the Tidal Yangtze River", Aqua (Oxford), Dec. 1997., Vol. 46, No. 6, pp 335-345
2. Tam,P.W.M. (1998) "Use of Inflatable Dams as Agricultural Wiers in Hong Kong, Journal of Hydraulic Engineering, Dec. 1998. Vol. 124, No. 12
3. Stephens, R. and Imberger, J. (1997) "Intertidal motions within Deep Basin of Swan River Estuary, Journal of Hydraulic Engineering, Oct. 1997., Vol. 122, No. 10
4. Vranješ, M. at all "Studija Vodnogospodarsko rješenje i uređenje sliva Donje Neretve", Split, 1996., Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu

Autori:

Doc. dr. sc. Mijo Vranješ, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu

Petar Bilač, dipl. ing. građ., Hrvatske vode VGO Split

Prof. dr. sc. Vinko Jović, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu

Damir Vidoš, dipl. ing. građ., Neretvanski sliv Opuzen



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.16.

Analiza režima voda u retenciji Kupčina

Blagoje Milović

SAŽETAK: Iznose se rezultati analize režima površinskih i podzemnih voda pomoću kroskorelacijske metode u nizinskoj šumi retencije Kupčina u razdoblju 1981. - 1986. godine. Provedena analiza pokazuje da podzemne i površinske vode jako dobro komuniciraju, iz čega se može zaključiti da pokrovni sloj, koji se sastoji uglavnom od gline, nije nepropustan.

KLJUČNE RIJEČI: nizinska šuma hrasta lužnjaka, potpovršinske i površinske vode, korelogram

Kupčina Retention Water Regime Analysis

SUMMARY: The results are presented of the surface and groundwater regime analyses using the cross-correlation method for the lowland forest at the Kupčina retention during the period 1981-1986. The conducted analysis indicates that the groundwater and surface water are in good communication, which leads to a conclusion that the surface layer (predominantly clay) is impermeable.

KEY WORDS: lowland fores of common oak, surface and groundwater, correlograph

1. Uvod

U sklopu multidisciplinarnog istraživačkog projekta koji je započeo krajem sedamdesetih godina pod nazivom “Ekološki, biološki i gospodarski aspekti učinka i izvođenja vodoprivrednih radova obrambenog sistema Srednjeg Posavlja na nizinske šumske ekosisteme”, jedna od zadaća bila je uspostava i obrada mreže od 15 stacionara (3) u retenciji Kupčina. Mjerenje vodostaja u piezometrima i uspostavu mreže od 15 stacionara s četiri piezometra (0,5 m, 1,0 m, 2,0 m i 7,0 m) u retenciju proveo je Šumarski institut Jastrebarsko.

Mjerenje u piezometrima vršena su jednom tjedno tokom cijele godine.

2. Opći problemi retencije Kupčina

Retencija Kupčina predstavlja prirodnu terensku depresiju, s juga i istoka okružena visokim zaobalnim, aluvijalnim zemljištem uz Kupu, a sa zapada ograncima Plješevice, te sa sjevera obroncima Vukomeričkih gorica.

Na nizinskom retencionom dijelu Kupčine godišnje oborine su 1130 mm, a evapotranspiracija 670 mm, tako da se u prosjeku tek u lipnju i srpnju može očekivati manjak vode u tlu. Sve to u uvjetima nepovoljnog površinskog vodnog režima. Režim podzemnih voda je također nepovoljan - suviše visok. Uslijed dugotrajnih potapanja u području retencije, razvila su se hidromorfna tla, tla svih vrsta (2), ali i posebne biljne

šumske asocijacije, koje pravilno definiraju po apsolutnoj visini terena, što znači ujedno po dužini trajanja poplava.

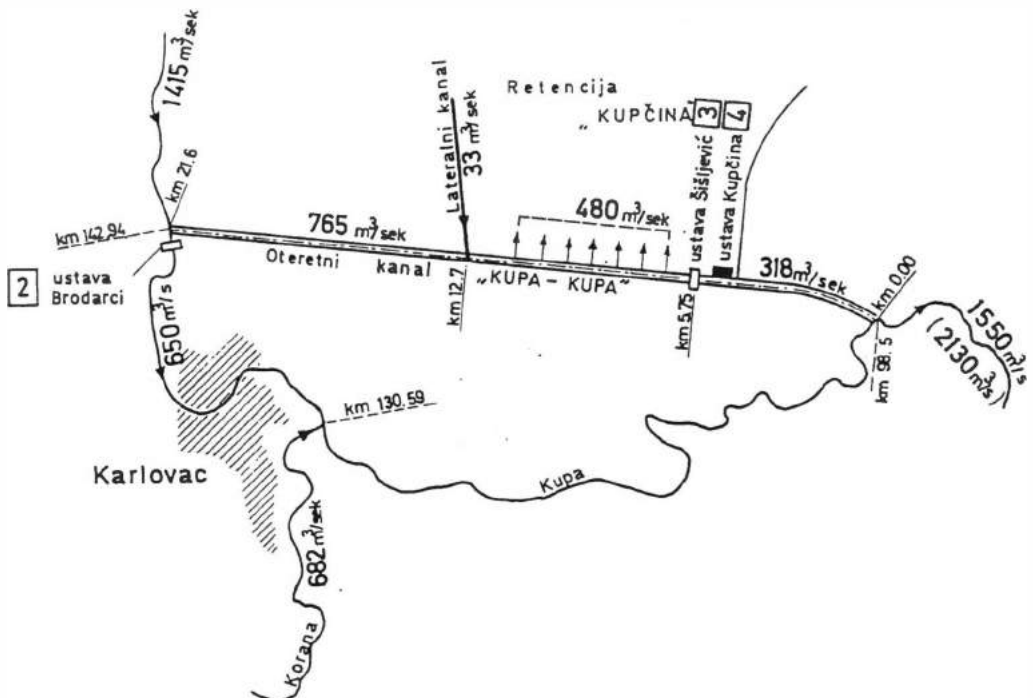
U takvim uvjetima formirala su se tla, koja smo s pedološkog aspekta ovako grupirali:

- livadsko-semiglejna i podzolasto semiglejna tla, $\bar{x} = 110,60$ m u. m.
 - mineralno-močvarna umjereno do jako oglejana tla, $\bar{x} = 109,75$ m u. m.
 - podzolasto pseudoglejna tla, $\bar{x} = 109,00$ m u. m.
 - mineralno-močvarna glejna tla, $\bar{x} = 108,05$ mm u. m.
- (\bar{x} označava srednju apsolutnu visinu terena)

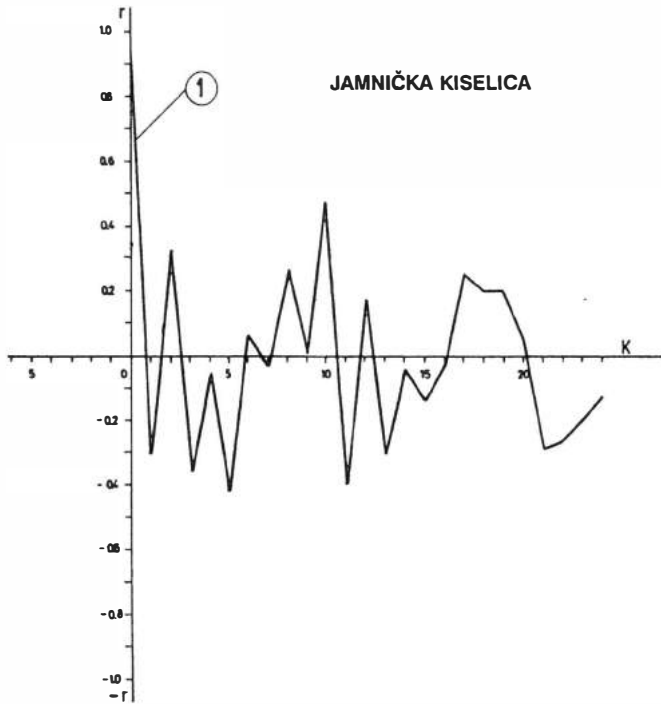
Na takvim hidromorfnim tlima adaptirani su i posebni šumski ekosistemi, tako da im kvalitet (i prirast) opada s apsolutnom visinom terena. Po apsolutnoj visini terena odnosno njenom opadanju mogu se razlikovati ove vrste nizinskih šuma:

- hrast lužnjak s običnim grabom i velikom žutilovkom, $\bar{x} = 108,75$ m u. m.
- hrast lužnjak s velikom žutilovkom i drhtavim šašem, $\bar{x} = 108,60$ m u. m.
- hrast lužnjak s običnim grabom i bukvom, $\bar{x} = 108,50$ m u. m.
- crna joha s trušljikom, $\bar{x} = 108,20$ m u. m.
- poljski jasen s kasnim drijemovcem $\bar{x} = 107,90$ m u. m.

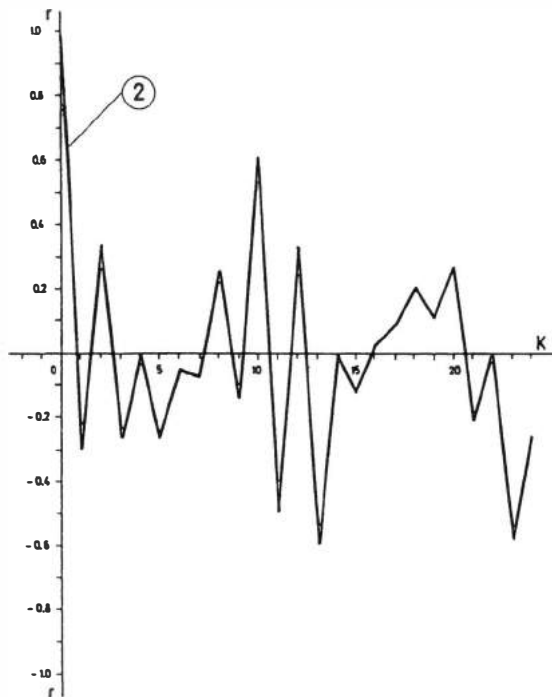
U budućem stanju će retencija imati dirigitirano djelovanje shodno postavljenim principima obrane od poplave. Već iz toga se zaključuje da će trajanje poplave u takvim depresijama biti mnogo kraće od stanja kakvo je zatečeno, kada se je voda izlivala stihijski u retenciju. Iz autokorelograma za vodne razine 109 i 108 m u. m. u Jamničkoj Kiselici vidljivo je da se poplave javljaju prosječno svake druge godine, a veće tek svake desete godine (sl.2. i 3). Valja istaći da su pojave u retenciji Kupčina bez ikakve perzistencije.



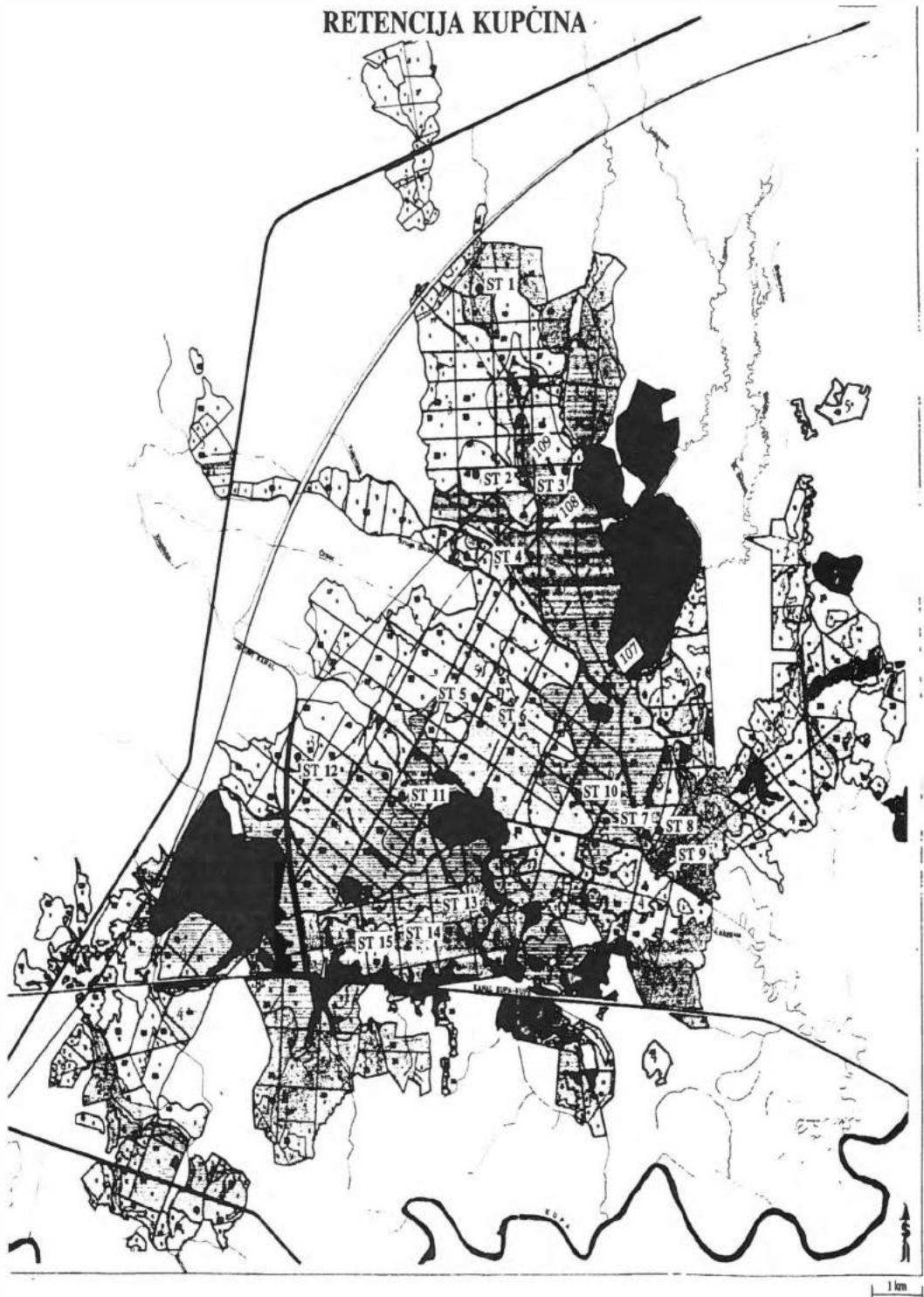
Slika 1. Shematski prikaz djelovanja kanala "Kupa-Kupa" kod v.v. frekvencije 1%



Slika 2. Autokorelogram trajanja vodostaja iznad kote 108 m u. m.



Slika 3. Autokorelogram trajanja vodostaja iznad kote 109 m u. m.



Slika 4. Retencija Kupčina s hidroizohipsama i mrežom stacionara

Uzorke učestalih poplava u toplom dijelu godine treba tražiti u razmjerno velikom neposrednom gravitacionom području Kupčine, koje je konglomerat malih brdskih slivova. Na takvim slivovima upravo ljetni pljuskovi većih intenziteta izazivaju poplave, pa u tom treba tražiti genezu razmjerno učestalih ljetnih poplava područja Kupčine.

Retencija Kupčina je svojim djelovanjem uključena u rješenje sistema obrane od poplave Srednjeg Posavlja (Sl.1.) koja na određeni način tvori režim velikih voda Save izvan okvira neposrednog opažanja.

Rješenje obrane od poplava u čvoru Karlovca temelji se na slijedećim objektima: VES Brodarci s upusnom građevinom, oteretnom kanalu Kupa-Kupa i retencija Kupčina. Tek svi navedeni objekti zajedno čine ovaj sustav funkcionalnim. Bez retencije Kupčina sustav ne služi projektiranoj namjeni. Ispuštanje velikih voda kanalom Kupa-Kupa uvjetovano je situacijom u nizvodnom obrambenom sustavu Save. Zbog obrane od poplave Karlovca, kanal Kupa-Kupa preuzima vode veće od $650 \text{ m}^3/\text{s}$ i ispušta ih kod su protoci u Jamničkoj Kiselici manji od $1,550 \text{ m}^3/\text{s}$.

3. Rezultati istraživanja

Razmještaj piezometara u retenciji Kupčina vidljiv je iz slike 4. gdje su dane visine razina podzemnih voda 50% trajanja. Inače su za svaku grupu piezometara izrađene krivulje za 5% i 95% trajanja. Iz stanja hidroizohipsi za sve tri krivulje trajanja, može se vidjeti da su dominantni smjerovi kretanja podzemnih voda prema Kupi, što znači da podzemne vode napajaju Kupu.

Analiza režima podzemnih i površinskih voda rađena je kompjutorski, pomoću kroskorelacijske metode, na osnovi tjednih mjerenja razina u piezometrima, na dubinama 0,5 m i 7,0 m u razdoblju od 1981. do 1986. godine.

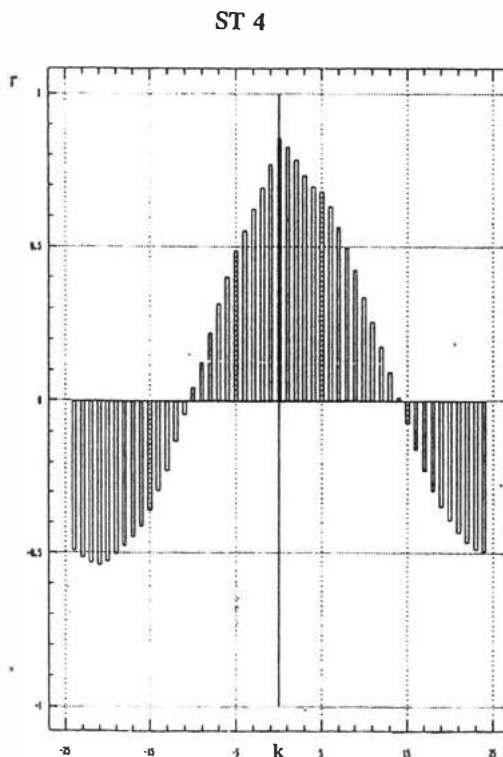
Piezometri dubine 0,5 m obuhvaćaju potpovršinske vode u krovini. Na te potpovršinske vode izravno utječu oborine, a piezometri od 7,0 m mjere razine podzemne vode.

Utvrđivanje ovisnosti režima potpovršinskih i podzemnih voda bitno je za šumske zajednice u retenciji.

Iz kroskorelograma tjednih vodostaja piezometara 0,5 i 7,0 m u ST-4 (slika 5), jasno se vidi da je stohastička veza veoma čvrsta ($r_0=0,85$) i da te podzemne vode suglasno reagiraju.

U tablici 1. dane su vrijednosti koeficijenta korelacije za odgovarajuće korake.

Da bi se bolje spoznali odnosi između razina u piezometrima od 0,5 i 7,0 m dubine, s obzirom na istodobno stanje, uzeli smo po



Slika 5.

jedan korak prije maksimalnog i jedan iza. Pomoću jednadžbe parabole kroz tri točke dobivena je jednadžba

$$y = -0,06052 x^2 + 0,15069 x + 0,76501 \quad (1)$$

što predstavlja krivulju koja povezuje sve tri točke. Derivacijom te jednadžbe određeno je mjesto ekstrema, u ovom slučaju najveća vrijednost koeficijenta korelacije, koja iznosi $r=0,86$, a nalazi se u 0,245 koraku, koji je ujedno tjedan. Dakle, promjena neke razine vode u piezometru od 0,5 m dubine manifestira se promjenom razine u piezometru od 7,0 m dubine nakon 1,71 dan ili 41,04 sata.

U tablici 2. dane su jednadžbe parabola za ostalih sedam stacionara, s odgovarajućim podacima.

Tablica 1.

Korak k (tjedan)	Koeficijent korelacije r	Korak k (tjedan)	Koeficijent korelacije r	Korak k (tjedan)	Koeficijent korelacije r	Korak k (tjedan)	Koeficijent korelacije r
-24	-0.48817	-23	-0.51547	-22	-0.53058	-21	-0.53677
-20	-0.52730	-19	-0.50383	-18	-0.47229	-17	-0.44469
-16	-0.40896	-15	-0.35954	-14	-0.29591	-13	-0.22804
-12	-0.13552	-11	-0.04711	-10	0.04280	-9	0.12294
-8	0.21815	-7	0.31279	-6	0.39819	-5	0.48750
-4	0.55121	-3	0.62233	-2	0.69135	-1	0.76501
0	0.85518	1	0.82432	2	0.78098	3	0.72897
4	0.69561	5	0.67958	6	0.63215	7	0.56409
8	0.49347	9	0.42061	10	0.33498	11	0.25417
12	0.17.463	13	0.09020	14	0.01110	15	-0.07281
16	-0.15814	17	-0.23136	18	-0.29383	19	-0.34524
20	-0.38947	21	-0.43137	22	-0.46131	23	-0.48403
24	-0.49549						

Tablica 2.

Broj stacionara ST	Jednadžbe parabole	Red.br. jedin. parabole	Max. vrijednost koef. korel.	Korak (tjedan) k	Promjena razina u dubljem piezom. nakon	
					dana	sati
ST-5	$y=-0,05438 x^2 + 0,12073 x + 0,80996$	2	0,88	0,11	0,77	18,48
ST-7	$y=-0,08210 x^2 + 0,20501 x + 0,67256$	3	0,80	0,248	1,74	41,76
ST-10	$y=-0,06646 x^2 + 0,16554 x + 0,73508$	4	0,84	0,246	1,72	41,28
ST-11	$y=-0,07806 x^2 + 0,17033 x + 0,81833$	5	0,91	0,09	0,63	15,12
ST-12	$y=-0,05105 x^2 + 0,13195 x + 0,68437$	6	0,77	0,292	2,04	48,96
ST-13	$y=-0,01245 x^2 + 0,05393 x + 0,72971$	7	0,79	1,166	8,16	195,84
ST-15	$y=-0,05160 x^2 + 0,11451 x + 0,60285$	8	0,67	0,109	0,77	18,48

4. Zaključci

Iz svih navedenih primjera jasno se vidi da na cijelom području retencije Kupčina postoji čvrsta veza između potpovršinskih (u krovini) i podzemnih voda, iz čega se može zaključiti, da pokrovni sloj, sastavljen pretežno od gline, nije nepropustan. Već vizualnim razmatranjem svih kroskorelograma vidi se da je riječ o međusobno čvrstim pojavama. Traženi kroskorelacijski odnosi između razina u piezometrima dubine 0,5 i 7,0 m daju vrlo visoke maksimalne vrijednosti serijskog koeficijenta korelacije, što pokazuje da je stohastička veza između tih dviju varijabli veoma čvrsta i da te podzemne i potpovršinske vode jako dobro komuniciraju.

Također se može zaključiti da oborine neposredno utječu na podzemne vode. Manipulacijski objekti na kanalu Kupa-Kupa omogućuju da se i onda kad nema poplava, ali se osjeća deficit vlage u tlu, u vegetacijskoj sezoni provodi natapanje tih šumskih areala običnim kratkotrajnim preplavlivanjem. Ove akcije mogu doći u obzir samo u dogovoru sa šumarima. Dakle, u sklopu zaštite od velikih voda retencija je osposobljena i za postizanje optimuma vlage u tlu na njenom području i poboljša vodni režim uopće. Istraživanjem problematike porijekla i dinamike potpovršinskih voda u krovini i dubljim naslagama, zapravo se radi o upoznavanju jednog važnog procesa u putu strujanja vode od površine tla do podzemnih voda na tom istraživanom području.

Na kraju treba istaći da je nužno poticati složena multidisciplinarna istraživanja uzroka pojavama sušenja nizinskih šuma sjeverne Hrvatske i težiti još boljoj suradnji šumarstva i vodnog gospodarstva, odnosno svih struka. Taj problem iziskuje nepristranu i odgovornu analizu multidisciplinarnih tehničkih ekipe, koje rad mora biti odgovoran i krajnje objektivan.

Literatura

1. Srebrenović, D.: Analiza režima velikih voda Save, Direkcija za Savu, Zagreb 1975.
2. Grupa autora: Ekološki, biološki i gospodarski aspekti učinka izvođenja vodoprivrednih radova obrambenog sistema Srednjeg Posavlja na nizinske šumske ekosisteme, Zavod za istraživanje u šumarstvu, Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1984.
3. Srebrenović, D., Milović, B., Maričić D., Šimunković, D.: Utvrđivanje režima podzemnih i površinskih voda u području Lonjskog i Mokrog polja, te retencije Kupčina nakon izvedbe sistema Srednjeg Posavlja, Vodoprivredna radna organizacija za vodno područje sliva Save, Zagreb, Zagreb, 1985.
4. Žderić. D.: VES Brodarci, Studija utjecaja na okolinu, Elektroprojekt, Zagreb, 1985.
5. Milović, B.: Ekološki, biološki i gospodarski aspekti učinka i izvođenja vodoprivrednih radova obrambenog sistema Srednjeg Posavlja na nizinske šumske ekosisteme, Analiza dosad izrađene tehničke dokumentacije i budući zadaci, JVP HV Zagreb, 1994.

Autor:

Mr.sc. Blagoje Milović, dipl.inž.geodez., Hrvatske vode, 10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 220

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.17.

Koncesije u vodnom gospodarstvu

Gorana Ćosić-Flajsig

SAŽETAK: Donošenjem Zakona o koncesijama (N.N. 89/92) u Republici Hrvatskoj i Uredbe o uvjetima i postupku za dodjelu koncesija na vodama i javnom vodnom dobru (N.N.99/96), uz pretpostavljeni pozitivni ekonomski učinak, u primjeni se otvara cijeli niz pitanja. Tijekom posljednje dvije godine koncesije su dodjeljivane pravnim subjektima za korištenje površinskih i podzemnih resursa vode. Situacija će se dodatno zakomplicirati dodjelom koncesija i u drugim područjima vodnog gospodarstva (zaštita voda od zagađenja, zaštita od štetnog djelovanja voda), što je djelomično prisutno već i sada, a posebice na gospodarenje višenamjenskih vodnogospodarskih objekata. Problem predstavlja nedostatak Vodnogospodarske osnove Hrvatske kojom se dugoročno planira gospodarenje prirodnim i javnim vodnim dobrima. Osjeća se i nedostatak zakonskom procedurom prihvaćenih vodnogospodarskih osnova slivnih područja kojima je definiran bilans voda što je preduvjet za dodjelu koncesije, kao i prilagođavanje dugoročnih razvojnih planova u vodnom gospodarstvu sadašnjim gospodarskim uvjetima.

KLJUČNE RIJEČI: koncesija, integralno gospodarenje vodama, Vodnogospodarska osnova Hrvatske

Concessions in Water Resources Management

SUMMARY: Passing of the Concessions Act and the Directive on Conditions and Procedures for Granting of Concessions on Water and Public Water Domain is expected to have favorable economic effects. However, implementation of these regulations raises a number of issues. During the last two years the concessions for exploitation of surface and ground water were granted to entities. The situation shall become more complex once the concessions are granted for other fields of activity within the water resources management (water pollution control, protection against detrimental water effects). The problems have already become obvious, particularly related to multipurpose structures. It ensues from nonexistence of the Croatian Water Resources Management Scheme and development plans for water resources management which would offer long-term plans for management of natural and public water capital.

KEYWORDS: concession, integrated water resources management, Croatian Water Resources Management Scheme

1. Uvod

Donošenjem Zakona o koncesijama (N.N. 89/92) u Republici Hrvatskoj i Uredbe o uvjetima i postupku za dodjelu koncesija na vodama i javnom vodnom dobru (N.N.99/96), uvode se moderni koncepti u gospodarenju vodnim resursima i okolišem u cjelini. Podzakonski akti, tumačenja, kao i praksa, potrebni su radi učinkovitijeg procesa

donošenja koncesijskih odluka i sklapanje ugovora o koncesiji. Koncesije postaju u našoj državi i kulturi novi oblik upravljanja zajedničkim (državnom i županijskim) vlasništvom.

U inozemstvu (Zapadnoj Europi) takav oblik upravljanja ima dugogodišnju tradiciju, pa je stoga ukomponiran u cijeli okvir pravnih i socijalnih odnosa.

U provedbi se otvaraju se neka od slijedećih pitanja pri donošenju odluke o koncesijama:

- 1) Tko će i kako procijeniti vrijednost dobra, kao i neposrednih i posrednih troškova i koristi koji nastaju davanjem dobra u koncesiju;
- 2) Kako će koncedent (država) kontrolirati korištenje prirodnih resursa obzirom da je koncesionar po logici stvari usmjeren na maksimum privatnog dobitka u određenom vremenu trajanja koncesije;
- 3) Ako je cijena električne energije ista u cijeloj državi, zašto to nije slučaj i s cijenom pitke vode;
- 4) Ako je cijena električne energije formirana temeljem ekonomskih kategorija, zašto tako nije i s kanalizacijskim sustavima;
- 5) Problemi dogovaranja na relaciji lokalno-regionalno.

Ako dosadašnji vlasnik, država, (onaj koji dodjeljuje koncesiju (koncedent)), predstavlja šire društvene interese, na drugoj strani postoji upravljač, korisnik prirodnog dobra, (nositelj koncesije (koncesionar) za svoje privatne, ali i ograničene društvene interese), dolazi nužno do raskoraka u shvaćanju optimalnog korisnika. U tom smislu postavljaju se neka pitanja koja proizlaze iz zakonske regulative koja nije posve dorečena. Isto tako, postavlja se pitanje kako pomiriti društveni i privatni interes i voditi koncesijski postupak na zadovoljstvo obje stranke, ako nedostaju planski dokumenti (Vodnogospodarske osnove Hrvatske, aktualizirane dugoročni planove razvitka vodnog gospodarstva).

2. Uvođenje koncesija u Hrvatskoj

Po Zakonu o vodnom pravu iz 1891. god., pravo korištenja voda stjecalo se redovito na temelju akta nadležnog organa, odnosno na temelju dozvolbene isprave (Ribnjačarstvo "Končanica", 1912. god.). Prema Zakonu o korištenju vodnih snaga iz 1931. godine, koji je vrijedio na cijelom području tadašnje Kraljevine Jugoslavije, koncesiji je odgovarao institut povlastica. Povlastica je bila jednostrani akt na temelju kojeg se stječe pravo iskorištavanja vodne snage za pogon različitih uređaja. U bivšoj Jugoslaviji, 1945.-1990. god., kao i u drugim socijalističkim zemljama s režimom državnog, odnosno društvenog vlasništva, nad sredstvima za proizvodnju i sa zabranom privatnog vlasništva - nije postojao pravno dopustiv institut koncesije. U novim uvjetima kada je država vlasnik općih dobara i prirodnog bogatstva ona se osigurava tako da za korištenje koncesije određuje pravično obeštećenje i njegovo uredno plaćanje.

Zakon o koncesijama ponovno uvodi tržišno-gospodarske oblike zakupa vlasništva i korištenja javnog dobra-instituciju koncesija. U posebnom IV poglavlju Zakona o vodama (N.N. 107/95) su odredbe o koncesijama. Koncesijom se prema ovom Zakonu stječe pravo korištenja voda i javnog vodnog dobra, te obavljanje gospodarskih i drugih djelatnosti na vodama i vodnom dobru. Donešena je i Uredba o uvjetima i postupku za dodjelu koncesija na vodama i javnom vodnom dobru (N.N. 99/96). Institucija koncesija se uvodi da bi omogućila državi i lokalnoj upravi (županiji), koja je vlasnik prirodnih resursa ili infrastrukturnog objekta, optimalno korištenje tog dobra ili objekta, kako u gospodarskom, tako i u razvojnog pogledu.

U pravnoj teoriji koncesija se definira kao odnos između države (koncedenta) i pravnog ili fizičkog poduzetnika (koncesionara) kome država ustupa korištenje koncesije pod određenim uvjetima, na određeni rok i uz određenu naknadu, a sve radi ostvarivanja javnog interesa. Javni interes države u pogledu davanja koncesije ogleda se u slijedećem. Pošto država nema financijskih sredstava za sve moguće vidove korištenja koncesije, to se daje koncesionaru da svoja sredstva ulaže u koncesiju koja za sobom povlači izgradnju objekata ili izvođenje radova. To dovodi, u većoj ili manjoj mjeri, zapošljavanja radnika na određenim radovima. U međunarodnom pravu, koncesija znači davnje stranoj pravnoj ili fizičkoj osobi povlastice za vršenje nekih izuzetnih prava, koja po pravilu ne pripadaju strancima. Prema tome, koncesija je ujedno i vid međunarodne gospodarske suradnje (privlačenje stranog kapitala), a najviše se primjenjuje prilikom korištenja općih dobara i prirodnih bogatstava.

Da bi se domaćim i stranim investitorima dao stimulans za korištenje koncesije po Zakonu o vodama, zakonom je utvrđeno opredjeljenje da su osobe korisnici koncesije pod jednakim, zakonom određenim uvjetima, a naročito u pogledu stjecanja i korištenja prava na koncesiju. U međunarodnom pravu koncesije se daju na rok do 99 godina, što je prihvatio Zakon o vodama. Kod zaključivanja ugovora zemlje davaoci koncesije imaju interes da zaključuju ugovore sa što kraćim rokom važenja kako bi mogli osigurati što češću reviziju koncesionih ugovora. Koncesije se dodjeljuju putem javnog natječaja, odnosno na osnovu prikupljenih ponuda ili neposrednih zahtjeva - ponuda (jednog pravnog ili fizičkog lica). Izuzetak su dosadašnji korisnici, pa je stoga i upućen poziv od strane Državne uprave za vode, do 4. siječnja 1997. godine, da takvi korisnici podnesu državi ponudu (zahtjev za daljnje korištenje voda po propisima o koncesiji). U tom slučaju je bio isključen javni natječaj. Odluku o koncesiji donosi državni, odnosno županijski organ temeljem dostavljenog stručnog mišljenja Hrvatskih voda. Prava iz koncesije određenog koncesionara (cesija) čisto su osobni odnos, odnosno individualno pravo. Stoga se prava iz koncesionog odnosa ne mogu jednostranom voljom koncesionara prenijeti na drugu pravnu ili fizičku osobu. Za prijenos prava na drugu fizičku ili pravnu osobu nužno je pribaviti suglasnost vodnogospodarskog organa uprave koji je kao ugovorna stranka potpisao ugovor o koncesiji.

Formiranjem županija i općina, veliki problemi zadovoljenja gospodarskih javnih dobra su prešli općinske, pa i županijske granice. Samo spomenimo neke od njih. Problemi sanitarnih deponija ili opskrbe pitkom vodom, gdje se vodozaštitna područja rasprostiru preko više općina ili županija. Postoji bojazan da će radi nedovoljnog organiziranja na regionalnom nivou, prisustvo struke biti nedovoljno, pa će lokalna vlast morati odluke prepuštati višim, državnim instancama. Istodobno, efikasnost vodnog gospodarstva mogla bi postati upitna ukoliko država ne bude imala dovoljno utjecajne predstavnike koji će kvalitetno riješavati nastale probleme. Sve to ukazuje na nužnost prisustva stručnih službi vodnog gospodarstva od lokalnih do državnih nivoa odlučivanja.

3. Ekološki i gospodarski optimalna strategija gospodarenja vodama

Tijekom posljednje dvije godine koncesije su dodjeljivane pravnim subjektima za korištenje površinskih i podzemnih vodnih resursa. Dodjela koncesija će uskoro uslijediti i u drugim područjima vodnog gospodarstva (zaštiti voda od zagađivanja, zaštiti od štetnog djelovanja voda). U odgovornom i integralnom gospodarenju vodama, i kroz instituciju koncesije, najveći problem predstavlja nedostatak valjanih planskih osnova za upravljanje vodama. Naime, još od vremena Hamurabia, vladara Babilona, 4100

p.n.e., pravo na korištenje voda - dodjela koncesije je u direktnoj vezi s upravljanjem voda (posebice bilansom vodom). Prema Zakonu o vodama, upravljanje vodama čini skup aktivnosti, odluka i mjera čija je svrha održavanje, poboljšanje i ostvarivanje jedinstvenog vodnog režima na određenom području. To se ostvaruje osiguranjem potrebnih količina vode primjerene kakvoće za različite namjene, zaštitom vode od onečišćenja, uređenjem vodotoka i drugih voda, te zaštitom od štetnog djelovanja voda. Bitne odrednice Vodnogospodarske osnove Hrvatske jesu da je to dugoročni planski dokument kojim se utvrđuju osnova za upravljanje vodama, bilanca voda i poboljšanje vodnog sustava, na osnovu čega se osigurava cjelovit i usklađen vodni režim u Republici Hrvatskoj. Osnovom se osobito utvrđuje raspored, zalihe i osobine vode, utvrđuju potrebe za vodom i način osiguranja dovoljnih količina vode, osigurava zaštita vode od onečišćenja, i utvrđuju najpovoljnija tehnička rješenja za uređenje vodotoka i za zaštitu od poplava. Vodnogospodarska osnova ili plan slivnog područja imaju isti sadržaj, ali na razini određenog slivnog područja, te mora biti u skladu s Vodnogospodarskom osnovom Hrvatske. Vodnogospodarske osnove moraju se usklađivati s promjenama koje nastaju u vodnom sustavu, kao i u gospodarskom i društvenom razvoju.

Za integralno gospodarenje vodama prioritetna je identifikacija i racionalno rješavanje ključnih vodnogospodarskih problema na pojedinim rječnim slivovima. Identifikacija se vrši temeljem integralne strategije gospodarenja vodnim resursima. Djelomično sagledavanje rješavanja gospodarenja vodama i parcijalna rješenja ne mogu osigurati primjerene niti ekološke, niti gospodarske učinke.

Integralni pristup gospodarenja vodnim resursima podrazumijeva prije svega:

1. Cjelovito vodnogospodarsko planiranje na slivnom području i na području cijele države;
2. Usaglašavanje svih planiranih rješenja s dugoročnim ciljevima;
3. Stručno djelovanje stručnih službi pojedinih slivnih područja u provođenju prihvaćene strategije;
4. Adekvatno udruživanje vlastitih i drugih sredstava na pojedinim slivnim područjima i cijeloj državi radi provođenja prioriternih, strategijom definiranih rješenja;
5. Analizu troškova korištenja voda uključujući i troškove zaštite voda.

Uz jasno postavljanje ciljeva, za uspješno gospodarenje vodama važna je i duljina planskog razdoblja u kojem se predviđa realizacija vodnogospodarske osnove, kao i dugoročnih planova gospodarenja vodama. Uvođenje suviše kratkih rokova može postići suprotan učinak. Naime, čak i bogate zemlje EU-a planiraju ostvariti vlastite propise o zaštiti voda u idućih 15 do 20 godina. Prihvaćanje vremenski realnijeg duljeg planiranja, smanjuje prioritet potrebe skupih kredita i omogućuje provođenje mjera iz dugoročnih planova temeljem udruživanja sredstava u okviru pojedinih slivova i cijele države.

Izrada koncesija u Hrvatskoj iziskuje i uvođenje ekološki prihvatljivog protoka pri korištenju voda u vodotoku. Time se utječe na strukturu i funkciju vodenog ekosistema. Uloga koncesionara je i da poštuje biološki minimum- ekološki prihvatljiv protok (Q_{ep}). Vrijednosti Q_{ep} su nužne radi donošenja odluka o korištenju voda na slivnom području, a donošenje Q_{ep} -a se temelji na stručnom, interdisciplinarnom pristupu rješavanja problema kojim se definiraju količine vode koje omogućuju održanje ekološke ravnoteže u i oko vodotoka. Ustanovljenje Q_{ep} -a je potrebno kako za povratno (npr. energetika, ribogojstvo), tako i za nepovratno (navodnjavanje, pitka voda, tehnološke namjene) korištenje vode, da bi se osigurala struktura i funkcija vodotoka kao integralnog sistema.

4. Dodjela koncesija kao način integralnog gospodarenja vodama

Koncesijama se stječe pravo korištenja voda i javnog vodnog dobra, odnosno pravo obavljanja gospodarskih i drugih djelatnosti na vodama i javnom vodnom dobru čl.142 Zakona o vodama (N.N.107/95). Koncesija je potrebna za gospodarsko i drugo korištenje javnog vodnog dobra s podizanjem trajnih građevina odnosno ugradnjom uređaja (čl.143. točka 10). Na osnovi koncesije se stječe pravo iskorištavanja voda i vodnog dobra, odnosno obavljanja gospodarskih i drugih djelatnosti na vodama i javnom vodnom dobru. Koncesija je potrebna za iskorištavanje vodnih snaga za proizvodnju električne energije, za zahvaćanje vode za potrebe javne vodoopskrbe, za zahvaćanje vode za tehnološke i slične potrebe pravnih i fizičkih osoba koje obavljaju gospodarsku ili sličnu djelatnost, za crpljenje mineralnih i termalnih voda, za zahvaćanje voda za navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta, za uređenje plovnih puteva na rijekama i jezerima, za građenje umjetnih kanala i drugih građevina za plovidbu, za građenje pristaništa i pristanišnih postrojenja, za uzgoj riba u gospodarske svrhe, za gospodarsko i drugo iskorištavanje vodnog dobra, za vađenje šljunka, pijeska i kamena. Odluku o davanju koncesije, ovisno o namjeni za koju se koncesija daje, donosi Zastupnički dom, Vlada, Država uprava za vode i Županijsko poglavarstvo. Na osnovi odluke o koncesiji, zaključuje se ugovor o koncesiji. Bitni sastojci ugovora propisuju se zakonom. Koncesijska naknada uplaćuje se u korist državnog ili županijskog proračuna.

Među ciljeve koncesije nužno je istaknuti unapređivanje vodnogospodarskog sustava u cjelini, brže i potpunije korištenje voda i javnog vodnog dobra, te bržeg angažiranja potrebnog prostora za vodnogospodarske objekte od značaja za državu i županije.

Onaj koji sklapa ugovor o koncesiji, u pravilu mora ishoditi vodopravnu dozvolu, koja predstavlja upravni akt kojim se - u skladu sa Zakonom i stajalištima osiguranja adekvatnog vodnog režima, određuju način i uvjeti zahvaćanja i iskorištavanja voda.

Da bi se ostvarilo integralno gospodarenje vodama nužno je utvrditi doprinos uvođenja koncesija, odnosno izvršiti analizu pod kojim uvjetima i na kakav način koncesije mogu doprinjeti sačuvanju prirodnih vodnih resursa. Također, potrebno je analizirati i moguće negativne posljedice nedovoljno gospodarski i stručno osnovanih odluka o uvođenju koncesija, koje mogu biti u suprotnosti s dokumentima vodnogospodarskog razvitka. S jedne strane postojanje takvih planskih dokumenata je preduvjet za donošenje koncesijskih odluka a s druge strane potrebno je utvrditi kakve mogu biti prednosti uvođenja koncesija pri realizaciji tih planova.

Integralni pristup gospodarenja vodama ostaje preduvjet uspješnom i racionalnom izvršavanju ciljeva postavljenih Vodnogospodarskom osnovom Hrvatske, te dugoročnim planovima gospodarenja vodama.

Sklapanje ugovora o koncesiji (dodjela koncesija) jedan je od mogućih, ali ne i jedini način financiranja i upravljanja vodnogospodarskim i infrastrukturnim objektima. Slijedeći su razlozi za davanje koncesija.

- omogućava angažiranje privatnog kapitala (inozemnog ili domaćeg) za izgradnju infrastrukturnih objekata i pri tom rasterećuje vlastita raspoloživa sredstva javne potrošnja;
- smanjivanje javnih financijskih sredstava angažiranjem privatnog kapitala;
- omogućava brže rješavanje najaktualnijih problema korištenja i zaštite voda;
- uvođenje novih i naprednijih tehnologija, te racionalnijih tehnoloških rješenja.

Mogući su i negativni učinci:

- visoka cijena privatnog kapitala;
- nužan profit koncesionara;
- pitanje vlasništva osnovnih sredstava i njihova dugotrajnog održavanja za osiguranje funkcije koncesioniranih objekata poslije dogovorenog trajanja koncesije;
- destimuliranje domaćih stručnih potencijala za rješavanje tehnoloških problema i za stručno održavanje i upravljanje uređaja;
- moguća nedovoljna kontrola optimizacije investicijskih radova, održavanja i pogonskih troškova koncesioniranih uređaja.

Obzirom na sve navedeno, postavlja se zadaća osiguranja potrebne stručne kontrole cijena i kakvoće rada koncesionara od strane vodnog gospodarstva.

5. Zaključak

Kada se odlučuje o koncesijama nužno je argumentirano odgovoriti na određena stručna pitanja i izvršiti analizu pod kojim uvjetima i na kakav način koncesije mogu doprinjeti sačuvanju prirodnih vodnih resursa. Uz nužan preduvjet postojanja bilansa voda, jasno postavljenog kroz vodnogospodarske osnove, potrebno je vršiti integralno gospodarenje vodama na slivu. Pri tom se podrazumijeva optimizacije vodnogospodarskog sustava korištenjem suvremenih metoda systemske analize radi postavljanja prioriteta u procesu odlučivanja o izvođenju i održavanju postojećih objekata i sustava.

Nužni preduvjeti su:

1. Izrada Vodnogospodarske osnove uz maksimalno angažiranje vlastitih stručnjaka pri rješavanju problema integralnog gospodarenja vodama;
2. Postavljati gospodarski realne, te sa stanovišta vodnog gospodarstva, kratkoročno i dugoročno prihvatljive ciljeve;
3. Državne propise o vodnom gospodarenju i zaštiti voda u stručnom i terminskom smislu usklađivati s realnim mogućnostima gospodarstva, kao i sa Smjernicama EZ-a;
4. Udruživanje sredstava korištenja i zaštite voda na slivu i povoljne efekte tog udruživanja što povoljnije iskoristiti;
5. U nedostatku vlastitih financijskih potencijala države osigurati međunarodne kredite, uz uvjet vršenja investicija i upravljanja uređaja vlastitim stručnim potencijalom.

Donošenje odluka o davanju koncesija za izgradnju i gospodarenje vodnogospodarskim i komunalnim objektima, moguće je jedino kada su ispunjeni gore navedeni uvjeti.

Ovim radom pokušalo se prikazati samo dio problema koji se javljaju pri izradi stručnih mišljenja u procesu donošenja odluka o koncesijama. U daljnjem radu, vodnogospodarske struke nužno je pristupiti inventarizaciji i sveukupnom vrednovanju prirodnih bogatstava i drugih javnih dobara, velikom organizacijskom i stručnom poslu pri izradi dugoročnih nacionalnih planova, kao i izmjeni praktičnih iskustava s drugim državama gdje institucija koncesije ima dugu tradiciju.

Literatura

1. Zakon o koncesijama (N.N. 89/92)
2. Zakon o vodama (N.N. 107/95)
3. Uredba o dodjeli koncesija na vodama i javnom vodnom dobru(N.N. 99/96)
4. Ž. Vladislavljević, 1969: O vodoprivredi - pogledi i metode, Institut za vodoprivredu A.Jaroslav Černiž, Beograd
5. Zbornik referata AKoncesije u vodnom i komunalnom gospodarstvuŽ, Bled, 28.-29. ožujka 1996.
6. Seminar AMogućnosti organizacije gospodarenja vodama na tržišnim osnovamaŽ, Našice, 8.-10. travnja 1997.
7. M.Risnal, 1997: Problemi koncesija i optimalna zaštita voda, Hrvatska vodoprivreda, Broj 57, 8-10
8. Z. Sparavalo, 1998: Koncesije pozakonu o vodama Federacije Bosne i Hercegovine, Hrvatska vodoprivreda, Broj 69,
9. H.Hrelja, 1998: Vodoprivredni sistemi, Svjetlost

Autorica:

Gorana Ćosić-Flajsig, dipl.inž.građ., Hrvatske vode, Ul. grada Vukovara 220, Zagreb

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.18.

Problemi uspostave jedinstvenih preduvjeta u upravljanju vodnim resursima

Lidija Runko Luttenberger

SAŽETAK: Opatijskarivijera je proteklih desetljeća zaostala u razvoju vodoopskrbe i zbrinjavanju fekalnih voda. Zbog male izdašnosti vlastitih izvora u ljetnoj turističkoj sezoni kada je potreba za vodom najveća Opatija nabavlja vodu iz Rijeke i iz Ilirske Bistrice, Slovenija. Nabavna cijena vode iz spomenutih distribucijskih sustava je viša od cijene koštanja opatijske vode iz vlastitih izvorišta koja sadrži i proizvodnju i distribuciju. Upravo zbog visoke nabavne cijene vode, troškovi dobave i distribucije ne mogu se pokriti iz prihoda od prodaje vode. Nelogično je da sav teret tako strukturiranih troškova, uz problematične uvjete uvoza vode, padaju na teret komunalnih tvrtki i korisnika. Takvi uvjeti poslovanja onemogućavaju Opatiju u širenju i razvoju vodovodne i kanalizacijske infrastrukture. Država mora i može omogućiti tvrtkama koje se bave snabdijevanjem vodom i odvodnjom uvjete za nesmetano održavanje i razvijanje sustava.

KLJUČNE RIJEČI: vodoopskrba i odvodnja, komunalno gospodarstvo, upravljanje vodnim resursima, cijena vode, troškovi proizvodnje i distribucije vode, uvoz vode

Issues Related to Establishment of Identical Water Resources Management Conditions

SUMMARY: During the last decades, the Opatija Riviera has lagged behind in water supply and sewage treatment development. Because of low yield of its springs during the summer (tourist) season when the demand is the highest, Opatija imports water from the City of Rijeka and Ilirska Bistrica, Slovenia. The purchasing price of imported water is higher than the price of water supplied from the Opatija well fields (which includes production and distribution). High water purchase costs, along with water supply and distribution costs, cannot be covered from water sales revenues. There is no logic in municipal utilities and users bearing thus structured costs and consequences of water import conditions. Such operational conditions obstruct expansion and development of water supply and sewage infrastructure in Opatija. The State must and can enable for the utilities involved in running water supply and sewage systems to implement an unhindered maintenance and development of such systems.

KEYWORDS: water supply and sewage systems, municipal sector, water resources management, water price, water production and distribution costs, water import

1. Uvod

Opatijska rivijera sa svojim zaleđem proteklih je desetljeća zaostala u razvoju komunalne infrastrukture, pogotovo u vodoopskrbi i zbrinjavanju fekalnih voda. Dinamika izgradnje vodovodnih i fekalnih sustava nije pratila stambenu i hotelsku izgradnju.

Tako na pragu dvadesetiprvoga stoljeća, uz 115 godina postojanja vodovoda Opatije (Opatija je već 1884. imala prvu vodospremu, 1904. prvi regulacijski plan izgradnje vodovoda i kanalizacije, a 1907.g. prvu kanalizacionu pumpnu stanicu), 40% naseljenog područja bivše općine odnosno 18% stanovnika nije obuhvaćeno vodovodnom mrežom. Jedni smo od rijetkih u zemlji koji nemamo ni telemetrijski sustav. Isto tako sustav odvodnje, da bi bio primjeren svome mjestu i vremenu, zahtijeva velika ulaganja.

2. Nužnost nabave vode iz drugih vodooskrbnih sustava

Opatija ima svoje izvore vode, ali je njihova izdašnost velika u kišnim zimskim razdobljima kada je potreba za vodom najmanja, a vrlo mala ljeti kada se potrošnja značajno uvećava. Tako je Opatija većim dijelom vezana za nabavu vode iz Rijeke, a nešto manjim za uvoz vode iz Ilirske Bistrice, tablica 1.

Tablica 1. Količine i cijene kupljene vode od 1994.-1998.

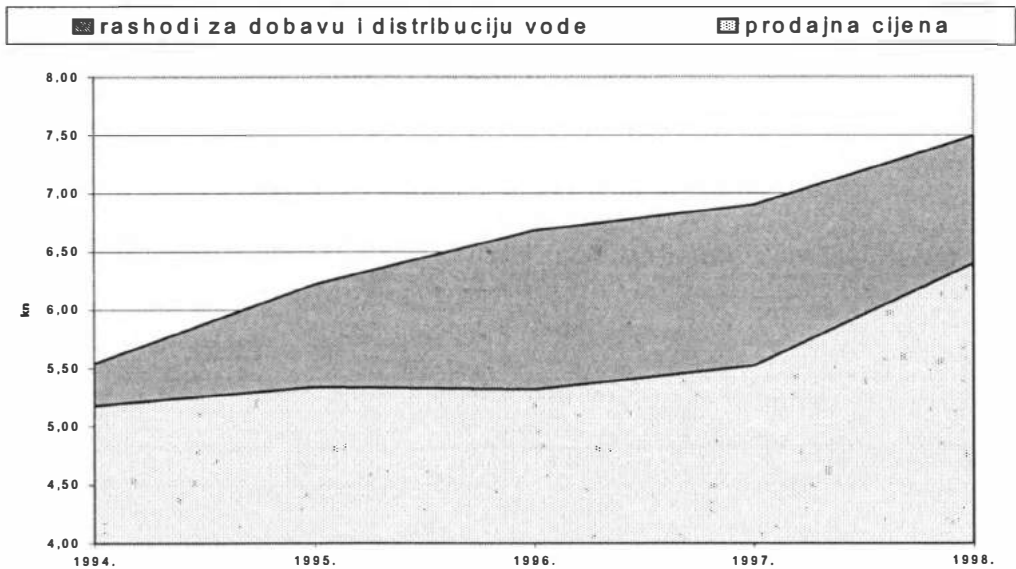
	1994.	1995.	1996.	1997.	1998.
Kupljena voda, m ³	2.277.850	1.662.984	1.805.659	2.048.472	2.099.186
<i>prosječna cijena kupljene vode</i>	<i>2,00</i>	<i>2,61</i>	<i>2,82</i>	<i>3,22</i>	<i>3,71</i>
Rijeka, m ³	1.780.723	1.220.257	1.275.403	1.475.305	1.412.779
<i>prosječna cijena, Kn</i>	<i>1,56</i>	<i>2,09</i>	<i>2,39</i>	<i>2,76</i>	<i>3,21</i>
Ilirska Bistrica, m ³	497.127	442.727	530.256	573.167	686.407
<i>prosječna cijena, Kn</i>	<i>3,59</i>	<i>4,06</i>	<i>3,86</i>	<i>4,41</i>	<i>5,05</i>

3. Uporedba troškova dobave i distribucije vode u odnosu na prihod

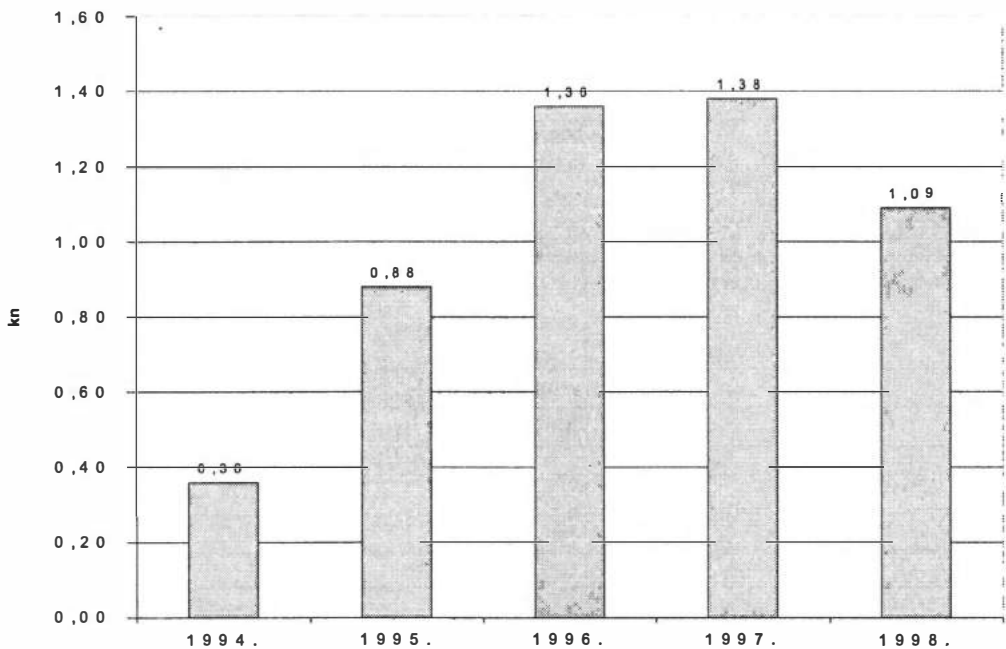
Troškovi dobave i distribucije vode ne mogu se pokriti iz prihoda od prodaje po m³ vode (tabela 2, dijagrami 1. i 2.).

Tablica 2. Prihodi i rashodi po m³ prodane vode od 1994-1998.g.

ELEMENTI	1994.	1995.	1996.	1997.	1998.
Prodana voda, m ³	2.580.434	2.349.987	2.378.103	2.471.810	2.404.933
<i>Prosječna cijena, kn</i>	<i>5,18</i>	<i>5,34</i>	<i>5,32</i>	<i>5,52</i>	<i>6,4</i>
PRIHODI OD PRODANE VODE, kn	13.377.556,59	12.546.396,67	12.652.449,92	13.650.321,33	15.392.803,70
Kupljena voda, kn	4.552.813,50	4.346.727,72	5.091.611,43	6.601.714,96	7.996.866,74
Rijeka, kn	2.769.155,98	2.550.734,87	3.045.437,24	4.076.722,15	4.528.140,45
Ilirska Bistrica, kn	1.783.657,52	1.795.992,85	2.046.174,19	2.524.992,81	3.468.726,29
Materijalni troškovi, kn	3.610.698,65	3.160.719,55	3.675.653,36	2.824.181,15	2.340.231,03
Amortizacija, kn	2.606.735,76	2.645.655,61	2.668.339,66	2.443.904,84	2.805.306,02
Brutto plaće, kn	1.487.235,11	2.086.286,51	2.170.388,75	2.682.773,17	2.728.743,27
Nematerijalni troškovi, kn	2.030.046,69	2.384.881,87	2.283.888,73	2.492.792,21	2.130.523,91
UKUPNO RASHODI, kn	14.287.529,71	14.624.271,26	15.889.881,93	17.045.366,33	18.001.670,97
<i>Rashodi po m³ prodane vode, kn</i>	<i>5,54</i>	<i>6,22</i>	<i>6,68</i>	<i>6,90</i>	<i>7,49</i>
DOBIT – GUBITAK, kn	- 909.973,12	- 2.077.874,59	- 3.237.432,01	- 3.395.045,00	- 2.608.867,27
<i>Gubitak po m³ prodane vode, kn</i>	<i>- 0,36</i>	<i>- 0,88</i>	<i>- 1,36</i>	<i>- 1,38</i>	<i>- 1,09</i>



Dijagram 1. Kretanje rashoda i prodajne cijene vode po 1 m³ prodane vode 1994.-1998.g.



Dijagram 2. Razlika između rashoda i prihoda po 1 m³ prodane vode.

4. Odnos cijena kupljene vode i cijene koštanja vlastite vode

Najveći razlog neusklađenosti cijene dobave i distribucije i prodajne cijene je visoka nabavna cijena vode iz drugih distribucijskih sistema koja je veća nego cijena vode iz vlastitih izvorišta koja sadrži i proizvodnju i distribuciju, tabela 3.

Tablica 3. Prikaz rashoda za 1 m³ kupljene i vlastite vode. 1994-1998.g. u kunama

Godina 1994.

Količina prodane vode, m ³		2.580.434		
ELEMENTI	IZNOS	CIJENA PO m ³		
		UKUPNO	KUPLJENA	VLASTITA
	udio	100%	49%	51%
PRIHODI OD PRODANE VODE	13.377.556,59	5,18	5,18	
Kupljena voda	4.552.813,50	1,76	1,76	-
Materijalni troškovi	3.610.698,65	1,40	0,69	0,71
Amortizacija	2.606.735,76	1,01	0,49	0,52
Brutto plaće	1.487.235,11	0,58	0,28	0,29
Nematerijalni troškovi	2.030.046,69	0,79	0,39	0,40
UKUPNO RASHODI	14.287.529,71	5,54	3,61	1,92

Godina 1995.

Količina prodane vode, m ³		2.349.987		
ELEMENTI	IZNOS	CIJENA PO m ³		
		UKUPNO	KUPLJENA	VLASTITA
	Udio	100%	36%	64%
PRIHODI OD PRODANE VODE	12.546.396,67	5,34	5,34	
Kupljena voda	4.346.727,72	1,85	1,85	-
Materijalni troškovi	3.160.719,55	1,34	0,48	0,86
Amortizacija	2.645.655,61	1,13	0,41	0,72
Brutto plaće	2.086.286,51	0,89	0,32	0,57
Nematerijalni troškovi	2.384.881,87	1,01	0,37	0,65
UKUPNO RASHODI	14.624.271,26	6,22	3,42	2,80

Godina 1996.

Količina prodane vode, m ³		2.378.103		
ELEMENTI	IZNOS	CIJENA PO m ³		
		UKUPNO	KUPLJENA	VLASTITA
	Udio	100%	40%	60%
PRIHODI OD PRODANE VODE	12.652.449,92	5,32	5,32	
Kupljena voda	5.091.611,43	2,14	2,14	-
Materijalni troškovi	3.675.653,36	1,55	0,62	0,93
Amortizacija	2.668.339,66	1,12	0,45	0,67
Brutto plaće	2.170.388,75	0,91	0,37	0,55
Nematerijalni troškovi	2.283.888,73	0,96	0,38	0,58
UKUPNO RASHODI	15.889.881,93	6,68	3,96	2,72

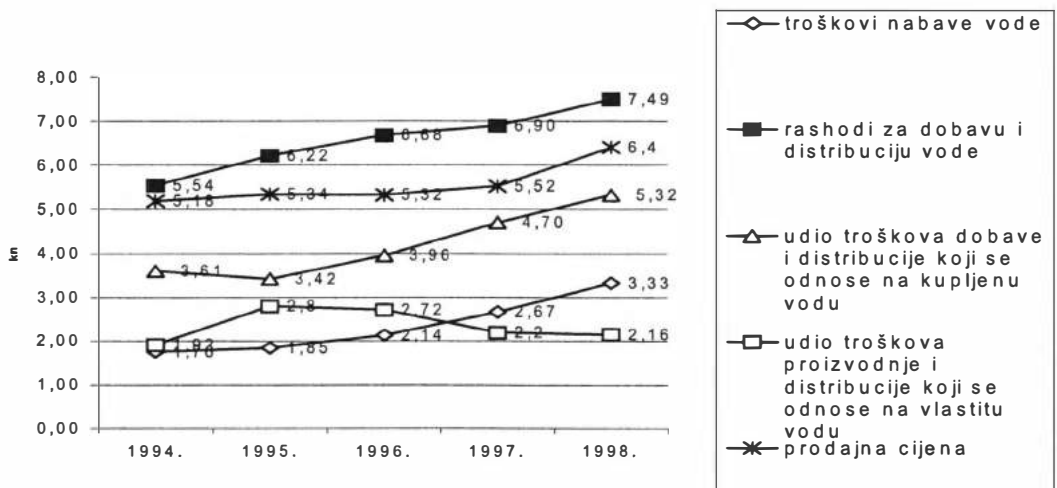
Godina 1997.

Količina prodane vode, m ³		2.471.810		
ELEMENTI	IZNOS	CIJENA PO m ³		
		UKUPNO	KUPLJENA	VLASTITA
	Udio	100%	48%	52%
PRIHODI OD PRODANE VODE	13.650.321,33	5,52	5,52	
Kupljena voda	6.601.714,96	2,67	2,67	-
Materijalni troškovi	2.824.181,15	1,14	0,55	0,59
Amortizacija	2.443.904,84	0,99	0,47	0,51
Brutto plaće	2.682.773,17	1,09	0,52	0,56
Nematerijalni troškovi	2.492.792,21	1,01	0,48	0,52
UKUPNO RASHODI	17.045.366,33	6,90	4,70	2,20

Godina 1998.

Količina prodane vode, m ³		2.404.933		
ELEMENTI	IZNOS	CIJENA PO m ³		
		UKUPNO	KUPLJENA	VLASTITA
	Udio	100%	48%	52%
PRIHODI OD PRODANE VODE	15.392.803,70	6,40	6,40	
Kupljena voda	7.996.866,74	3,33	3,33	-
Materijalni troškovi	2.340.231,03	0,97	0,47	0,51
Amortizacija	2.805.306,02	1,17	0,56	0,61
Brutto plaće	2.728.743,27	1,13	0,54	0,59
Nematerijalni troškovi	2.130.523,91	0,89	0,43	0,46
UKUPNO RASHODI	18.001.670,97	7,49	5,32	2,16

Dijagram 3 prikazuje kretanje prihoda i rashoda svedenih na 1m³ prodane vode.



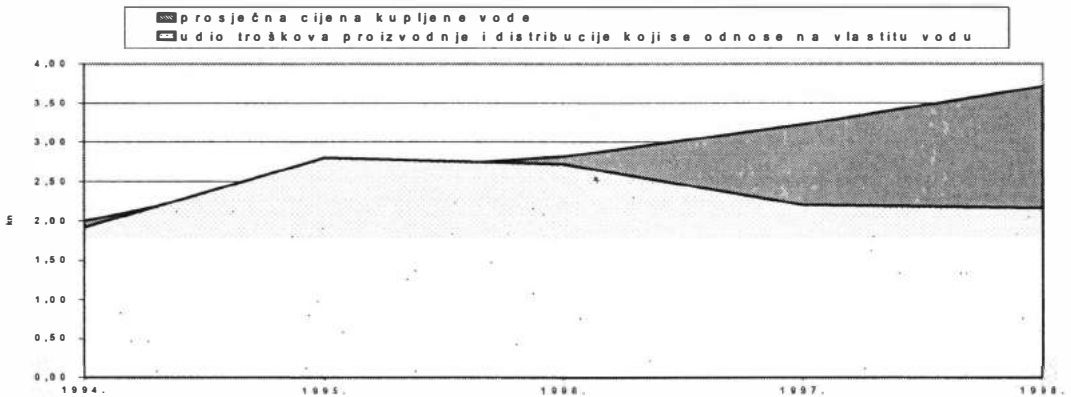
Dijagram 3. Kretanje prihoda i rashoda svedenih na 1 m³ prodane vode.

Tabela 4 prikazuje usporedbu troška proizvodnje i distribucije do krajnjih potrošača vlastite prodane vode sa prosječnom cijenom kupljene vode.

Tablica 4. Troškovi proizvodnje i distribucije do krajnjeg potrošača vlastite prodane vode i prosječna cijena vode (u kunama).

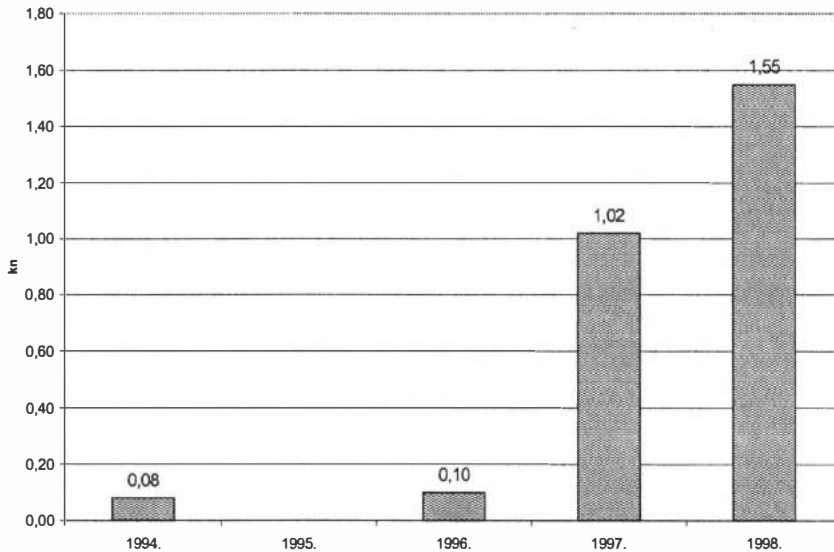
Godina	Troškovi proizvodnje i distribucije do krajnjeg potrošača vlastite prodane vode (iz tabele 3)	Prosječna cijena kupljene vode (iz tablice 1.)
1994.	1,92	2,00
1995.	2,80	2,61
1996.	2,72	2,82
1997.	2,20	3,22
1998.	2,16	3,71

Uspoređujući troškove dobave naše vlastite vode sa cijenom vode koja se kupuje iz područja u kojima postoji višak prirodnog bogatstva vode, dijagram 4, evidentno je da cijena 1 m³ vode koju kupimo sadrži i troškove distribucije do krajnjeg potrošača, a koju distribuciju u slučaju potrošača Opatijske rivijere ne obavlja riječki ili bistrički vodovod već komunalno poduzeće Grada Opatije, te općina Lovran, Matulji i Mošćenička Draga.



Dijagram 4. Kretanje cijena kupljene vode i troškova proizvodnje i distribucije vlastite vode od 1994-1998.g.

Tako potrošač na području Opatijske rivijere plaća udvostručene troškove distribucije (i riječkom odnosno bistričkom i opatijskom vodovodu) plus nadograđeni iznos od 1,55 u 1998.g. (u 1997. godini on je iznosio 1,02 kn/ m³, u 1996.g. 0,10 kn/ m³, u 1995.g. ga nije bilo, u 1994.g. 0,08 kn/ m³) kao dodatnu dobit riječkom odnosno bistričkom vodovodu, dijagram 5.



Dijagram 5. Koliko je cijena vode koju kupujemo veća od ukupnih troškova proizvodnje i distribucije naše vode?

5. Zaključak

Budući da voda predstavlja prirodno bogatstvo jedne države, onda se njome ne može raspolagati na način da pojedine jedinice lokalne samouprave na njoj zarađuju i ucjenjuju isporukom, a druga je dobiva pod prohibitivnim uvjetima. U konačnosti je gubitnik upravo država u kojoj se prirodnim bogatstvom loše gospodari i narušava jedinstveno hrvatsko tržište.

Uz visoke troškove kupovanja vode komunalna tvrtka nije u mogućnosti ispoštovati svoju zakonsku obvezu da investira u vodovodnu i kanalizacijsku infrastrukturu. Isto tako, sav teret spomenutih troškova ne može se prebaciti na korisnike usluge, tj. građane i gospodarske subjekte za koje je cijena vode i sada visoka, a iz koje cijene samo dio ostaje komunalnoj tvrtki.

Upitno je također da li se problematične uvjete uvoza vode treba ostaviti na brigu lokalnoj samoupravi.

Stoga se predlaže da država omogući tvrtkama koje se bave snabdijevanjem vodom i odvodnjom jednake uvjete za nesmetano održavanje i razvijanje sustava putem daljnjeg neophodnog investiranja.

Literatura

1. Zakon o komunalnom gospodarstvu (Narodne novine 36/95, 70/97)
2. Zako o vodama (Narodne novine 107/95)
3. Financijska, poslovna i statistička izvješća poduzeća Komunalac d.o.o. Opatija

Autorica:

Mr.sc. Lidija Runko Luttenberger, dipl.ing., Komunalac d.o.o. Opatija, Stubište Lipovica 2, 51410 Opatija, Hrvatska

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.19.

Procjena utjecaja na okoliš u sustavu građenja, prostornog uređenja i upravljanja vodama

Franjo Vančina

SAŽETAK: U radu se analizira dosadašnji postupak procjene utjecaja na okoliš za objekte u Hrvatskoj za koje je obvezna izrada Studije o utjecaju na okoliš (SUO).

Daje se i prikaz osnovnih faza građenja te odnos tih faza i zaštite okoliša i zaštite voda.

Ukazuje se i na određene neusklađenosti zakonskih odredbi koji se odnose na izradu SUO u zakonima o građenju, prostornom uređenju, zaštiti okoliša i zaštiti voda te se daju prijedlozi za njihovo usklađenje.

Na kraju rada daje se prijedlog novog, nešto drugačijeg načina vršenja procjene utjecaja u odnosu na sadašnji, koji se zasniva na odnosu objekta i okoliša u svim fazama građenja.

KLJUČNE RIJEČI: prostorno uređenje, građenje, procjena utjecaja, Studija utjecaja na okoliš, Ekološka studija;

Environmental Impact Assessment of Building, Physical Planning and Water Resources Management Activities

SUMMARY: The paper analyzes procedures applied to environmental impact assessment if projects for which the Croatian law demands development of an Environmental Impact Study.

The basic construction stages are presented and their interrelation with the environmental protection and water conservation.

Same discrepancies related to the Environmental Impact Study preparation contained in legislation on building, physical planning, environmental protection and water conservation are discussed and proposals for their harmonization given.

The paper also presents a proposal for a new and somewhat different method of environmental impact assessment based on project-environment relation throughout all the construction stages.

KEY WORDS: physical planning, building, environmental impact assessment, Environmental Impact Study

1. Uvod

Građenje je ljudska djelatnost koja osigurava čovjeku prostor za život i rad, ali i djelatnost koja u velikoj mjeri koristi prostor, utječe na njega i mijenja ga.

Građenje, posredno i neposredno utječe na gotovo sva područja ljudske djelatnosti, a zaštita javnih i drugih interesa (probitaka) u tim područjima uređena je u brojnim zakonima i propisima.

Prostornim uređenjem osiguravaju se uvjeti za gospodarenje, zaštitu i upravljanje prostorom kao osobito vrijednim i ograničenim dobrom. Gospodarenjem, zaštitom i upravljanjem prostorom ostvaruju se uvjeti za društveni i gospodarski razvoj, zaštitu okoliša, racionalno korištenje prirodnih i povijesnih dobara na načelu integralnog pristupa u planiranju prostora. [19]

U okviru praćenja provedbe dokumenata prostornog uređenja utvrđuje se i lokacija za izvođenje nekog zahvata u prostoru (lokacijska dozvola)

Zaštitom okoliša osigurava se cjelovito očuvanje kakvoće okoliša, očuvanje prirodnih zajednica, racionalno korištenje prirodnih izvora i energije na najpovoljniji način za okoliš kao osnovni uvjet zdravog i održivog razvoja.

Osnovni ciljevi zaštite okoliša u ostvarivanju uvjeta za održivi razvoj jesu:

- trajno očuvanje izvornosti, biološke raznolikosti prirodnih zajednica i očuvanje ekološke stabilnosti;
- očuvanje kakvoće žive i nežive prirode i racionalno korištenje prirode i njezinih dobara;
- očuvanje i obnavljanje kulturnih i estetskih vrijednosti krajolika;
- unapređenje stanja okoliša i osiguranje boljih uvjeta života.

Pored ove tri osnovne djelatnosti za građenje i procjenu utjecaja tog građenja na okoliš od najvećeg značenja je i četvrta djelatnost, a to je *vodno gospodarstvo*, i u okviru njega *upravljanje vodama*[20]

Voda je jedan od najvažnijih elemenata prostora i sastavni dio građenja, prostornog uređenja i zaštite okoliša kao njihov nezaobilazni dio. Upravljanje vodama uključuje korištenje voda, zaštitu voda, uređenje vodotoka i drugih voda i zaštitu od štetnog djelovanja voda.

Iz ovih definicija vidljivo je da su *građenje, prostorno uređenje, zaštita okoliša i upravljanje vodama* čvrsto povezani, isprepleteni i međusobno uvjetovani. Niti jednu od ovih djelatnosti nije moguće promatrati odvojeno od ostalih. Zbog toga će se i osnovna tema ovog rada, a to je *procjena utjecaja na okoliš* promatrati u okviru svih tih djelatnosti.

2. Građenje, zaštita okoliša i zaštita voda

Svako građenje manje ili više utječe na prostor (okoliš) ali ozbiljnije probleme u prostoru stvaraju velike i tehnološki složene građevine kao što su prometne, energetske, vodne, proizvodne, komunalne i druge. Te građevine svojim fizičkim obujmom i tehnologijom imaju znatni utjecaj na prostor – *neposredni i posredni*.

Građenje tih velikih i složenih zahvata pored utjecaja na prostor u fizičkom smislu – na tlo, vodu, zrak, biljni i životinjski svijet uključujući i samog čovjeka (kao živu prirodu), te na izgrađenu (neživu prirodu), ima i svoju sociološku, politološku, etičku i psihološku dimenziju.[15]

Zbog toga svako građenje ovakvih zahvata je *dug, složen i zahtjevan proces* s velikim brojem sudionika raznih struka i djelatnosti, s različitim zahtjevima i interesima, i proces koji iziskuje vrlo dobru organizaciju i koordinaciju svih sudionika da bi se postigao optimalni rezultat. Cijeli proces građenja odvija se u *četiri manje ili više zaokružene cjeline* koje imaju svoje specifičnosti, u kojima se primjenjuju različiti propisi, izrađuju različiti dokumenti i donose različite odluke. Zbog toga se *odnos građenja i okoliša mora promatrati u okviru te četiri cjeline (faze)*.

To su slijedeće faze:

1. *Prostorno uređenje*, koje unutar sebe ima i tri podcjeline: dokumenti, praćenje stanja u prostoru, dokumenti prostornog uređenja i provođenje dokumenata prostornog uređenja (lokacijska dozvola).
2. *Izrada projektne dokumentacije* i to: idejni, glavni i izvedbeni projekti i građevna dozvola.
3. *Izgradnja (građenje) objekta* i to: samo građenje i montiranje opreme, tehnički pregled i uporabna dozvola.
4. *Korištenje objekta* kroz cijeli vijek njegova trajanja.

Zaštita okoliša u navedenim cjelinama (fazama) odvija se:

- U okviru *prostornog uređenja* kroz ocjenu stanja, po pojedinim dijelovima okoliša, kroz prostorno razvojne i resursne značajke, ocjenu stanja mogućnosti i ograničenja razvoja te kroz zaštitu prirodnih i kulturnih vrijednosti. U okviru prostornog uređenja dakle vrši se i prva procjena utjecaja planiranog razvoja na okoliš, a u okviru njega i konkretnih zahvata u prostoru (lokacijska dozvola).
- U okviru *izrade projektne dokumentacije* zaštita okoliša provodi se iznalaženjem najsvrsishodnijih tehničkih i tehnoloških rješenja, a u skladu sa zahtjevima iz lokacijske dozvole. Da je projektna dokumentacija zadovoljila sve postavljene zahtjeve utvrđuje se *građevnom dozvolom* kojom se i odobrava građenje.
- U okviru *samog građenja objekta* zaštita okoliša provodi se ispravnim građenjem, ugradnjom potrebne opreme i uređaja za zaštitu okoliša te kontrolom same gradnje.
- Za vrijeme *korištenja objekta* zaštita okoliša provodi se stalnim ili povremenim nadzorom i kontrolom (inspekcija) te poduzimanjem potrebnih mjera radi uklanjanja eventualnih opasnosti od prijetećeg ili već nastalog poremećaja. To je zaštita na samom objektu, a zaštita šireg područja u zoni mogućeg utjecaja radom objekta provodi se povremenim praćenjem i analizom stanja u tom području i usporedbom sa stanjem prije izgradnje tog objekta, a u slučaju potrebe poduzimanjem dodatnih zaštitnih mjera (izmjena tehnologije, dogradnja zaštitnih uređaja i opreme i drugo).

3. Procjena utjecaja na okoliš (SUO)

Sve do sedamdesetih godina u svijetu pa i kod nas u Hrvatskoj građenje se odvijalo manje više uhodanim načinom bez ozbiljnije skrbi o prostoru odnosno okolišu. Tek 1972. godine poznata Stockholmska konferencija o ljudskom okolišu definirala je problem onečišćenja i zaštite okoliša kao *globalni problem*. Trebalo je proći daljnjih 20 godina da svijet konačno shvati da se o okolišu ne može raspravljati *odvojeno od gospodarskog i društvenog razvoja*. To je potvrđeno 1992. godine na Konferenciji UN o okolišu i razvoju u Rio de Janeiru gdje je sudjelovalo 179 država među njima i Hrvatska. Na toj Konferenciji donešena je i poznata AGENDA 21- kojom je utvrđen *princip održivog razvoja*.

Održivi razvoj je ukratko, proizvodnja s minimalno štetnim učincima na biosferu.[12] Prve *Studije utjecaja na okoliš (SUO)* propisane su u Sjedinjenim Američkim Državama 1970. godine, a u Hrvatskoj već tri godine kasnije u tadašnjem “Zakonu o prostornom uređenju i korištenju građevinskog zemljišta” (NN br. 14/73). To je bio logičan slijed “Rezolucije o zaštiti čovjekove okoline” koja je donešena u tadašnjem Saboru SRH, 1972. godine (tjedan dana prije održavanja Stockholmske konferencije) i u kojoj su utvrđeni osnovni principi i zadaci u zaštiti okoliša u Hrvatskoj.

Može se dakle ustvrditi da je Hrvatska *među prvim zemljama u svijetu uvela zakonsku obvezu izrade SUO.*

Prva zakonska obveza izrade SUO *u okviru građenja* uvedena je “Zakonom o izgradnji objekata” (NN br. 20/75), tada pod nazivom “ekološka studija”.

Istovremeno sa donošenjem ovih zakona izrađen je u okviru “Projekta Jadran 3”, a u suradnji sa UNDP-om prvi *pokusni model procjene utjecaja privrednog razvoja i okoline grada Rijeke* kao model za šire područje, a prve SUO za konkretne zahvate u prostoru rađene su po donošenju Zakona o izgradnji 1975. godine i to za Terminal naftovoda i nešto kasnije za kompleks Petrokemije u Omišaljском zaljevu na otoku Krku.[4]

Od tada do danas u Hrvatskoj izrađeno je (prema slobodnoj procjeni autora) više od 500 SUO za razne vrste zahvata odnosno objekata. Ocjena korisnosti izrade tih SUO dana je u *Strategiji prostornog uređenja Republike Hrvatske* [8] koja glasi: “Uz navedene postupke (misli se na prostorno planiranje, op. autora) u funkciji zaštite okoliša dosada se pokazao najdjelotvorniji postupak procjene utjecaja na okoliš (studija podobnosti smještaja i utjecaja na okoliš), kao stručna i normativna predinvesticijska aktivnost sa svrhom da se na vrijeme upozori na ekološke rizike kao i nužne mjere zaštite sukladne prihvatnim mogućnostima analiziranog prostora. Rezultati procjene utjecaja ugrađuju se u provedbene mjere kojima se normiraju obveze potencijalnih investitora”.

Unatoč ovako pozitivnoj ocjeni danas u izradi SUO postoji dosta lutanja i nelogičnosti i to u svim fazama njene izrade. Veći dio proizlazi iz nedovoljno usuglašenih zakonskih odredbi.

Što je ustvari SUO i koja je svrha njene izrade?

SUO je dokument koji se izrađuje kao podloga za procjenu usklađenosti odgovarajućeg zahvata u prostoru s okolišem.

Temeljni ciljevi SUO su višestruki i to:

- utvrditi mogući utjecaj nekog zahvata na okoliš njegovim fizičkim obujmom (dakle u građevnom smislu);
- utvrditi dopuštene količine tvari koje se u određenom prostoru mogu ispuštati iz određenog zahvata;
- izvršiti procjenu troškova zaštitnih mjera uvjetovanih osnovnim ciljem svrhovitim poslovanjem planiranog zahvata.

Iz ovih ciljeva proizlazi i nužnost ocjene ili procjene *prijamne sposobnosti okoliša* (prihvatne mogućnosti, kapaciteta prostora) na onom dijelu prostora koji može biti pod utjecajem tog zahvata (To se postiže izradom “ekološke studije”).

SUO je nužno izrađivati na početku pripreme pojedinih razvojnih programa, odnosno u okviru pripremnih radova za izgradnju određenog zahvata i to na slijedećim mjerilima: veličini utjecaja, području obuhvaćenom utjecajem, značajkama posebne osjetljivosti, razdoblja trajanja utjecaja i mogućnostima obnove prirodnih bogatstava. [12]

Prema Zakonu o zaštiti okoliša (članak 25, al. 2) “procjenom utjecaja na okoliš sagledava se mogući nepovoljni utjecaj namjeravanog zahvata na tlo, vodu, more, zrak, šume, klimu, zdravlje ljudi, biljni i životinjski svijet, krajolik, prostorne i kulturne vrijednosti, njihove međudnose uzimajući u obzir i druge planirane zahvate i mogući međeutjecaj s postojećim i planiranim zahvatima na području na kojem se sagledava utjecaj tog zahvata”. [21]

Ovakva definicija procjene komplicirana je, neselektivna i prilično nejasna. Ona navodi na to da *svaki zahvat ima nepovoljni utjecaj na okoliš* i to na *sve prirodne i kulturne vrijednosti* što sigurno u najvećem broju slučajeva nije tako. Iako ova odredba očito

ima karakter "općenite obveze" ona se ipak mora kao zakonska obveza dosljedno provoditi u praksi što izaziva niz nejasnoća. Osim toga elementi procjene pretežno se odnose na "ekološku studiju", a znatno manje na SUO što je daljnji nedostatak. Razlika između njih je velika.

Ekološka studija proučava stanje nekog ekosustava (ili više njih), a predmet proučavanja je i unos neke vrste "zagađivala" i njegovog utjecaja na jedinke koje žive u tom ekosustavu i na njihovo stanište. One se mogu izrađivati u svrhu *utvrđivanja stanja okoliša* kao podloge za prostorno planiranje ili *nakon izgradnje nekog zahvata* (i nakon određenog vremena njegovog funkcioniranja) u svrhu ocjene stvarnog utjecaja tog zahvata na promatrani ekosustav, odnosno promjene u njemu.

Studija o utjecaju na okoliš (SUO), međutim je studija u kojoj je *predmet proučavanja konkretan zahvat* i njegov mogući utjecaj na okoliš (i negativni i pozitivni). Osnovni cilj je pri tome, kako je ranije već rečeno, utvrditi utjecaj samim fizičkim obujmom zahvata, utvrditi dopuštene količine tvari koje se mogu ispuštati i izvršiti procjenu troškova zaštitnih mjera. Ovo posljednje se u citiranom članku 25, Zakona uopće ne spominje.

4. Važeci propisi

Nakon prvih zakona iz 1972. i 1975. godine izrada SUO je preciznije regulirana u "Zakonu o prostornom planiranju i uređenju prostora" (NN br. 54/80), a nešto kasnije i "Pravilnikom o izradi studije o utjecaju na okoliš" (NN br. 3/84). Ove odredbe bile su na snazi do 1994. godine kada je donešen "Zakon o zaštiti okoliša" (ZZO)[21], a 1997. godine i nova "Uredba o procjeni utjecaja na okoliš" [13], i posebna "Uredba o uvjetima za izdavanje suglasnosti za obavljanje stručnih poslova zaštite okoliša" [14].

Izrada SUO bila je dakle do 1994. godine u okviru sustava prostornog uređenja jer je ista u biti "specijalna vrsta prostorne studije"[4]. No donošenjem ZZO-a taj postupak preseljen je u taj zakon i dan u nadležnost Državnoj upravi za zaštitu prirode i okoliša (DUZPO). Od tada on se odvija samostalno i neovisno od sustava prostornog uređenja i građenja koje je ostalo u nadležnosti Ministarstva prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja.

Donošenje ZZO zahtjevalo je izdvajanje brojnih odredbi o zaštiti okoliša koje su ranije bile sadržane u Zakonu o prostornom uređenju (ZPU) i brojnim drugim zakonima i prebacivanje istih u ZZO. To se većim dijelom i uspjelo ali je ipak ostalo niz neusklađenosti koje su prisutne i danas. Te neusklađenosti su posebno naglašene između ZZO te Zakona o prostornom uređenju [19], Zakona o građenju [18] i Zakona o vodama[20].

U nastavku pokušat ću najkraće ukazati na neke od njih:

U ZZO propisan je detaljni sadržaj SUO, postupak ocjene te izdavanje *Rješenja* kojim se daje ili uskraćuje odobrenje za izvođenje nekog zahvata. To znači da je ovim zakonom SUO dana vrlo velika važnost kao dokumentu na osnovi kojega se izdaje čak i *odobrenje za izvođenje nekog zahvata*.

Istovremeno ZPU propisuje da je citirano Rješenje DUZPO-a samo *jedan od uvjeta za lokacijsku dozvolu* u okviru drugih potrebnih uvjeta (suglasnost, odobrenje, rješenje) koja se izdaje prema posebnim propisima.

Lokacijska dozvola *nije dozvola za građenje*. Ista samo utvrđuje *pod kojim uvjetima* se može planirani zahvat izvesti na toj lokaciji.

Među tim posebnim propisima su i zakoni o vodama, o zaštiti prirode, o šumama, o zaštiti zraka, o poljoprivrednom zemljištu, o sanitarnoj inspekciji, o otpadu, o spomenicima kulture i drugo, a i ZZO.

Svi ti uvjeti već su (ili su trebali biti) sadržani u SUO odnosno u Rješenju koje je izdala DUZPO.

Osim toga prema ZUP-u (član 37 i 37a) za izdavanje lokacijske dozvole potrebno je priložiti *Stručnu podlogu* koja mora sadržavati *elemente zahvata u prostoru i moguće utjecaje tog zahvata na okoliš* određene dokumentima prostornog uređenja, a ista je *polazna osnova za izradu SUO*.

Zadnjom izmjenom ZUP-a (član 36. str. 1, al. 8) uvedena je novina pa se lokacijskom dozvolom više ne određuju “mjere zaštite okoliša” iz SUO-a, već “*način spriječavanja nepovoljnog utjecaja na okoliš*”. Time je na istovjetan način određen sadržaj lokacijske dozvole za sve vrste zahvata u prostoru bez obzira na to je li posebnim propisom utvrđena obveza provođenja postupka procjene utjecaja[9]. Očito je da postoji značajno preklapanje ova dva postupka.

U Zakonu o vodama(ZV) propisano je izdavanje vodopravnih akata, a među njima su i “*vodopravni uvjeti*”, koji su sastavni dio lokacijske dozvole. Prema Pravilniku [7] članak 5, uz zahtjev za izdavanje potrebno je uz podatke o lokaciji, tehničke podatke o objektu, opis tehnološkog procesa, količini, kakvoći i vrsti potrebnih sirovina, o načinu opskrbe vodom, o dispoziciji otpadnih voda i drugih podataka priložiti i *SUO sa ocjenom stručne komisije*. SUO već sadrži sve prethodne podatke. Osim toga najčešće SUO izrađuje jedna stručna organizacija, a stručnu podlogu za “*vodopravne uvjete*” druga, bez međusobne suradnje.

Na osnovi ZZO donešena je 1997. godine posebna Uredba [14] kojom se propisuju uvjeti koje mora ispunjavati pravna osoba za obavljanje stručnih poslova zaštite okoliša. Za sada ću zanemariti činjenicu da je donošenje ovakve Uredbe u cjelini upitno jer je *neopravdano i praktično nemoguće izdvajati “stručne poslove zaštite okoliša” kao neke posebne stručne poslove* jer ni zaštita okoliša nije posebna, izdvojena djelatnost nego je sadržana u svim djelatnostima.

Ni sam naziv uredbe nije adekvatan za ono što uređuje. Točniji naziv bio bi uz dodatak na kraju *iz nadležnosti DUZPO-a*.

Za sada zadržat ću se na komentaru *uvjeta za izradu SUO*.

To su prema članku 4 i 6 Uredbe slijedeći uvjeti:

- *najmanje tri zaposlenika* visoke stručne spreme, 5 godina iskustva na poslovima mjerenja emisija u okoliš i praćenje prirodnih i drugih pojava...
- *radni prostor u vlasništvu ili zakupu* ... koji omogućava mjerenje...
- *tehničku opremu s ovjerenim mjernim uređajima*...

Očito je da se ovdje radi o *uvjetima za laboratorije* u kojima se obavljaju određena mjerenja prije svega za ocjenu stanja u prostoru i razne “ekološke studije”.

Moram podsjetiti da je od 1975. godine do donošenja ove Uredbe u Hrvatskoj izrađeno više stotina SUO za razne vrste objekata i za vrlo složene zahvate, a te SUO su izrađivale brojne prostorno-planerske, projektne, i druge stručne i znanstvene institucije i to vrlo kvalitetno(u izradi brojnih SUO u tom razdoblju i osobno sam sudjelovao).

Za kvalitetnu izradu SUO bitna je *stručnost koordinatora (glavnog voditelja) SUO i stručnost suradnika raznih specijalnosti* (ovisno o vrsti zahvata za koji se izrađuje SUO),

odnosno *njihove reference*, a nikako ne broj zaposlenika, radni prostor i tehnička oprema. Ovu odredbu trebalo bi svakako izmijeniti i propisati uvjete isključivo prema *stručnim referencama*.

5. Rasprava

Procjenu utjecaja na okoliš odnosno izradu SUO reguliraju dakle Zakon o zaštiti okoliša, Zakon o prostornom uređenju, Zakon o građenju, Zakon o vodama i drugi posebni zakoni. Odredbe koje se u tim zakonima odnose na procjenu utjecaja nisu međusobno u dovoljnoj mjeri usklađene i treba ih uskladiti.

Procjenu odnosno ocjenu utjecaja na okoliš treba na odgovarajući način uključiti tj. provoditi u *svim fazama građenja*, a ne jednokratno samo u postupku izdavanja lokacijske dozvole.

Ovdje treba naglasiti da se u prve dvije faze- prostornom uređenju i projektiranju, radi o *procjeni utjecaja*, a u druge dvije faze-građenju i korištenju objekta o *ocjeni stvarnog utjecaja*.

Sadašnji ZPU i ZV to omogućuju, a njima se priključuje i *Prijedlog zakona o izgradnji*. [22] koji zasniva svoje odredbe na usklađenju s Europskim smjericama (82/106/EEC i 89/106/EEC) i temeljnim dokumentima EEC (list EU 94/C 62/01) koji određuju *šest bitnih zahtjeva za građevinu*, i to:

- mehaničku otpornost i stabilnost;
- protupožarnu zaštitu;
- higijenu zdravlja i zaštitu okoliša;
- sigurnost korištenja;
- zaštita od buke i;
- uštedu energije i toplinsku zaštitu.

U okviru *higijene zdravlja i zaštite okoliša* zahtjevi su slijedeći:

- ispuštanje štetnih i opasnih plinova;
- prisustvo opasnih čestica i plinova u zraku;
- emisija opasnih zračenja;
- zagađivanje ili onečišćavanje vode i tla;
- nepravilno odstranjivanje otpadnih voda, plinova, krutog i tekućeg otpada;
- prisustvo vlage u dijelovima građevine ili na površinama unutar građevine;

Zadovoljenje ovih zahtjeva i provjera istih postiže se u slijedećim projektima:

- *idejnom projektu* – zadovoljenje u tehničkom opisu;
- *glavnom projektu* – u okviru kojeg se izrađuju arhitektonski projekt, građevni projekt, projekt instalacija, projekt ugradnje opreme i druge potrebne vrste projekata (ovisno o vrsti građevine);
- *kontrola projekata* – može obuhvatiti i provjeru drugih bitnih zahtjeva pa i zaštitu okoliša;
- *tehnički pregled* – moraju se pridružiti i stručnjaci koji se bave zaštitom zdravlja, zaštitom okoliša, sigurnosti i dr. [3].

Građevnom dozvolom (na kraju ove faze projektiranja) potvrđuje se da je projektna dokumentacija izrađena u skladu s postavljenim zahtjevima iz lokacijske dozvole (dakle i zahtjevima zaštite okoliša) i tek sada se daje *pravo investitoru da započne s građenjem*.

Shodno navedenom trebalo bi razmisliti o razdvajanju današnje SUO na *dva dijela*:

- dio koji se izrađuje za *potrebe izdavanja lokacijske dozvole* i koji težište daje na prostornim elementima - odnosima u prostoru i procjeni mogućeg utjecaja konkretnog zahvata na okoliš, ali do razine idejnog rješenja (to je pojednostavljena sadašnja SUO);
- dio koji se *izrađuje u fazi projektiranja* i u kojem bi težište bilo na konkretnim tehnološkim rješenjima i odabiru odgovarajuće opreme za zaštitu okoliša.

Prvi dio trebalo bi objediniti sa Stručnom podlogom iz članka 37 i 37a ZPU u *jedan dokument* koji bi bio podloga za utvrđivanje svih “posebnih uvjeta i suglasnosti”, pa i one koje izdaje DUZPO. Ista bi trebala biti i podloga (jedna od podloga) za utvrđivanje “vodopravnih uvjeta”.

Drugi dio bio bi vezan uz *tehnološki projekt* (i druge vrste projekata), a trebao bi sadržavati i treći element procjene, a to su *konkretni troškovi* koji proizlaze iz predviđenih zaštitnih mjera, odnosno “načina spriječavanja nepovoljnog utjecaja na okoliš”.

Ovakav način zahtjevao bi i promjenu nadležnosti u vođenju samog postupka SUO pa bi u tom slučaju isti trebao biti u nadležnosti Ministarstva prostornog uređenja graditeljstva i stanovanja.

DUZPO bi pri tome zadržao nadležnost za davanje uvjeta (suglasnosti, mišljenja, rješenja) za zaštitu okoliša *u svim fazama građenja*.

Izradu svih tih dokumenata trebalo bi omogućiti svim stručnim organizacijama, znanstvenim i drugim institucijama registriranim za obavljanje poslova prostornog uređenja, projektiranja i zaštitu okoliša i to osnovi *stručnih referenci i na tržišnom principu*.

Odgovornost za kvalitetu izrade SUO i drugih stručnih elaborata i dokumenata ionako leži na investitoru kao naručitelju i stručnoj organizaciji kao izvršitelju, u višestrukom postupku ocjene – komisija za ocjenu, DUZPO, MPUGS, Državne uprave za vode (DUV) i drugi nadležni organi prema posebnim propisima.

6. Zaključak

Osamostaljivanje Republike Hrvatske te ulaskom u novo političko i gospodarsko okruženje započele su naročito zadnjih nekoliko godina značajne promjene u regulativi općenito pa i u građevnoj regulativi, u regulativi prostornog uređenja, voda itd. i njihovo približavanje istoj u zemljama Europske unije.

Pri tome osnovna je intencija da se zaštita okoliša maksimalno uključi u sve te zakone. Zadnjim izmjenama ZPU-a i ZV-a, a posebno Prijedlogom zakona o izgradnji (koji je u saborskoj proceduri) to je i učinjeno pa je logično očekivati da se važeći ZZO uskladi s tim promjenama.

To se posebno odnosi na postupak procjene utjecaja na okoliš koji se nije bitnije mijenjao u posljednjih dvadesetak godina (od 1980. godine).

Zbog toga poželjno je inicirati raspravu o tom zakonu sa ciljem njegova poboljšanja i usklađenja s drugim zakonima koji reguliraju razna pitanja zaštite okoliša, a u okviru *jasne definicije pojma zaštite okoliša*.

Literatura

1. Črnjar, M.: Ekologija i zaštita okoliša, Školska knjiga, Zagreb, Glosa, Rijeka; Zagreb – Rijeka 1997.
2. Gašparović, F., Simončić, V.: Zaštita okoliša – put do planiranog razvoja i upravljanja okoliša, Zbornik radova, Savjetovanje: Osnova strategije zaštite voda i mora od zagađivanja u Republici Hrvatskoj, Opatija, 1993.
3. Kritovac, F., Zmajčić, B.: Higijena, zdravlje i zaštita okoliša i Sigurnost u korištenju, Zbornik radova pod 9.
4. Kušen, E., Ungar, P., Vančina, F.: Privredni razvoj i prostorno uređenje, Privredni razvoj i čovjekova radna i životna okolina, Zbornik radova sa savjetovanja, Opatija 1979.
5. Mastrović, M.: Prostorno planiranje i zaštita okoliša s posebnim osvrtom na zaštitu voda, Zbornik radova pod 2.
6. Pravdić, V.: Studije utjecaja na okolinu kao komponenta integralnog planiranja razvoja, Institut za turizam, Zbornik radova sa savjetovanja: Turizam i prostor - ekološki aspekti konfliktnih situacija, Zagreb, 1987.
7. Pravilnik o izdavanju vodopravnih akata, Narodne Novine br. 28, travanj 1996.
8. RH, Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja, Zavod za prostorno planiranje, Strategija prostornog uređenja Republike Hrvatske, Zagreb, srpanj 1997
9. RH, Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja, Institut građevinarstva Hrvatske – Zagreb, Zbornik radova Savjetovanje: Prostor, Komora, Gradnja, Opatija, listopad 1998.
10. RH, Ministarstvo razvitka i obnove: Hrvatska i održivi razvitak – Gospodarstvo stanje i procjena mogućnosti, Zagreb, 1998.
11. Republički sekretarijat za urbanizam SRH: Čovjekova okolina u prostornom planiranju, Zbornik radova sa savjetovanja, Opatija, 1979.
12. Tedeschi, S.: Zaštita voda, HDGI, Zagreb, 1997
13. Uredba o procjeni utjecaja na okoliš, Narodne Novine br. 34, travanj 1997.
14. Uredba o uvjetima za izdavanje suglasnosti za obavljanje stručnih poslova zaštite okoliša, Narodne Novine br. 7, siječanj 1997.
15. Vančina, F.: Čovjekova okolina – oblici i načini ugrožavanja i zaštite, Stručna biblioteka 55, ZONO. Zagreb, 1982.
16. Vančina, F.: Studije utjecaja na okolinu (SUO) danas i u uvjetima, privredne i društvene reforme, Dvanaesti susret prostornih planera Jugoslavije, Dubrovnik, travanj 1990.
17. Vančina, F.: Zaštita voda u sustavu prostornog planiranja i uređivanja prostora u Republici Hrvatskoj, Hrvatske vode, 1(1993) 1, 41-49
18. Zakon o građenju, Narodne Novine br. 77/92, 82/92, 26/93, 33/95.
19. Zakon o prostornom uređenju, Narodne Novine br. 30/94 i 68/98.
20. Zakon o vodama, Narodne Novine br. 107, prosinac 1995
21. Zakon o zaštiti okoliša, Narodne Novine br. 82, studeni 1994.
22. Prijedlog zakona o izgradnji, Zbornik pod 9.

Autor:

Franjo Vančina dipl. inž. arh., "MARKA"d.o.o., Zagreb, Baruna Trenka 4

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.20.

Utjecaj oblika loma brane na veličinu poplavnog vala

Goran Gjetvaj, Goran Lončar, Krešimir Plantić

SAŽETAK: Preljevanja ili rušenja velikih brana mogu formirati poplavne valove velike razorne moći. Štete nastale tako formiranim poplavnim valovima se često ubrajaju u nacionalne katastrofe. Da bi se smanjile štete i sačuvali ljudski životi, od neobične je važnosti unapred sagledati visinu, brzinu napredovanja i doseg poplavnog vala, te projektirati, izvesti i održavati odgovarajući sustav za uzbunjivanje i evakuaciju ugroženog stanovništva. Zbog složenosti geometrije korita po kojem se poplavni val kreće i kretanja vala po suhom koritu neravnomjerne hrapavosti, problemi određivanja oblika poplavnog vala se ubrajaju među najsloženije hidrotehničke probleme. Da bi se prikupila dodatna saznanja iz tog područja provedena su istraživanja na za tu priliku izgrađenom fizikalnom i matematičkom modelu. U ovom radu su prikazani rezultati modeliranja širenja poplavnog vala za različite stupnjeve i brzine rušenja brane. Napravljena je međusobna usporedba dobivenih rezultata obzirom na način rušenja kao i na vrste modela kojima je propagacija vala simulirana.

KLJUČNE RIJEČI: visoke brane, rušenje, propisi, poplavni val

Effect of Dam Failure Shape on Flood Wave Size

SUMMARY: Overtopping or destruction of large dams might cause flood waves of high destructive power. The damage caused by so formed flood waves is often considered as national disaster. To ameliorate the damage and save human lives, it is particularly important to foresee height, propagation speed and reach of the flood wave and consequently design, construct and maintain alert and evacuation systems for imperilled population. Due to complexity of geometry of the riverbed through which the flood wave propagates, and wave propagation along dry riverbed of uneven roughness, the problems related to determination of the flood wave shape are among the most complex hydrotechnical problems. In order to obtain additional knowledge, the researches have been conducted and flood wave propagation modelled for different dam breaking levels and speeds. The obtained results were compared with regard to way of breaking and type of model used for wave propagation simulation.

KEY WORDS: large dams, destruction, regulations, flood wave

1. Uvod

Brane su hidrotehnički objekti koji najčešće služe za akumuliranje velikih količina vode za potrebe energetike i vodoopskrbe. Obzirom da postoji mogućnost da dođe do rušenja brana, potrebno je predvidjeti posljedice koje prolom može izazvati. Prolomi brana mogu izazvati velike štete na područja nizvodno od njih pa se rušenje velikih brana često smatra nacionalnom katastrofom. Iz tog razloga je izuzetno važno spriječiti rušenje velikih brana. Za slučaj da ipak dođe do rušenja potrebno je definirati područje koje će vodni val poplaviti, te visinu i brzinu poplavnog vala.

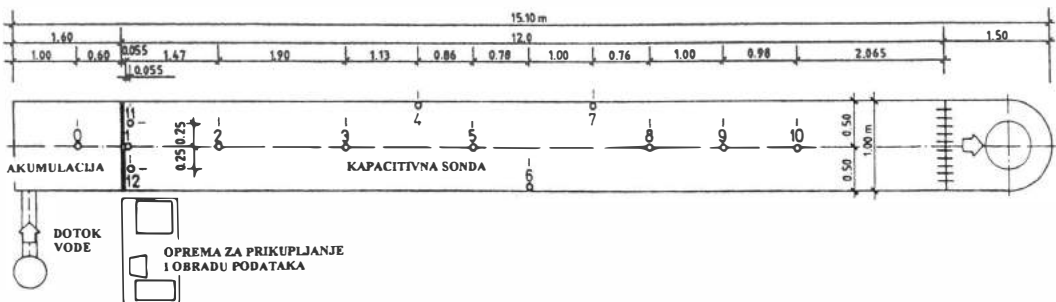
Rušenja visokih brana se spominju i kroz povijest. Neki povjesničari dopuštaju pretpostavku da je i biblijska priča o potopu imala vezu s rušenjem neke prirodne brane u Mezopotamiji (Stojić, 1997). U proteklom stoljeću je oblik poplavnih valova nakon proloma brana izučavalo niz vojnih i civilnih istraživača. Kao rezultat tog rada je proisteklo nekoliko analitičkih izraza (Stoker, 1957.) kao i matematičkih modela (Fennema and Chaudhry, 1986. Yang et al., 1993.). Kako je izuzetno teško pribaviti podatke iz prirode za verifikaciju matematičkih modela, često se za tu potrebu izrađuju fizikalni modeli (Stoner et al., 1992. Aguirre-Pe et al., 1995.).

Po brzini rušenja brane razlikujemo trenutno i postepeno a po stupnju rušenja potpuno i djelomično. Sa hidrauličkog stanovišta je najnepovoljniji slučaj trenutnog potpunog rušenje brane, pa je većina istraživača usmjerila svoj rad na definiranje veličine i brzine širenja poplavnog vala nakon takvog rušenja. Samo manji broj istraživača (npr. Mendez i Novara 1990) su istraživali propagaciju poplavnog vala i nakon postepenog rušenja.

U okviru ovog rada je ispitivano trenutno potpuno i trenutno djelomično rušenje te je ocjenjen utjecaj djelomičnog rušenja na smanjenje veličine poplavnog vala. Rezultati modeliranja širenja poplavnog vala izračunati modelom DAMBRK i izmjereni na fizikalnom modelu su uspoređeni.

2. Opis fizikalnog modela

Fizikalni model je sagrađen u Hidrotehničkom laboratoriju Građevinskog fakulteta u Zagrebu. Pravokutnog je poprečnog presjeka duljine $L=12$ m, širine $B=1$ m i visine $H=1$ m. U modelu je ugrađena drvena maketa brane koja formira akumulaciju i odvaja ju od korita (doline) po kojoj se širi poplavni val. Pozitivni nizvodni valovi u koritu kao i negativni uzvodni valovi u akumulaciji su formirani pomoću mehanizma koji trenutno podiže branu (ili dio brane). Mehanizam za podizanje se sastoji od čelične metalne konstrukcije, na kojoj su preko dva kolutura čeličnom sajlom spojeni brana i betonski uteg. Podizanje brane se postže spuštanjem betonskog utega koji prilikom pada podiže branu u periodu kraćem od $1/30$ s. Nizvodno od brane se nalazi ravna dionica korita sa mjernim sondama pomoću kojih se mjere parametri poplavnog vala, te bazen u kojeg se slijeva voda nakon pokusa. Brana je modelirana kao vertikalna stijena koju je moguće trenutno podignuti. Napravljeno je nekoliko brana, tako da se može simulirati trenutno potpuno, trenutno djelomično i djelomično postepeno rušenje. Postepeno rušenje se simulira izvlačenjem pojedinih segmenata brane. Dno kanala je betonsko te ima pad $I=0.0001$, sa Manningovim koeficijentom hrapavosti $n=0.02$. Bočne stijenke su staklene. Tlocrt modela je prikazan na slici 1.



Slika 1. Tlocrt fizikalnog modela

Promjene razine vode na pojedinoj sondi, čime je opisan oblik poplavnog vala, se mjere pomoću kapacitativnih sondi na dvanaest lokacija, od čega je jedna u akumulaciji a jedanaest ih je nizvodno od brane. Položaj mjerni sondi je prikazan na slici 1. Kapacitativne sonde su spojene na pojačalo, gdje je promjena kapaciteta pretvorena u odgovarajući napon. Analogno-digitalni pretvarač pretvara analogni signal iz pojačala u digitalnu vrijednost i zapisuje u memoriju računala. Jedan od kanala je iskorišten za spajanje markera kojim se točno definira vrijeme rušenja brane. Za svaku kapacitativnu sondu je kalibracijom određen odnos između digitalne vrijednosti koju zapisuje računalo i razine vode. Odnos između razine vode i vrijednosti zapisanih u računalu je bio linearan. Cijeli sustav prikuplja 100 podataka u sekundi.

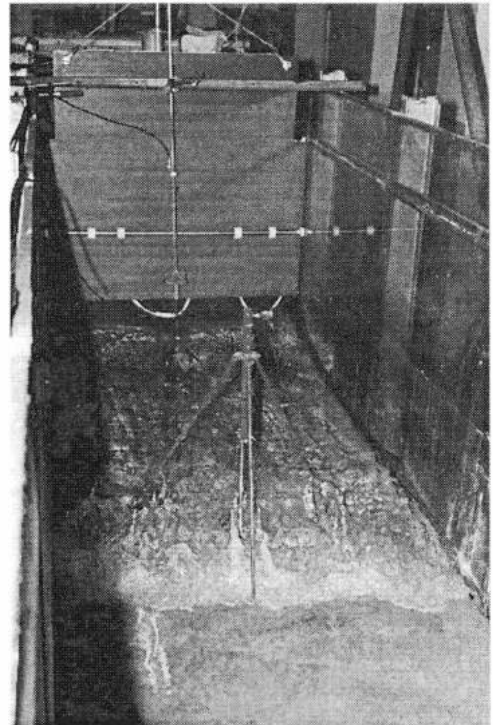
3. Matematički model

U slučaju da je korito u kojem se promatra širenje poplavnog vala konstantnog poprečnog presjeka strujanje se može modelirati kao jednodimenzionalno. U ovom radu je korišten jednodimenzionalni matematički model DAMBRK (NOAA 1981). Matematički model se zasniva na numeričkom rješavanju Saint-Venant-ovih parcijalnih diferencijalnih jednadžbi za simulaciju propagacije toka u otvorenim koritima, odnosno proračun nestacionarnog tečenja u otvorenim tokovima neprizmatskog oblika.

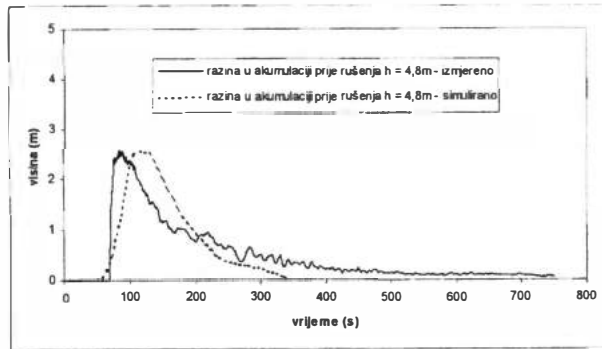
Saint Venant-ove jednadžbe se zasnivaju na zakonu o održanju mase i održanju količine gibanja. Zbog nelinearnosti problema, analitička rješenja vladajućih jednadžbi su izvedena samo za neke najjednostavnije oblike poplavnog vala. Autori programa DAMBRK modificirali su navedene jednadžbe, kako bi ih prilagodili proračunu propagacije poplavnog vala na elektroničkom računalu. Jednadžbe su prerađene u oblik "konačnih razlika", koje se mogu postupno rješavati. Tražene nepoznanice protok (Q) i razina (h) proračunavaju se u svakom čvoru modela. Tako stvoreni niz jednadžbi rješava se Newton-Raphson-ovim iteracijama.

4. Analiza dobivenih rezultata

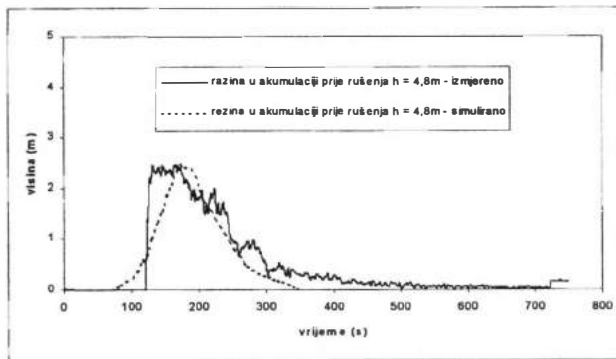
Cjelovita analiza dobivenih rezultata je priložena u izvještaju (GF, 1998.) a u ovom radu je kao ilustracija prikazan samo dio provedene analize. Na slici 2. je prikazano napredovanje poplavnog vala nakon trenutnog potpunog rušenja brane. Uočava se izrazita turbulencija u zoni čela vala koja će se na diagramima pokazati kao oscilacija razine.



Slika 2. Napredovanje poplavnog vala nakon trenutnog potpunog proloma brane



Slika 3. Usporedba izmjenjenog i izračunatog nivograma na stacionaži $L=540$ m



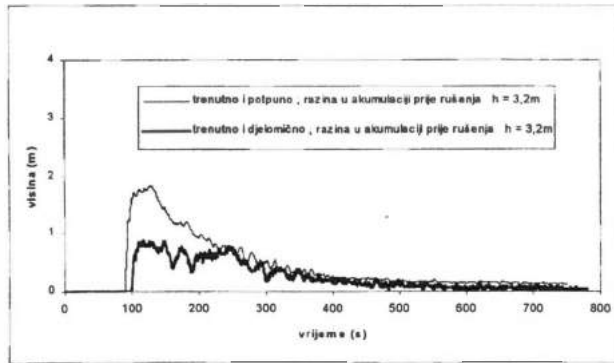
Slika 4. Usporedba izmjenjenog i izračunatog nivograma na stacionaži $L=890$ m

Na slikama 3 i 4 su prikazane usporedbe razine vode izmjerene na fizikalnom modelu i izračunate matematičkim modelom. Na slici 3. je prikazana promjena razine profilu udaljenom $L=540$ m od profila brane za slučaj trenutnog potpunog rušenja brane uz uvjet da je razina vode u akumulaciji $h = 4,8$ m. Usporedba rezultata pokazuje relativno dobro podudaranje izmjerenih i izračunatih vrijednosti. Valja uočiti da je izmjereno čelo vala strmije od izračunatog čela vala te da je izračunati nivogram za odabrani profil znatno glađi od izmjerenog, što je posljedica formiranja niza malih valova uz čelo poplavnog vala kao posljedica hrapavosti.

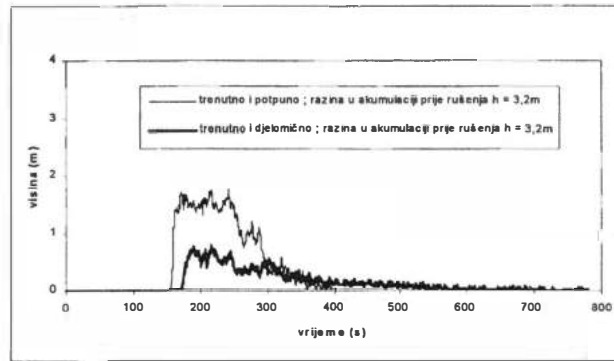
Na slikama 5. i 6. su prikazane usporedbe oblika vala za potpuno i djelomično rušenje brane. Modelom je simulirano podizanje cijelog pregradnog profila kao i rušenje 50% pregradnog profila. Primjećuje se značajno smanjenje maksimalne razine vodnog vala što govori u prilog sigurnosti nasutih brana koje se najčešće ruše postepeno i djelomično. Na slici 7. je prikazana usporedba nivograma za trenutno potpuno rušenje i za razne početne razine vode u akumulaciji.

5. Zaključak

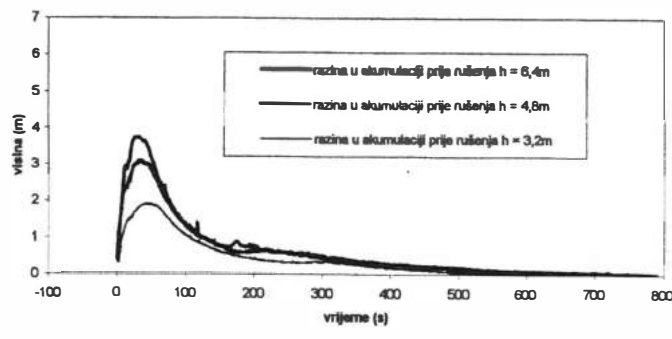
U okviru izrade podloge za novi Pravilnik o određivanju posljedica uslijed preljevanja ili rušenja visokih brana provedena je serija istraživanja na fizikalnom i matematičkom modelu. Modelima je simulirano kretanje poplavnog vala u koritu pravokutnog



Slika 5. Usporedba nivograma nakon rušenja cijele brane i nakon rušenja dijela brane na profilu udaljenom $L=540\text{ m}$ i pri početnoj razini u akumulaciji $h = 3.2\text{ m}$



Slika 6. Usporedba nivograma nakon rušenja cijele brane i nakon rušenja dijela brane na profilu udaljenom $L=890\text{ m}$ i pri početnoj razini u akumulaciji $h = 3.2\text{ m}$



Slika 7. Izmjeren nivogram na profilu $L=5\text{ m}$ za različite početne razine vode u akumulaciji

poprečnog presjeka za slučaj trenutnog potpunog, trenutnog djelomičnog i postepenog djelomičnog rušenja brane.

U okviru analize dobivenih rezultata napravljena je usporedba oblika poplavnog vala u slučaju trenutnog potpunog rušenja kao najnepovoljnijeg slučaja rušenja te postepenih i djelomičnih rušenja. Još uvijek važeća pravna regulativa predviđa usvajanje trenutnog i potpunog rušenja, a na izgrađenim objektima se gotovo isključivo dešavaju postepeni i djelomični lomovi, što se posebice odnosi na nasute brane koje su najzastupljenije u Hrvatskoj.

U prikazanom radu napravljena je i usporedba rezultata koji se dobivaju fizikalnim i matematičkim modelom, kako bi se mogla ocjeniti točnost najčešće korištenog matematičkog modela. Usporedba rezultata modeliranja dobivenih pomoću dva korištena modela je pokazala dobro podudaranje dobivenih rezultata. Znatnije razlike u dobivenim rezultatima postoje samo u strmosti čela poplavnog vala. Valja napomenuti da je program DAMBRK kojim je simulirano širenje poplavnog vala najprikladniji za modeliranje širenja poplavnog vala u uskim i dugim dolinama, dakle u slučajevima kada se tokovi mogu promatrati kao jednodimenzionalni.

Predlaže se izmjena i dopuna postojeće pravne regulative o određivanju posljedica uslijed iznenadnog preljevanja ili rušenja visokih brana u skladu s novim iskustvima i saznanjima o načinu rušenja brana i modeliranja širenja poplavnog vala. To se prvenstveno odnosi na usvajanje realnije ocjene veličine i brzine rušenja djela brane (pregradnog profila).

Rezultati dosad provedenih modelskih ispitivanja kao i prikupljeni podaci o važećoj inozemnoj pravnoj regulativi, su dobra podloga za izradu prijedloga novog, modernijeg Pravilnika o određivanju posljedica uslijed iznenadnog preljevanja ili rušenja visokih brana. Smatramo da treba krenuti u njegovu izradu.

Literatura

- Aguirre-Pe J., S.Quisca, F.P.Plachco, Test and numerical one-dimensional modelling of a high-viscosity fluid dam-break wave, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 33, No 1, pp. 17-26, 1995
- Fennema R.J, Chaudhry M.H, Simulation of one-dimensional dam-break flows, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 25, No 1, pp. 41-50, 1987
- Građevinski fakultet, Istraživanja posljedica uslijed iznenadnog preljevanja ili rušenja visokih brana na fizikalnom modelu, Zagreb, 1998
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), DAMBRK, The Dam-Break Flood Forecasting model, 1981.
- Menendez A.N, Navarro F, An experimental study on the continuous breaking of a dem, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 28, No 6, pp 753-771, 1990
- Stojić P. (Hidrotehničke građevine) Manualia ,FGZ Split 1997
- Stoker,J.J.,Water Waves, Interscience Publishers, Wiley and Sons, New York, N.Y.,1957
- Stoner W.B, Robert C.E, Chaudhry M.H, Experimental results of two-dimensional dam-break flows, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 30, No 2, pp 225-252, 1992
- Yang J.Y., C.A.Hsu, Chang S.H, Computations of free surface flows, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 31, No 1, pp 19-34, 1993

Autori:

Goran Gjetvaj, Građevinski fakultet Zagreb
Goran Lončar, Građevinski fakultet Zagreb
Krešimir Plantić, Institut za elektroprivredu



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.21.

Regulacijski pragovi u Savi kod TE-TO, Zagreb

Danko Biondić, Mladen Petrićec, Đuro Hatić

SAŽETAK: U radu se opisuju regulacijski pragovi u savskom koritu kod Termoelektrane – toplane, Zagreb (TE-TO, Zagreb) izgrađeni početkom osamdesetih zbog potrebe nesmetanog zahvaćanja rashladne vode iz rijeke Save u uvjetima erozije korita. Ističe se njihov višenamjenski značaj jer osim stalne opskrbe kapitalnog energetskeg postrojenja rashladnom vodom ujedno omogućuju i djelomičnu stabilizaciju savskog korita na užem području grada Zagreba, a time i održavanje minimalnih razina podzemne vode u neposrednim zaobljima. Trajno rješenje svih problema izazvanih erozijom savskog korita na području Zagreba omogućiti će se izgradnjom planiranog višenamjenskog sustava savskih hidroelektrana (HE Podsused, HE Prečko, HE Zagreb i HE Drenje), a sve do tada pragove zbog njihove iznimne važnosti treba redovito održavati.

KLJUČNE RIJEČI: Sava, erozija korita, pragovi, višenamjenski značaj

The Sava River Sills Near the Zagreb Cogeneration Plant

SUMMARY: The paper describes the sills built in the Sava River bed near the Zagreb Cogeneration Plant in early eighties in order to enable cooling water supply unhindered by the riverbed erosion. Their multipurpose character is underlined since, in addition to continuous supply of a major power and heat generation facility with cooling water, they also enable partial stabilization of the Sava riverbed within the narrower Zagreb region and consequently the maintenance of the minimum groundwater tables in immediate river basin. Final solution to all the problems caused by erosion of the Sava riverbed within the Zagreb area shall be construction of planned multipurpose system of hydroelectric power plants on the Sava River (Podsused HPP, Prečko HPP, Zagreb HPP and Drenje HPP). Until this project is completed, the sills in the Sava River need to be regularly maintained due to their exceptional importance.

KEYWORDS: the Sava River, riverbed erosion, sills, multipurpose character

1. Uvod

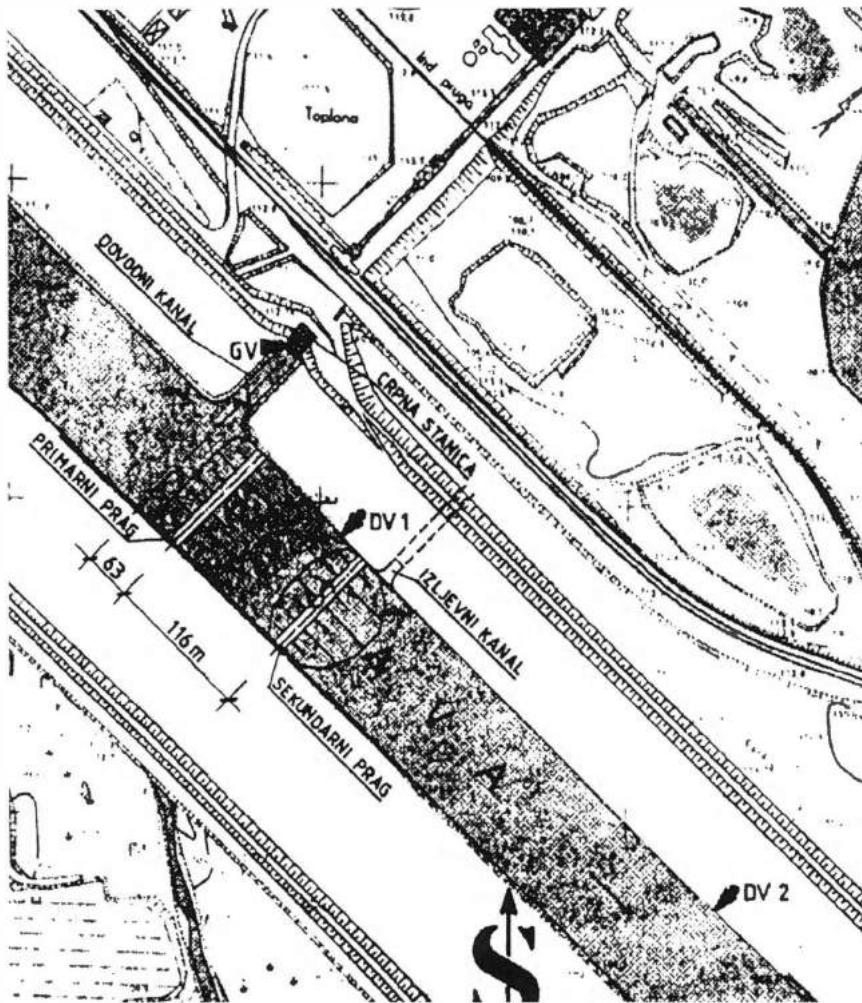
Termoelektrana – toplana, Zagreb (TE-TO, Zagreb) uz rijeku Savu puštena u pogon 1962. godine s dva bloka u spojnom procesu, električne snage 2x32 MW i ukupne toplinske snage 200 MW energetski je izvor od kapitalnog značaja za opskrbu Zagreba električnom i toplinskom energijom. Uslijed postupnog povećanja energetske potreba njena je instalirana snaga najprije povećana 1979. godine puštanjem u pogon novog proizvodnog bloka u spojnom procesu električne snage 120 MW i toplinske snage 200 MW, a upravo je u tijeku ponovna rekonstrukcija sa ciljem daljnjeg povećanja instalirane snage. Ona se sastoji u zamjeni dotrajalih blokova iz 1962. godine novim kogeneracijskim plinskoparnim postrojenjem s ukupnom električnom snagom od 190 MW i toplinskom

snagom od 150 MW, a očekuje se da će biti završena krajem 2000. godine. Takvim rješenjem će se u potpunosti zadovoljiti potrebe središnjih i južnih dijelova Zagreba za toplinskom energijom tijekom slijedećih petnaestak godina i znatno će se povećati pouzdanost opskrbe grada električnom energijom [1]. Rashladna voda nužna za nesmetani pogon postrojenja crpi se iz rijeke Save putem crpne stanice maksimalnog kapaciteta od 9,4 m³/s.

Proces erozije savskog korita na području Zagreba [2] koji je započeo potkraj sedamdesetih utjecao je na početak problema vezanih uz nesmetanu opskrbu TE-TO, Zagreb potrebnim količinama rashladne vode. Krajem 1981. godine prvi put je na lokaciji crpne stanice zabilježen toliko niski vodostaj Save, da su crpke za rashladnu vodu ostale na "suhom", a postrojenje TE-TO, Zagreb moralo je obustaviti rad. Daljnje pojave vrlo niskih vodostaja na lokaciji zahvata rashladne vode, a time i obustave rada postrojenja bile su tijekom 1982. sve češće, pa se problem morao što hitnije riješiti. Gospodarsko - tehničkim raščlambama je utvrđeno da je najpovoljnije rješenje izvedba praga u riječnom koritu nizvodno od crpne stanice [3]. Prag je izgrađen 1983. godine [4] kao privremeno rješenje do puštanja u pogon planirane HE Drenje [5] čijim bi se usporom problem vodoopskrbe TE-TO, Zagreb definitivno riješio. Uslijed daljnjeg usijecanja savskog korita prag je u nekoliko navrata saniran i rekonstruiran [6], [7], [8]. Tijekom rekonstrukcije 1989. godine izgrađen je i nizvodni sekundarni prag sa ciljem podizanja donje vode primarnog praga kako bi se osigurala njegova stabilnost i potopljenost vodnog skoka u svim hidrološkim uvjetima. Izgrađeni sustav pragova (slike 1. i 2.) u potpunosti ispunjava svoju zadaću glede nesmetane opskrbe TE-TO Zagreb rashladnom vodom i pozitivno utječe na stabilizaciju uzvodnog savskog korita. Cilj ovog rada je kraći prikaz tehničkih karakteristika izgrađenih pragova i njihovih utjecaja na Savu kod Zagreba.



Slika 1. Pragovi u rijeci Savi na području zahvata rashladne vode TE-TO, Zagreb (snimljeno 30. siječnja 1999.)



Slika 2. Situacijski prikaz područja zahvata rashladne vode TE-TO, Zagreb

2. Tehničke karakteristike pragova

Pragovi u rijeci Savi kod TE-TO, Zagreb građeni su na pokretnom dnu bez temeljenja i trapeznog su poprečnog presjeka s osnovnim geometrijskim karakteristikama prikazanim u tablici 1. Primarni prag je izgrađen od gabiona, betonskih i kamenih blokova, a sekundarni samo od kamenih blokova. Uslijed hidrauličkih djelovanja rijeke Save podložni su povremenim oštećenjima koja se uglavnom saniraju ugradbom krupnijih elemenata otpadnog lomljenog betona. Obaloutvrde uz pragove i njihova slapišta izgrađene su od kamenih blokova i elemenata lomljenog betona međusobno povezanih betonom.

Tablica 1. Osnovne geometrijske karakteristike primarnog i sekundarnog praga

GEOMETRIJSKA KARAKTERISTIKA	PRIMARNI PRAG	SEKUNDARNI PRAG
Stacionaža osi (r.km)	697+690	697+574
Dužina krune (m)	92	84
Širina krune (m)	8	8
Kota krune (m n.m.)	107.00	105.00
Nagib uzvodnog pokosa	1:1	1:1
Nagib nizvodnog pokosa	1:9	1:3 (predloženo 1:7, [8])

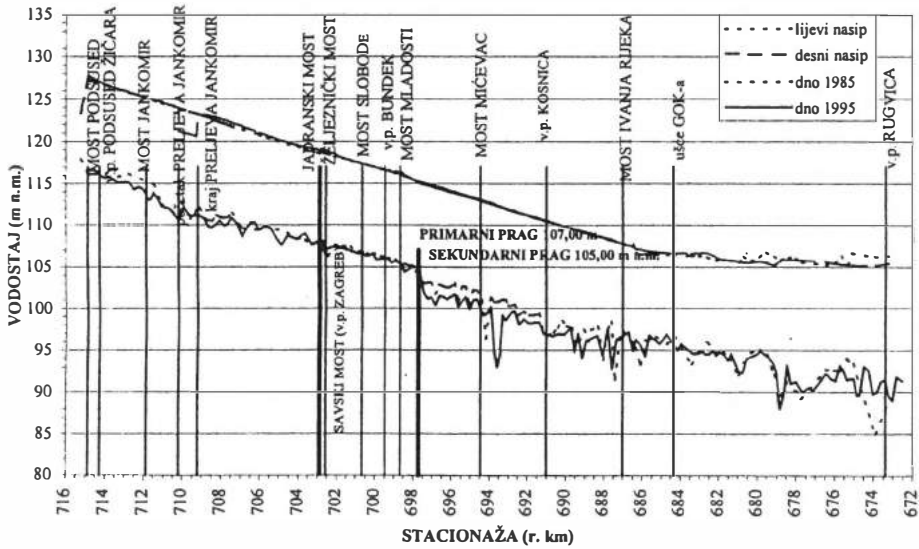
Sustavno praćenje stanja pragova sastoji se od redovitih vizualnih pregleda, od redovitih geodetskih snimanja petnaestak kontrolnih poprečnih presjeka savskog korita na 1600 m dugoj riječnoj dionici između stacionaža 696+223 r.km i 697+803 r.km, od kontinuiranih opažanja vodostaja Save na dva limnigrafa (DV1 i DV2) postavljena potkraj 1997. godine, te od povremenih očitavanja vodostaja na vodokaznoj letvi postavljenoj uz dovodni kanal crpne stanice (GV) (slika 2.). Izmjereni podaci periodički se obrađuju i koriste se za utvrđivanja stanja građevina, te za planiranja aktivnosti na njihovom održavanju. Za potrebe takvih obrada koriste se i podaci o srednjim dnevnim protocima Save na lokaciji v.p. Zagreb koji se preuzimaju iz BHP DHMZ-a [9]. Daljnje unapređenje sustava praćenja stanja pragova ostvariti će se planiranom uspostavom limnigrafa na dovodnom kanalu crpne stanice.

Današnje razine gornje vode primarnog praga otprilike su podjednake vodnim razinama Save na istoj lokaciji prije početka erozijskog procesa krajem sedamdesetih, što znači da pragovi u potpunosti ispunjavaju zadaću zbog koje su izgrađeni. Maksimalne denivelacije vodnih razina između gornje vode primarnog (GV) i donje vode sekundarnog praga (DV2) trenutno iznose više od 5 m s tendencijom daljnjeg porasta.

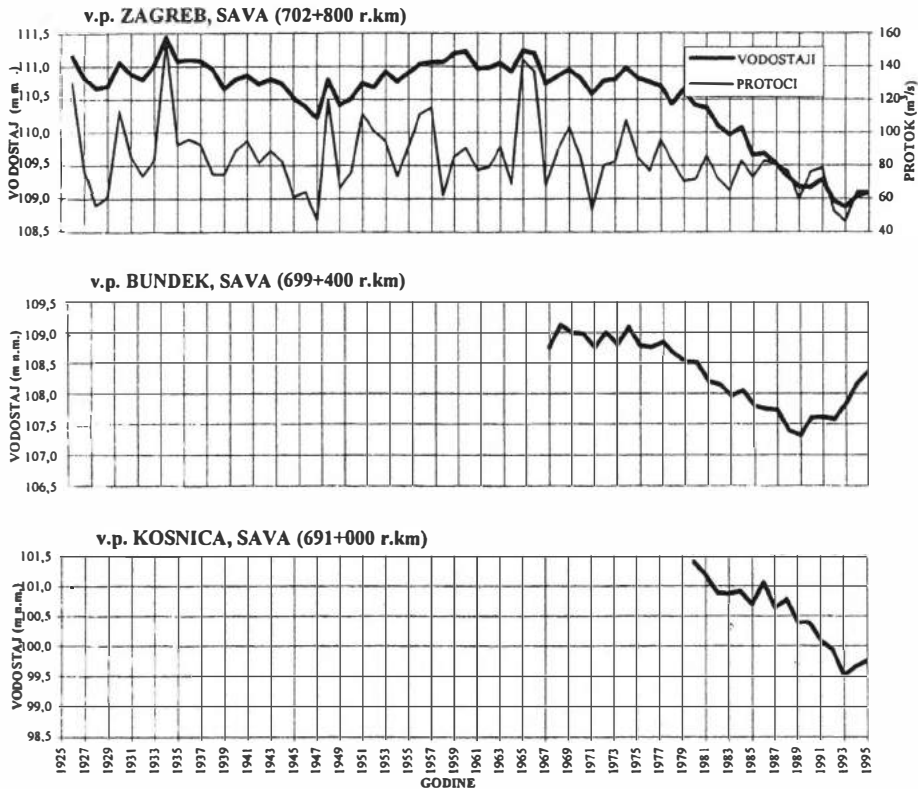
3. Utjecaji pragova na Savu kod Zagreba

Erozijski proces u savskom koritu na području Zagreba izazvan je različitim antropogenim djelovanjima na slivu i koritu Save [2]. Veličinu utjecaja pojedine aktivnosti na proces nije moguće precizno odrediti, ali se prema dosadašnjim spoznajama procjenjuje da su glavni uzroci te pojave regulacije korita i prekomjerne eksploatacije šljunka iz korita na području Zagreba. Ostale antropogene aktivnosti na slivu i koritu Save (građenja obrambenih nasipa duž Save i njezinih pritoka, građenja nekoliko brana na Savi u Sloveniji, regulacije korita Save i njezinih pritoka uzvodno od Zagreba, te protuerozijski radovi na slivu) također su utjecale na proces, ali vjerojatno u manjoj mjeri. Tijek erozijskog procesa je usprkos istovremenom manjem sniženju minimalnih godišnjih protoka jasno uočljiv na negativnim trendovima vremenskih nizova minimalnih godišnjih vodostaja Save zabilježenih na v.p. Zagreb i v.p. Kosnica u razdoblju nakon 1980. godine (slika 4.).

Uslijed uspornog utjecaja primarnog praga vremenski niz minimalnih godišnjih vodostaja na v.p. Bundek zabilježenih nakon rekonstrukcije praga 1989. godine ima pozitivan trend (slika 4.), a usijecanje savskog korita na dionici između Jadranskog mosta i TE-TO, Zagreb tijekom razdoblja od 1985. do 1995. godine manje je nego drugdje (slika 3.). Time je omogućeno održavanje minimalnih razina podzemne vode u neposrednim zaobljima (slika 5.) [10] što je od iznimnog značaja za vodoopskrbu grada i za opstanak jezera Bundek. Rezultati hidrauličkih računa [11] pokazali su da je usporni utjecaj

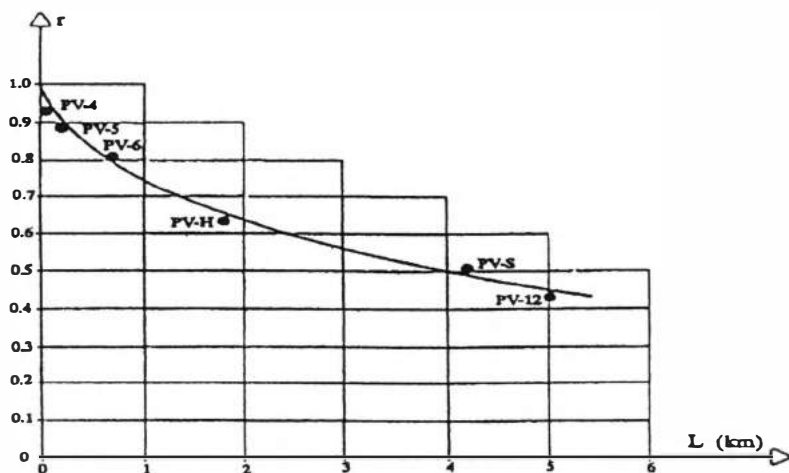


Slika 3. Usporedbe uzdužnih presjeka Save između Podsuseda i Rugvice snimljenih 1985. i 1995. godine



Slika 4. Vremenski nizovi minimalnih godišnjih vodostaja na v.p. Zagreb, v.p. Bundeck i v.p. Kosnica, te minimalnih godišnjih protoka na v.p. Zagreb

primarnog praga kod velikih protoka zanemariv, što znači da pragovi ne ometaju evakuaciju velikih voda Save. Mogućnost kolmatacije unutar usporne dionice potpuno se može isključiti zbog dovoljnih brzina tečenja. Utjecaj pragova na intenzivne erozijske procese u nizvodnom koritu potaknute regulacijama i prekomjernim eksploatacijama šljunka vrlo je mali osim u slapištima gdje se formiraju vodni skokovi, jer se gotovo sav riječni nanos istaložen unutar usporne zone primarnog praga tijekom razdoblja malih i srednjih voda ispere tijekom nailaska velikih voda.



Slika 5. Odnos između koeficijenta linearne korelacije (r) vodostaja Save i razina podzemne vode i udaljenosti piezometara od Save (L) [10]

4. Zaključak

Sustav pragova u savskom koritu izgrađen za potrebe nesmetane opskrbe TE-TO, Zagreb rashladnom vodom u uvjetima erozije savskog korita ima višenamjenski značaj. Osim redovite vodoopskrbe kapitalnog energetskog postrojenja pragovi omogućuju i djelomičnu stabilizaciju savskog korita na užem području grada Zagreba čime posredno osiguravaju i održavanje minimalnih razina podzemne vode u zaobaljima. Nepoželjne posljedice erozijskog procesa u savskom koritu na području Zagreba trajno se mogu sanirati rješavanjem problema zaštite rijeke i korištenja voda sukladno rješenjima predviđenim u Vodoprivrednoj osnovi grada Zagreba [5]. U tom cilju bi u razvojnoj politici Zagreba i države, te njenoj realizaciji trebalo težiti ostvarenju projektnih rješenja (HE Drenje, HE Zagreb, HE Prečko i HE Podsused) na kojima je osnova utemeljena, a sve do njihovog ostvarenja postojeće pragove zbog njihovog iznimnog značaja treba redovito održavati.

Literatura

1. Rundek, S.: TE-TO Zagreb, kombi kogeneracijsko postrojenje, Prospektni materijal Hrvatske elektroprivrede, Zagreb, 1998.
2. Bonacci, O., Trninić, D.: Analiza uzroka i prognoza promjena vodostaja Save i nivoa podzemnih voda u okolici Zagreba, Vodoprivreda 18 (1986) 2-3, 95-101

3. Studija varijantnih rješenja sanacije zahvata rashladne vode TE-TO, Zagreb, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.
4. Glavni projekt podvodnog regulacijskog praga u koritu rijeke Save (stacionaža 697+673 r.km), Opće vodoprivredno poduzeće, OOUR Projekt, Zagreb, 1983.
5. Vodoprivredna osnova grada Zagreba, izmjene i dopune, JVP Hrvatska vodoprivreda, OJ Zagreb, Zagreb, 1992.
6. Projekt sanacije podvodnog regulacijskog praga u koritu rijeke Save, stacionaža 697+673 r.km, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
7. Projekt sanacije podvodnih regulacijskih pragova kod TE-TO, Zagreb, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1992.
8. Idejno rješenje sanacije područja zahvata rashladne vode TE-TO Zagreb, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1999.
9. Banka hidroloških podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske, Zagreb, 1998.
10. Borčić, D., Capar, A., Čakarun, I., Kostović, K., Miletić, P.: Noviji podaci o zavisnosti vodostaja podzemne vode i vodostaja Save na području Zagreba, Geološki vjesnik 21 (1968)
11. Identifikacija utjecajne zone podvodnog regulacijskog praga u koritu rijeke Save kod TE-TO, Zagreb, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1994.

Autori:

mr.sc. Danko Biondić, dipl.ing., Institut za elektroprivredu i energetiku, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb

dr.sc. Mladen Petrićec, dipl.ing., Institut za elektroprivredu i energetiku, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb

Đuro Hatić, dipl.ing., Hrvatska elektroprivreda, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.22.

Utjecaj izvedenih hidrotehničkih radova na vodne resurse u Kopačkom ritu

Zoran Đuroković, Darko Brnić-Levada

SAŽETAK: U cilju izvođenja radova za potrebe zaštite od štetnog djelovanja voda, odnosno izgradnje Glavnog dunavskog nasipa i nasipa Drava-Dunav, vršeni su određeni hidrotehnički radovi na kanalima Kopačkog rita kako bi se omogućio ulaz plovne mehanizacije iz Dunava za potrebe izvođenja navedenih radova.

Iz tog razloga izvodili su se radovi na produbljivanju glavnog dovodnog (Hulovskog) kanala u Kopačkom ritu, što je imalo utjecaja i na cjelokupni vodni režim i smanjenje vodenih površina Kopačkog rita. Po izvršenim radovima na izvedbi nasipa nastojalo se novim hidrotehničkim zahvatima (izgradnja pregrada) uspostaviti prijašnje stanje vodnog režima Kopačkog rita.

Unatoč izvedenim radovima, nije došlo do sanacije stanja, te se određene posljedice mogu uočiti i danas.

KLJUČNE RIJEČI: Kopački rit, izvedba nasipa, Hulovski kanal, produbljivanje kanala, smanjenje vodenih površina, pokušaj sanacije (pregrade)

Impact of Performed Hydrotechnical Works on the Kopački Rit Water Resources

SUMMARY: In order to carry out the works related to detrimental water effects, namely construction of the Main Danube Embankment and the Drava-Danube embankment, some hydrotechnical works were performed on the Kopački Rit canals in order to enable entrance of necessary floating equipment from the Danube.

For that reason, the main intake canal (Hulovski Canal) in Kopački Rit was trenched, which affected the entire water regime and reduction in the Kopački Rit water surface. When the works were completed, new hydrotechnical actions (construction of barriers) were undertaken in order to reinstate previous Kopački rit water regime.

When the works had been finished, the consequences were not remediated and some of them are felt even today.

KEYWORDS: Kopački Rit, embankment, (Hulovski Canal) dredging, water surfaces, remediation

1. Uvod

Tijekom mnogih stoljeća velike vode rijeka Dunava i Drave plavile su područje Baranje. Iz tog razloga u cilju obrane od poplava izvodili su se nasipi, koji su s obzirom na tadašnje mogućnosti često bili nedovoljno sigurni, te je dolazilo do proboja nasipa i poplava većih razmjera. Nakon katastrofalnih poplava 1965. i 1972. godine odlučeno je

na području Baranje rekonstruirati postojeće nasipe. Iz tog razloga prišlo se rekonstrukciji nasipa Drava-Dunav (18,645 m) i Glavnog dunavskog nasipa (33,500 m).

Za izvođenje radova na rekonstrukciji nasipa (proširenje i nadvišenje nasipa) odlučeno je koristiti refulirani pijesak iz Dunava, ili, u slučaju veće udaljenosti Dunava od dionice nasipa, iz starih dunavskih rukavaca u inundaciji. Osnovni problem koji se trebao riješiti bio je način dopreme plovne mehanizacije kroz Hulovski kanal za potrebe refuliranja i ugradnje pijeska iz starih rukavaca u nasipe. U to vrijeme Hulovski kanal nije imao gabarite (širina i dubina kanala) koji bi za duže vremensko razdoblje omogućavali prometovanje plovne mehanizacije.

2. Izvođenje hidrotehničkih radova

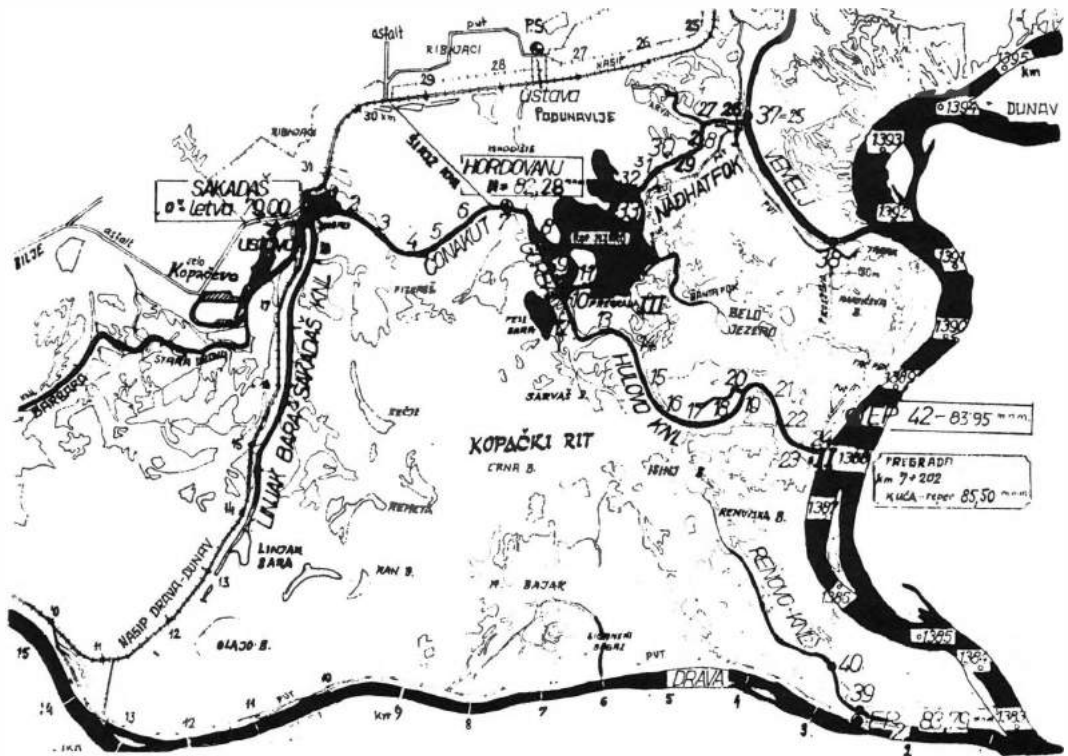
Kako bi plovna mehanizacija korištena za potrebe rekonstrukcije nasipa mogla prometovati, odlučeno je kanal produbiti. Na žalost, odluka o produbljenju kanala i uklanjanju aluvijalnog praga od strane izvoditelja radova na refuliranju pijeska, poduzeća "Ivan Milutinović" iz Beograda, donesena je nekritički olako i jednostrano, ne razmatrajući ukupnost problema na očuvanju vodnih sustava Kopačkog rita. Izvoditelji radova isključivo su željeli osigurati duže razdoblje prometovanja Hulovskim kanalom kako bi što manje ovisili o hidrološkim prilikama i vodostaju Dunava. I u to vrijeme bilo je moguće ući u Hulovski kanal pri višim vodostajima Dunava i po potrebi izvršiti minimalne radove na uređenju kanala (čišćenje stabala i panjeva, ispravak krivina i na određenim lokacijama proširenje kanala s minimalnim produbljenjem kanala), a za povratak pričekati povoljne vodostaje Dunava, čime bi se manje narušilo prvobitno stanje kanala.

Tijekom 1967. godine od strane "Hidroprojekta" Zagreb izvršena su neophodna geodetska i hidrološka snimanja koja su utvrdila tadašnje postojeće stanje Hulovskog kanala koji se proteže od lugarnice na Hulovu (ušće u Dunav-r.km 1387+700), preko zapadnog dijela Kopačkog jezera do sela Kopačevo, u ukupnoj dužini od 11,5 km (Slika 1. - zemljovid Kopačkog rita s glavnim kanalima). Utvrđeno je da je kanal najdublji od ušća do Kopačkog jezera, odnosno od stacionaže 0 + 000 do 5 + 700. U nastavku od 5 + 700 do 7 + 050 kanal (dionica Gorba) prolazi preko zapadnog dijela jezera, a od 7 + 050 do sela Kopačevo (dionica Čonakut) prolazi depresijom Kopačkog rita, gdje je okolni teren vrlo nizak, te se tek kod niskih vodostaja Dunava pojavljuje kanal sa širinom vodnog lica od 17 - 20 metara i dubinom od 1,0 do 1,5 m.

Nakon provedenih snimanja, te iste godine (1967.) izvršeno je produbljenje kanala te je kroz Hulovski kanal ušla teška plovna mehanizacija (bageri, brodovi, refuleri), a ujedno, tom je prilikom probijen aluvijalni prag dunavske terase na ušću Hulovskog kanala u Dunav. Kako izvedeni radovi nisu dokumentirani snimkom izvedenog stanja, temeljem raspoloživih podloga i projekata pretpostavljeno je da je produbljivanje većim dijelom trase kanala izvedeno do kote od 78,00 m n.m., što je u odnosu na prvobitno stanje kanala prosječno produbljenje od cca 1,5 m, dok je aluvijalni prag na ušću spušten za cca 2 m. Nakon toga prišlo se izvođenju radova na rekonstrukciji nasipa.

3. Hidrotehnički radovi na sanaciji stanja

Po završetku radova na rekonstrukciji nasipa, plovna mehanizacija je napustila područje Kopačkog rita i od tada, temeljem zapisnika stručne komisije od 22. lipnja 1972. g., započinju pokušaji na sanaciji nastalog stanja i dovođenju praga na ušću u prvobitno stanje.



Slika 1.

U svrhu sanacije nastalog stanja, 1973. odlučeno je na ušću Hulovskog kanala izraditi pregradu 80 m udaljenu od ušća kanala u Dunav. Temeljem navedenog zapisnika "OVP Osijek" je izradio projekt "Pregrada na kanalu Hulovo". Projektirana visina pregrade je bila 2,0 m jer je za potrebe ulaska mehanizacije prvobitni aluvijalni prag s kotom na 80,30 m n.m. produbljen do kote 78,00 m n.m., što je ujedno predstavljalo i kotu dna kanala uređenog za omogućavanje plovidbe plovne mehanizacije. Pregrada je izvedena od refuliranog pijeska, hidraulički nabijenog, s ekranom zemlje od 0,30 m. Širina krune je bila 10 m s nagibima pokosa 1:10, a dužina pregrade je iznosila 15 m. Krana pregrade bila je postavljena na kotu od 80,00 m n.m., što je približno odgovaralo koti nekadašnjeg aluvijalnog praga. Na žalost, pregrada nije dugo odolijevala visokim vodama Dunava i njeni učinci su bili minimalni.

U to vrijeme, osim neuspjelog pokušaja izgradnje pregrade u cilju obnove uklonjenog prirodnog aluvijalnog praga, nebrigom LŠG "Jelen" Beograd, dolazi i do zapuštanja glavnih kanala Kopačkog rita (Nađ-hat fok, Arva fok, Hulovski kanal, Renovski kanal,...). Dotokom viška voda s melioracijskog područja Baranje, u cilju nužne odvodnje, u rit dolazi i povećana količina suspendiranih čestica, a s njima često i otpadne vode industrije i poljoprivrednih farmi. Zagađenja bogata suspendiranom tvari talože se u prostoru rita i stvaraju sediment u vodnim sustavima Kopačkog rita. Tako ujedno dolazi, kako do prirodnog, tako i dotokom suspendiranih tvari i zagađenja iz melioracijskog područja ubrzanog procesa eutrofikacije vodenih sustava. Također, tijekom plavljenja prostora rita velikim vodama Dunava zasićenih nanosom, dolazi do taloženja čestica, što sve zajedno rezultira izdizanjem prostora Kopačkog rita i smanjenjem vodenih površina.

Nakon neuspjelog pokušaja sanacije stanja izvedbom nasute pregrade, izvodi se kamena pregrada, za koju se smatralo da će biti trajnijeg karaktera i utjecati na sanaciju stanja. Tijekom ovog vremenskog razdoblja uočava se daljnje smanjenje vodenih površina, te skraćivanje vremena zadržavanja visokih voda u ritu.

S obzirom da je proces navedenih negativnih promjena na smanjenju vodenih površina intenziviran po izvršenom produbljivanju Hulovskog kanala, za zaključiti je da je hidrotehnički gledano, spuštanjem nivelete dna kanala i aluvijalnog praga za cca 2 m, umjetno stvoren kanal koji za razdoblja malih voda Dunava ima osobine odvodnog (drenažnog) kanala, te omogućuje kako brže, tako i potpunije istjecanje vode iz prostora Kopačkog rita.

Tijekom 1984. g., temeljem izrađene projektne dokumentacije, dolazi do konačne rekonstrukcije nasipa Drava-Dunav i Glavnog dunavskog nasipa, s osiguranjem od 100 godišnje velike vode i dodatnim nadvišenjem od 1,2 m. Plovna mehanizacija za potrebe rekonstrukcije nasipa ponovo je dopremljena trasom Dunav-Hulovski kanal-Kopačko jezero-Sakadaš (Ustava Kopačevo). Po izvršenim radovima plovna mehanizacija je napustila područje rita, nakon čega se ponovo aktualizira pitanje sanacije praga na ušću Hulovskog kanala.

Krajem 1984. g. VRO "Drava-Dunav" Osijek izrađuje "Elaborat za popravak ušća kanala Hulovo u r.km Dunava 1387+700", kojim je predviđena sanacija ranije izvedene i znatno oštećene kamene pregrade, te desne obale Hulovskog kanala na ušću u Dunav, nizvodno od same pregrade. Neposredno iza pregrade došlo je do produbljenja korita kanala i urušavanja visoke obale čime je bila ugrožena i obližnja ribarska kuća "Hulovo", stara više od stotinu godina. Potrebno je napomenuti da je do oštećenja korita i obale došlo usprkos izvedenom osiguranju kamenim nabačajem, jer se na navedenoj lokaciji ušća kanala u Dunav većim dijelom godine odvija intenzivna izmjena voda Dunava i prostora Kopačkog rita, odnosno tijekom porasta vodostaja ulaz voda Dunava u prostor rita, a po pojavi opadanja vodostaja istjecanje iz prostora rita prema Dunavu. Iz tog razloga, osobito na početnom dijelu kanala i ušća, stvaraju se snažna vodena strujanja s pojavom vrtloženja i razvojem turbulentnog toka, koja izazivaju oštećenja hidrotehničkih objekata, te samog korita i obala kanala.

Elaboratom je bilo predviđeno najprije izvršiti osiguranje visoke obale i slapišta izradom fašinskog madraca od filter plastice, kazetiranog fašinskim kobama, te izradom sloja od tucanika debljine 25 cm. Nakon toga projektom je određeno da se osiguranje dna kanala izvrši kamenim nabačajem na kotu cca 79,00 m n.m., a osiguranje pokosa visoke obale kanala izvesti lomljenim kamenom u nagibu 1:1,25 do kote od 82,00 m n.m.

Osim izvedbe osiguranja slapišta i visoke obale, trebalo je izvršiti i popravak same pregrade, a na prijedlog predstavnika LŠG "Jelen" kruna pregrade je definirana na kotu od 81,05 m n.m., što je za cca 1 m bilo više u odnosu na ranije projektirane kote i nekadašnje prvobitno stanje aluvijalnog praga, a iz razloga osiguranja potrebne količine vode u Kopačkom ritu. Projektirana širina krune pregrade je iznosila 2 m s pokosom uzvodno 1:1 i nizvodno 1:2.

4. Terenska istraživanja na području Kopačkog rita 1990. godine

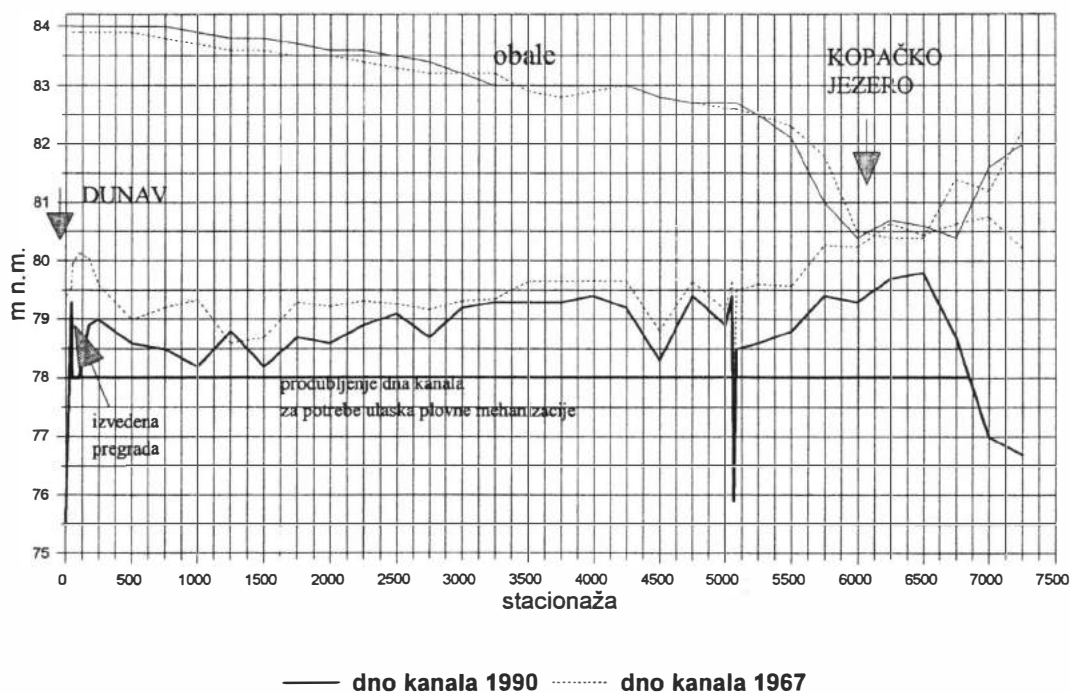
Tijekom 1990. godine, od strane djelatnika Hrvatskih voda Zagreb - VGO Osijek, izvršena su snimanja glavnih kanala Kopačkog rita. S obzirom na provedena snimanja iz 1967. godine i snimljeno stanje Hulovskog kanala prije produbljivanja, odlučeno je

ponoviti snimanja kako bi se mogla izvršiti usporedba stanja nakon gotovo 25 godina. U planu je bilo nastaviti i s daljnjim istražnim radovima, no s pojavom ratnih aktivnosti i domovinskog rata, daljnja istraživanja su morala biti prekinuta. Tom prilikom izvršena snimanja Hulovskog kanala, usporedno su nanosena na isti uzdužni profil sa snimanjima iz 1967. godine (prije uklanjanja praga i produbljivanja kanala) za dionicu od ušća u Dunav do Kopačkog jezera (Slika 2.).

Temeljem tih snimanja uočava se da unatoč gotovo 25 godišnjem razdoblju i brojnim pokušajima izvedbe pregrada i sanacije stanja, nije došlo do učinaka koji bi omogućili povratak stanja kanala i praga u prvobitno stanje. I nadalje je dno Hulovskog kanala cca. 0,5 metara niže od nekadašnjeg stanja, a na području ušća u Dunav unatoč brojnim pokušajima nije došlo do formiranja nekadašnjeg praga. Praktično, moguće je reći je on formiran na koti od cca 79,00 m n.m., što je za 1 metar niže u odnosu na nekadašnju kotu aluvijalnog praga.

Iste godine, neposredno prije provedenih snimanja, zabilježen je pokušaj izvedbe pregrade na ulasku Hulovskog kanala u Kopačko jezero (stacionaža 5 + 700 od ušća kanala u Dunav), koju su samostalno izveli djelatnici LŠG "Jelen" Beograd. Pregrada je izvedena od filter plastice i vreća pijeska. Osim kratkotrajnih loših rezultata (onemogućena komunikacija i izmjena dunavskih i ritskih voda do pojave visokih vodostaja, razvoj i snažno bujanje algi u jezeru Sakadaš i Kopačkom jezeru, ...) nisu

UZDUŽNI PROFIL KANALA HULOVO UŠĆE U DUNAV - KOPAČKO JEZERO



Slika 2.

zamijećeni pozitivni učinci na sanaciji stanja. S obzirom da pri projektiranju navedene pregrade nisu uzeta u obzir ranija loša iskustva pri izvedbi pregrada, kao i na činjenicu zanemarenog slapišta pri istjecanju vode iz rita prema Dunavu, pregrada je imala najkraći vijek trajanja u odnosu na sve prethodno izvedene pregrade, te je ubrzo je po izgradnji razrušena istjecanjem voda iz rita prema Dunavu.

5. Zaključak

Kako su jednostrano i nekritički izvedeni hidrotehnički radovi na uklanjanju aluvijalnog praga i produbljivanju Hulovskog kanala, vjerojatno u sprezi s ostalim navedenim djelovanjima, imali negativan utjecaj na promjene vodnog režima i smanjenje vodenih površina, tako ni parcijalan pristup sanaciji stanja (izvedbe pregrada) nije dao povoljne rezultate. Također, moguće je ustvrditi da ni sama priroda nije u stanju uspostaviti prijašnje stanje i s tim u svezi potrebno je ukazati na potrebu provođenja svih nužnih istražnih radova i cjelovitog pristupa rješavanju problema u suradnji sa stručnjacima iz drugih znanstvenih područja, jer je jedino na taj način moguće iznaći dovoljno kvalitetno i optimalno rješenje u upravljanju prirodnim vodnim sustavima.

Literatura

1. Javno vodoprivredno poduzeće za vodno područje Drave i Dunava, Osijek: Poprečni profili kanala u Kopačkom ritu, Osijek, 1991.
2. "Hidroprojekt" Zagreb: Hulovo kanal (ušće - Kopačevo), Zagreb, 1967.
3. OVP "Osijek": Pregrada na kanalu Hulovo, Osijek, 1973.
4. Zavod za prostorno planiranje i urbanizam ZO Osijek: Prostorni plan Kopačkog rita, Osijek, 1980.
5. VRO "Drava-Dunav" Osijek, OOUR "Vodoprivreda": Elaborat za vađenje pijeska iz Linjak bare (Kopački rit), Osijek, 1983.
6. VRO "Drava-Dunav" Osijek, OOUR "Vodoprivreda": Pozajmište pijeska za nasip "Zmajevac - Kopačevo" (Gornji Vemelj), Osijek, 1983.
7. VRO "Drava-Dunav" Osijek, OOUR "Vodoprivreda": Elaborat za vađenje pijeska iz Donjeg Vemelja, Osijek 1983.
8. VRO "Drava-Dunav" Osijek, OOUR "Vodoprivreda": Elaborat za vađenje pijeska iz rukavca Monjoroš za potrebe rekonstrukcije Dunavskog nasipa, Osijek, 1984.
9. VRO "Drava-Dunav" Osijek, OOUR "Vodogradnja Osijek": Elaborat za popravak ušća kanala Hulovo u rkm Dunava 1387+700, Osijek, 1984.

Autori:

Zoran Đuroković, dipl. inž. građ., Hrvatske vode Zagreb, VGO Osijek, Splavarska 2a, 31000 Osijek

Darko Brnić-Levada, dipl. inž. građ., Hrvatske vode Zagreb, VGO Osijek, VGI "Baranja", Sv. Ivana Krstitelja 115, 31326 Darda



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.23.

Novi sustavi zaštite od štetnog djelovanja voda

Dario Dimter, Damir Vicković

SAŽETAK: Razvoj novih materijala i tehnologija u graditeljstvu omogućuje izuzetne rezultate u projektiranju i izvođenju objekata. Manje vremena i prostora posvećuje se mjerama koje će izgrađena dobra i imovinu očuvati u slučaju elementarnih nepogoda. Ovdje se prvenstveno misli na zaštitu od štetnog djelovanja voda. Osnovna karakteristika ovakve nepogode je relativno kratko trajanje s velikim direktnim i indirektnim posljedicama. Samo brzom i efikasnom intervencijom možemo spriječiti velike gubitke.

Moderne tehnologije, naročito iz područja geosintetika, omogućuju kvalitetni pripremu i sigurnost u slučaju opasnosti, a zamjena su za klasična neučinkovita rješenja.

Radom prikazujemo nekoliko rješenja koja su, uz iskustva s probnih dionica, potvrdu dobila i u životu.

KLJUČNE RIJEČI: štetno djelovanje voda, zaštita od poplave, interventne mjere, geosintetici

New Water Impact Abatement Systems

SUMMARY: Development of new building materials and technologies has brought excellent results in project design and construction. Less time and space needs to be spent on measures to be undertaken in protection of built structures against natural disasters. The basic characteristic of such disasters is that they are of short duration with enormous direct and indirect consequences. Only quick and efficient intervention may prevent major losses. State-of-the-art technologies, particularly those encompassing geosynthetics, enable undertaking of quality preparation and safety measures and at the same time act as a good replacement for classical ineffective solutions. The paper describes some solutions which were confirmed on pilot section, and thus confirmed in practice.

KEYWORDS: water impact, flood control, emergency measures, geosynthetics

1. Uvod

Povijest civilizacije je povijest graditeljstva. Pamteći i prenoseći iskustvo na nove naraštaje stvarale su se graditeljske znanosti – čovjek je gradio prvi dom za zaštitu od nevremena, srušeno stablo predstavljalo je prvi most, a staze i putevi su postali prve prometnice.

Graditelji su se branili od prirode ili je, s više ili manje uspjeha, svladavali pa tako i u slučaju obrane od poplave. Kroz povijest se od poplave štitilo nasipima, obaloutvrdama, umjetnim koritima, branama s akumulacijama, retencijama i dr. To su i najsigurnija

rješenja jer se planiraju i izvode “u miru”, kao preventiva i trajna zaštita određenog područja, a na temelju hidroloških podataka o vodotocima. Pravilnim projektiranjem zaštitnih građevina u potpunosti ćemo zaštititi pučanstvo i imovinu.

Daleko osjetljivija je interventna zaštita od poplave, za čije izvođenje u pravilu ima malo vremena. Da bismo bili efikasni moramo biti dobro pripremljeni. Osim organizirane službe opažanja i uzbunjivanja, te rasporeda ekipa za intervencije, moramo imati i adekvatnu tehničku opremljenost.

U ovom članku predočit ćemo neke od suvremenih sustava zaštite od štetnog djelovanja voda.

2. Tradicionalni načini zaštite od poplave

Kada se spomene zaštita od poplave svi odmah pomisle na vreće s pijeskom. To je standardni način izgradnje “zečjih” nasipa, nadvišenja obrambenih nasipa i osiguravanja od proboja. Ovo rješenje zahtijeva velik broj ljudi i dovoženje velikih količina pijeska neposredno na ugroženo područje, što bliže nasipu. Ovo često nije moguće jer tlo iza nasipa može biti provlaženo, a i ne postoje uređene prometnice. Osim toga potrebno je puno vremena za punjenje vreća i slaganje, što je još jedan bitan čimbenik učinkovite zaštite. Vreće s pijeskom mogu se koristiti jednokratno i problem je uklanjanja poslije prolaska vodnog vala.

3. Novi sustavi zaštite od štetnog djelovanja voda

Problemi koji se pojavljuju u obrani od štetnog djelovanja voda su prvenstveno načini zaštite od poplave, erozije i bujica te kontrole podzemnih i površinskih vodenih tokova. Naročito poplave svojim kratkotrajnim, ali vrlo razornim djelovanjem nanose velike štete gospodarstvu što samo brзом intervencijom možemo spriječiti. Kao zamjenu za tradicionalno rješenje vrećama punjenim pijeskom, predstavljamo tri jednostavna i brza sustava za obranu od poplave:

- Vodena barijera;
- Vodene cijevi;
- Flex-Mac elementi.

Sustavi se koriste pri:

- formiranju obrambenih linija;
- nadvišenju postojećih obrambenih nasipa kod nailaska vodnog vala;
- zaštiti pojedinih objekata u slučaju poplave;
- osiguranju izvođenja hidrotehničkih radova u suhom;
- izradi privremenih bazena, laguna, pregrada ili manjih kanala.

3.1. Vodena barijera

Jednostavan sustav metalnih nosača i paleta, prekrivenih geomembranom, koji tvori nepropusnu konstrukciju.

Sustav se koristi za zaštitu od poplave, a pogodan je za izradu privremenih bazena, laguna ili kanala, te za pregradnju ili ograđivanje manjih vodotoka kod izgradnje hidrotehničkih objekata.

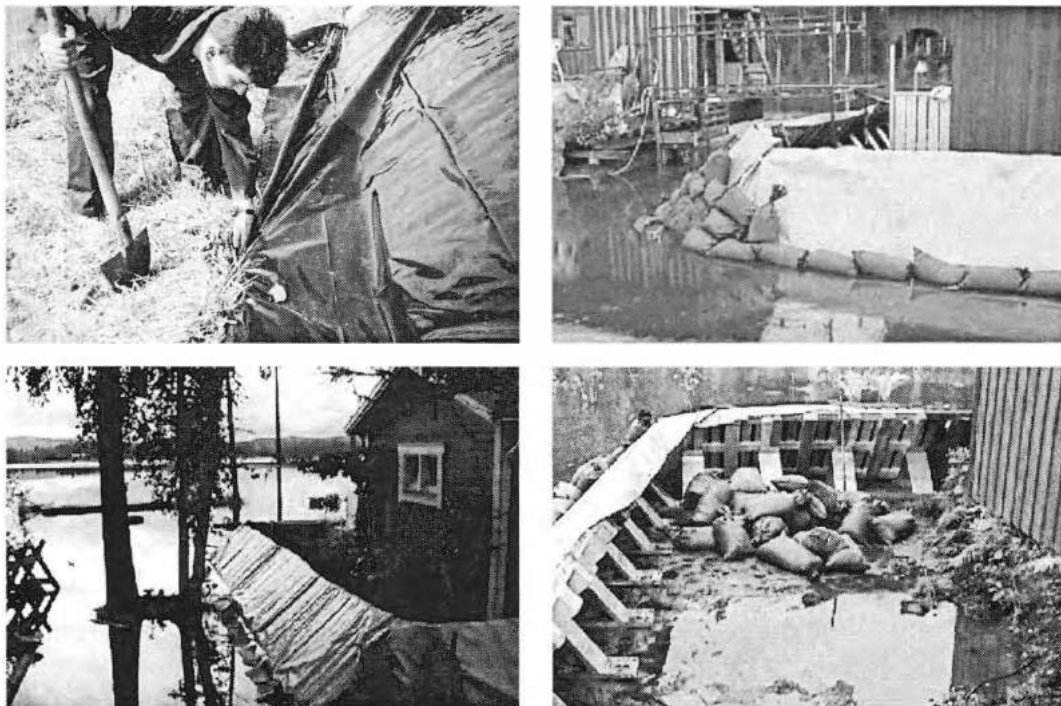


Slika 1. Vodena barijera

Uz nosače od pocinčanog čelika i geomembrane od armiranog polietilena visoke gustoće, potrebne su nam EURO palete standardnih dimenzija, koje je moguće imati u pripremi ili nabaviti vrlo lako u slučaju potrebe.

Ovisno od načina postavljanja paleta i razmaku metalnih nosača dobivamo barijere različitih visina. Postavljanjem paleta na dužu stranu dobijemo visinu 65 cm. Uz postavljanje paleta na kraću stranu dobijemo visinu 95 cm, a nosači su automatski na manjem razmaku te mogu preuzeti veće opterećenje. Uz specijalne nosače moguće je postaviti dvije palete kraćom stranom jednu iznad druge i dobiti visinu barijere 180 cm. Pri postavljanju membrane potrebno je paziti na njezino prijanjanje na tlo zbog mogućeg prolaska vode. Ovaj spoj se osigurava nasipanjem manje količine zemlje, ukopavanjem u tlo ili vrećama s pijeskom, slika 2.

Dva radnika mogu jednostavno montirati 500 m zaštite dnevno.

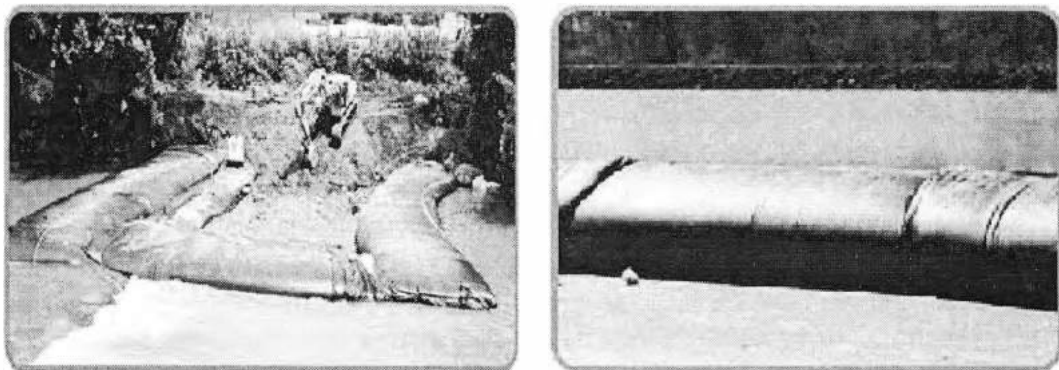


Slika 2.

Vodena barijera se isporučuje u setovima. Set sadrži 14 metalnih nosača, 14 drvenih nosača (paleta), 1 membranu (2 x 50 m). Jednim setom se može formirati barijera dužine 48 m i visine 65 cm, ili dužine 32 m i visine 95 cm.

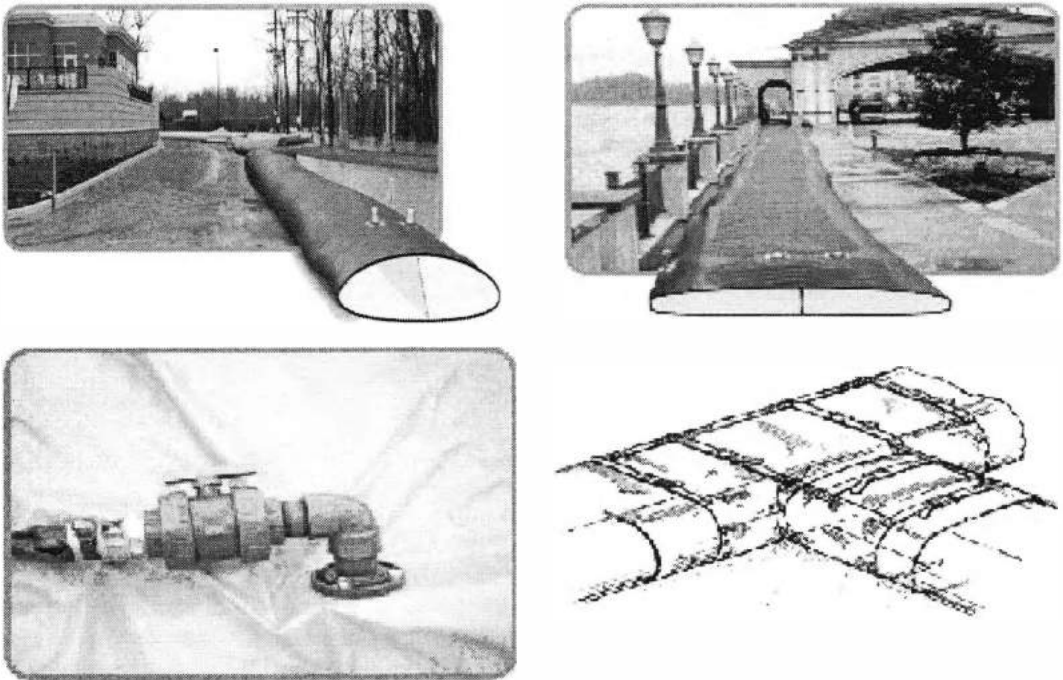
3.2. Vodene cijevi

Sustav cjevastih jastuka od armiranih polimernih geomembrana visoke čvrstoće i trajnosti, slika 3. i 4.



Slika 3. Vodene cijevi

Služe za nadvišenje obrambenih nasipa ili ograđivanje objekata. Brzo se postavljaju i međusobno spajaju, posebnim kopčama. Pune se vodom od koje se branimo. Ventili za



Slika 4. Vodene cijevi - nastavak

punjenje i pražnjenje su standardni, te odgovaraju crpkama koje svaka jedinica za zaštitu od poplave ili vatrogasna služba ima u svojoj opremi.

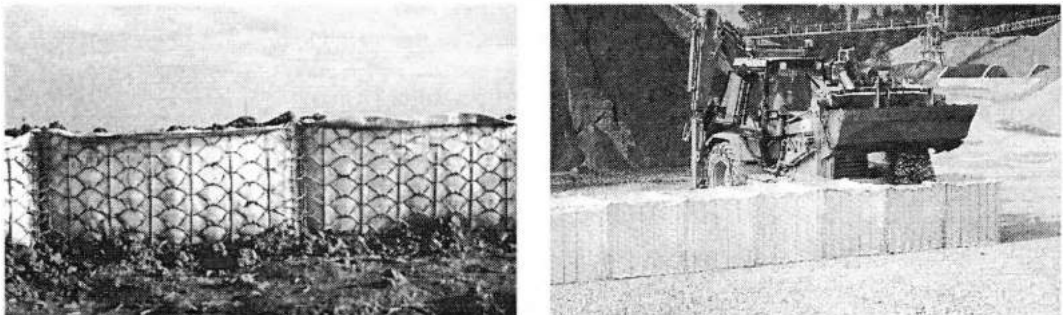
Visine elemenata i stupac vode koji se može zadržati je od 0,5 do 1,5 m. Odnos visine i širine je 1:3, što omogućava stabilnost na prevrtanje.

Po prolasku vodnog vala cijevi se jednostavno prazne, demontiraju i spremaju za slijedeću upotrebu.

Dva do tri radnika jednostavno postavljaju i sastavljaju elemente, a paralelno s tim vrši se punjenje vodom. Brzina postavljanja ovisi o broju i kapacitetu crpki.

3.3. Flex-Mac elementi

Sustav izrađen na bazi gabionskih konstrukcija, od visokokvalitetne pocinčane mreže. Element se sastoji od više ćelija obloženih geotekstilom, a bez dna i poklopca. Puni se bilo kojim dostupnim materijalom, šljunkom, pijeskom ili zemljom.



Slika 5. Flex-Mac elementi

Sustav se koristi za brzu izgradnju ili nadvišenje obrambenih nasipa od poplave, za zaštitu od proboja ili kod procjeđivanja vode kroz nasip (slika 6), a koristi se i za izgradnju utvrda u vojne svrhe. Može se koristiti i za izgradnju čvrste jezgre nasipa i služiti kao drenaža.



Slika 6.

Flex-Mac elementi su širine 1 m, duljine 5 ili 10 m, a visine 0,5 , 1,0 ili 1,4 m.

Uz FLEX-MAC elemente potrebna potrebna su 2 - 4 radnika za podizanje i lakša građevinska mehanizacija za brzo punjenje. Ekipa od pet do šest radnika, za osam sati može podići 250-300 m nasipa.

4. Zaključak

Razvoj novih materijala i tehnologija u graditeljstvu omogućuje izuzetne rezultate u projektiranju i izvođenju objekata. Manje vremena i prostora posvećuje se mjerama koje će izgrađena dobra i imovinu čuvati u slučaju elementarnih nepogoda. Ovdje se prvenstveno misli na zaštitu od štetnog djelovanja voda. Osnovna karakteristika ovakve nepogode je relativno kratko trajanje s velikim direktnim i indirektnim posljedicama. Samo brzom i efikasnom intervencijom možemo spriječiti velike gubitke.

Moderne tehnologije, naročito iz područja geosintetika, omogućuju kvalitetnu pripremu i sigurnost u slučaju opasnosti, a zamjena su za klasična, nedovoljno učinkovita, rješenja. Vreće s pijeskom neće nikada u potpunosti biti isključene iz uporabe, jer će uvijek postojati mjesta, prijelazi i spojevi novih elemenata, koji će se vrećama adekvatno zatvoriti.

Prednosti novih sustava za zaštitu od štetnog djelovanja voda su:

- jednostavnost i brzina postavljanja;
- višekratna uporaba;
- mogućnost korištenja lokalnog materijala;
- minimalna radna snaga.

Svojim karakteristikama novi sustavi našli su svoje mjesto kao nezaobilazni u obrani od poplava u Zapadnoj Europi i Americi, a polako i u Hrvatskoj.

Autori:

Dario Dimter, dipl.inž.građ.

Damir Vicković, dipl.inž.građ.



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.24.

Održavanje melioracijskih kanala i vodnog režima poljoprivrednih zemljišta

Josip Marušić

SAŽETAK: Redovito održavanje melioracijskih kanala i ostalih hidromelioracijskih objekata je potrebno za zadržavanje njihovih projektno-izvedbenih elemenata čiji je cilj stvaranje uvjeta za efikasnu odvodnju suvišnih voda s poljoprivrednih zemljišta. Hidromelioracijski sustavi (h.s.) površinske odvodnje u potpunosti su izgrađeni na 33,5%, nepotpuno na 29,0%, a nisu izgrađeni na 37,5% od ukupnih potreba u Hrvatskoj na 1.789.070 ha (100%).

Na poljoprivrednim površinama s potpuno izgrađenim h.s. za odvodnju prosječni prirodni prinosi pšenice su ostvareni sa 5,46 dt/ha, a kukuruza 6,41 dt/ha. Na površinama s nepotpuno izgrađenim h.s. za odvodnju prosječni prirodni prinosi su ostvareni 3,80 odnosno 4,47 dt/ha. To potvrđuje opravdanost izgradnje, ali i neophodnost redovitog održavanja melioracijskih kanala kao i ostalih hidromelioracijskih objekata površinske odvodnje za potrebe optimalnog vodnog režima poljoprivrednih zemljišta. Nažalost ratnim djelovanjem raznih srbočetničkih vojnih formacija i tzv. JNA-a, na privremeno okupiranom području oštećen je i razoren dio hidromelioracijskih kao i zaštitnih hidrotehničkih objekata i sustava. Istovremeno i na ostalim melioracijskim područjima nisu izvršavani poslovi (od 1991.g.) redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava i to prvenstveno zbog smanjenja sredstava slivne naknade koju trebaju plaćati vlasnici i korisnici zemljišta.

KLJUČNE RIJEČI: održavanje, melioracijski kanali, optimalni, vodni režimi, zemljišta

Maintenance of Drainage Canals and Arable Land Water Regime

SUMMARY: Regular maintenance of drainage canals and other drainage structures is undertaken in order to maintain their design and construction features planned to provide for effective drainage of excessive water from arable land. In Croatia, the surface drainage systems are completely built on 33.5%, partially on 29.0% and unavailable on 37.5% of total surface of 1,789,070 ha (100%). On arable land with completely built drainage systems average wheat yield is 5.46 dt/ha, and maize 6.41 dt/ha. On surfaces with partial drainage systems average yields are 3.80 dt/ha and 4.47 dt/ha, respectively. Such results justify construction and highlight the need for regular maintenance of drainage canals and other drainage structures intended for surface drainage which provide for optimum water regime on arable land. Regretfully, part of drainage and flood control structures and systems was destructed during the recent war. At the same time, in other land reclamation areas regular maintenance of drainage structures and systems has been neglected since 1991, primarily because of lowered charges which are paid by the land owners and users.

KEY WORDS: maintenance, drainage canals, optimum water regimes, land

1. Uvod

Osnovna zadaća hidromelioracijskih objekata i sustava je u stvaranju i održavanju vodnog i zračnog režima zemljišta prema zahtjevima optimalnog razvoja biljnih kultura. Terenska obilježja melioracijskih područja i zahtjevi racionalnog uzgoja te ostvarenja stabilnih priroda biljnih kultura uvjetuju i određuju projektno-izvedbena rješenja hidromelioracijskih objekata i sustava kao i provedbu odgovarajućih agrotehničkih mjera i radova. Zbog toga je potrebna provedba terenskih snimanja i ispitivanja te sistematizacija i analiza podataka topografskih, hidroloških, klimatskih, pedoloških, geomehaničkih i vegetacijskih podloga pojedinih melioracijskih područja. Potreba stalnog poboljšanja vodnog režima na pojedinim slivnim područjima zahtijeva projektna i izvedbena rješenja hidromelioracijskih objekata i sustava (za odvodnju i navodnjavanje) koja je moguće poboljšavati i prilagođavati novim zahtjevima i potrebama suvremenog procesa uzgoja biljnih kultura.

Na žalost, ratnom agresijom srbočetničkih vojnih formacija i tzv. JNA, zaustavljene su aktivnosti na izgradnji i dogradnji hidromelioracijskih objekata i sustava kao i zaštitnih hidrotehničkih objekata. Istodobno je od 1991. g. prisutno stalno smanjenje sredstava slivne vodne naknade za poslove njihovog redovitog održavanja. Također je dio hidromelioracijskih objekata i sustava kao i zaštitnih hidrotehničkih objekata oštećen i razoren ratnim djelovanjem agresora. Navedeno je dovelo do nižeg stupnja održavanja i odvodnje putem melioracijskih kanala te pogoršanja vodnog režima poljoprivrednih zemljišta što je utjecalo i na smanjenje priroda biljnih kultura.

2. Postojeći stupanj izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju u Hrvatskoj

Zbog pogoršanja stanja u gospodarstvu, a posebno u poljoprivredi i vodoprivredi (posljedice ratne agresije), od 1991. do 1998. g. nije bilo financijskih ulaganja u dogradnju postojećih i izgradnju novih hidromelioracijskih objekata i sustava za površinsku i podzemnu odvodnju poljoprivrednih zemljišta. To se odnosi i na zaštitne hidrotehničke objekte. U sklopu toga treba imati na umu da je 209.320 ha nizinskih poljoprivrednih zemljišta još uvijek izloženo djelovanju poplavnih voda rijeka zbog neizgrađenih zaštitnih hidrotehničkih objekata.

Također je štetnom djelovanju bujičnih vodotoka i pojačanih erozijskih procesa izloženo 346.000 ha poljoprivrednih zemljišta. Od 1991. do 1995. g. privremeno je bilo okupirano 296.510 ha hidromelioriranih površina, što je dovelo do oštećenja, razaranja i neodržavanja dijela hidrotehničkih objekata i sustava na tom području. Osnovni pokazatelji o postojećem stupnju izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju u Hrvatskoj su sljedeći:

- Ukupne melioracijske površine za površinsku odvodnju	1.789.070 ha (100%)
- Potpuno izgrađeni hidromelioracijski sustavi (h.s.)	
površinske odvodnje	600.054 ha (33,5%)
- Nepotpuno izgrađeni h.s. površinske odvodnje	518.830 ha (29,0%)
- Neizgrađeni h.s. površinske odvodnje	670.186 ha (37,5%)

Na (ne)potpuno melioriranim površinama (1.118.884 ha, 62,5%), izgrađeni su sljedeći hidromelioracijski objekti:

1) Dužina melioracijskih kanala III. i IV. reda (sabirni i detaljni kanali)	26.357 km
2) Betonski cijevni propusti promjera 50-200 m (dužine 9-15 m)	21.659 objekata
3) Betonski pločasti propusti otvora 200-1000 cm (širine 7-11 m)	1.486 objekata
4) Betonske i kamene stepenice na melioracijskim kanalima III. i IV. reda	1.085 objekata
5) Poluautomatski cijevni čepovi promjera 50 do 200 cm	506 objekata
6) Ostali hidromelioracijski objekti (obloge, ušća kanala, brzotoci, sifoni)	1.466 objekata
7) Crpne stanice na 18 slivnih melioracijskih područja	78 objekata
- ukupna snaga svih agregata	21.438 kW
- ukupni kapacitet svih objekata	326,44 m ³ /s

Posebno značenje je u 78 objekata crpnih stanica za odvodnju 307.400 ha najnižih poljoprivrednih zemljišta na 18 slivnih područja. Također je važan podatak da o stupnju izgrađenosti i održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje ovisi i funkcioniranje hidromelioracijskih sustava podzemne odvodnje koji su izgrađeni na 161.530 ha što je 19,64% od ukupnih potreba na 822.350 (100%) poljoprivrednih zemljišta Hrvatske.

Tablica 1. Podaci o izgrađenosti hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje po vodnim područjima Hrvatske

Vodno područje	Melioracijske površine		Stupanj izgrađenosti h.s. površinske odvodnje					
			Potpuno		Nepotpuno		Nije riješeno	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Sava	1,129.757	63,1	374.434	33,1	264.085	23,4	491.238	43,5
Drava i Dunav	570.836	31,9	213.619	37,4	230.360	40,4	126.850	22,2
Istra i Primorje	43.830	2,5	4.200	9,6	9.340	21,3	30.290	69,1
Dalmacija	44.647	2,5	7.801	17,5	15.046	33,7	21.800	48,8
Ukupno Hrvatska	1,789.070	100	600.054	33,5	518.830	29,0	670.186	37,5

Sastavni dio pokazatelja (ne)potpuno melioriranih površina su i podaci za odgovarajuće hidromelioracijske objekte.

3. Glavni poslovi redovnog održavanja odvodnih hidromelioracijskih sustava

Na slici 1. dato je najčešće rješenje situacije kanalske mreže površinske odvodnje s opisom i ostalih hidromelioracijskih objekata površinske odvodnje. Na slici 2. dat je prikaz karakterističnih poprečnih presjeka melioracijskih kanala IV. i III. reda s osnovnim dimenzijama kao i količinama glavnih poslova njihovog redovnog održavanja. Po pravilniku o tehničkim, gospodarskim i drugim uvjetima za uređenje sustava melioracijske odvodnje, te osnovama za tehničko i gospodarsko održavanje hidromelioracijskih sustava potrebno je izvršavati sljedeće poslove:

3.1. Gospodarsko održavanje melioracijskih kanala

- 1) Košnja pokosa i bankina melioracijskih kanala: radi se "samohodnim" ili traktorskim kosilicama i ručno skuplja i uklanja ili pali.

- 2) Košnja dna melioracijskih kanala: radi se ručno ili traktorskim kosilicama, uklanjajući nepotrebno iz profila kanala.
- 3) Košnja barskog bilja u profilu kanala većih dimenzija, gdje ima vode: radi se plovnim kosilicama i ručno uklanja iz profila kanala.
- 4) Tretiranje herbicidima radi sprečavanja razvoja vegetacije u profilu melioracijskih kanala.
- 5) Sječa šiblja i raslinja debljine do 5 cm u profilu kanala i na bankinama – kad se melioracijski kanali ne održavaju redovito: radi se motornim pilama i ručno skuplja te uklanja iz profila kanala i pali.
- 6) Ručna košnja trave oko izljeva drenažnih cijevi, ili na dionicama kanala gdje nije moguć rad motornim kosilicama – ručno se sakuplja i uklanja iz profila kanala ili pali.

Navedeni poslovi obavljaju se jednom ili dva puta godišnje, i to od mjeseca lipnja do listopada.

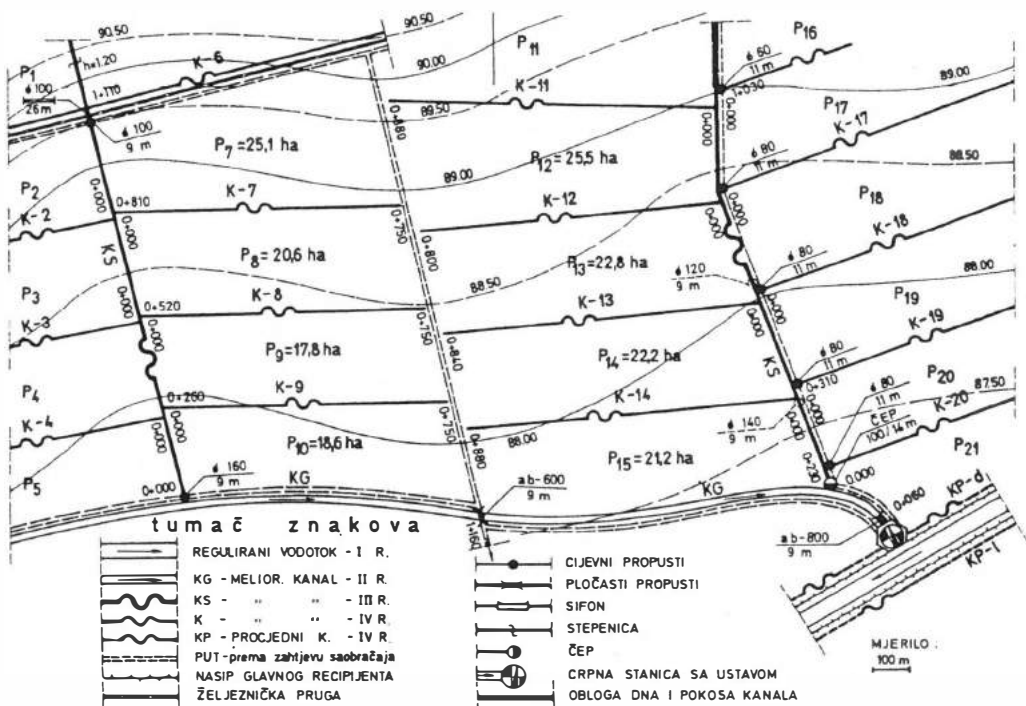
3.2. Tehničko održavanje melioracijskih kanala

- 1) Izmuljenje kanaločistačima melioracijskih kanala – dubine do 1,80 i gornje širine 6,0 m; prosječna dubina mulja 0,30 m. Ti se radovi provode na 65% melioracijskih kanala IV. reda.
- 2) Izmuljenje hidrauličkim bagerima melioracijskih kanala dubine od 1,50 do 3,00 i gornje širine do 12,0 m; prosječna dubina mulja do 0,50 m. To se obavlja na 35% melioracijskih kanala IV. reda i na 100% melioracijskih kanala III. reda.
- 3) Razastiranje izmuljenog materijala iz melioracijskih kanala: radi se dozerima ili traktorima s odgovarajućim priključcima.
- 4) Izmuljenje ručno – melioracijskih kanala na dionicama gdje to nije moguće strojevima (zbog objekata ili drugih prepreka u profilu i pokraj profila kanala).

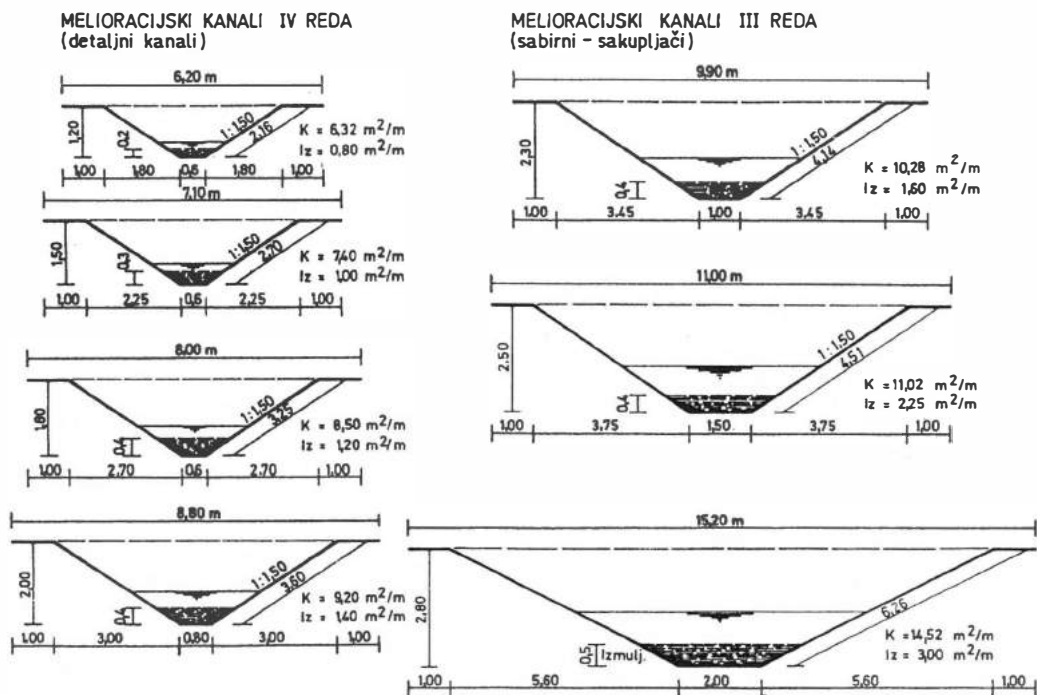
Navedeni poslovi izvode se u prosjeku svake četvrte godine – ovisno o prirodnim obilježjima slivnih područja i tehničkim rješenjima melioracijskih kanala te potrebnom stupnju odvodnje, s obzirom na zahtjeve uzgoja pojedinih biljnih kultura. Te je radove moguće izvoditi tijekom cijele godine (osim pri temperaturama nižim od -5°C).

3.3. Poslovi održavanja ostalih hidromelioracijskih objekata

- 1) Izmuljenje tipskih cijevnih propusta s otvorom od 50 do 200 cm: radi se ručno ili strojevima, s pomoću tlačnih crpki (ispiranje mulja vodom pod tlakom).
- 2) Izmuljenje tipskih pločastih propusta s otvorom od 2,00 do 10,00 m. Radi se ručno, dižući materijal uvis do 3,00 m, a može se i strojevima s pomoću tlačnih crpki.
- 3) Poslovi održavanja objekata u profilu melioracijskih kanala: tehničko čišćenje i održavanje stabilnosti te manji popravci ovih objekata: betonske i kamene stepenice, obloga dna i pokosa kanala, brzotoci, objekti ušća kanala, čepovi, sifoni, ustave.
- 4) Poslovi kontrole i održavanja izljeva drenažnih cijevi – i po potrebi zamjena oštećenih izljeva.
- 5) Poslovi redovitog održavanja i rada crpnih stanica i pratećih objekata vrlo su složeni i skupi, pa se i posebno procjenjuju i iskazuju (građevinski, elektro, strojarski, energija).



Slika 1. Situacija kanalske mreže površinske odvodnje s objektima



Slika 2. Karakteristični poprečni profili melioracijskih kanala IV. i III. reda s osnovnim podacima za košnju pokosa i bankina, izmuljenje dna i dužinu pokosa kanala

3.4. Ostali poslovi redovitog održavanja hidromelioracijskih sustava

- 1) Poslovi kontrole funkcioniranja odvodnje u vrijeme učestalih oborina jačega intenziteta.
- 2) Kontrola geodetskih oznaka u vezi s lokacijom pojedinih hidromelioracijskih objekata i mjerodavnih profila melioracijskih kanala.
- 3) Kontrola karakterističnih mjernih profila kanala s obzirom na maksimalne vodostaje i protoke.
- 4) Geodetsko snimanje pojedinih dionica melioracijskih kanala za potrebe kontrole mjerodavnog proticajnog i uzdužnog profila – s obzirom na potreban stupanj funkcioniranja odvodnje.
- 5) Izrada odgovarajuće tehničke dokumentacije u vezi s poslovima redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava (nacrti, dokaznice mjera, podaci iz dnevnika rada, tehnologija izvođenja pojedinih vrsta radova).
- 6) Praćenje tehničkih i financijskih pokazatelja u vezi stupnja održavanja i funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava.
- 7) Vođenje katastra hidromelioracijskih objekata i sustava.
- 8) Značenje održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava za vodnogospodarski te cjelokupni gospodarski i društveni razvitak.

Prema navedenom opisu poslova redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava posebno je važno da se ispravno procijeni prevladavajući udio troškova poslova košnje ukupnog profila kanala i izmuljenje dna melioracijskih kanala. Međutim, ne smije se zanemariti ni značenje troškova ostalih poslova za potrebe učinkovite odvodnje odnosno zadržavanja projektno-izvedbenih elemenata hidromelioracijskih objekata i sustava.

Za poslove redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava nužno je:

- osigurati odgovarajuća financijska sredstva (prema odredbama Zakona o vodama i Zakona o financiranju vodnog gospodarstva iz prosinca 1995.),
- upotrebljavati strojeve optimalnih proizvodnih i radnih karakteristika,
- primjenjivati suvremenu tehnologiju u procesu izvršavanja pojedinih vrsta poslova redovitog održavanja,
- dosljedno primjenjivati tehničke normative za poslove redovitog održavanja,
- stalno stručno usavršavati odgovarajuće profile radnika uključenih u procesu redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava.

Međutim, unatoč odredbama prijašnjih Zakona o vodama (1984. i 1990.g.) i premda postoji Zakon o vodama (1995.) te Zakon o financiranju vodnog gospodarstva (1995.), u praksi i dalje nema dovoljno novca za poslove redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava. Zato i jesu ti poslovi svedeni na sve manju mjeru, a to znači da je i sve niži stupanj funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju. To je pak prouzročilo pogoršanje vodnog i zračnog režima poljoprivrednih zemljišta – smanjujući ujedno prirode biljnih kultura na hidromelioriranim površinama. Tvrtka “HRVATSKE VODE” daje upute za održavanje i obavlja stručni nadzor nad održavanjem hidromelioracijskih objekata i sustava – po Planu upravljanja lokalnim vodama (Zakon o vodama, prosinac 1995.g.).

4. Troškovi održavanja hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje

Od 1991. godine prisutno je smanjenje sredstava slivne vodne naknade (Zakon o financiranju vodnog gospodarstva) za poslove redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje. To direktno utječe na niži stupanj odvodnje i pogoršanja vodozračnog

režima poljoprivrednih zemljišta, a zbog toga i do povećanih troškova u procesu pripreme i obrade zemljišta te uzgoja biljnih kultura. Istodobno je prisutno i smanjenje njihovih priroda u usporedbi s površinama gdje se pravodobno obavljaju poslovi redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje.

Na temelju provedenih analiza po vrijedećim normativima i cijenama u tablici 2. dati su osnovni pokazatelji za troškove održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje. Osim podataka za troškove izražene u DEM/ha dati su i odgovarajući podaci za ekvivalentan iznos vrijednosti količine pšenice – dt/ha.

Tablica 2. Ukupna vrijednost radova (DEM/ha) i ekvivalentan iznos pšenice (dt/ha) za poslove redovnog održavanja gravitacijskih hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje

MK-III. reda		MK-IV. reda		Ukupna vrijednost radova (DEM/ha) i ekvivalentan iznos pšenice (dt/ha) za MK-III.r. razmaka 1000m, 10m/ha, b=1,00m, MK-IV.r., razmaka 350-200m, b=0,60m						
dubina m	površina m ² /m	dubina m	površina m ² /m	350m 28,6m/ha	325m 30,8m/ha	300m 33,3m/ha	275m 36,4m/ha	250m 40,4m/ha	225m 44,4m/ha	200m 50,0m/ha
1,80	8,48	1,30	6,68	43,49 1,36	45,65 1,43	48,14 1,51	51,77 1,62	54,73 1,71	58,90 1,84	64,81 2,03
1,90	8,84	1,40	7,04	44,31 1,38	46,53 1,45	49,06 1,53	52,18 1,63	55,81 1,74	60,07 1,88	65,89 2,06
2,00	9,20	1,50	7,40	45,13 1,41	47,40 1,48	50,00 1,56	53,17 1,66	56,88 1,78	61,23 1,91	67,18 2,10
2,10	9,56	1,60	7,76	45,98 1,44	48,28 1,51	50,92 1,59	54,17 1,69	57,96 1,81	62,39 1,95	68,48 2,14
2,20	9,92	1,70	8,12	46,80 1,46	49,16 1,54	51,85 1,62	55,16 1,72	59,02 1,84	63,57 1,99	69,75 2,18
2,30	10,28	1,80	8,48	47,64 1,49	50,02 1,56	52,80 1,65	56,26 1,76	60,74 1,88	64,74 2,03	71,05 2,22
2,40	10,64	1,90	8,84	48,45 1,51	50,91 1,59	53,72 1,68	57,15 1,79	61,17 1,91	65,90 2,06	72,33 2,26
2,50	11,00	2,00	9,20	49,28 1,54	51,78 1,62	54,65 1,71	58,15 1,82	62,16 1,95	67,08 2,10	73,62 2,30
2,60	11,36	2,10	9,56	50,13 1,57	52,67 1,65	55,57 1,74	59,15 1,85	63,32 1,98	68,25 2,13	74,90 2,34
2,70	11,77	2,20	9,92	50,94 1,59	53,53 1,67	56,51 1,77	60,15 1,88	64,40 2,01	69,41 2,17	76,23 2,38
2,80	12,08	2,30	10,28	51,77 1,62	54,41 1,70	57,43 1,80	61,15 1,91	65,47 2,05	70,57 2,21	77,49 2,42

Mjerodavni podaci: MK-III.r., l=1000m, K=10,0m/ha, b=1,00m, m=1,50, pokos 3,25-5,05m. MK-IV.r., l=350,200m, K=28,6-50,0m/ha, b=0,60m, m=1,50, pokos 2,35-4,15m. Jednokratna košnja pokosa i bankina: 0,035 DEM/m² (računato 1,5 x godišnje) 36,0%. Jednokratna košnja dna kanala: 0,145 DEM/m², (računato 1,5 x godišnje) 12,0%. Izmuljenje – čišćenje dna kanala: 1,55 DEM/m², (računato svake 4 godine) 40,0%. Ostali radovi 12,0%. Vrijednost pšenice: 32,00 DEM/dt, odnosno 115 kn/dt.

Za dubinu MK-IV. reda od 1,30 do 2,30 m i dubinu MK-III. reda od 1,80 do 2,80 m te razmake MK-IV. reda od 200 do 350 m mjerodavni podaci su sljedeći:

- minimalni troškovi redovitog održavanja su od 156,56 do 186,37 kn/ha odnosno od 43,49 do 51,77 DEM/ha – što odgovara vrijednosti pšenice od 1,36 do 1,62 dt/ha;
- maksimalni troškovi redovitog održavanja su od 233,32 do 278,96 kn/ha odnosno od 64,81 DEM/ha do 77,49 DEM/ha - što odgovara vrijednosti pšenice od 2,03 do 2,42 dt/ha.

Te pokazatelje treba sagledati u vezi maksimalnih priroda pšenice koji su ostvareni na zemljištima s izgrađenim hidromelioracijskim sustavima za odvodnju. Na temelju provedenih raščlambi, mjerodavni pokazatelji su sljedeći:

- c) minimalni troškovi redovitog održavanja su: od 2,49 do 2,97 posto;
 d) maksimalni troškovi redovitog održavanja su: od 3,72 do 4,43 posto.

Prosjek navedenih troškova je 3,40 posto od ekvivalentne vrijednosti priroda pšenice (54,6 dt/ha) na hidromelioriranim zemljištima.

5. Zaključak

Održavanje melioracijskih kanala i ostalih hidromelioracijskih objekata u funkciji zadržavanja optimalnog vodnog režima poljoprivrednih zemljišta. To je glavni preduvjet za ostvarenje visokih i stabilnih priroda biljnih kultura. Zbog toga je neophodno pravovremeno i kvalitetno izvršavanje poslova gospodarskog i tehničkog održavanja odvodnih hidromelioracijskih objekata i sustava. Navedeno je moguće ostvariti sredstvima slivne naknade u iznosu od 2,49 do 4,43 posto ekvivalentne vrijednosti priroda pšenice na hidromelioriranim poljoprivrednim zemljištima. Iznos za poslove redovnog održavanja ovisi o projektno-izvedbenim elementima melioracijskih kanala i odgovarajućih hidromelioracijskih objekata.

Literatura

1. Podaci o izgradnji i održavanju hidromelioracijskih objekata i sustava u Hrvatskoj, Podaci vodoprivrednih poduzeća po slivnim područjima, SOUR "Vodoprivreda Hrvatske", Zagreb, 1981.-1990.
2. Marušić, J.: Analiza dosadašnje i prijedlog potrebne vodoprivredne naknade za održavanje hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje, Privreda, Osijek, 1991., str. 21-28.
3. Kos, Z.: Potrebe, principi i načini održavanja odvodnih hidromelioracijskih sustava, Priručnik za hidrotehničke melioracije, I. kolo, knjiga, 6, DONH-e, Zagreb, 1991., str. 1-24.
4. Marušić, J.: Stupanj izgrađenosti hidromelioracijskih sustava za odvodnju poljoprivrednih zemljišta u Hrvatskoj, Prvo hrvatsko znanstveno-stručno savjetovanje "Opća uloga komasacije poljoprivrednog zemljišta i njezin utjecaj na povećanje poljoprivredne proizvodnje", Osijek, 1991., str. 100-114.
5. Marušić, J., Tomić, F.: Hidrotehničke melioracije – preduvjet razvitka hrvatske poljoprivrede, Znanstveno-stručno savjetovanje "Strategija dugoročnog razvitka poljoprivrede Hrvatske", Zagreb, 1992., str. 180-190.
6. Tomić, F., Marušić, J.: Stanje i perspektive melioracija u Hrvatskoj, Znanstveno-stručno savjetovanje "Poljoprivreda i gospodarenje vodama", Bizovačke Toplice, 1994., str. 41-52.
7. Marušić, J.: Analiza troškova građenja i održavanja hidromelioracijskih sustava za odvodnju u Slavoniji i Baranji, Anali, 10, HAZU, Zagreb, Zavod za znanstveni rad, Osijek, 1994., str. 11-72.
8. Zakon o vodama Hrvatske, Narodne novine, 107, Zagreb, 1995., str. 2910-2936.
9. Zakon o financiranju vodnog gospodarstva, Narodne novine, 107, Zagreb, str. 2936-2942.
10. Marušić, J.: Održavanje hidromelioracijskih sustava za odvodnju u Hrvatskoj, Građevni godišnjak '97, Zagreb, 1997., str. 329-372.
11. Marušić, J., Mađar, S., Tomić, F.: Hidromelioracijski sustavi za odvodnju, sjetvene površine i prirodni pšenice i kukuruza u Hrvatskoj od 1976. do 1996.g., Hrvatske vode, 6, 22, Zagreb, 1998., str. 1-20.
12. Tomić, F. i suradnici: "Reguliranje vodnog režima tla u klimatskim promjenama i uvjetima održive poljoprivrede", Znanstveni skup "Prilagodba poljoprivrede i šumarstva klimi i njenim promjenama", Zagreb, 1998., str. 85-92.

Autor:

Prof.dr.sc. Josip Marušić, Zavod za hidrotehniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Kačićeva 26



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.25.

Ostaci atrazina u drenažnim vodama i tlu srednje Posavine

Ivan Šimunić, Frane Tomić, Zvonimir Ostojić, Dragutin Petošić

SAŽETAK: Atrazin- 2 – klor – 4 - (etilamin) – 6 – (izopropilamin) – s – triazin, rabi se od početka šezdesetih godina u zaštiti različitih kultura od korova i još uvijek je vodeći herbicid u kukuruzu. Atrazin je zbog relativne postojanosti i učestale primjene često moguće utvrditi u zaostalim količinama u okolišu. Posljednjih desetak godina pronađen je u mnogim izvoristima pitke vode širom svijeta. Stoga mu je u pojedinim europskim zemljama ograničena primjena (Francuska, Španjolska, Švicarska, Slovenija, Hrvatska), dok mu je u nekim državama uporaba zabranjena (Njemačka, Austrija, Italija). Iako ispiranje (leaching) kroz profil oraničnog sloja tla i spiranje s površine oraničnog sloja tla nisu jedini putovi kojim atrazin dospijeva u pitku vodu, ipak ovaj način onečišćenja voda ima značajnu ulogu. Na temelju dvogodišnjih rezultata vidljivo je da je koncentracija atrazina u gotovo svim uzorcima drenažne vode bila viša od 100 $\eta\text{g/l}$ (što je maksimalno dozvoljena koncentracija pojedinog pesticida u vodi za piće), a manja od 500 $\eta\text{g/l}$ (maksimalno dozvoljena koncentracija ukupnih pesticida u vodi za piće).

KLJUČNE RIJEČI: atrazin, drenažna voda, hidromeliorirani pseudoglej glej

Atrazine Traces in Drainage and Soil of Drained Pseudogley Soil of Central Posavina Region

SUMMARY: Atrazin-2-chlorine-4-(ethylamine)-6-(isopropylamine)-s-triazine was discovered in 1957 (Gysin, H. and Knüsli, E). It has been used for protection of different cultures against weeds since early sixties and has remained the leading maize herbicide. Due to its relative stability and frequent use, atrazin can often be detected in traces in the environment. During the last ten odd years it has been detected in numerous potable water well fields worldwide. For that reason, its use in many European countries has been either limited (France, Spain, Switzerland, Slovenia, Croatia) or banned (Germany, Austria, Italy). Although its leaching through and washing out from the arable layer profile and surface, respectively, are not the only routes of atrazin ingress into the potable water, its contribution is considerable. The biannual results indicate that the atrazine concentration in almost all drainage water samples was above 100 $\eta\text{g/l}$ (maximum allowable concentration of a single pesticide in potable water), and below 500 $\eta\text{g/l}$ (maximum allowable concentration of all pesticides in potable water).

KEYWORDS: atrazine, drainage water, drained pseudogley soil

Uvod

Atrazin- 2 – klor – 4 - (etilamin) – 6 – (izopropilamin) – s – triazin, pronađen je 1957. godine (Gysin, H i Knüsli, E) a u zaštiti različitih kultura od korova rabi se od početka šezdesetih i još uvijek je vodeći herbicid u kukuruzu. Zbog relativne postojanosti i

učestale primjene, atrazin je često moguće utvrditi u zaostalim količinama u okolišu. Posljednjih desetak godina pronađen je u mnogim izvorištima pitke vode širom svijeta. Upravo zbog rečenog u pojedinim europskim zemljama ograničena mu je primjena (Francuska, Španjolska, Švicarska, Slovenija, Hrvatska), dok mu je u drugim zabranjena uporaba zabranjena (Njemačka, Austrija, Italija). Iako ispiranje (leaching) kroz profil oraničnog sloja i spiranje s površine oraničnog sloja tla nisu jedini putovi kojim atrazin dopijeva u pitku vodu, ipak ovaj način onečišćenja voda ima značajnu ulogu.

Tijekom 1996. i 1997. godine provedena su istraživanja kojima smo željeli odrediti količinu atrazina u drenažnim vodama, u površinskim (0-30 cm) i potpovršinskom (30-60 cm) tlu, na melioracijskom pokusnom polju "Jelenščak"- Kutina. U tu svrhu razmatrane su varijante razmaka cijevne drenaže od 10 m (plitka cijevna drenaža – 0,8 m), 15 m, 20 m, 25 m i 30 m (srednje duboka cijevna drenaža -1,0 m). Sve varijante su u kombinaciji s kontaktnim hidrauličkim materijalom šljunkom i bez kontaktnog (hidrauličnog) materijala.

Tijekom svake godine istraživanje na svim varijantama cijevne drenaže uzgajana je ista kultura i primjenjena ista agrotehnika.

U obje godine istraživanja uzgajan je kukuruz. Za suzbijanje korova u 1996. godini primjenjen je pripravak Primextra 500 tek. (20 % atrazin + 30 % metolaklor) u količini od 6 l/ha. Tijekom 1997. godine korov je suzbijan kombinacijom herbicida Primextra 500 tek. 6 l/ha + Racer 25 EC (fluokloridon) 1 l/ha. Uzorci drenažne vode i tla uzimani su određeno sezonskom dinamikom.

Kvalitativna i kvantitavna analiza atrazina u uzorcima tla i vode rađena je plinskom kromatografijom, u Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada.

U 1996. godini maksimalna koncentracija atrazina u drenažnim vodama kretala se od 184 $\eta\text{g/l}$ do 384 $\eta\text{g/l}$, dok je prosjecna bila u rasponu od 147 $\eta\text{g/l}$ do 228 $\eta\text{g/l}$. U 1997. godini maksimalna koncentracija kretala se od 215 $\eta\text{g/l}$ do 458 $\eta\text{g/l}$, a prosjecna u rasponu od 145 $\eta\text{g/l}$ do 294 $\eta\text{g/l}$.

Koncentracija atrazina u površinskom sloju tla (1996.) utvrđena je u tragovima i nije prelazila vrijednost 3 $\mu\text{g/kg}$, dok u potpovršinskim slojevima atrazin nije utvrđen. Koncentracija atrazina u 1997. godini utvrđena je u većoj količini, u odnosu na 1996. godinu. Maksimalna koncentracija atrazina u površinskom sloju tla nije prelazila vrijednost od 11 $\mu\text{g/l}$, dok u potpovršinskom sloju tla atrazin nije utvrđen.

Metodika rada

Tijekom 1996. i 1997. godine provedena su istraživanja kojima smo željeli odrediti količinu atrazina u drenažnim vodama, te u površinskim (0-30 cm) i potpovršinskom sloju tla (30-60 cm) , na melioracijskom pokusnom polju "Jelenščak"- Kutina. Istraživanja su provedena na tipu tla meliorirani pseudoglej-glej i u tu svrhu razmatrane su varijante razmaka cijevne drenaže od 10 m (plitka cijevna drenaža – 0,8 m), 15 m, 20 m, 25 m i 30 m (srednje duboka cijevna drenaža -1,0 m). Sve varijante su u kombinaciji s kontaktnim hidrauličkim materijalom šljunkom i bez kontaktnog (hidrauličnog) materijala. Drenske cijevi su dužine 95 m, promjera 65 mm, prosječnog pada 3 ‰ i prosječne dubine 1 m, koje se izravno ulijevaju u kanale.

Tijekom svake godine istraživanja na svim je varijantama cijevne drenaže uzgajana ista kultura i primjenjena ista agrotehnika.

U 1996. godini istraživanja uzgajan je kukuruz. Za suzbijanje korova primjenjen je pripravak Primextra 500 tek. (20 % atrazin + 30 % metolaklor) u količini od 6 l/ha. Tijekom 1997. godine korov je suzbijan kombinacijom herbicida Primextra 500 tek. u količini od 6 l/ha + Racer 25 EC (fluokloridon) u količini od 1 l/ha.

Uzorci drenažne vode i tla uzimani su određenom sezonskom dinamikom (u proljeće, jesen i zimu).

Kvalitativna i kvantitativna analiza atrazina rađena je u Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada.

Tablica 1. Kulture uzgajane u pokusu i upotrebljena sredstva za zaštitu bilja na bazi atrazina

Godina	Kultura	Herbicidi
1996.	kukuruz	Primextra (6 l/ha)
1997.	kukuruz	Primextra (6 l/ha) + Racer (0,9 l/ha)

Rzultati istraživanja

Osnovni podaci o melioriranom pseudoglej-gleju prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Osnovni parametri melioriranog pseudoglej-gleja

Dubina (cm)	Sadržaj čestica		Volumen pora (%)	Apsolutni kapacitet		Vodopropusnost (m/dan)	pH		Humus (%)	mg/100 g tla	
	prah	Glina		voda (%)	zrak (%)		H ₂ O	1M KCl		P ₂ O ₅	K ₂ O
0-35	47	46	48	44	4	0,011	6,6	5,4	4,5	5,9	5,0
35-115	55	39	46	42	4	0,011	6,9	6,1			
115-130	63	25	49	45	4		7,9	7,2			

Tablica 3. Ukupna količina i raspored mjesečnih oborina u razdoblju od 1996-1997.godine

Godina	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
1996	54.3	31.5	40.6	69.7	70.7	30.6	90.5	82.5	191.0	46.3	134.9	79.0	921.6
1997	43.8	54.5	25.5	45.4	73.3	81.3	102.8	62.8	29.8	76.0	126.5	85.6	807.3

Tijekom dvogodišnjeg razdoblja istraživanja ukupna godišnja količina oborina je varirala između 807,3 mm i 921,6 mm. Neujednačenost godišnjih količina oborina pratila je i neujednačenost mjesečnih količina oborina, tako da se ističu maksimumi u ljeto i jesen. Primarni maksimum je bio u jesen (rujan/studeni) dok je sekundarni bio u ljeto (srpanj).

Tablica 4. Srednja mjesečna i srednja godišnja temp.zraka u razdoblju od 1996-1997.godine

Godina	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Srednja
1996	-0.6	-0.8	3.4	10.8	17.4	20.7	19.8	20.5	13.5	12.0	8.7	-1.4	10.3
1997	-1.1	4.1	6.5	7.3	16.7	20.0	20.3	19.8	15.8	8.7	6.0	2.9	10.6

U dvogodišnjem razdoblju istraživanja srednja godišnja temperatura zraka bila je 10.3°C, odnosno 10,6°C. Prosječno su najhladniji sljedeći mjeseci: siječanj, veljača i prosinac, a prosječno najtopliji lipanj, srpanj i kolovoz.

Na temelju odnosa godišnje količine oborina i srednje godišnje temperature zraka klima područja istraživanja je humidna (Kf=89), odnosno semihumidna (Kf=76). Temeljem visine srednje godišnjih temperatura zraka svrstamo ovo područje u umjereno topla područja.

Koncentracija (ostatak) atrazina u drenažnoj vodi

Atrazin je jedan od najčešće primjenjivanih triazinskih herbicida za suzbijanje širokolisnih korova u kukuruзу.

Zahvaljujući dobroj topljivosti u vodi velika je vjerojatnost da će ispiranjem s tretiranih površina dospjeti u površinske vode, podzemne, te vodonosnike vode za piće (Frank R. et al., 1991.). Ispiranje i moguće onečišćavanje izvora pitke vode ovisi o njegovoj sorpciji i razgradnji u tlu (Bacci E., 1989.). Koncentracije atrazina u drenažnim vodama tijekom 1996. i 1997. godine po varijantama prikazane su u tablici 5.

Tablica 5. Prosječna i maksimalna koncentracija atrazina (ηg/l) u drenažnoj vodi u razdoblju 1996.-1997.

Varijanta	1996		1997	
	Prosječno	Max.	Prosječno	Max.
A ₁ .1	228	384	243	436
1-1	153	227	207	303
2-1	147	184	288	446
3-1	162	223	294	458
4-1	161	221	145	215
A ₁ .0	217	276	208	258
1-0	173	254	158	451
2-0	222	318	225	258
3-0	164	232	245	421
Prosjek	181	258	224	361

KAZALO:

– OZNAKA NA PRVOM MJESTU:

- A₁ - Razmak cijevne drenaže 10 m ; plitka cijevna drenaža (0,8 m)
- 1 - Razmak cijevne drenaže 15 m ; srednje duboka cijevna drenaža (1,0 m)
- 2 - Razmak cijevne drenaže 20 m ; srednje duboka cijevna drenaža (1,0 m)
- 3 - Razmak cijevne drenaže 25 m ; srednje duboka cijevna drenaža (1,0 m)
- 4 - Razmak cijevne drenaže 30 m ; srednje duboka cijevna drenaža (1,0 m)

– OZNAKA NA DRUGOM MJESTU:

- 1 - Hidraulični kontakt materijal (šljunak)
- 2 - Bez hidrauličnog kontaktnog materijala (bez šljunaka)

Iz tablice 5. razvidno je da je u 1996. godini prosječna koncentracija atrazina u drenažnoj vodi po varijantama bila u rasponu od 147 $\eta\text{g/l}$ do 228 $\eta\text{g/l}$, dok se najveća koncentracija kretala od 184 $\eta\text{g/l}$ do 384 $\eta\text{g/l}$. U 1997. godini prosječna koncentracija po varijantama kretala se od u rasponu od 145 $\eta\text{g/l}$ do 294 $\eta\text{g/l}$, a najveća u rasponu od 215 $\eta\text{g/l}$ do 458 $\eta\text{g/l}$. U 1996. godini prosjek prosječnih vrijednosti ostatka (koncentracije) za sve varijante iznosio je 181 $\eta\text{g/l}$, a prosjek maksimalnih vrijednosti bio je 258 $\eta\text{g/l}$. Prosjek prosječnih vrijednosti ostatka (koncentracije) atrazina na svim varijantama u 1997. godini iznosio je 224 $\eta\text{g/l}$, dok je prosjek najvećih koncentracija izračunat u vrijednosti od 361 $\eta\text{g/l}$. U navedenoj tablici razvidno je isto tako, da je u 1997. godini utvrđeno povećanje prosječne i maksimalne vrijednosti koncentracije atrazina skoro na svim varijantama u odnosu na 1996. godinu, što je vidljivo iz prosjeka prosječnih i maksimalnih vrijednosti rezultata.

Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 46/1994) dozvoljava do 100 $\eta\text{g/l}$ pojedinačnog pesticida i srodnih spojeva i do 500 $\eta\text{g/l}$ ukupnih. Uredba o opasnim tvarima u vodama (NN 78/1998) za I i II vrstu kopnenih voda dozvoljava do 100 $\eta\text{g/l}$, a za III-V vrstu do 500 $\eta\text{g/l}$. Obzirom da je vrijednost ostatka (koncentracije) atrazina u drenažnim vodama na svim varijantama cijevne drenaže iznad 100 $\eta\text{g/l}$ može se lako zaključiti da ova drenažna voda nije za piće i da se svrstatva u III - V vrstu voda.

Koncentracija (ostatak) atrazina u tlu

Koncentraciju (ostatak) atrazina u tlu prikazivamo u tablici 6.

Tablica 6. Koncentracija atrazina u tlu (mg/kg) u razdoblju 1996.-1997.

Varijanta	1996		1997	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
A ₁ -1	3	*	3	*
1-1	*	*	8	*
2-1	3	*	9	*
3-1	*	*	11	*
4-1	3	*	4	*
A ₁ -0	2	*	10	*
1-0	3	*	4	*
2-0	*	*	*	*
3-0	*	*	*	*
Prosjek	1,6	*	5,4	*

* Nije detektirano, granica detekcije= 2 mg/kg

KAZALO:

– OZNAKA NA PRVOM MJESTU:

A₁ - Razmak cijevne drenaže 10 m ; plitka cijevna drenaža (0,8 m)

5 - Razmak cijevne drenaže 15 m ; srednje duboka cijevna drenaža (1,0 m)

6 - Razmak cijevne drenaže 20 m ; srednje duboka cijevna drenaža (1,0 m)

7 - Razmak cijevne drenaže 25 m ; srednje duboka cijevna drenaža (1,0 m)

8 - Razmak cijevne drenaže 30 m ; srednje duboka cijevna drenaža (1,0 m)

- OZNAKA NA DRUGOM MJESTU:

- 3 - Hidraulični kontakt materijal (šljunak)
- 4 - Bez hidrauličnog kontaktnog materijala (bez šljunaka)

Iz tablice 6. razvidno je da je u 1996. godini atrazin u površinskom sloju tla (0-30 cm) utvrđen na nekim varijantama u tragovima, dok na drugim nije detektiran kao ni na potpovršinskom sloju tla svih istraživanih varijanata. Pprosječna vrijednost ostatka(koncentracije) atrazina za sve varijante u površinskom sloju tla iznosi 1,6 mg/kg. U 1997. godini vidi se i povećanje količine ostatka atrazina na varijantama i povećan broj varijanata na kojima je atrazin utvrđen. U potpovršinskom sloju tla atrazin nije detektiran ni na jednoj varijanti. U drugoj godini istraživanja prosječna koncentracija (ostatak) atrazina u površinskom sloju tla za sve varijante iznosio je 5,4 mg/kg.

Granična vrijednost količine ostatka atrazina u tlu zavisi o osjetljivosti naredne kulture i fizikalnim i kemijskim svojstvima tla. Šilješ (1980.) navodi za teška glinovita tla tolerantnu količinu atrazina u tlu za naredne kulture u plodosmjeni kako slijedi, za uljanu repicu 0,1 ppm(100 mg/kg) i zob 0,25 ppm.

Povećani ostatak (koncentracija) atrazina u drenažnoj vodi i u tlu u drugoj godini istraživanja (uz jednaku dodanu količinu) navodi na zaključak, da se atrazin sporije razgrađiva i da se dijelom akumulira (veže) na glinene čestice tla. Stoga, treba biti pozoran glede dodane količine, učestalosti primjene i naredne kulture u plodosmjeni na hidromelioriranim površinama pseudoglej-glejnog tla u agroekološkim uvijetima srednje Posavine.

Zaključci

Tijekom dvogodišnjeg istraživanja (1996.-1997.) ostataka atrazina u drenažnim vodama i tlu hidromelioriranog pseudoglej-glejnog tla srednje Posavine, na pokusnom polju "Jelenščak" može se zaključiti slijedeće:

1. Budući da je vrijednost ostatka (koncentracije) atrazina u drenažnim vodama na svim varijantama cijevne drenažne iznad 100 hg/l, a niža od 500 hg/l, ova drenažna voda nije za piće (NN 46/1994) i svrstavamo je u III - V vrstu voda (NN 78/1998).
2. Otaci atrazina u tlu detektirani su ili u tragovima (u površinskom sloju tla 0-30 cm) ili uopće nisu detektirani (u potpovršinskom sloju tla).
3. Povećani ostatak (koncentracija) atrazina u drenažnoj vodi i u tlu u drugoj godini istraživanja (uz jednaku dodanu količinu) navode na zaključak, da se atrazin u neznačajnoj količini razgrađiva i da se dijelom akumulira (veže) na glinene čestice tla.
4. S atrazinom treba biti oprezan i stručan glede dodane količine učestalosti primjene i narednih kultura u plodosmjeni na hidromelioriranim površinama pseudoglej-glejnog tla u agroekološkim uvijetima srednje Posavine.

Literatura

1. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th Edition, APHA-AWWA-WPCF, Washington, 1992.
2. Bacci, E., Renzoni, A., Gaggi, C. Calamari, D., Franchi, A., Vighi, M., Severi, A.: Agriculture, Ecosystems and Environmental 27, 1989.

3. Frank, R., Clegg, B.S. Patni, N.K. Arch. Environmental Contamination Toxicol. 21, 1991.
4. Gysin, H., Knusli, E.: Chemistry and herbicidal properties of triazine derivatives. Adv. Pest Cont. Research 3, 289, 1980.
5. Knusli, E.: History of the development of triazine herbicides. Residue Reviews, Vol 32, 1-10, 1970.
6. Šilješ, I.: Efikasnost i rezidualno djelovanje herbicida(triazina) za kukuruz u tlima istočne Slavonije, 1-85, 1980.
7. ***Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Narodne Novine, br.46/1994.).
8. ***Uredba o opasnim tvarima u vodama (Narodne Novine, br.78/1998.).

Autori:

Doc. dr Ivan Šimunić*

Prof. dr Frane Tomić*

Prof. dr Zvonimir Ostojić*

Doc. dr Dragutin Petošić*

* Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, H R - 10000 Zagreb, Svetošimunska 25

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.26.

Učinak odvodnje na režim vlažnosti amfiglejnog tla

Željko Vidaček, Lidija Tadić, Mario Sraka, Aleksandra Mihalić

SAŽETAK: Tijekom petogodišnjih stacionarnih istraživanja na pokusnom polju Kapelna praćena je dinamika razine podzemne vode. Pokusno polje Kapelna smješteno je u Osječko-baranjskoj županiji oko 5 km jugozapadno od Donjeg Miholjca, između rijeka Karašice i Vučice. Tlo pokusnog polja Kapelna je agro i hidromeliorirani amfiglej. Istraživanja su trajala od 1992.-1996. godine, a obuhvatila su tri varijante različitog razmaka drenaže - 10, 20 i 40 m. Varijante su bile podijeljene na podvarijante obzirom na upotrijebljeni filter materijal. Sve drenske cijevi su promjera 80 mm, prosječna dubina drena je oko 1 m, a pad drenova iznosi 1,5‰. Razina podzemne vode mjerena je pjezometrima različite dubine. Rezultati istraživanja ukazuju na sezonska variranja razine podzemne vode koja su zajednička svim varijantama. Tijekom hladnog vanvegetacijskog razdoblja zabilježene su više razine, dok su u vegetacijskom toplom razdoblju registrirane niže razine podzemne vode. Ne postoje značajne razlike između varijanata razmaka drenaže 20 i 40 m, dok varijanta razmaka drenaže 10 m ima u pravilu niže razine podzemne vode u odnosu na razmak drenaže od 20 i 40 m. Rezultati istraživanja potvrđuju djelotvornije funkcioniranje drenaže većeg intenziteta - manjeg razmaka drenaže uz korekciju prvobitnog stanja vodnog režima tla.

KLJUČNE RIJEČI: kontrola, odvodnja, režim vlažnosti, amfiglejno tlo

Effect of Drainage on Amphigley Soil Water Content Regime

SUMMARY: Groundwater table dynamics has been monitored during five years of stationary investigations carried out at the Kapelna pilot field. The Kapelna pilot field is located in the Osječko-Baranjska County, some 5 km NW of Donji Miholjac, between the Karašica and Vučica Rivers. The soil at the Kapelna pilot field is reclaimed and drained amphigley. The investigations were conducted from 1992 to 1996, and they encompassed three alternative drainage distances, i.e. 10, 20 and 40 m. The alternatives were further subdivided with regard to used filter material. All drainage pipes were 80 mm dia., average drain depth was about 1 m, and drain gradient was 1.5‰. Groundwater table was measured on observation wells of different depth. The investigation results point to seasonal variation in groundwater level common for all alternatives. During cold out-of-vegetation season recorded tables were higher, while during the warm vegetation season the recorded groundwater tables were lower. There is no considerable difference between the alternative drainage distances of 20 and 40 m, while the groundwater table for 10 m distance was as a rule lower than for 20 and 40 m distances. The investigation results confirm more effective functioning of drainage of higher intensity, i.e. smaller distances with correction of initial soil water regime.

KEYWORDS: control, drainage, water content regime, amphigley soil

Uvod

Planiranje, projektiranje, izvođenje i održavanje hidromelioracijskih objekata u slivu vodotoka Karašice i Vučice - desnih pritoka rijeke Drave, traje jedno stoljeće. Iako specijalistička stacionarna kontrola učinkovitosti raznih hidro i agromelioracijskih varijantnih rješenja na pokusnim i kontrolnim poljima ovog područja datira od 1968. godine, tek je početkom 90-tih njena koncepcija prilagođena sve aktualnijoj zaštiti okoliša i sustavu drenirano tlo-voda-biljka. Naime, Zavod za pedologiju Agronomskog fakulteta u Zagrebu je u sklopu znanstvenog projekta "Zaštita tla i voda u poljoprivredi" organizirao višegodišnju (1992.-1996.) stacionarnu kontrolu učinkovitosti melioracija i onečišćenja tla i voda u slivu Karašice i Vučice, odnosno za uvjete melioriranog amfigleja, pseudogleja, pseudoglej-gleja i nezaslanjenog alkalnog tla, koji su dio od ukupno oko 161,000 ha dreniranih poljoprivrednih površina u Hrvatskoj (Vidaček et al., 1998.).

Za ovu priliku prikazana je dinamika razine podzemne vode i fiziološki aktivne vode dreniranog amfiglejnog tla pokusnog polja Kapelna.

Materijali i metode

Pokusno polje Kapelna nalazi se u Osječko-baranjskoj županiji, oko 5 km jugozapadno od Donjeg Miholjca između rijeka Karašice i Vučice. Organizirano je na hidro i agromelioriranom amfiglejnom tlu podrivanom na 0,55 - 0,6 m dubine 1984. godine aktivnim podrivačem i 1989. godine krutim podrivačem. Istraživanja su trajala od 1992.-1996. godine, a obuhvatila su tri varijante različitog razmaka drenova: varijanta A razmaka drenova 20 m, varijanta B razmaka drenova 40 m i varijanta C razmaka drenova 10 m. Varijante A i B su podijeljene na podvarijante obzirom na upotrijebljeni filter materijal: podvarijante A_{1-a} i B_{1-a} s nekontinuiranim šljunkovitim filterom - 3 m sa šljunkom i 9 m bez šljunka, te podvarijante A_{2-b} i B_{2-b} s filter plasticom. Sve drenske cijevi su promjera 80 mm, pad drenova je 1,5‰, a prosječna dubina drenova je oko 1 m. Maksimalne i minimalne razine podzemne vode mjerene su pomoću plitkih (1,01 do 1,30 m) i dubokih (1,63 do 2,17 m) pjezometara, dok su količine oborina mjerene na meteorološkoj postaji Kapelna. Trenutačna vlaga - fiziološki aktivna voda mjerena je elektrometrijski i gravimetrijski za slojeve 0-30 cm i 30-60 cm dubine. Tijekom petogodišnjih istraživanja u sistemu biljne proizvodnje - plodoredu, uzgajani su suncokret, soja, ozimi ječam, ozima pšenica i šećerna repa. Primijenjena agrotehnika bila je standardna za navedene kulture.

Rezultati istraživanja

Dinamika razine podzemne vode u plićim i dubljim pjezometrima na podvarijantama A_{1-a} s nekontinuiranim šljunčanim filterom i A_{2-b} s filter plasticom razmaka drenova 20 m je ujednačena. Maksimalne razine zabilježene su u zimsko-proljetnom razdoblju (unutar 1 m od površine tla), a minimalne razine u ljetnom razdoblju (ispod dubine drenaže), grafovi 1.-2.

Dinamika razine podzemne vode u plićim i dubljim pjezometrima na podvarijantama B_{1-a} i B_{2-b} razmaka drenova 40 m je također ujednačena, s maksimalnim razinama u hladnom, a minimalnim u toplom vegetacijskom razdoblju, grafovi 3. i 4.

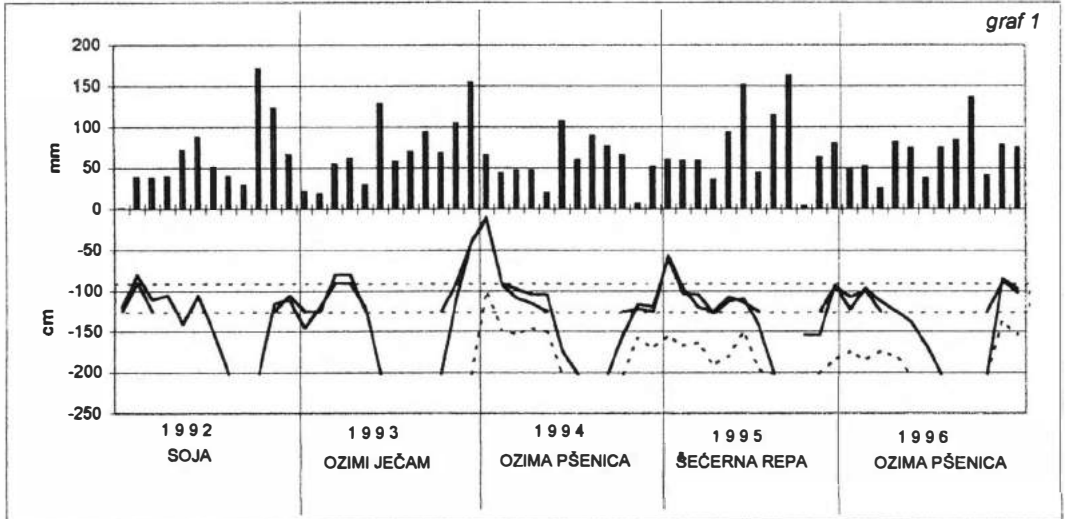
Odstupanja od ovakve pravilnosti javljaju se jedino tijekom šestog mjeseca 1995. godine, kada su uslijed velike količine oborina (preko 150 mm) maksimalne zabilježene razine podzemne vode bile unutar dubine drenaže kod obje varijante.









Razina podzemne vode
Pokusno polje Kapelna

Tlo: Hidro i agromeliorirani amfglej

Podvarijanta A_{1-a}, razmak drenova 20 m

graf 1



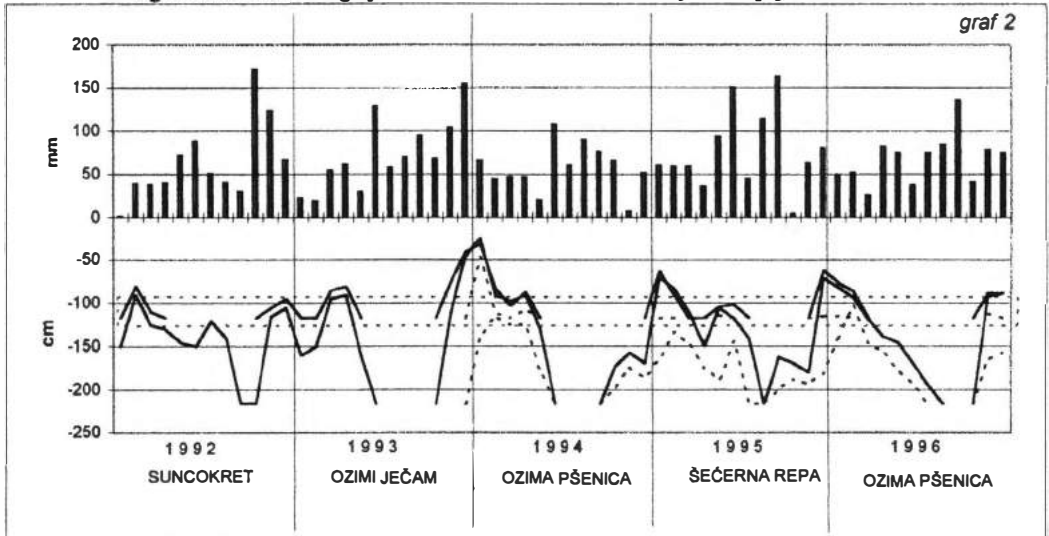
 Mjesečne oborine	 Maksimalna mjesečna razina vode	 Minimalna mjesečna razina vode
 Dubina drenaže 90 - 120 cm	 Pjezometri 1.06 - 1.25 m	 Pjezometri 1.06 - 1.25 m
	 Pjezometri 1.63 - 2.01 m	 Pjezometri 1.63 - 2.01 m









Graf 1.

Tlo: Hidro i agromeliorirani amfglej

Podvarijanta A_{2-b}, razmak drenova 20 m

graf 2

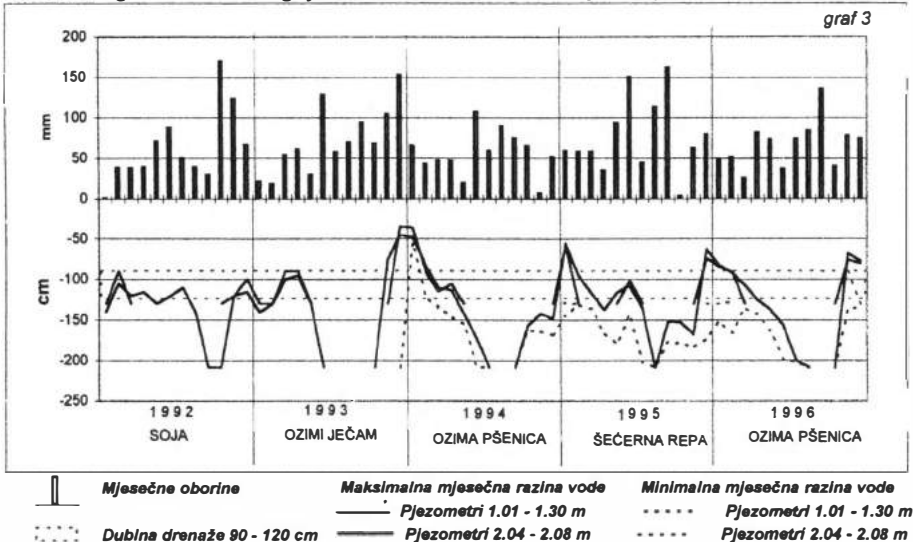


 Mjesečne oborine	 Maksimalna mjesečna razina vode	 Minimalna mjesečna razina vode
 Dubina drenaže 90 - 120 cm	 Pjezometri 1.03 - 1.17 m	 Pjezometri 1.03 - 1.17 m
	 Pjezometri 2.09 - 2.16 m	 Pjezometri 2.09 - 2.16 m

Graf 2.

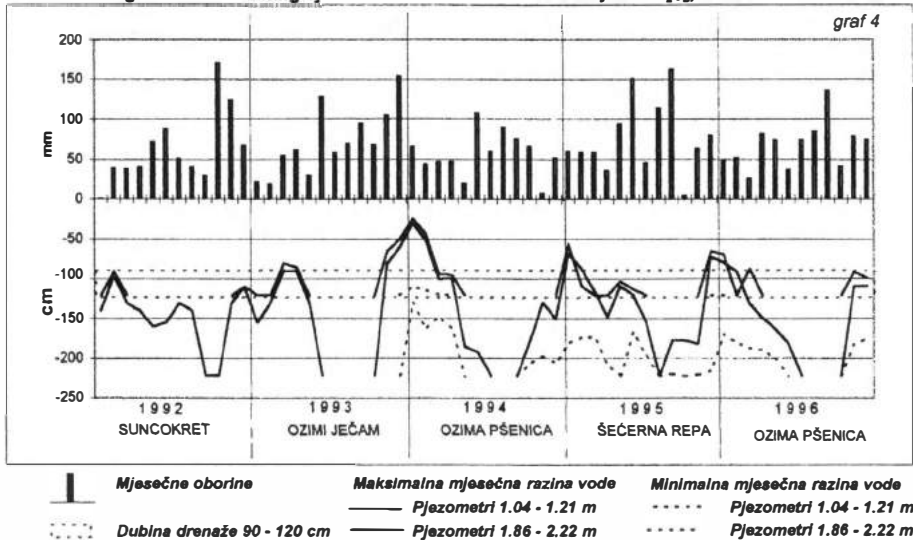
Razina podzemne vode Pokusno polje Kapelna

Tlo: Hidro i agromeliorirani amfiglej

Podvarijanta B_{1-a}, razmak drenova 40 m

Graf 3.

Tlo: Hidro i agromeliorirani amfiglej

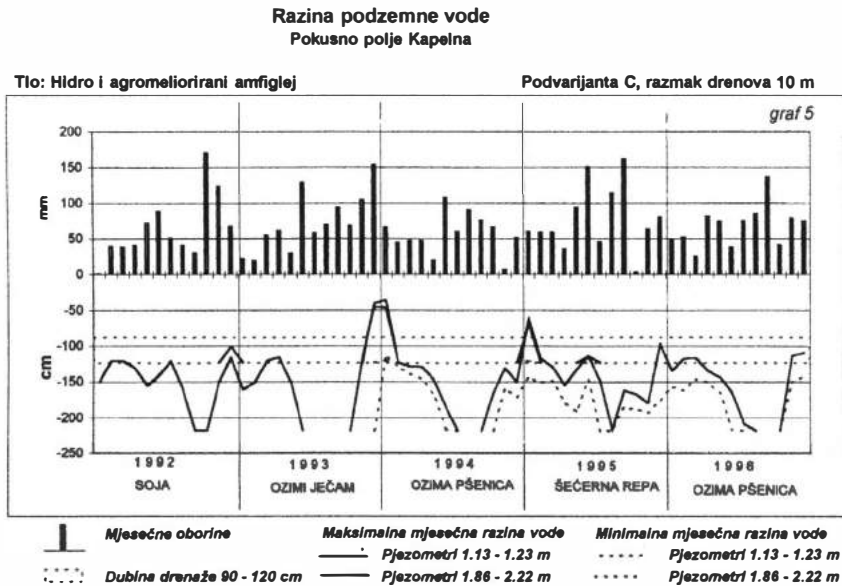
Podvarijanta B_{2-b}, razmak drenova 40 m

Graf 4.

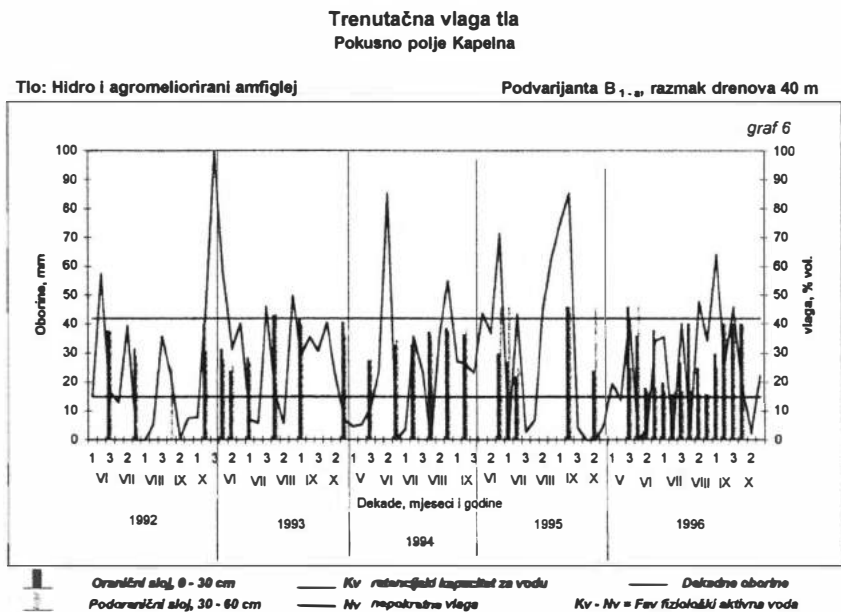
Maksimalne i minimalne razine podzemne vode na varijantama A i B pokazuju u pravilu sličan godišnji trend i porast iznad dubine drenaže (0,5 - 1,0 m dubine) u zimsko-proljetnom razdoblju i naglašeni trend spuštanja ispod dubine drenaže u ljetnom dijelu godine. Izuzetak čini hladno vegetacijsko razdoblje prosinac 1993./siječanj 1994. godina, kada su zabilježene i apsolutno maksimalne razine ili najpliće podzemne vode tijekom čitavog petogodišnjeg razdoblja. One su ovisno o varijanti i podvarijanti 0,2 do 0,5 m dubine i kraćeg trajanja. Minimalne, a često i maksimalne razine podzemne vode agro i hidromelioriranog amfigleja

razmaka drenaže 10 m - varijanta C su gotovo čitavo razdoblje mjerenja ispod dubine drenaže od 1 m. Samo u siječnju i prosincu 1995. godine su između 0,5 i 1,0 m dubine, dok u prosincu 1993. i siječnju 1994. godine zabilježene su čak i unutar 0,5 m od površine tla, graf 5.

U oraničnom i podoraničnom sloju dreniranog amfikleja na primjeru razmaka drenova 40 m, vlažnost tla je bila u tijeku aktivne vegetacije uglavnom između 60 i 100% retencijskog kapaciteta tla za vodu, što odgovara prilično optimalnim uvjetima vlažnosti tla i sadržaja fiziološki aktivne vode za biljnu proizvodnju, graf 6.



Graf 5.



Graf 6.

Zaključci

Tijekom hladnog vanvegetacijskog razdoblja zabilježene su više razine podzemne vode - unutar 1 m od površine tla, dok u toplom dijelu godine u pravilu su razine podzemne vode na svim varijantama bile ispod dubine drenaže od 1 m, te bez izravnog utjecaja na sadržaj vlage i dinamiku vlažnosti oraničnog i podoraničnog sloja tla. U tom razdoblju iznad razine podzemne vode, u nesaturiranoj zoni tla, fiziološki aktivna vlaga je varirala od točke venuća - minimalne količine vode, do punog kapaciteta ili maksimalne količine. Maksimalne i minimalne razine podzemne vode u plićim i dubljim pjezometrima kod razmaka drenova 20 i 40 m s nekontinuiranim šljunčanim filterom ili s filter plasticom su vrlo ujednačenih vrijednosti, a različite kod razmaka drenova 10 m. Razlika se očituje u redovito nižim razinama podzemne vode kod razmaka drenova 10 m, što potvrđuje djelotvornije funkcioniranje drenaže većeg intenziteta - manjeg razmaka drenaže. Međutim, povećanje prinosa ne prati navedene intenzitete odvodnje po varijantama.

Literatura

- Vidaček, Ž., Racz, Z., Žgur, T., Crnčan, I., Husnjak, S. (1994): Stanje i efekti cijevne drenaže na pokusnom polju Kapelna u slivu Karašice-Vučice, znanstveni skup, Bizovačke Toplice, priopćenje, str. 379-390
- Vidaček, Ž., Urumović, K., Crnčan, I., Husnjak, S. (1996): Slivno područje Karašice i Vučice pritoka rijeke Drave, Vodič ekscurzije Međunarodnog radnog sastanka "Onečišćenje i zaštita vode u poljoprivrednoj praksi", Zagreb
- Vidaček, Ž., Husnjak, S., Sraka, M., Tadić Lidija (1996): Znanost u funkciji hidro i agromelioracijskih sustava sliva Karašice-Vučice, rukopis
- Vidaček, Ž., et al. (1998): Kontrola učinkovitosti melioracija i onečišćenje tla i voda u slivu Karašice-Vučice, rezultati petogodišnjih (1992-1996. godina) stacionarnih istraživanja melioriranog amfogleja, pseudogleja, pseudoglej-gleja i nezaslanjenog alkalnog tla. Agronomski fakultet, Zavod za pedologiju, Zagreb.

Autori:

Željko Vidaček, prof.dr., Mario Sraka, mr., Aleksandra Mihalić, dipl.inž., Zavod za pedologiju Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Lidija Tadić, mr., Građevinski fakultet Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.27.

Stanje odvodnje na slivnom području Karašice i Vučice

Nada Morača

SAŽETAK: Nizinski dio slivnog područja Karašice i Vučice, ravnica s tradicijom intenzivnog poljodjelstva, ugrožen je od vlastitih i od tuđih - brdskih voda sa sjevernih i istočnih obronaka slavonskog gorja. Cjelokupna odvodnja područja je odušnim kanalima i glavnim recipijentima usmjerena prema rijeci Dravi. Postojeće stanje osnovne odvodnje ne pruža dovoljan stupanj zaštite od poplava jer ukupni kapacitet prirodnih vodotoka i kanala I i II reda iznosi oko 50% od potrebnog za prihvat 100-godišnje velike vode. Razvoj sustava detaljne površinske i podzemne odvodnje i skrb o njima usko su povezani sa statusom poljodjelstva u ukupnom gospodarstvu. Sustavno i intenzivno izvođenje kanalske mreže III reda započelo je sredinom 60-tih, a dreniranje zemljišta sredinom 70-tih godina. Ukupna dužina detaljne kanalske mreže iznosi 3.600 km (gustoća 2,2 km/km²), a drenažni sustavi su izvedeni na ukupnoj površini od 42000 ha. U ratnom i poratnom razdoblju zapostavljeno je održavanje hidromelioracijskih sustava čime se umanjuje njihova učinkovitost i ranije dostignuta visoka razina priroda ratarskih kultura. Redovitim održavanjem svih komponenti izvedenih sustava treba spriječiti prirodne procese koji vode njihovom propadanju i polučiti korist iz ranijih ulaganja.

KLJUČNE RIJEČI: poljodjelstvo, odvodnja, kanali, drenažni sustav, održavanje.

The Karašica and Vučica Catchment Area Drainage Status

SUMMARY: The lowland part of the Karašica and Vučica rivers catchment area has traditionally been involved in high-external input agriculture, which has been imperilled by the water within the catchment as well as by mountainous water from the northern and eastern slopes of the Slavonia mountains. The entire drainage is conducted by floodway bypasses and main recipients, and directed towards the Drava River. The current status of the drainage network does not offer sufficient degree of flood control since the total capacity of natural water courses and of the first- and second-category drainage canals is about 50% of that necessary to receive a 100-year flood water. The development of the surface and underground agricultural land drainage and their maintenance are directly related with the situation in agriculture and national economy as a whole. Systematic and intensive construction of lateral canals started during mid-sixties, and land drainage started in early seventies. Total length of agricultural land drainage canal network is 3,600 km (density 2.2 km/km²), and the drainage systems have been installed on the total surface area of 42,000 ha.

During the war, and in the post war period, the drainage systems maintenance was neglected which reduced their efficiency and affected earlier achieved high level of field crops yield. Regular maintenance of all components of the installed system should prevent natural processes leading to their deterioration and benefit from earlier investment.

KEYWORDS: agriculture, drainage, canals, drainage system, yields, maintenance

1. Prirodna obilježja sliva

Slivno područje Karašice i Vučice nalazi se u Slavoniji, južno od rijeke Drave do vododjelnice dravskog i savskog sliva te između Petrijevac na istoku i Slatine i Voćina na zapadu (slika 1.). Ukupna površina područja od 235.000 ha nalazi se unutar Osječko-Baranjske i Virovitičko-Podravske županije.

Glavnina područja, oko 170000 ha sjeverno od izohipse 120 m n.m. (približno pravac željezničke pruge Osijek - Našice - Slatina) je ravnica, a ostatak je brdsko područje - sjeverni i istočni obronci Papuka i Krndije.

Klima je ovdje panonska i prema istoku izrazitije kontinentalna s toplim ljetima i vrlo hladnim zimama. Maksimalne dnevne temperature su u srpnju, preko 30 °C, a minimalne u siječnju i veljači, ispod 20 °C. Izmjerene ekstremne temperature su +40,2 °C i -25,6 °C. Srednja godišnja oborina raste od istoka prema zapadu. Prema opažanjima u periodu od 1923. do 1966. godine na zapadnom dijelu iznosila je 1034 mm, na istočnom 754 mm, za cijelo područje 862 mm, a za sam nizinski ravničarski dio 347 mm. Opažanja iz kasnijeg perioda od 1946. do 1973. godine pokazuju znatno smanjenje srednjih godišnjih vrijednosti - na zapadnom dijelu 970 mm (smanjenje za 64 mm) i na istočnom 670 mm (smanjenje za 84 mm).

Oko 56% ukupnih oborina padne tijekom vegetacijskog perioda s glavnim maksimumom u lipnju a sekundarnim u listopadu. Glavni minimum je u veljači, a sekundarni u rujnu. Ovakav hod oborina sa sekundarnim maksimumom u listopadu i s dosta jesenjih kiša uvjetovan je međudjelovanjem kontinentalnog i maritimnog kišnog režima.

Područje je izloženo utjecaju površinskih voda s obronaka Papuka i Krndije, unutrašnjih voda (podzemnih i atmosferskih) i voda rijeke Drave.

2. Osnovna odvodnja

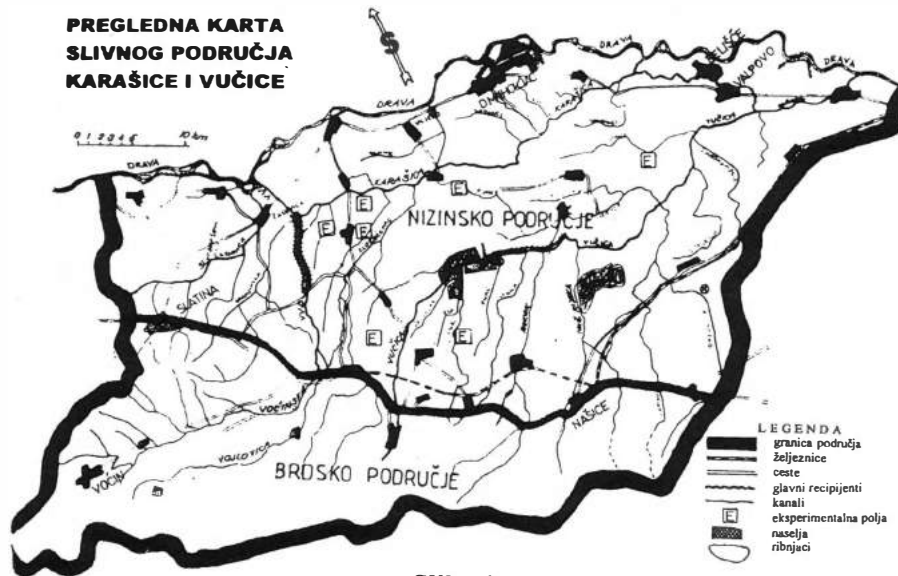
Brojni prirodni vodotoci prikupljaju vodu s brdskog područja i kroz nizinski dio, uz znatno smanjeni pad odvođe je u rijeku Dravu, slika 1. Tako je nizina, kraj s tradicionalno intenzivnim poljodjelstvom, ugrožen od vlastitih i od tuđih - brdskih voda

Efektivna godišnja oborina na području iznosi 303 mm i daje srednji godišnji protok od 21 m³/s i godišnji volumen vode od 680 x 10⁶ m³.

Osnovna odvodnja vrši se preko četiri glavna recipijenta: Karašice, Vučice, Slatinske Čađavice i odušnog kanala V-V-D, a samo manji dio područja u niskoj inundacijskoj zoni odvodnjava se direktno u Dravu.

Osnovni hidrološki podaci za glavne recipijente su slijedeći:

Naziv	Površina sliva	Godišnja oborina	Efekt.god. oborina	Srednji protok	Q _v 50g	Q _v 100 g
	(ha)	(mm)	(mm)	Q _s (m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Vučica	112100	823	265	9,40	215,3	243,5
Karašica	61700	894	335	6,55	163,0	184,3
V-V-D	29100	933	374	3,44	123,4	139,5
Slat.Čađavica	9400	847	288	0,86	30,8	34,8
UKUPNO:	212300	862	303	20,25	432,5	602,1



Slika 1.

Osnovnu koncepciju rješenja odvodnje cjelokupnog slivnog područja dao je prof. Bella još 1930.g. Ona se sastoji u prostornom i vremenskom odvajanju brdskih od nizinskih voda izvođenjem retencijskih spremišta na pogodnim lokacijama u pribrdskom dijelu. U retencijama bi se zaustavio vodni val s brda čime bi se smanjio maksimalni protok u recipijentima. Recipijente bi u skladu s tim trebalo regulirati na kapacitet koji bi odgovarao reduciranim maksimalnim protocima.

U kasnijoj studijskoj dokumentaciji, kao i u vodoprivrednoj osnovi, prihvaćena je i razrađena ova osnovna koncepcija, s tim da se zbog sve osjetnijeg nedostatka, vode za određene namjene na području i radi veće isplativosti, upućuje na višenamjenske objekte (čuvanje vode za potrebe ribnjaka, natapanje, vodoopskrba naselja, rekreacija i drugo) u sklopu kojih bi se osigurao prostor za prihvaćanje i zadržavanje velikog vodnog vala s brda.

U studiji prof. Srebrenovića iz 1967. g. predviđeno je 17 brdskih višenamjenskih akumulacija koje bi mogle prihvatiti dotok s brdskog dijela od $30 \times 10^6 \text{ m}^3$, a ukupni korisni volumen iznosio bi $12 \times 10^6 \text{ m}^3$.

U osnovnoj odvodnji područja sudjeluje ukupno 738 km vodotoka i kanala I i II reda, i 32 km nasipa, a izvedena je samo jedna akumulacija - na vodotoku Lapovac s korisnim prostorom od $1,8 \times 10^6 \text{ m}^3$, prostorom za zadržavanje vodnog vala od $0,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ i mrtvim prostorom od $0,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ (ukupno $2,4 \times 10^6 \text{ m}^3$).

Odvodnja je uglavnom gravitacijska sa samo dvije crpne stanice (na odušnom kanalu Karašica-Drava kod Viljeva i na vodotoku Gornja Jasenovica) s ukupnim kapacitetom $7,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Postojeći sustav odvodnje pruža ograničene mogućnosti gospodarenja vodom pomoću hidrotehničkih objekata (ustava, sifona i pragova), izvedenih prvenstveno u cilju uspješnije odvodnje, ali i radi opskrbe vodom dvaju velikih ribnjaka te oživljavanje dijelova donjih tokova koji prolaze kroz naseljena mjesta.

Ukupni kapacitet za osnovnu odvodnju iznosi oko 50% potrebnog za prihvrat 100 godišnje velike vode. Zbog nedostatka financijskih sredstava radovi na vodotocima za osnovnu odvodnju su u dugom nizu godina gotovo potpuno zapostavljeni.

Materijalne štete na gospodarskim, stambenim, prometnim i infrastrukturnim objektima te prirodnima ratarskih kultura, koje nastaju kao posljedica poplava, mogu dosegnuti razmjere koji nadmašuju troškove osposobljavanja sustava za obranu od velikih voda. Poplave najvećih razmjera nastaju u slučaju vremenskog podudaranja visokih nivoa Drave i pojave jakih kiša na slivu, što se dogodilo 1972. godine. Šteta od te poplave procijenjena je na 524 milijuna tadašnjih dinara, a potrebna sredstva za uređenje sliva procijenjena su na 325 milijuna.

U brdskom dijelu područja radovi na uređenju bujičnih dijelova vodotoka bili su vrlo oskudni. U periodu od 60-tih godina rađeni su projekti regulacija većih brdskih vodotoka (Vojlovica, Voćinka, Vučica, Krajna, Javorica i dr.), ali je izvođenje bilo ograničeno samo na neke vodotoke i to na određene dionice, uglavnom uz i kroz naselja te na izvođenje hidrotehničkih objekata na najkritičnijim mjestima. U cjelini, brdski dio nije zaštićen od poplava jer su vodotoci najveći dijelom potpuno neuređeni; voda teče prirodnim koritima premalog kapaciteta i izljeva svakog proljeća.

Pri izradi projektne dokumentacije kao problem pojavljuje se nedostatak podataka o protocima, odnosno vodostajima zbog nedostatnog broja opažачkih mjesta na vodotocima. Na području radi 21 kišomjerna stanica, a za izradu prve hidrološke studije korištena su opažanja na 12 vodokaznih stanica. Najstariji vodokazi datiraju iz 1908. godine (na Karašici) i 1934.g. (na Vučici). Prva mjerenja brzine vode vršena su hidrometrijskim krilom već početkom stoljeća. Godine 1975. povećan je broj vodokaza na 46 radi što kvalitetnije izrade bilance vode po pojedinim vodotocima. Međutim 1990. g. opažanja su reducirana na samo 11 mjesta - 5 u slivu Vučice, 4 u slivu Karašice i 2 u slivu V-V-D.

Od ukupno 8 limnigrafa, koje je na ovom području opažao DHMZ, sada su u funkciji samo dva (na Vojlovici i na Breznici) jer su neki srušeni u ratu a na ostalima su prekinuta opažanja.

3. Detaljna odvodnja - hidromelioracijski sustavi

U ukupnoj površini slivnog područja melioracijsko područje zastupljeno je sa 70% i zauzima 166000 ha.

Najnepovoljniji režim vlaženja u ravnici je u periodu jesen - proljeće pri uzajamnom djelovanju plitkih podzemnih voda i oborina, što često koincidira s visokim vodostajima u vodotocima. Zbog male evaporacije, malog površinskog i podzemnog otjecanja na prezasićenom zemljištu, dugo se zadržava voda na slabo propusnim tlima i u mikrodepresijama.

Uključivanjem u prirodni lanac: zemljište – voda – biljka, vodnogospodarska djelatnost na ovom području je tradicionalno u službi poljodjelstva preko izvođenja i održavanja melioracijskih sustava za odvodnju. Detaljnom odvodnjom osigurava se pravovremeno odvođenje suvišne vode s parcele i stvaranje optimalnog vodno – zračnog režima u zemljištu što omogućava veće i stabilne prirode ratarskih kultura i u hidrološki nepovoljnim godinama.

Kompleksno i kvalitetno rješavanje odvodnje parcela u novijem periodu vezano je uz provođenje komasacija od 1964. do 1988. godine. Komasacije su provedene na 44 katastarske općine, odnosno na ukupnoj površini od 103000 ha. U komasacijama su se usvajale nove koncepcije odvodnje s razmacima kanala 300-400 m i minimalnom dubinom 1,5 m, uvažavajući topografiju i mikroreljef te sastav zemljišta kao i trase zatečenih kanala većeg kapaciteta. Na taj način formirane su veće parcele pravilnog oblika, pogodne za učinkovit rad poljoprivredne mehanizacije i omogućeno je brže odvođenje suvišne vode s parcele. Time je znatno popravljen vodno-zračni režim zemljišta, a rezultat se očitovao u značajnom povećanju priroda ratarskih kultura.

Ukupna dužina izvedene detaljne kanalske mreže iznosi 3600 km s gustoćom 2,2 km/km². Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u potpunosti su izgrađeni na površini od 75.000 ha, dok na preostaloj površini od 91000 ha postojeće stanje nije zadovoljavajuće te je potrebna dopuna kanalske mreže.

Projektiranju i izvođenju sustavne odvodnje prethodila je izrada hidroloških, pedoloških i melioracijskih studija, koje je za ovo područje 70-tih godina radio Institut Jaroslav Černi. Studijama je obuhvaćeno 90000 ha obradivog zemljišta. Na temelju terenskih i laboratorijskih istraživanja određeni su pedološki tipovi zemljišta s utvrđenim fizičko-kemijskim osobinama i poljoprivrednom vrijednošću. Oko 15% istraženih površina pripada grupi automorfne tala (uglavnom smeđe eutrična tla na pjeskovitoj podlozi) a sve ostalo su hidromorfna tla (većim dijelom pseudoglej i pseudoglej-glej, a manjim dijelom euglej-hipoglej i euglej-amfiglej).

Usvojen je kriterij da se suvišna voda iz gornjeg sloja do dubine 50 cm odvede za 3 dana. Kao mjerodavna usvojena je jednodnevna oborina u periodu veljača - ožujak 10%-tne vjerojatnosti. Pri određivanju razmaka drenova, pored podataka o oborinama i karakteristikama zemljišta na konkretnoj lokaciji, korišteni su podaci o učincima raznih varijantni drenaže na temelju višegodišnjih opažanja na pokusnim poljima Beljevine (pseudoglej) i Nelindvor (euglej). Hidromoduli odvodnje za zemljišta predviđena za dreniranje kreću se od 1,5 do 2,7 l/s/ha.

Dreniranje zemljišta na ovom području ima dugu tradiciju. Prve drenaže rađene su još krajem prošlog stoljeća te su u periodu od 1891. do 1924. godine izvedeni drenažni sustavi na ukupno 5.000 ha vlastelinskih imanja. Rađene su od glinenih cijevi - sisala s profilima o 50 mm, kolektori s 80, 100 i 120 mm i djelomično su još i danas u funkciji. Od 1977.g. cijevna drenaža izvedena je na ukupno 42.000 ha (plošna drenaža na 35000 ha i pojedinačni linijski drenovi na 7.000 ha).

Drenaža je izvođena od plastičnih perforiranih cijevi Ø 80 - Ø 200 mm drenopolagačima s laserskim vođenjem nivelete drena. U većini slučajeva je, ovisno o potrebi, u drenažni rov ugrađivan kontaktni, odnosno hidraulički filter od šljunka, uglavnom diskontinuirani u omjerima 1:3 (u glinovitim, slabo propusnim zemljištima), a u zemljištima sa značajnijim sadržajem praha ili sitnog pijeska (preko 45%) ugrađivane su cijevi omotane filter plasticom radi sprječavanja ispiranja nevezanih čestica i zamuljenja cijevi.

Drenovi su polagani na minimalnoj dubini 80 cm radi zaštite od smrzavanja i oštećenja poljoprivrednom mehanizacijom i korijenjem usjeva te radi omogućavanja spuštanja razine podzemne vode na potrebnu dubinu (oko 50 cm).

Pozitivni učinci drenaže odražavaju se na znatnom povećanju priroda ratarskih kultura - prosječno 30% za pšenicu, 20% za šećernu repu i 70% za kukuruz. Pretvaranjem svih pozitivnih učinaka u finacijske pokazatelje dokazano je da se uložena sredstva vraćaju već za 2-4 godine, ovisno o vrsti usjeva, tipu zemljišta i o odnosima cijena materijala i proizvoda na tržištu. Ovo objašnjava veliki interes korisnika - tadašnjih kombinata za dreniranjem zemljišta. U periodu od 1986. do 1988.g. ugrađeno je oko 1500 km cijevi godišnje.

Nakon 1988. godine nastupa nagli pad količine radova na izvođenju drenaže i do danas su ti radovi potpuno zamrli, iako je prema pedološkom sastavu i izloženosti zemljišta prevlađivanju potrebno riješiti podzemnu odvodnju na još 56000 ha.

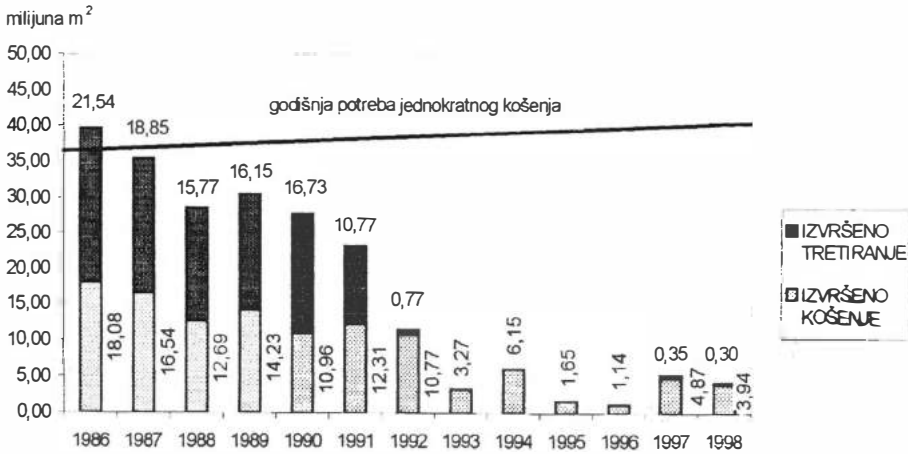
U suradnji s Agronomskim fakultetom sveučilišta u Zagrebu u razdoblju od 1992. do 1996. g. kontinuirano se vršila kontrola učinkovitosti hidro - i agromelioracija na dva eksperimentalna i četiri kontrolna polja na amfiglejnom, pseudoglejnom i nezaslanjenom

alkalnom zemljištu. Istraživanjima je obuhvaćena učinkovitost drenaže (kretanje razine podzemne vode, broj dana i količina istjecanja drenažne vode, dinamika trenutačne vlage u oraničnom i podoraničnom sloju, stanje tla i drenske ispune), kvaliteta podzemne, drenažne i površinske vode te stanje plodnosti zemljišta.

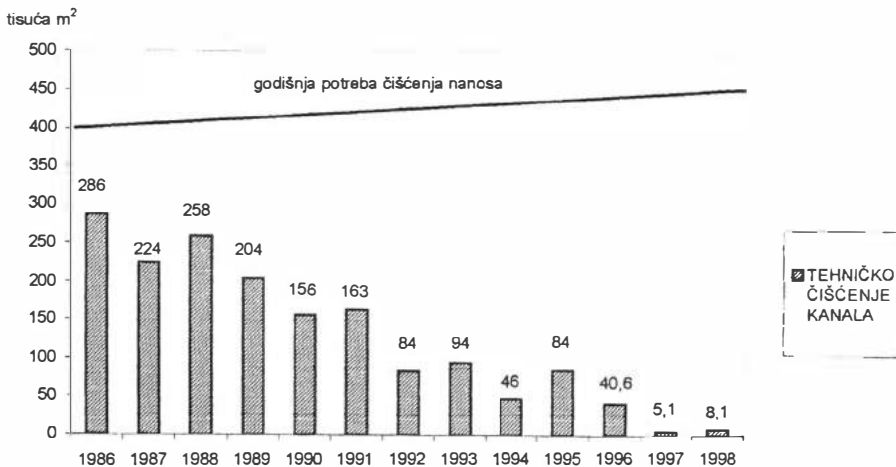
Ova istraživanja su prekinuta 1996. godine, samo se i dalje vrše opažanja razina podzemnih voda u bunarima i pjezometrima na 11 lokacija.

4. Održavanje postojećih sustava

Znatnim ulaganjima u proteklih stotinu godina na slivu Karašice i Vučice izgrađen je veliki sustav za obranu od poplava, koji omogućava određeni stupanj zaštite područja te hidromelioracijski sustavi površinske i podzemne odvodnje koji omogućavaju stvaranje uvjeta za racionalnije i isplativije korištenje poljoprivrednog zemljišta. Ukupna sadašnja vrijednost postojećih sustava odvodnje - vodotoci i detaljna kanalska mreža, nasipi, hidrotehnički objekti (bez mostova) i cijevna drenaža - procjenjuju se na oko 70 milijuna DM. Pored toga, izvođenjem drenaže povećana je vrijednost poljoprivrednog zemljišta.



Grafikon 1. Košenje kanalske mreže



Grafikon 2. Čišćenje dna kanala III. reda od nanosa

Ovakvi sustavi trebaju trajno, u svim uvjetima i svim godišnjim dobima, osigurati projektirani režim protjecanja za dugi budući period. Oni predstavljaju značajnu investiciju i njihovo kvalitetno funkcioniranje je uvjet planirane poljodjelske proizvodnje. Izvedeni sustavi podložni su promjenama koje se prirodno dešavaju i vode smanjenju propusne moći i stupnja funkcionalnosti: rast vegetacije (trave i drvenasto raslinje) po pokosima i dnu, zamuljenje dna, urušavanje pokosa, oštećenja obloga i hidrotehničkih objekata, zamuljenja drenažnih cijevi, začepjenja izljeva i sl. Bez odgovarajućih intervencija nakon dužeg vremena stanje odvodnje približava se onom početnom, bez izvedenih kanala, sa svim neposrednim i posrednim štetama.

Radi trajnog očuvanja kapaciteta, funkcionalnosti i vrijednosti sustava, pored ispravnog dimenzioniranja i kvalitetnog izvođenja, jednako je važno na odgovarajući način osigurati službu održavanja i osigurati izvore sredstava za tu namjenu.

Iako samo građenje sustava odvodnje, bez organiziranog održavanja, nema ekonomske logike ni opravdanja, uvijek je veći problem bio osiguranje financiranja održavanja nego izvođenja. U procesu održavanja najveće značenje imaju košenje kompletnog profila kanala i čišćenje namulja u dnu.

Na ovom području do sredine 80-tih godina sustav je bio dobro održavan. Nakon toga količina radova na košenju i izmuljenju kanala smanjuje se iz godine u godinu kroz cijelo ratno i poratno razdoblje te je i danas na vrlo niskoj razini. Iz grafičkih prikaza vidljivo je da su ovi radovi zadnjih godina izvršeni tek s nekoliko postotaka od potrebnih količina po važećim standardima, a količina radova na krčenju se povećava. Ovi prikazi potvrđuju sliku stanja na terenu: sustav je poluzapušten - kanali su obrasli travom, niskim i visokim drvenastim raslinjem, slobodan profil znatno je smanjen zbog obraslosti i zamuljenosti, a voda leži u kanalima i na poljima.

Domovinski rat sa svim žrtvama i štetama te teške gospodarske prilike u poraću, a naročito nizak status poljodjelstva u ukupnom gospodarstvu, uzrok su ovakvom stanju. U svakoj situaciji do sada izgradnja sustava odvodnje i skrb o njima, kao i uopće vodno gospodarstvo, dijelilo je sudbinu s poljodjelstvom. Slijedom uzajamne povezanosti vodno gospodarstvo treba poljodjelstvu osigurati povoljne uvjete za proizvodnju, a iz ostvarene dobiti od visokih priroda poljodjelstvo bi trebalo izdvajati dio za održavanje hidromelioracijskih sustava u cilju zadržavanja dostignute visoke razine priroda.

Održavanje hidromelioracijskih sustava financira se iz slivne vodne naknade koju plaćaju vlasnici, odnosno korisnici zemljišta i drugih nekretnina na slivnom području. Budući da su izgrađeni veliki sustavi, za njihovo kvalitetno održavanje potrebna su značajna financijska sredstva te vodna naknada sa sliva ne može biti dostatna, tim više što se ne uspijeva prikupiti u potpunosti.

Kako je u procesu građenja i održavanja hidromelioracijskih sustava glavni cilj postizanje maksimalne dobiti za širu zajednicu, to bi i skrb o odgovarajućem korištenju postojećeg bogatstva trebalo smatrati širim društvenim interesom.

5. Zaključak

Budući da kapacitet postojećeg sustava osnovne odvodnje ne pruža dovoljan stupanj zaštite od poplava, potrebno je nastaviti rad na regulaciji vodotoka i izvođenju brdskih akumulacija po usvojenom globalnom konceptu odvodnje. U cilju izrade kvalitetnih projektnih rješenja potrebno je kompletirati mrežu opažackih mjesta.

Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u potpunosti su dovršeni na 75000 ha, a na površini od 91.000 ha potrebna je dopuna kanalske mreže.

Sustavi podzemne odvodnje izvedeni su na 42.000 ha. Na dreniranim površinama prirodi ratarskih kultura povećani su za 20-70% što je omogućavalo povrat uloženi sredstava već za 2-4 godine. Cijevnu drenažu trebalo bi izvesti na još 56.000 ha površina. Radi praćenja promjena na izvedenim drenažnim sustavima trebalo bi obnoviti opažanja na kontrolnim poljima.

Sadašnja vrijednost cjelokupnog izvedenog sustava odvodnje na ovom području (bez mostova) procjenjena je na oko 70 milijuna DM.

Od 1988.g. nije samo zaustavljena izgradnja nego počinje i naglo opadanje stupnja održavanja sustava. Nedovoljan izgrađeni kapacitet za osnovnu odvodnju neodržavanjem se još smanjuje, te se smanjuje stupanj zaštite od poplava a povećava se mogućnost nastanka šteta. Zadržavanjem vode u kanalima osnovne odvodnje onemogućava se pravovremeno odvođenje suvišne vode s parcele što ima za posljedicu niske i nesigurne prirode ratarskih kultura. Ovo je još više izraženo na površinama s izvedenom drenažom jer učinkovitost drenaže opada, a znatna sredstva su u proteklom razdoblju uložena u očekivanju velikih i stabilnih priroda.

Daljim odgađanjem potpune skrbi o održavanju nastavlja se proces degradacije sustava, a troškovi za dovođenje sustava u funkcionalno stanje se povećavaju.

Osnovni problem u održavanju svakako je nedostatan financiranje. Jasno je da u teškoj gospodarskoj situaciji nije moguće ulagati u dalji razvoj sustava odvodnje, ali bi radi šireg društvenog interesa trebalo osigurati izvore financiranja barem za najnužnije održavanje kako bi se zaustavio proces propadanja i osigurala ranije dostignuta visoka razina priroda. U novoj organizaciji vodnogospodarske djelatnosti prisutni su pomoci u tom smjeru. Ne bi trebalo dopustiti da ranijim ulaganjima izgrađeni sustavi te tako obogaćena i oplemenjena zemlja (p)ostanu MRTVI KAPITALI.

Literatura

1. Bella, S.: Projekt za obranu područja Karašice i Vučice u Slavoniji od poplava s pomoću retencija, Donji Miholjac, 1930.g.
2. Srebrenović, D.: Hidrološki režim glavnih recipijenata na području Vodne zajednice "Karašica-Vučica", "Projekt" Zagreb, 1967.g.
3. Plamenac, N., Uzelac, M.: Kompleksna meliorativna studija teritorije zapadnih osječkih kombinata u području Vodoprivrednog poduzeća "Karašica - Vučica", Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, 1978.g.
4. Vidaček, Ž., Husnjak, S., Sraka, M., Mihalić, A.: Kontrola učinkovitosti melioracija i onečišćenja tla i voda u slivu Karašica-Vučica, Agronomski fakultet Zagreb, 1998. g.
5. Kos, Z. i drugi: Priručnik za hidrotehničke melioracije, I kolo, knjiga 6, DONH-e, Zagreb, 1991.g.
6. Korov, J.: Posredne štete što ih je uzrokovala agresija na Hrvatsku na primjeru JVP Karašica-Vučica (Donji Miholjac), Hrvatska vodoprivreda, br. 41/42, Zagreb, 1996. g.
7. Arhiv Karašica-Vučica d.o.o. Donji Miholjac.

Autorica:

Nada Morača, dipl. inž. građ., KARAŠICA – VUČICA d.o.o. DONJI MIHOLJAC



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.28.

Hidrotehničke građevine na slivu Karašice i Vučice

Jadranka Pavletić, Stjepan Rušanac, Mario Lončarić

SAŽETAK: Na slivnom području Karašice i Vučice koje iznosi 235.000 ha izgrađen je veliki broj hidrotehničkih građevina (propusta i mostova 3.383, ostalih 95) presudnih za funkcioniranje sustava odvodnje i gospodarenja vodama koje se naročito odnosi na evakuaciju velikih voda kod pojave oborina velikog intenziteta i opskrbu ribnjaka vodom za proizvodnju konzumne ribe. Ovim se radom želi ukazati na važnost održavanja tih građevina.

U radu će biti prikazan pregled izgrađenosti, starost, način održavanja i stanje hidrotehničkih građevina. Pregled se odnosi na ustave, sifone, stepenice i čepove, te okvimo na propuste i mostove. Biti će prikazan položaj ključnih građevina u sustavu, te način funkcioniranja sustava odvodnje i gospodarenja vodom. Koriste se podaci iz katastra građevina na slivu, izvedbena projektna dokumentacija, podaci o rekonstrukcijama građevina, podaci o pregledu građevina, pregled sadašnjeg stanja, te fotodokumentacija.

Ocjena stanja građevine odnositi će se na stupanj održavanja i funkcioniranje građevine, a pokazatelji će biti : stanje kvalitete materijala iz kojeg je građevina izgrađena, funkcioniranje uređaja, stanje okoliša i vodotoka uz građevinu, te drugi individualni pokazatelji.

Analizom stanja želi se ukazati na štetu koja može nastati zbog zapuštenosti i nedovoljnog održavanja hidrotehničkih građevina u sustavu odvodnje i gospodarenja vodama na slivnom području Karašice i Vučice.

KLJUČNE RIJEČI : hidrotehnički sustav, hidrotehničke građevine, gospodarenje, održavanje, trajnost.

Hydraulic Engineering Structures in the Karašica and Vučica Catchment Area

SUMMARY: A large number of hydraulic engineering structures (3,383 culverts and bridges, 95 others) has been built in the catchment area of the Karašica and Vučica Rivers which occupies 235,000 ha. These structures are of particular importance for functioning of drainage and water management systems, particularly those related to evacuation of floods when precipitations are very intensive and water supply of fish ponds. The present paper is intended to highlight how important maintenance of these structures is.

The paper gives an overview of level of completeness, age, maintenance methods and status of hydro power structures. The overview includes weirs, syphons, steps and plugs in particular, and culverts and bridges in more general terms. The position of key structures within the system is shown, and functioning of drainage and water management systems presented. The data contained in the register of structures in the catchment, construction designs, and reconstruction data are used, as well as data on structures inspections and takeover. An overview of the current situation and photo documentation are included.

The structure condition assessment includes level of maintenance and functioning of the structure, and the indicators include: quality of material used in structure construction, functioning of equipment, status of environment and water courses in the structure neighborhood, and other individual indicators.

The status analysis is intended to highlight damage which might result from neglect and insufficient maintenance of hydropower structures within the drainage and water management systems in the Karašica and Vučica Rivers catchment area.

KEYWORDS: water management system, engineering structures, management, maintenance, durability

1. Uvod

Osnivanjem *Zadruga za regulaciju potoka Karašice i Vučice te njihovih pritoka* Donji Miholjac 1896. godine i izgradnjom velikog broja uređenih kanala počinje i izgradnja građevina potrebnih za odvijanje prometa i upravljanje sustavom odvodnje i gospodarenja vodama. Iskope kanala paralelno prati izgradnja mostova i propusta, izgradnju ribnjaka izgradnja ustava, kao i izgradnja drugih hidrotehničkih građevina: stepenica, sifona, obaloutvrda, crpnih stanica, te akumulacije.

Ukupna površina slivnog područja Karašice i Vučice iznosi 235.000 ha. Na slivu se nalazi kanalska mreža sa ukupno 4.357 km, od čega: kanali I reda 368 km, kanali II reda 370 km i kanali III reda 3.619 km.

Dinamika izgradnje hidrotehničkih građevina mijenja se tijekom godina, ovisno o izgradnji kanalske mreže i puteva, te projektima za zaštitu područja od velikih voda koje su na slivu česte, a donose dosta štete.

Poslije II. svjetskog rata u eri obnove vršeni su popravci, odnosno izgradnja i rekonstrukcija ranije izvedenih objekata. Ponovna izgradnja počinje 1962. godine, a od 1990. nastaje zastoj. U razdoblju 1964.-1985. godine na poručju sliva intenzivno se provodi komasacija sa melioracijom zemljišta i tada se veliki broj postojećih cijevnih i svodenih propusta ruši i izgrađuju novi. Kako se zemljište okrupnjuje radi obrade oranica nešto se smanjuje i broj putnih prijelaza na kanalima III reda. Pregled izgrađenosti hidrotehničkih objekata prema podacima za pojedina razdoblja dan je u tabeli 1. U tabeli je vidljiva i promjena pravnog subjekta nadležnog za upravljanje hidrotehničkim sustavom na slivnom području Karašice i Vučice.

Do smanjenja broja mostova od 1986. do 1997. godine došlo je zbog prenošenja mostova na cestama, željezničkim prugama i na šumskim putevima u osnovna sredstava javnih

Tablica 1. Pregled izgrađenosti hidrotehničkih građevina od 1927.-1997. godine

REDNI BROJ	VRSTA GRAĐEVINE	ZADRUGA ZA REGULACIJU KARAŠICE I VUČICE DONJI MIHOLJAC	VODNA ZAJEDNICA "KARAŠICA - VUČICA" DONJI MIHOLJAC	SVIZ ZA SLIV "KARAŠICA - VUČICA - PROF. BELLA" DONJI MIHOLJAC	HRVATSKE VODE VGI DONJI MIHOLJAC
		1927. godina	1966. godina	1986. godina	1997. godina
1.	MOSTOVI I PROPUSTI	410	2.277	3.650	3.383
2.	USTAVE I ČEPOVI	13	72	64	37
3.	STEPENICE	0	24	32	42
4.	SIFONI	0	2	4	4
5.	OBALOUTVRDE	0	5	8	10
6.	AKUMULACIJA	0	0	0	1
7.	CRPNA STANICA	0	0	2	1
	UKUPNO	423	2.380	3.760	3.478

poduzeća Hrvatske ceste, Hrvatske željeznice i Hrvatske šume. Objekti na ribnjacima na popisu su osnovnih sredstava Hrvatskih voda, a ugovorima dani na upravljanje ribnjacima prema pravilniku prihvaćenom od strane Hrvatskih voda.

2. Stanje hidrotehničkih građevina

2.1. Starost građevina

Pregled izgrađenih hidrotehničkih građevina (Tabela 1.), te tabelarni pregled osnovnih podataka i stanja hidrotehničkih građevina za stepenice, sifone i ustave (Tabela 2.) pokazuje da je izgradnja počela davno i da je vijek trajanja većine najvažnijih građevina za funkcioniranje sustava poodmakao.

U popisu hidrotehničkih građevina [2] sa 31.12.1966. godine osim osnovnih podataka o građevini (vodotok, stacionaža, materijal, otvor, dužina građevine, te godina izgradnje), nalazi se i godina starosti, odnosno postotak starosti u odnosu na vijek trajanja ovisno o vrsti i materijalu građevine (Dijagram 1).

Prosječni vijek trajanja hidrotehničkih građevina korišten tom prilikom iznosi za pojedine vrste objekata [2]:

1. Betonski mostovi, ustave i sifoni	100 godina
2. Betonski svođeni propusti	80 godina
3. Stepenice i obaloutvrde	80 godina
4. Cijevne ustave i propusti	50 godina
5. Drveni mostovi i ustave	15 godina

Starost glavnih hidrotehničkih građevina na slivu Karašice i Vučice do 1999. godine iznosi:

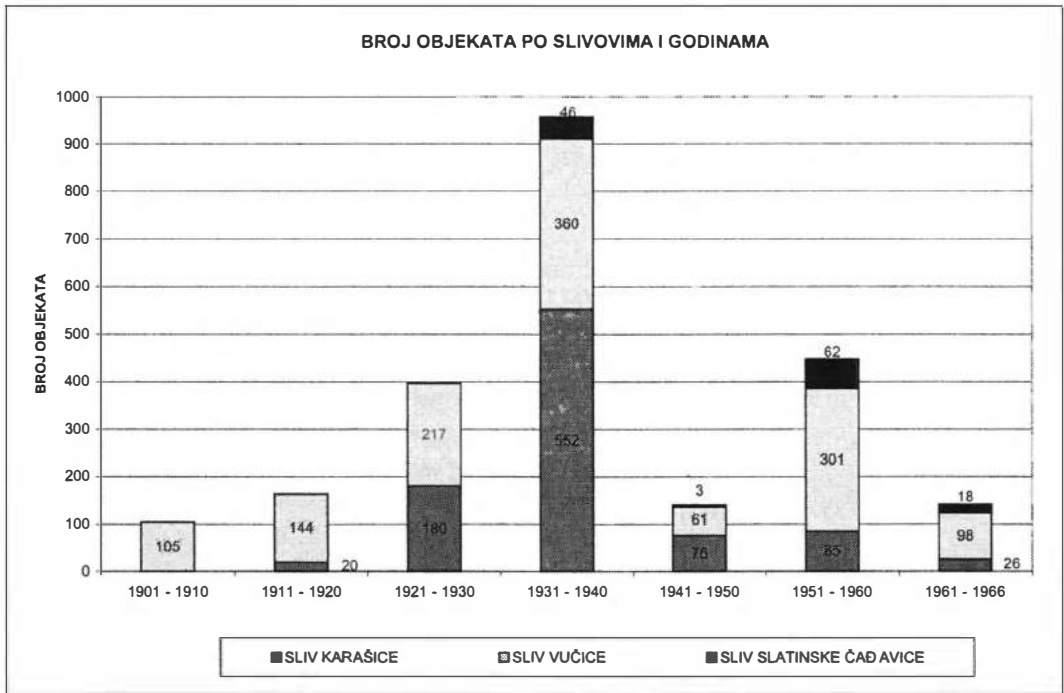
- betonske ustave: do 46 do 82, prosječno 75 god., 75% od prosječnog vijeka trajanja
- sifoni: od 51 do 88, prosječno 70 god., 70% od prosječnog vijeka trajanja
- stepenice: od 22 do 72, prosječno 34 god., 42% od prosječnog vijeka trajanja
- cijevne ustave (čepovi): od 37 do 79, prosječno 56 god., 100% od prosječnog vijeka trajanja
- obaloutvrde: od 1 do 69, prosječno 24 god., 30% od prosječnog vijeka trajanja.

2.2. Pregled stanja građevina

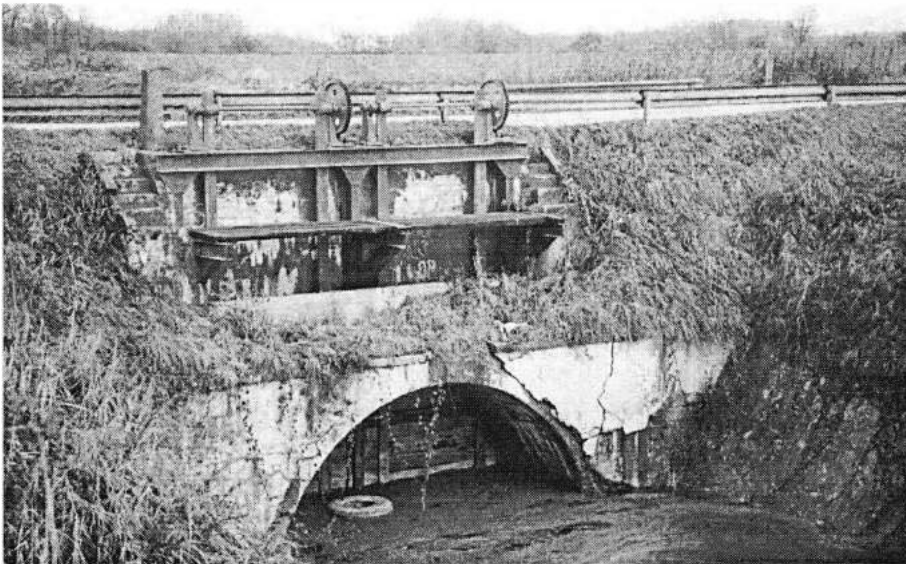
Pregled sifona i ustava sa osnovnim karakteristikama naveden je u Tabeli 2.

Pregledom jednog broja stepenica na terenu ustanovljeno je slijedeće stanje:

- stepenica na spojnom kanalu Vojlovica-Vočinska kod Čaćinaca : betonska stepenica, uzvodna obloga kamenom u betonu, slapište od kamena u betonu, pokos obale erodiran, kanal-uzvodno uz stepenicu obrasao, nizvodno zakrčen nanosom granja
- stepenica na kanalu Krajna u Čaćincima uz željeznički most: betonska stepenica, obloga kamenom u betonu-djelomično obrasla mahovinom, nizvodni kraj slapišta oštećen, nizvodno dno produbljeno, kanal djelomično obrasao šibljem
- stepenica na vodotoku Vučica u Orahovici: betonska stepenica, obloga kamenom u betonu, erodirana lijeva obala uz slapište, kanal održavan
- stepenica na Bukviku sa starom ustavom i sifonom nedaleko Teodorovca: betonska stepenica-oštećena, obloga pokosa slapišta betonska-oštećena, puno nanosa šljunka-stepenica izvan funkcije, kanal-slabo obrasao



Dijagram 1. Prikaz broja izgrađenih objekata po slivovima do 1966. godine prema popisu [2]



Slika 1. Ustava na odušnom kanalu Karašica-Drava na cesti Donji Miholjac-Viljevo

- stepenica na Staroj Vučici uz most na cesti Lacići-Koška: betonska stepenica, obloga slapišta betonskim pločama, lijeva obala kanala nizvodno od slapišta jako erodirana (i zbog krivine)

- stepenica na kanalu Iskrica uz most na željezničkoj pruzi Dalj-Varaždin : betonska stepenica, obloga kamenom u betonu, zamuljeno dno nizvodno od stepenice-stepenica izvan funkcije
- prag na Gatskom kanalu kod Gata: pregrada od kamena u žičanom pletivu jako oštećena, neposredno uz završetak slapišta jako erodirane obale, obrasle drvećem, produbljeno dno (popravak planiran 1998. ali nije izvršen).

Najčešća oštećenja ustanovljena pregledom građevina na terenu prema vrstama građevina jesu:

1. Ustave : erozija betona građevine, pukotine u betonskoj oblozi slapišta, dotrajnost drvene zaporne ploče, zahrđalost uređaja za podizanje zaporne ploče, obraslost kanala neposredno uz građevinu;
2. Stepenice: pukotine na betonskoj oblozi uz stepenicu, oštećenje završetka obloge slapišta od kamena u betonu, erozija obale kanala, zamuljenje kanala nizvodno od stepenice (time i gubitak funkcije građevine);
3. Sifoni: pukotine na betonskim zidovima sifona, zamuljenje sifona, obrasli dovodni kanali;
4. Čepovi: dotrajao poklopac, erozija kanala u dnu uz čep, obraslost travom;
5. Obaloutvrde: zbog slijeganja tla i erozije kanala dolazi do pucanja i urušavanja kamene obloge.

Posebno treba spomenuti stanje brane “Lištrovac” na Klokočevcu prof. 14+230 koja je građena od 1916.-1917. godine. Brana je od izgradnje više puta rekonstruirana: 1961. osiguranje dna, betoniranje pragova i ploča, između 1961. i 1974. povišenje zida brane za 60 cm, 1974. izgradnja novog zida brane neposredno uz postojeći. Zbog sadašnjeg vrlo lošeg stanja cijele građevine izrađen je 1998. godine projekt sanacije na temelju istražnih radova i naknadnog ispitivanja tlačne čvrstoće betona zida polukružne armirano betonske brane. Zaključak izvješća [6] o ispitivanju betona na zidu brane (stari novi beton), pragovima, uzdužnim zidovima i dnu bučnice je da:

- postignute tlačne čvrstoće zadovoljavaju marke betona po pojedinom elementu od MB-20 do MB-40
- vizuelnim pregledom građevine i izvađenih uzoraka iz pojedinih elemenata vidljivo je da je beton kompaktan i dobro zbijen
- oštećenja nizvodne strane zida brane neophodno je sanirati radi zaustavljanja progresivne erozije betona.

Na temelju zaključka izvješća izrađen je projekt sanacije brane sa predviđenim radovima kojima će se :

- zaustaviti dalji proces erozije betona na nizvodnoj strani zida brane koja se zbog preljevanja vode vlaži i u periodima niskih temperatura oštećuje djelovanjem mraza
- popraviti pojedini dijelovi brane-bučnica, slapište, poslužni most
- povećati sigurnost građevine
- poboljšati protok vode u vodotoku
- zaustaviti proces erozije obale
- osigurati bolji uvjeti korištenja brane popravkom dotrajale zaporne ploče
- osigurati sigurni uvjeti pri rukovanju zapornom pločom
- popraviti estetski doživljaj građevine i okoliša.

Potrebna sredstva za sanaciju brane prema troškovniku u prosincu 1998. godine iznose 680.000 kuna.

Tablica 2. Osnovni podaci i stanje građevina za sifone i ustave

OSNOVNI PODACI								STANJE GRAĐEVINE			
Redni broj	Vrsta građevine	Lokacija	Vodotok	Stacionaža	Godina izgradnje	Godina zadnjeg popravka	Materijal	Stanje kvalitete materijala	Stanje vodotoka i okoliša	Funkcioniranje građevine-uređaja	Ostalo
SIFONI											
1.	SIFON	Zvonimirovac	Prof.Bella	5+975	1911.	1997.	bet.svod 2 m l=71 m	pukotine u zidu - popravljene	obrasao dovodni kanal	dobro	Velika važnost u odvodnji
2.	SIFON	Zvonimirovac	Prof. Bella	8+350	1913.	1997.	bet.svod 2m l=69 m	pukotine u zidu -popravljene	obrasao dovodni kanal	dobro	rudina Đurin Lug i Zvonimirovac
3.	SIFON	Teodorovac	Crna voda	6+520	(1948.)		f 1,0 m				Nije u funkciji jer ne radi taninara DIK-a
4.	SIFON	Jelisavac	Dovodni kanal Lapovac-Našička r.	1+300	1953.		f 1,0 m	pukotine u zidu	oštećena obloga uzvodno i nizvodno	dobro	Važan za opskrbu ribnjaka vodom
USTAVE											
1.	USTAVA	na cesti D.Miholjac-Viljevo	Karašica-Drava	0+404	1928.	1998.	beton l=6 m	pukotine na zidu (radne reške vidljive)	zaraslo. nanos smeća	obnovljena zap. ploča i uređaj	
2.	USTAVA	na cesti Blanje-Kapelna	Karašica-Drava	6+400	1928.	1971. 1998.	beton l=5,85m	pukotine u zidu i svodu (radne reške vidljive)	erozija obale na utoku u Karašicu uz ustavu	obnovljena zap. ploča i uređaj	
2.	USTAVA (brana)	"Lištrovac"	Klokočevac	12+970	1917.	1974.	beton l=2 m h=3,3 m L=26,2 m pražnj. 8 sati	vrlo loše (velika oštećenja zida)	uzvodno nanuljeno, nizvodno nanos i obraslo drvećem	dotrajala zap. pona ploča	
3.	USTAVA	Nelin Dvor	Donja Voćinska	5+500	1925-32.		beton l=8m	velika oštećenja zida, erozija betonu znatna	okrčen i očišćen kanal	uređaj oštećen nasilnim rukovanjem	
4.	USTAVA	Teodorovac	Bukvik	9+729	1927.	1963.	beton l=6,6m h=2 m pražnj. 6 sati	prekrivena travom i mahovinom	uzvodno zarasao, nizvodno stepenica	zahrao uređaj, podmazan: ploče propuštaju	
5.	BRANA	Kapelna	Putna	0+008	1938.	1971.	beton h=4 m	pukotine popravlj. 1971.	obloga kam.poprav. 1971.. oštećeno slapište		
6.	ZAPORNICA		Ordanja								
7.	SPLAVNICA	Ribnjak Naš. Breznica	Našička Rijeka	6+750	1929.		beton l=5,25 m h=2,5 m pražnj. 10 sati	pukotine u betonsk. oblozi, beton.dno dobro	uzvodno potopljen, nizvodno erozija obale	zap.ploče propuštaju vodu	
8.	SPLAVNICA	Belje vina	Iskrica	12+335	1927.	1977.	beton l=3,3 m h=2,5 m pražnj. 6 sati	vrlo erodiran beton ustave	obloga betonska jako oštećena	zapornica dotrajala	
9.	SPLAVNICA	Jelisavac	Lapovac	7+250	1953.		beton l=8,1m h=2,8 m pražnj. 6 sati		uzvodno nanuljen, voda se prelijeva preko ustave, obraslo drvećem		
10.	USTAVA	Ribnjak Grudnjak	Vučica	10+950	1932.		beton l=6 m h=2,5 m pražnj. 6 sati				Vrlo dobro održavana (brigu vodi uprava ribnjaka)
11.	USTAVA	Donje Predrijevo	Pištanac I	9+600	1918.	1998.					Popravljena. u vrlo dobrom stanju
12.	USTAVA	Teodorovac	Pribiševačka Rijeka	2+500	1928.		beton l=2,2 m h=2,75 m pražnj. 6 sati				Treba potpuna obnova

2.3. Značenje hidrotehničkih građevina za funkcioniranje sustava

Uloga i značaj hidrotehničkih građevina u hidrotehničkom sustavu odvodnje i gospodarenja vodama na slivu Karašice i Vučice može se prikazati za konkretan slučaj pojave velikih voda u veljači 1999. godine, nakon naglog topljenja snijega. Visine vodostaja za karakteristična mjesta opažanja bili su u usporedbi sa pojavom velikih voda u siječnju 1998. godine slijedeći:

VODOTOK	LOKACIJA	siječanj 1998.	veljača 1999.
Vučica	Prkos	397 cm	372 cm
Vučica	Marjančaci	775 cm	723 cm
Karašica	Miholjački Poreč	370 cm	339 cm.

Za odvodnju visokih voda upravljanje ustavama je kako slijedi:

PODIŽU SE USTAVE : - brana “Lištrovac” na Klokočevcu

- ustava na Vučici na Ribnjaku “Grudnjak”
- ustava na Pištancu I kod Donjeg Predrijeva
- ustava na Iskrici kod Beljevine
- ustava na Bukviku kod Teodorovca
- ustava na Pribiševačkoj Rijeci kod Teodorovca
- ustava na Našičkoj Rijeci na ribnjaku “Našička Breznica”
- ustava na kanalu Lapovac kod Jelisavca
- ustava na odušnom kanalu Karašica-Drava kod Blanja
- ustava na odušnom kanalu Karašica-Drava na cesti D. Miholjac-D.Viljevo (ukoliko je nivo Drave niži od nivoa Karašice)

SPUŠTA SE USTAVA: -ustava na Donjoj Voćinki kod Nelin Dvora.

U slučaju visokih vodostaja Karašice i Drave obje ustave na odušnom kanalu se zatvaraju, a počinje raditi crpna stanica za evakuaciju vode sa sliva kanala Blanje.

Za opskrbu ribnjaka vodom regulacija na ustavama je obrnuta.

Posebno treba istaći važnost sifona na križanju kanala Prof. Bella sa kanalom Adolfovac I u prof. 5+975 i kanalom Đurin Lug I u prof. 8+350 radi zaštite rudina Zvonimirovac i Đurin Lug koje u slučaju nefunkcioniranja ova dva sifona mogu biti poplavljene.

Za zaštitu nizvodnih naselja i potrebe vode ribnjaka “Našička Breznica” izgrađena je jedna akumulacija na slivu potoka Vujnovac - “Lapovac II” . Područje brane sa objektima (preljev, brzotok, temeljni ispušt) dobro se održava uz redovnu čuvarsku službu. Svoju funkciju akumulacija je obavila čak i u vrijeme izgradnje kod zaustavljanja i rezanja vodnog vala koji je prijetio poplavljanjem naselja nizvodno od akumulacije.

3. Ocjena stanja građevina

Analizom podataka o izgradnji hidrotehničkih građevina u slivu Karašice i Vučice, te obilaskom i pregledom građevina na terenu može se zaključiti:

- najveći broj hidrotehničkih građevina (mostovi i propusti, ustave, sifoni, stepenice, čepovi) izgrađeni su u razdoblju 1911.-1940.

- prosječna starost glavnih hidrotehničkih građevina u odnosu na prosječni vijek trajanja (betonske ustave, cijevne ustave, sifoni, stepenice) iznosi 30-100%
- stanje kvalitete materijala iz kojeg su izgrađene glavne hidrotehničke građevine (betonske ustave, sifoni, stepenice) nije zadovoljavajuće – oštećenja betona, ispucalost obloge, neodržavani uređaji na ustavama i čepovima, dotrajale drvene zaporne ploče
- stanje kanala na kojima se nalaze hidrotehničke građevine je nedovoljna održavanost-erodirana obala, produbljeno dno, nanosi na slapištu, neokrčeni pokosi i dno kanala.

Pune 102 godine gospodarenja vodama na slivu Karašice i Vučice za zaštitu područja od poplavnih voda i korištenje vode za opskrbu ribnjaka za proizvodnju konzumne ribe, ulaganje u izgradnju i unapređenje hidrotehničkog sustava rezultiralo je znatnom izgrađenošću sustava. Sve teže osiguranje sredstava za redovno održavanje, rekonstrukciju te zamjenu dotrajalih građevina može dovesti u pitanje funkcioniranje cijelog sustava za zaštitu od voda i za gospodarenje i korištenje vode sa sliva. Redovito i kvalitetno održavanje objekata na hidromelioracijskim sustavima površinskog odvodnjavanja osnovni su preduvjeti za funkcionalnost sustava u svim uvjetima korištenja. To su potvrdile i nedavne poplave koje su se dogodile kod manjih oborina nego što se to dešavalo prije.

Izvori podataka i literatura :

1. Vodna zajednica "Karašica-Vučica" Donji Miholjac, Katastar hidrotehničkih objekata, 1963.
2. Vodna zajednica "Karašica-Vučica" Donji Miholjac, Popis vodoprivrednih objekata sa 31.12.1966. za sliv Karašice, Vučice i Slatinske Čadavice, 1966.
3. Olrom, S., Korov, J. : Djelatnost Vodoprivrednog poduzeća "Karašica-Vučica" Donji Miholjac u periodu 1896.-1986., 1986.
4. Ćosić, I. : Karašica-Vučica Donji Miholjac 1896.-1996., 1996.
5. HRVATSKE VODE ZAGREB, VGI za slivno područje "Karašica-Vučica" Donji Miholjac, Prikaz kanalske mreže i objekata na kanalima na dan 31.12.1997.
6. Izvješće o naknadnom ispitivanju tlačne čvrstoće betona prema normi HRN U.M1.048, IGH PC Osijek, 1998.
7. Izvješće o prijedlogu sanacije brane "Lištrovac" , IGH PC Osijek, 1998.
8. Kolovrat, I. : Održavanje objekata na hidromelioracijskim sustavima površinskog odvodnjavanja, Priručnik za hidrotehničke melioracije, knjiga 6 Održavanje, 1991.
9. Marušić, J. : Objekti hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje, Priručnik za hidrotehničke melioracije, knjiga 3 Osnovna mreža, 1985.

Autori:

Jadranka Pavletić, dipl.inž.građ., Karašica-Vučica d.o.o. Donji Miholjac, Trg A.Starčevića 9
 Stjepan Rušanac, građ.tehn., HRVATSKE VODE-VGI Donji Miholjac, Trg A.Starčevića 9
 Mario Lončarić, dipl.inž.građ., Karašica-Vučica d.o.o. Donji Miholjac, Trg A.Starčevića 9



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.29.

Analiza bujičnog sliva akumulacije Botonega korištenjem GIS – a

Darko Barbalić, Anto Bagić, Josip Petraš

SAŽETAK: Sliv akumulacije Botonega, ključne građevine za dalji razvoj vodoopskrbnog sustava Istre, zahvaćen je erozijskim procesima vrlo različitih pojava oblika i intenziteta.

S obzirom na veliko značenje akumulacije i uočeni problem erozije koji bi mogao ograničiti mogućnosti njene uporabe pokrenut je niz istraživanja, u okviru višedisciplinarnog, znanstveno-istraživačkog projekta "Protuerzijska zaštita tla i voda u Istri, u sklopu šire ekološke problematike zaštite Jadrana".

Osnovni cilj Projekta je da se kroz utvrđivanje optimalnog koncepta protuerzijskih zahvata na slivu i optimalnog tehničkog rješenja uređenja bujičnih vodotoka osigura trajnost akumulacije Botonega i pouzdanost kakvoće i količine isporučene vode.

U sklopu ove problematike izvršeno je preliminarno modeliranje i prostorna analiza sliva GIS programskim paketima ARC / INFO i ArcView.

Rezultati prostorne analize sliva upotrebljeni su za hidrološko - parametarsku analizu otjecanja, analizu produkcije erozijskog nanosa, odabir optimalnog položaja i veličine pregrada za zaustavljanje nanosa te su utvrđeni daljnji pravci razvoja modela sliva i primjene GIS tehnologije na njemu.

KLJUČNE RIJEČI: GIS, prostorna analiza, otjecanje, erozija, nanos, Botonega

Using GIS for Botonega Reservoir Torrential Catchment Analysis

Summary: Catchment of the Botonega reservoir, the key structure in further development of the Istrian water supply system, has been exposed to erosion processes in very different forms and intensities.

Since the reservoir is of particular importance, and the noticed erosion problem could limit its exploitation, a series of investigations was initiated within a multidisciplinary scientific and research project titled "Soil and Water Erosion Protection within a Wider Environmental Problems of the Adriatic".

The Project is primarily intended to determine an optimum concept of erosion control to be implemented in the catchment and optimum technical concept of torrential watercourse training in order to ensure long lifetime of the Botonega Reservoir and reliability of water supply quality and quantity.

Preliminary modelling and 3D analysis of the catchment has been conducted using GIS program packages ARC/INFO and ArcView.

The catchment 3D analysis results were used for hydrological parametrial analysis of runoff, erosion deposit production, selection of optimum position and size of barriers stopping the deposit, and further trends in catchment model development and GIS application were determined.

KEYWORDS: GIS, space analysis, runoff, erosion, deposit, Botonega

1. Uvod

Na slivu bujičnog vodotoka Botonega, lijevoj pritoci rijeke Mirne, u središnjem području Istre, sjeverno od Pazina, izgrađena je višenamjenska površinska akumulacija koja nosi ime matičnog vodotoka. Pored mogućnosti korištenja akumulacije Botonege za zaštitu od poplava i osiguranje potrebnih količina vode za navodnjavanje, ona je ključni dio za dalji razvoj sustava vodoopskrbe Istre i to je njena najznačajnija vodnogospodarska funkcija. Naime, planirano je da se do 2005. godine iz ove akumulacije podmiruje oko 50 % ukupnih potreba Istre za vodom.

Ukupna površina sliva akumulacije Botonega iznosi 73 km², a opseg 44 km. Po visinskom položaju rasprostire se između 503 i 20 m.n.m, s prosječnom nadmorskom visinom od 208 m.n.m. Sliv akumulacije je pod utjecajem djelomično izmijenjene sredozemne klime sa srednjom godišnjom temperaturom između 12.5 °C i karakterističnim temperaturnim inverzijama. Srednja godišnja količina oborina iznosi 1130 mm. Unutargodišnji raspored sumarnih mjesečnih oborina ukazuje na maksimume u proljeće i jesen. Ekstremne dnevne oborine su vrlo visoke i prelaze veličinu od 100 mm/dan.

Geološki, građa sliva se gotovo u potpunosti sastoji od eocenskog fliša sa čestom izmjenom litoloških jedinica i sa vrlo malom infiltracionom sposobnošću. Zbog nepropusnosti flišne podloge plitka su tla vrlo osjetljiva na erozijske procese. Veoma razgranata hidrografska mreža bujičnih vodotoka na slivu posljedica je geološkog sastava.

Na slivu se posebno ističu tri vodotoka - izvorišna ogranka akumulacije Botonega: Račićki potok, Dragučki potok i potok Botonega, starijeg kartografskog naziva Grdoselski potok. Dužina glavnog toka Botonege do pregradnog profila akumulacije iznosi oko 11 km. Za gornji i srednji dio sliva karakteristične su vrlo duboke usječene jaruge strmih bokova, dok je dolinski dio sliva nastao zatrpavanjem duboko usječenih dolina nanosnim materijalom, što je posljedica izrazitih erozijskih procesa u prošlosti. Tijekom rekognosciranja terena u okviru i za potrebe rada na projektu "Protuerocijska zaštita tla i voda u Istri, u sklopu šire ekološke problematike zaštite Jadrana", na slivu akumulacije Botonege uočeni su pojavni oblici ekstremno ekscesivne, ekscesivne, intenzivne brazdaste (rill), jaružaste (gully), bujične (torrential stream erosion) i urvinske erozije (popuzine, odroni, klizišta) te mješoviti oblici kišne (splash), laminarne (sheet) i brazdaste (rill) erozije.

Pri tome treba napomenuti da se na slivu Botonege najčešće nailazi na naizmjenično raspoređene različite tipove i stupnjeve razvoja erozije. Poseban problem predstavljaju strmi bokovi bujičnih jaruga bez vegetacije koji zauzimaju oko 18 % ukupne površine sliva a prema parametarskim analizama proizvode oko 48 % ukupne količine erozijskog nanosa. Ova područja su ujedno vrlo nepovoljna za biološku sanaciju. Ovako ogoljele, strme flišne formacije su direktno izložene utjecaju niza erozijskih čimbenika (naizmjenično kvašenje i sušenje, dnevnim temperaturnim varijacijama, smrzavanju i odmrzavanju) te se vrlo brzo raspadaju

Rezultati analiza hidroloških mjerenja ukazuju na bitno odstupanje izmjerenih veličina od veličina korištenih pri izradi projektne dokumentacije. Nadalje, provedbom složenijih parametarskih analiza (od onih sadržanih u projektu akumulacije) dobiveni su pokazatelji da bi unos nanosa u akumulaciju mogao biti i znatno veći od procjenjenog u projektu, čime bi se znatno skratio životni vijek akumulacije. Pri tome valja naglasiti da su i stare i nove analize vršene na relativno oskudnom opsegu raspoloživih podataka te se ne mogu smatrati potpuno pouzdanim.

2. Korišteni podaci i programski alati

Za sve prostorne analize na slivu kao i za izradu tematskih karata, korišteni su programski paketi ARC/INFO i ArcView tvrtke Environmental Systems Research Institute inc., Redlands, USA. Za 3D topografske analize je korišteno proširenje ArcView 3D Analyst. Korištene su slijedeće podloge:

- topografska podloga (vektorizirane slojnice ekvidistance 10 i 5 m, digitalizirane sa karte u mjerilu 1:25000. Sastoji se od 1079 slojnica, ukupne dužine oko 2960 km)
- karta korištenja zemljišta sliva akumulacije Botonega (digitalizirana na osnovu aerofotosnimaka umjerilo 1:22000, sastoji se od 1533 poligona kojim je pridružena 21 klasa korištenja zemljišta)
- karta erozije sliva akumulacije Botonega (digitalizirana na osnovu podloge izrađene u mjerilu 1:25000 po metodi Gavrilović - Lazarević [8]. Sastoji se od 1007 poligona kojim je pridruženo 12 kategorija erozije).

3. Modeliranje topografije sliva

Da bi se omogućila analiza parametara koji ovise o topografskim karakteristikama sliva izvršeno je modeliranje topografije sliva TIN modelom (Triangulated Irregular Network - modeli koji teren opisuju mrežom trokuta raspoređenih u prostoru).

Prilikom uspostave ovog modela pomoću ArcView 3D Analyst paketa, radi pogrešne interpretacije dijela ulaznih podataka (posljedica algoritma za triangulaciju), za razliku od stvarnog stanja na slivu, na modelu su se pojavila nepostojeća horizontalna područja na sedlima, uvalama i grebenima. Radi toga je izvršena korekcija topografije pomoću rutine u Avenue programskom jeziku (modelu smo dodali 3470 3D linija).

Ovako kreiran konačni model reljefa sliva koji je u daljnjem radu korišten za prostorne analize sastoji se od 340.000 trodimenzionalnih trokuta.

4. Prostorna analiza sliva

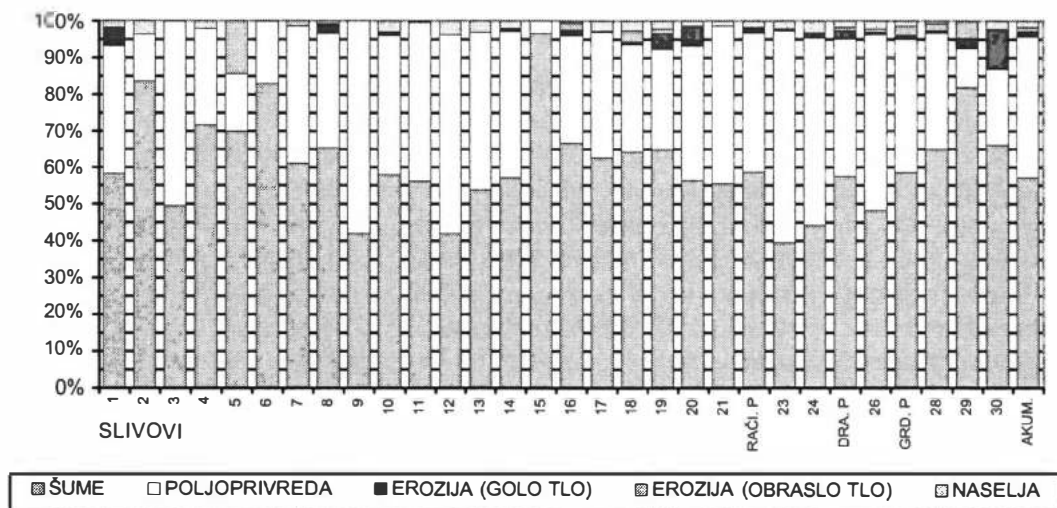
Osim utvrđivanja granica ukupnog sliva, za potrebe detaljnijeg proučavanja i utvrđivanja žarišta erozije, izvršena je i parcelizacija sjevernog dijela sliva na podslivove. Parcelizacija je vršena do onog nivoa koji su dopuštale topografske podloge i diskretizacija matematičkog modela terena. Detaljnija parcelizacija bi bila moguća uz kvalitetnije (detaljnije) podloge. Parcelizacija je vršena tako što je simuliran tok vode iz niza točaka na slivu (trokuti TIN modela) te je analiziran prolaz kroz kontrolne profile pojedinih slivova . Na taj način su određene granice sliva akumulacije, granice tri osnovna podsliva, te još 27 karakterističnih podslivova na sjevernom dijelu sliva akumulacije.

Za sve slivove je izvršena analiza korištenja zemljišta (podjela na površine pod naseljima, šumama, poljoprivredne površine, površine djelomično zahvaćene erozijom (tlo obraslo siromašnom vegetacijom) te površine zahvaćene jakom erozijom (golo tlo)). Rezultati analize prikazani su na sl. 1. Osim toga određene su vrijednosti za još devet parametara koji u daljnjim parametarskim analizama determiniraju velike vode te produkciju i donos erozijskog nanosa.

5. Proračun velikih voda

Za proračun velikih voda sliva i podslivova korištene su slijedeće parametarske metode:

- Metoda Gavrilović za proračun velikih voda bujičnih slivova (1956. god)
- Metoda Srebrenović za proračun velikih voda malih slivova (1970. god)



Slika 1. Rezultat analize korištenja zemljišta

Detaljan opis primjene ovih metoda dat je u literaturi ([8], [20]).

Na osnovu karte strukture korištenja zemljišta proračunati su *koeficijent vegetacijskog pokrivača sliva* (metoda Gavrilović) i *faktor vegetacijskih i geoloških karakteristika sliva* (metoda Srebrenović). Ostali parametri koji se koriste u ovim metodama (opseg sliva, površina sliva, srednji pad sliva, dužina matice glavnog vodotoka, geografske koordinate težišta i ušća sliva te minimalna, srednja i maksimalna nadmorska visina) također su rezultat GIS prostorne analize.

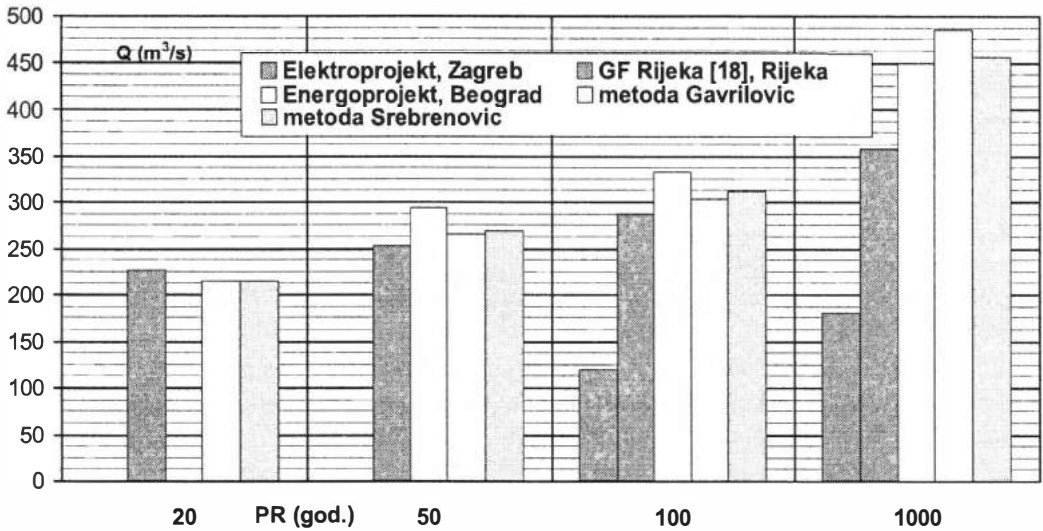
Već od ranije postoje proračuni velikih voda u projektnoj dokumentaciji akumulacije pa je ovdje dato njihovo upoređenje sa rezultatima dobijenim na ovdje opisani način (metoda Gavrilović i metoda Srebrenović) - tablica 1 i sl. 2.

Tablica.1: Usporedba maksimalnih protoka sa sliva akumulacije Botonega, proračunatih u projektnoj dokumentaciji i prema našim proračunima

MAKSIMALNE PROTOKE ZA SLIV AKUMULACIJE (m ³ /s)				
PR (god.)	20	50	100	1000
Elektroprojekt, Zagreb	-	-	120	180
GF Rijeka [18], Rijeka	227	252	287	358
Energoprojekt, Beograd	-	294	333	450
Metoda Gavrilović	215	265	304	486
Metoda Srebrenović	215	269	311	456

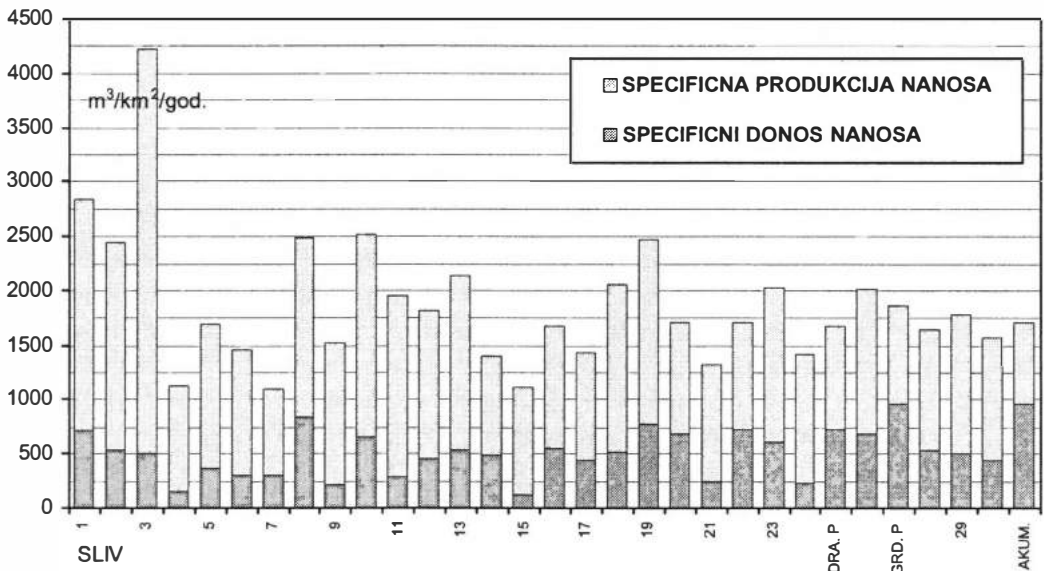
6. Proračun erozije

Proračun produkcije i donosa erozijskog nanosa vršen je prema parametarskoj metodi Gavrilović [8] i to kako za cijeli sliv akumulacije tako i za pojedine podslivove. Za prostornu analizu erozijskog nanosa poslužile su digitalizirana karta erozije i model

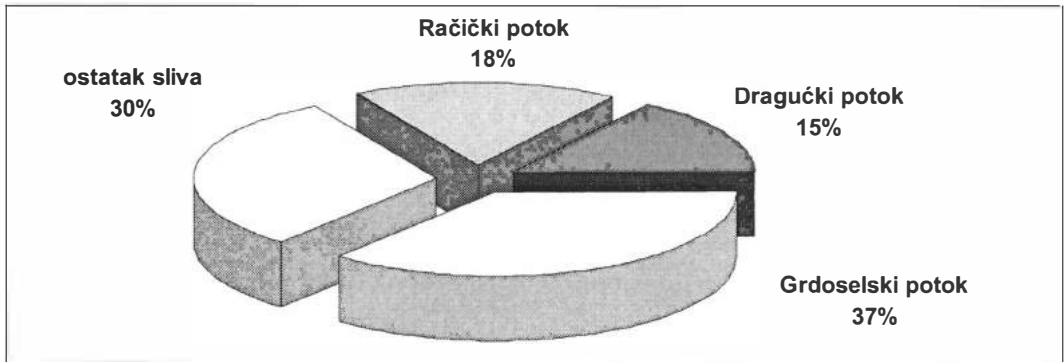


Slika 2. Grafički prikaz usporedbe maksimalnih protoka sa sliva akumulacije Botonega, proračunatih u projektnoj dokumentaciji i prema našim proračunima

topografije sliva. Rutinama u Avenue programskom jeziku je proračunat mjerodavni koeficijent erozije Z te ostali parametri potrebni za izračun *koeficijenta retencije erozijskog nanosa*. Ostatak proračuna je izveden MS Excel programskim paketom pri čemu su određene specifične i apsolutne produkcije erozijskog nanosa i specifični i apsolutni donos erozijskog nanosa na kontrolne profile svih slivova. Rezultati proračuna prikazani su na sl. 3 i sl. 4.



Slika 3. Specifična produkcija i donos nanosa



Slika 4. Udio tri osnovna podsliva u ukupnom donosu nanosa u akumulaciju

7. Deponijske pregrade

U kompleksnom rješavanju problema zaštite akumulacije od unosa erozijskog nanosa najvažnija tehnička mjera je izgradnja deponijskih pregrada u koritima bujičnih vodotoka. Iznažanje optimalnih rješenja takvih pregrada podrazumjeva da treba ustanoviti lokacije i proporcije tih pregrada uz dva postavljena kriterija:

- da deponijski prostor za zadržavanje nanosa bude što veći i
- da troškovi pregrade budu što manji

Do sada je analiza optimalnog položaja i veličine deponijskih pregrada vršena samo za tri unaprijed odabrana podsliva nizvodno od poznatih žarišta erozije. Analiza sadrži proračun najpovoljnijeg odnosa zapremine pregrade i zapremine retencijskog prostora koji ona stvara, s obzirom na mogući odabir lokacija pregrade. Pri tom je proračun prostornih karakteristika pojedinih profila vršen pomoću posebno izrađenih rutina u jeziku Avenue, programskim paketom ARCVIEW, a proračun zapremina i njihovo upoređenje programom Excel, pomoću rutina napisanih u programskom jeziku VISUAL BASIC. Rezultati ovih analiza prikazani su na posteru pod naslovom: Prostorne analize sliva akumulacije Botonega.

8. Zaključne napomene

Provedenom analizom bujičnog sliva akumulacije Botonega ustanovljen je nesklad između projektnih i analizom dobivenih hidroloških i psamoloških pokazatelja.

Maksimalni protoci prema provedenom parametarskom proračunu otjecanja su tako cca 2.5 puta veći od onih u projektnoj dokumentaciji brane, dok se u načelu slažu sa proračunima Građevinskog fakulteta iz Rijeke [18] i Energoprojekta iz Beograda.

Rezultati proračuna donosa nanosa za cjelokupni sliv su uglavnom u skladu (razlika cca 12 %) s rezultatima proračuna publiciranim u [16], što je prihvatljivo s obzirom na vrstu i preciznost korištene metode.

Za daljnje analize, uputno bi bilo, primijeniti i neke od suvremenijih i preciznijih matematičkih modela i metodologija proračuna, kako za modeliranje otjecanja tako i za modeliranje fenomena erozije na osnovi istraživanja koja se vrše u okviru znanstveno - istraživačkog projekta "Protuerzijska zaštita tla i voda u Istri, u sklopu šire ekološke problematike zaštite Jadrana", [16].

Određivanje položaja i veličine najpovoljnijih deponijskih pregrada na slivu bi za projektnu ili studijsku dokumentaciju većeg stupnja razrađenosti trebalo provesti za cjelokupni sliv sa detaljnijim podlogama (npr 1:5000) te, eventualno, u proračun uvesti produkciju nanosa na slivu svake pregrade, kao i ostale veličine koje utječu na ocjenu povoljnosti, što bi omogućilo selekciju odista najefikasnijih deponijskih pregrada ili malih retencija.

Primjena GIS-a omogućuje precizniju, bržu i djelotvorniju analizu velikog broja prostornih problema, te u konačnici, njihovo egzaktnije i točnije rješavanje uz veće uvažavanje fizike samog problema te, samim tim, manje korištenje uvijek diskutabilnih empirijskih metoda, uz uvjet da se raspolože s dovoljno kvalitetnih i aktualnih podloga. Stoga, da bi se omogućila što efikasnija i djelotvornija primjena GIS-a u daljnjem radu na rješavanju problema zaštite od erozije na slivu akumulacije Botonega, naročitu pažnju treba usmjeriti na prikupljanje relevantnih podataka i pripremu kvalitetnih digitalnih podloga.

Literatura

- [1] Akumulacija Botonega - Hidrološka analiza (predhodni hidrološki izvještaj), JVP za slivno područje istarskih slivova - Labin, 1992.
- [2] Akumulacija Botonega - Hidrološko promatranje brane i akumulacije - 1992.g., JVP za slivno područje istarskih slivova - Labin, 1993 - 1995.
- [3] Akumulacija Botonega - Rezultati hidrološkog praćenja vododrživosti pregradnog profila (1995. - 1997.), Hrvatske vode - VGO Primorsko - istarskih slivova, VGI "Raša - Boljunčica" – Labin, 1998.
- [4] ArcView 3D Analyst - 3D Surface Creation, Visualization and Analysis, Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, USA, 1997.
- [5] ArcView GIS - The Geographic Information System for Everyone, Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, USA, 1996.
- [6] Bonnacci, O.: Oborine - glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus, GEING - Split, 1994.
- [7] Breusers, H.N.C.: Lecture Notes on Sediment Transport 1, Delft, The Netherlands, 1983
- [8] Gavrilović, S.: Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji, časopis "Izgradnja", specijalno izdanje - Beograd, 1972.
- [9] Gjetvaj, G.: Prijedlog metode određivanja protoka kroz temeljni ispušni akumulacije Botonega, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Odjel za hidrotehniku, 1995.
- [10] Jung A.: Šuma i vodni režim, Hrvatska vodoprivreda, godište II., 13, Listopad 1993.
- [11] Meijerink, A.: Introduction to the Use of Geographic Information Systems for Practical Hydrology, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, Netherlands, 1994.
- [12] Pavletić LJ., Santin G., Bratulić D., Kvastek K.: Namjena i gospodarsko značenje akumulacije Botonega, Hrvatska vodoprivreda, godište II., 13, Listopad 1993.
- [13] Petraš J., Bašić F.: Metode istraživanja erozije tla vodom i zaštita voda, Hrvatske vode, 1 (1993) 2, Zagreb
- [14] Petraš J., Bašić, F., Mičetić G.: Pregled dosadašnjih i program budućih istraživanja erozije u slivu Botonega, Hrvatska vodoprivreda, godište II., 13, Listopad 1993.
- [15] Peyras, L., Royet, P., Degoutte, G.: Ecoulement et dissipation sur les deversoirs en gradins de gabions, La Houille Blanche, No 1 - 1991, France

- [16] Protuerozijska zaštita tla i voda u Istri, u sklopu šire ekološke problematike zaštite Jadrana - znanstveno - istraživački projekt, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1996.
- [17] Rubinić J.: Poplava u Istri 1993. godine i rad akumulacija, Građevinar 47, 1995.
- [18] Rubinić, J.: Plan natapanja na području istarskih slivova - hidrologija, Građevinski fakultet Rijeka, Rijeka, 1996.
- [19] Srebrenović, D.: Primjenjena hidrologija, Tehnička knjiga, Zagreb, 1986.
- [20] Srebrenović, D.: Problemi velikih voda, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.
- [21] Understanding GIS - The ARC / INFO Method, Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, USA, 1995.

Autori:

Darko Barbalić, dipl.ing.građ, Hrvatske vode, Ul grada Vukovara 220, Zagreb

Anto Bagić, dipl.ing.geod, Hrvatske vode, Ul grada Vukovara 220, Zagreb

Prof.dr.sc Josip Petraš, dipl.ing.građ, Građevinski fakultet Zagreb, Kačićeva 26, Zagreb



Rad 4.30.

Primjena GIS-a u gospodarenju vodnim građevinama

Berislav Glavaš i Martina Baučić

SAŽETAK: Geografski informacijski sustav (GIS) predstavlja tehnologiju kojom se raznorodni podaci mogu objediniti, analizirati te efikasno distribuirati do krajnjeg korisnika.

U radu je data mogućnost primjene GIS-a kod gospodarenja regulacijskim i zaštitnim vodnim građevinama u svrhu njihovog čuvanja, tehničkog i gospodarskog održavanja, te namjenskog korištenja u svrhu djelotvornog provođenja obrane od poplava i drugih oblika zaštite od štetnog djelovanja voda.

U grafičkim priložima prikazano je korištenje GIS-a, te u zaključku predložene mjere za njegovu daljnu dopunu i primjenu u vodnom gospodarstvu.

KLJUČNE RIJEČI: vodne građevine, GIS, vodno gospodarstvo, štetno djelovanje voda

Application of GIS in Management of Engineering Structures

SUMMARY: Geographic Information System (GIS) is a technology which allows integration of different data, their analyzing and effective distribution to the end user.

The paper describes possible use of GIS in management of water regulation and protection structures aimed at their protection, technical and economic maintenance, and targeted use in flood control and other forms of protection against detrimental water effects.

The graphical enclosures show the possible uses of GIS. In conclusion, the proposals are given for its further supplementation and application in water resources management.

KEYWORDS: engineering structures, GIS, water resources management, detrimental water effects

1. Uvod

Vodne građevine su građevinski objekti ili skupovi takvih objekata zajedno sa pripadajućim uređajima koji čine tehničku odnosno tehnološku cjelinu, a služe za uređenje vodotoka i drugih voda, zaštitu od štetnog djelovanja voda, zahvaćanja voda radi njihovog namjenskog korištenja i zaštite voda.

Vodne građevine, s obzirom na njihovu namjenu, jesu:

1. regulacijske i zaštitne vodne građevine
2. vodne građevine za melioracijsku odvodnju
3. vodne građevine za korištenje
 - a) za vodoopskrbu
 - b) za melioracijsko navodnjavanje
 - c) za proizvodnju električne enrgije
 - d) za plovidbu
4. vodne građevine za zaštitu voda

Ovim radom obuhvaćene su regulacijske i zaštitne vodne građevine koje čine: nasipi,

obaloutvrde, umjetna korita vodotoka, odteretni kanali, lateralni kanali za zaštitu od visokih voda, odvodni tuneli, brane s akumulacijama, ustave, retencije i drugi pripadajući im objekti, crpne stanice za obranu od poplava, građevine za zaštitu od erozija i bujica, te drugi objekti pripadajući ovim građevinama.

Ove građevine su dobra od interesa za Republiku Hrvatsku i u njenom su vlasništvu, a njima upravljaju Hrvatske vode, koje se brinu o njihovom čuvanju, redovnom tehničkom i gospodarskom održavanju i namjenskom korištenju. Građenje zaštitnih i vodnih građevina, tehničko i gospodarsko održavanje vodotoka, vodnog dobra i vodnih građevina provodi se u skladu s planom upravljanja vodama.

U svrhu upravljanja vodama područje Republike Hrvatske podjeljeno je na vodna i slivna područja. Jedno od četiri vodna područja je i vodno područje dalmatinskih slivova u okviru kojeg postoji osam slivnih područja.

Ustrojem Hrvatskih voda ovim vodnim područjem gospodari vodnogospodarski odjel, sa sjedištem u Splitu, u okviru kojeg djeluju vodnogospodarske ispostave za slivna područja, sa sjedištima u Zadru, Šibeniku, Splitu, Sinju, Imotskom, Vrgorcu, Opuzenu i Dubrovniku. Da bi se moglo racionalno gospodariti s vodnim građevinama treba imati sve potrebne informacije o njima na osnovu kojih će se doći do planova i programa za njihovo čuvanje, tehničko i gospodarsko održavanje, te namjensko korištenje u svrhu djelotvornog provođenja obrane od poplava i drugih oblika zaštite od štetnog djelovanja voda.

Geografski informacijski sustavi (GIS) predstavljaju tehnologiju kojom se raznorodni podaci mogu objediniti, analizirati te efikasno distribuirati do krajnjeg korisnika. Začetak primjene te tehnologije u gospodarenju vodnim građevinama bit će prikazan u ovom radu.

2. GIS za gospodarenje vodnim građevinama

U cilju objedinjavanja svih informacija potrebnih u gospodarenju vodnim građevinama, te njihovoj distribuciji svim korisnicima prišlo se izradi inicijalnog GIS-a.

2.1 Baza podataka

Svaki geografski informacijski sustav sastoji se od prostornih i atributnih podataka strukturiranih u bazu podataka na način pogodan za željeno korištenje.

Početno zamišljena funkcija ovog GIS-a je efikasan pristup i pretraživanje svih podataka uključujući prostorne podatke. Daljnja nadogradnja je uključivanje mogućnosti analiziranja podataka u cilju dobivanja novih informacija potrebnih za donošenje zaključaka u gospodarenju vodnim građevinama.

Sve potrebne informacije koje su sadržane u postojećoj tehničkoj dokumentaciji (za svaku od vodnih građevina) čine bazu podataka ovog GIS-a.

Prostorni podaci

Postojeće geodetske podloge predstavljaju osnovnu prostornu informaciju o smještaju vodnih građevina i njihovog odnosa prema drugim objektima u prostoru. Hrvatska osnovna karta u mjerilu 1:5000 je izabrana za osnovni izvornik o prostornim podacima. Za potrebe pregleda jednog hidromelioracijskog područja tj. kraškog polja, izabrana je topografska karta u mjerilu 1:25000. Prostorni podaci iz ovih izvornika zadovoljavaju zahtjeve za planiranje aktivnosti u gospodarenju vodnim građevinama. Za novo izgrađene objekte, a koji nisu prostorno definirani ovim izvornicima, podaci o položaju su

nadopunjeni prema raspoloživoj tehničkoj dokumentaciji Hrvatskih voda. Prostorni podaci se i dalje mogu nadograđivati prema potrebama, npr. novim geodetskim snimanjem pojedinih vodnih građevina.

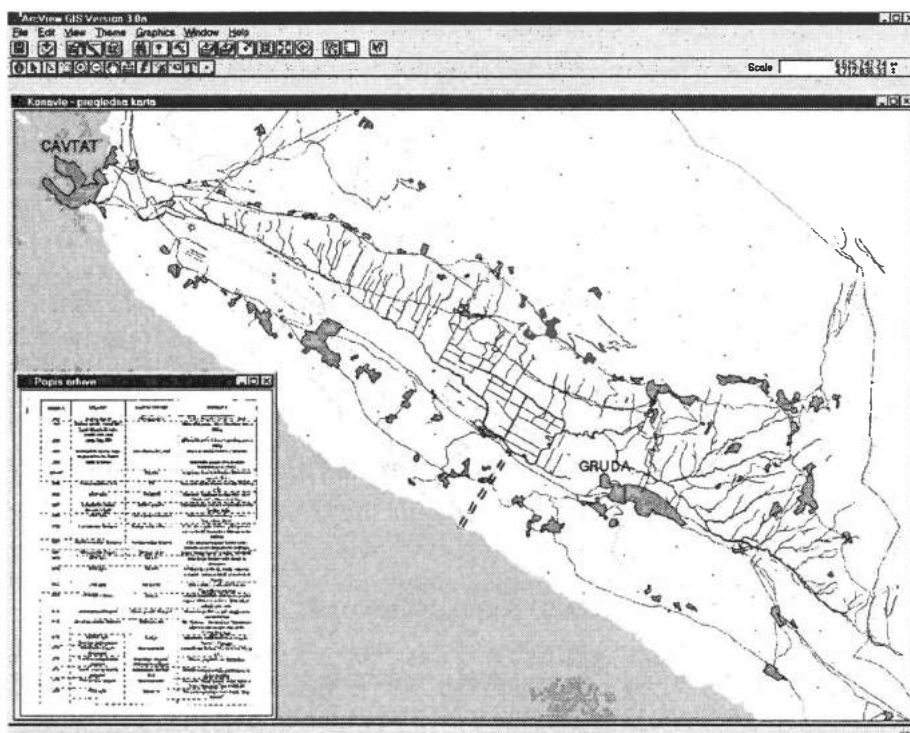
Prostorni podaci s analognih izvornika su prevedeni u digitalni oblik. Da bi se dobila potpuna informacija o terenu na način na koji su postojeći operateri navikli, karte su skenirane i georeferencirane. Dio sadržaja od značaja za gospodarenje vodnim građevinama je preveden u vektorski oblik i to: svi vodotoci i objekti vezani uz vodotoke (nasipi, ustave, pregrade i dr), prometnice (ceste i putevi), te slojnice i kote. Podaci su strukturirani u ArcInfo prostornu bazu podataka. Slojnicama i kotama su pridruženi podaci o visini što omogućava izradu digitalnog modela reljefa, a što želimo uključiti u sljedeći korak korištenja ovog sustava.

Na osnovu podataka iz tehničkih dokumentacija u bazi podataka se nalaze i prostorni podaci o dionicama vodotoka i kanala, te podaci o položaju i izgledu karakterističnih presjeka kao i drugih prostornih značajki regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina.

Svi prostorni podaci su u koordinatnom sustavu Gauss-Krugerove projekcije.

Sve geodetske snimke u digitalnom obliku (dwg, dgn ili u nekom drugom standardnom formatu) i u gore navedenom koordinatnom sustavu se mogu jednostavno integrirati u operacije ovog sustava.

Na ovaj način do sada su obrađena četiri hidromelioracijska područja tj. kraška polja (Vransko, Rastok, Vrgorsko i Konavosko), koje pokriva 56 listova Hrvatske osnovne karte, u sveukupnoj površini od 145 km².



Slika 1. Pregledna karta područja Konavala

Atributni podaci

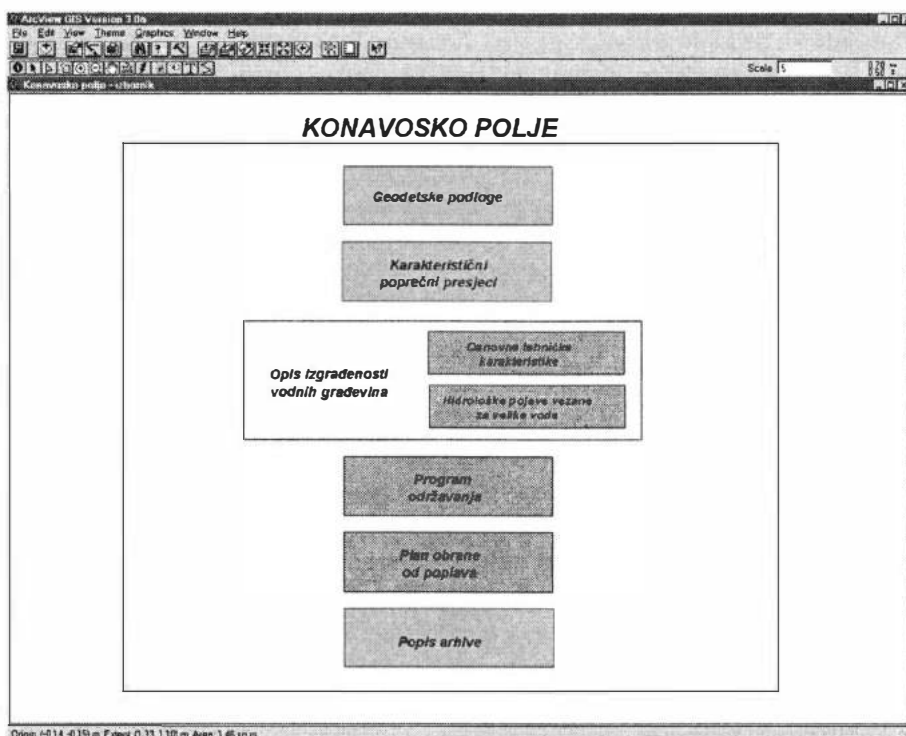
Atributni podaci koji opisuju dano hidromelioracijsko područje i pripadajuće regulacijske i zaštitne vodne građevine pripremljeni su za korištenje u svrhu njihovog čuvanje, tehničkog i gospodarskog održavanja te namjenskog korištenja u svrhu djelotvornog provođenja mjera obrane od poplava.

Podaci su strukturirani u slijedeće grupe:

1. Opis izgrađenosti vodnih građevina s osnovnim tehničkim karakteristikama
2. Hidrološke pojave vezane za velike vode
3. Program održavanja
4. Plan obrane od poplava
5. Popis arhive

2.2. Korištenje sustava

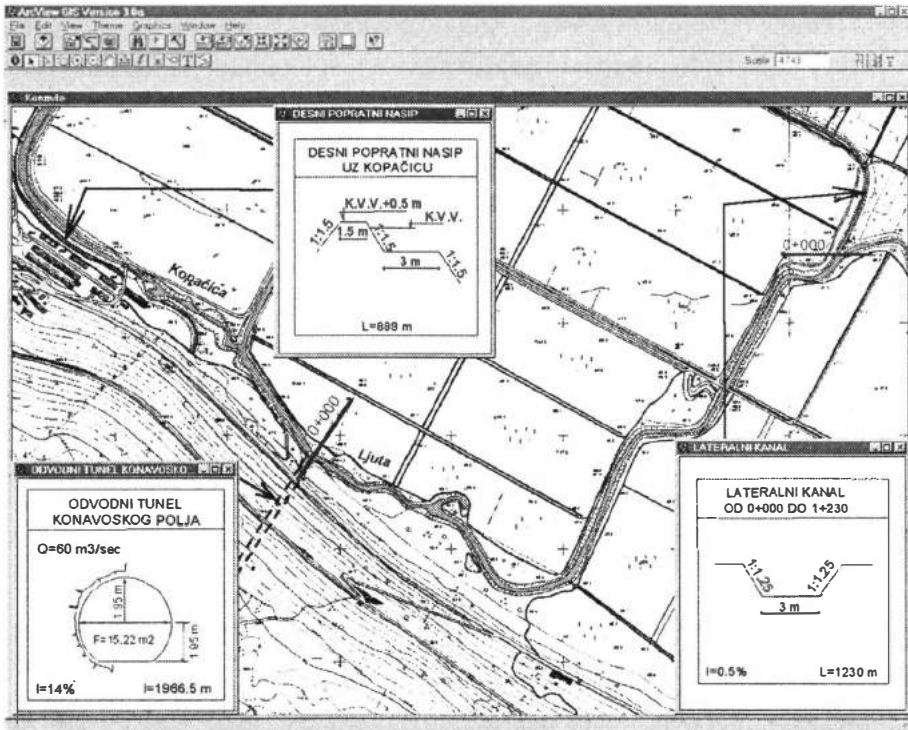
Gore opisani prostorni i atributni podaci koriste se pomoću funkcija ArcView programskog paketa. Pretraživanje, upiti i vizualizacija odgovora na upite su standardne operacije koje možemo vršiti na integriranim podacima.



Slika 2. Tekstualni izbornik

Značajka geografskih informacijskih sustava je moćno korištenje prostornih informacija, stoga je zamišljeno da se do svih željenih informacija pohranjenim u ovaj sustav dolazi preko "prostornih izbornika" ili karata. Npr. dolaskom kursora na željenu dionicu vodotoka prikazanu na karti možemo dobiti druge prostorne ili atributne podatke koji

su vezani na tu dionicu npr: o izgledu karakterističnog poprečnog presjeka, datumu zadnjeg čišćenja ili kontrolnog geodetskog snimanja i dr. Po želji korisnik može koristiti i standardne, tekstualne izbornike.



Slika 3. Prikaz vodnih građevina s karakterističnim presjecima

Odgovori na upite korisnika se brzo mogu oblikovati u kartografske prikaze i iscrtni na printeru. Npr. prema podatku o datumu zadnjeg pregleda pojedinih dionica kanala možemo operacijama nad tabličnim podacima doći do ukupne duljine pregledanih ili nepregledanih dionica u zadnjem vremenskom periodu. Rezultat jednog takvog upita brzo možemo uobličiti u izvješće s numeričkim podacima i tematskom kartom koja različitim bojama prikazuje dionice, a prema proteklom vremenskom periodu od zadnjeg pregleda.

Svaka vodnogospodarska ispostava može imati kopiju ovako pripremljenih podataka (koji će se periodično ažurirati) ili se može ostvariti direktna veza s podacima putem umrežavanja kompjutera ili korištenjem interneta.

Ovaj sustav se dalje može nadopunjavati s drugim podacima, bilo detaljnijim podacima o već obuhvaćenim regulacijskim i zaštitnim vodnim građevinama, bilo o drugim vodnim građevinama iz oblasti vodnog gospodarstva.

Osim pretraživanja i vizualizacije podataka mogu se izraditi programske aplikacije koje će vršiti potrebne prostorne analize za donošenje odluka u gospodarenje vodnim građevinama.

3. Zaključci i preporuke

Primjenom GIS-a u gospodarenju vodnim građevinama stvorene su sve pretpostavke za brzo i funkcionalno korištenje svih raspoloživih podataka koji su bitni za njihovo čuvanje, tehničko i gospodarsko održavanje, te namjensko korištenje u svrhu djelotvornog provođenja obrane od poplava i drugih oblika zaštite od štetnog djelovanja voda.

Ovakav sustav treba nadopunjavati i proširiti svim raspoloživim podacima vezanim za vodne građevine melioracijskog odvodnjavanja, korištenja voda i zaštite voda.

Treba nastojati, da se prema raspoloživim mogućnostima Hrvatskih voda stvore sve pretpostavke za daljnju izradu i korištenje GIS-a vodnih građevina na svim vodnim područjima Republike Hrvatske.

Literatura i podloge:

1. Zaštitni objekti za obranu od poplava na vodnom području dalmatinskih slivova, Knjiga I i II, studija RO Opće vodoprivredno poduzeće, OOUR "Projekt" - Split, 1982.
2. Zakon o vodama, Narodne novine br. 107/95
3. Topografska karta u mjerilu 1:25 000, Arhiva Hrvatskih voda, VGO – Split
4. Hrvatska osnovna karta u mjerilu 1:5 000, Arhiva Hrvatskih voda, VGO – Split
5. Using ArcView GIS, ESRI – USA, 1996.

Autori:

Berislav Glavaš dipl.inž., Hrvatske vode, VGO – Split, Vukovarska 35

Mr.sc. Martina Baučić dipl.inž., GEOdata – Split, Drvenička 3



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.31.

Koncepcija razvoja vodoopskrbe Primorsko-Goranske županije

Ivica Plišić, Vlatko Šuperina

SAŽETAK: Tokom izrade prostornog plana Županije primorsko - goranske, analizirano je postojeće stanje svih resursa, pa tako i vodoopskrbnih. Izvršena je rekapitulacija stanja voda, po količini, kvaliteti i njenoj zaštiti te rekapitulacija stanja vodoopskrbnih sustava i potrošnje vode.

Prostor županije obiluje specifičnostima. Gorski kotar obiluje oborinama i kvalitetnom vodom, a zapravo je tu relativno mala potrošnja vode. Obalni pojas je razvijen i veliki je potrošač. U tom prostoru postoji nekoliko značajnih obalnih izvora vode. Na otocima jako oscilira potrebama za vodom. Ljeti su potrebe znatno veće od zimskih potreba. Izvori vode na otocima ne daju dovoljne količina vode, posebno ne ljeti, a kod nekih izvora problem je i kvaliteta vode. Postojeći vodoopskrbni sustavi razvijani su unutar granica bivših Općina i međusobna povezanost gotovo i ne postoji. Ove karakteristike prostora Županije otvaraju potrebu za povezivanje sustava vodoopskrbe.

Promatrajući šire područje konstatiralo se da većih količina kvalitetne vode ima u Ličko - senjskoj županiji, dok primorje i otoci ispod prostora Like nemaju dovoljnih količina vode za piće. Također se konstatiralo da na području Županije Istarske nema dovoljnih količina kvalitetne vode.

Na osnovu ovih konstatacija izradila se koncepcija razvoja vodoopskrbe Primorsko - goranske županije koja predviđa povezivanje izvora vode u Gorskom kotaru sa primorjem i otocima (Krkom i Cresom), povezivanje izvora iz Like sa ovim sustavom, te povezivanje sa vodoopskrbnim sustavom Istre i Karlovačke županije.

KLJUČNE RIJEČI: vodoopskrba, razvojna politika.

Primorsko-Goranska County Water Supply Development Concept

SUMMARY: The activities related to development of the Primorsko-Goranska County (županija) Master Plan included analysis of the status of all resources, including the water supply resources. A recapitulation was made of water resources status with respect to quantity, quality and protection, accompanied by an overview of water supply systems and water consumption. This County is specific for a number of characteristics. The region of Gorski Kotar is rich in precipitations and quality water while its water consumption is comparatively low. The coastal region is developed and consumption is high. The region houses several important coastal water springs. The water demand on the islands shows significant variations. It is considerably higher in summer than during the winter period. The yield of island springs is insufficient, especially during the summer period, and quality of water from some springs is inadequate. The existing water supply systems have been developed within the borders of the former municipalities and their interconnections are almost nonexistent. These characteristics of the County underline the need for interconnecting of the water supply systems. Considering the wider region, larger quantities of quality water are found in Ličko-

Senjska County, while quality potable water resources in the coastal area and islands are insufficient. The above was the background for the Primorsko-Goranska county water supply development concept preparation, based on connecting the water springs in the Gorski Kotar region with the coastal area and islands (Krk and Cres), linking of the Lika springs with this system and establishing of interconnection with the water supply systems of Istria and Karlovačka County.

KEYWORDS: water supply, development policy

1. Javni vodoopskrbni sustavi u Primorsko-Goranskoj županiji

Javna vodoopskrba na nekim područjima Primorsko - goranske županije je starija od 100 godina. Daljnji razvoj sustava odvijao se dogradnjom i modernizacijom vodovoda i uključivanjem u sustav novih izvorišta.

Danas se vodoopskrba na prostoru Primorsko-goranske županije odvija putem devet javnih komunalnih poduzeća (trgovačka društva) koja upravljaju sa devet sustava vodoopskrbe.

Godišnje se putem sustava za vodoopskrbu isporuči potrošačima cca 34,5 milijuna m³ kvalitetne vode s prostora Županije za što se na izvorištima zahvaća oko 52 milijuna m³. Gotovo 50% ovih količina namijenjeno je potrošnji u domaćinstvima. Dnevna potrošnja vode po stanovniku se kreće od 62-180 l/st/dan ili prosječno u Županiji 149 l/st/dan /3/. Priključenost na mrežu javnog vodovoda u Županiji je danas 94% i iznad je prosjeka Republike Hrvatske /1/ i /3/. Stanje razvijenosti vodoopskrbne mreže gledajući postotak opskrbljenosti broja stanovnika je dobro.

Međutim, ima potreba za izgradnjom i rekonstrukcijom vodoopskrbnih sustava. Postoje cijela područja koja nemaju zadovoljavajuću vodoopskrbu. Npr. cijeli djelovi otoka Krka nemaju izgrađen vodoopskrbni sustav (Dobrinština, Šotovento, Stara Baška), u Općini Cres ima naselja bez vodovodnog sustava, u Općini Mošćenička Draga naselje Brseč i gornji kraj, Općina Lovran područje ispod Učke, Općina Matulji naselje Mune s okolicom, Grad Bakar naselje Zlobin s okolicom. Dio naselja ima neadekvatnu vodoopskrbu. Npr. u Gradu Čabar gotovo sva naselja imaju neadekvatnu vodoopskrbu, dio naselja u ostalim Općinama Gorskog kotara ima nesigurne vodoopskrbne sustave, na otoku Krku dio naselja nema dovoljnih količina kvalitetne vode.

Također su prisutni i značajni gubici vode u vodoopskrbnim sustavima, a kreću se od 30% do 60% ili prosječno na iscrpljenu vodu oko 35% /3/.

2. Kvaliteta vode

Na području Županije primorsko - goranske podzemne vode su glavni resursi vode za piće. Očuvanje prirodnih osobina ovih voda spriječavanjem njihovog onečišćavanja najvažnija je i prioritarna mjera osiguravanja zdravstvene ispravnosti vode za piće. Čistoća podzemnih voda na području Županije varira od vrlo čistih voda, bez primjetnog negativnog utjecaja čovjeka, do voda na koje se zbog njihove zagađenosti više ne računa kao na resurse vode za piće javnih vodoopskrbnih sustava.

Podzemne vode sliva glavnog grebena Učke i bunara u fliškim zonama na području Baške na otoku Krku i na području otoka Raba su vode viske čistoće.

Mnogi izvori na području Hrvatskog primorja (izvor Rječine, izvori u Bakarskom zaljevu i uvali Novljanska Žrnovnica), izvori Vela Fontana i Mala Fontana na otoku Krku te izvor Kupe i Mala Belica u Gorskom kotaru su vode koje pretežni dio vremena imaju

sve karakteristike čistih podzemnih voda, ali se u nekim hidrološkim prilikama (jake kiše nakon sušnih razdoblja) javljaju onečišćenja vode koja ukazuju na njihovu ugroženost.

Izvori sliva u gradu Rijeci, Zvir 1 i bunari u Martinšćici, u Gorskom kotaru izvor Čabranke, izvor Kupice, izvor Ličanke i Ribnjak su vode koje su u kemijskom pogledu uglavnom čiste vode, ali je konstantno prisutno mikrobiološko onečišćenje fekalnog porijekla koje dosiže visoke vrijednosti za jakih kiša. Stupanj onečišćenja ovih podzemnih voda iziskuje provođenje sustavne sanacije izvora zagađivanja u slivnom području. Prvenstveno su to otpadne vode naselja.

Izvori u zapadnom dijelu grada Rijeke kemijski su i posebno jako mikrobiološki onečišćeni. Na njih ipak treba računati, zbog njihove izdašnosti i prirodnih kemijskih značajki, kao na resurse vode za piće u izvanrednim okolnostima pa njihovu sanaciju treba planirati makar u daljoj budućnosti.

Zagađenje izvorišta Zvir 2 naftnim derivatom je drastičan primjer dugotrajnih negativnih posljedica zagađivanja podzemnih voda.

Na području Županije primorsko - goranske općenito je prisutan trend pogoršanja onečišćenja podzemnih voda koji upozorava na neophodnost rješavanja odvodnje i pročišćavanja, prvenstveno, otpadnih voda naselja.

Skoro sva jezera i akumulacije na području Županije se koriste za vodoopskrbu ili su potencijalni resursi vode za piće pa je kakvoća ovih površinskih voda od posebnog značaja.

Jezero Vrana na otoku Cresu je oligotrofno jezero izvrsne kakvoće vode. Voda Lokvarskog jezera u Gorskom kotaru je također vrlo dobre kakvoće. Akumulacija Ponikve na otoka Krku te akumulacije Bajer, Tribalj i Lepenica u Gorskom kotaru su mezotrofna do umjereno eurotrofna jezera, umjereno do jako mikrobiološki onečišćena. Kakvoća vode svih vodotoka na području Županije je narušena zbog ispuštanja neperočišćenih otpadnih voda naselja i u nešto manjoj mjeri industrije u ove vodotoke uglavnom niske protoke.

3. Izvori vode uključeni u javne vodoopskrbne sustave

Izvori vode koji se danas koriste za vodoopskrbu u Primorsko - goranskoj županiji daju dovoljne količine vode. Međutim neravnomjerna rasprostranjenost raspoloživih izvorišta i područja potrošnje te nedovoljna povezanost vodoopskrbnih sustava i veliki gubici vode u mreži zapreka su sigurnoj i kvalitetnoj vodoopskrbi. U mnogim djelovima Županije imamo velike razike u potrošnji tokom godine te ljeti zbog turizma imamo velike potrebe za vodom, a upravo u tom razdoblju izvori su najmanje izdašnosti. Zbog toga u nekim vodoopskrbnim sustavima potrebe za vodom nadmašuju raspoložive zalihe vode pa se u pojedinim djelovima Županije javljaju nestašice vodom. Npr. Općine Skrad, Ravna Gora, Matulji, djelovi Općina Mošćenička Draga, Lovran, Opatija.

Dio vodoopskrbnih sustava se u vršnoj potrošnji koristi do krajnjih mogućnosti, npr. dijelovi vodoopskrbnog sustav otoka Krka, Cresa i Lošinja, Crikvenice, Novog Vinodolskog i Bribira, Raba.

Vidljivo je da, iako imamo dobre vodoopskrbne sustave, samo vodoopskrbni sustav Rijeka nije spomenut u nekoj varijanti nestašica vode.

U vodoopskrbne sustave je uključeno 82 izvorišta, a maksimalna mogućnost njihovog

zahvaćanja je 6.880 l/s vode. Ova raspoloživa količina bitno je manja u vrijeme kada presuši izvor Rječine ili kada u priobalnim zahvatima dođe do ljetnog zaslanjenja (Perilo u Bakarskom zaljevu), pa je u sušnom razdoblju moguće zahvatiti 3.265 l/s.

U tablici br. 1 date su vrijednosti minimalne izdašnosti izvorišta izvorišta, maksimalne mogućnosti korištenja.

Tablica 1

SUSTAV	IZVOR	IZDAŠNOST l/s	
		min.	max. teh. moguć. korištenja
RIJEKA	Zvir, Martinšćica, Perilo, Dobra, Dobrica, Rječina	2170	5300
OPATIJA	Sredić, Mala i Vela Učka, Rečina, Tunnel Učka	25	145
KRK	Jezero, Ogren, Ponikve, Rovoznik, Grabrovik, Draga baščanska, EB 1, EB 2, Sopot, Santis, Ak. Tribalj	197.7	367
CRES	Vransko jezero	100	263
NOVI V.	Žrnovnica, Tribalj	288	458
RAB	Mlinica, Gvačići I i II, Idila, Podmravić, Perići, Pidika, Hrmotine	168	73
ČABAR	Trbuhovica, Mlake, Sušica, Čabranka, Pakleni jarak, Tropeti, Crni Lazi, Žikovci 1, 2, Donji Žagari, Mandli, Sokoli 1, 2, Požarnica, Podstane, Sveta gora, Hrib, Kamnje, Klanac	195	71.3
DELNICE	Vrelo Ličanke, Kupica, Hribške staje, Kicelj, Stari lazi, Hribac, Skrad 1, 2, 3, Frankopan, Paletina, Josipovac, Skrad-želj.stanica, Šubetov most, Vodica, Sušica, Mrzlica, Mihićevo, Šćurak, Maljenica, Gloževac, Žleb, Jazina, Korito, Njivice, Križ potok	98.8	171
VRBOVSKO	Ribnjak V., Draškovac Gomirje, Topli potok Ljub, Javorova kosa R.G.	21	29.5
UKUPNO:		3263.5	6877.8

4. Razvojne mogućnosti vodoopskrbnog sustava Primorsko - Goranske županije

Razvoj vodoopskrbnog sustava treba omogućiti osiguranje dovoljnih količina kvalitetne vode za piće, te vode za industriju koja koristi vodu iz javnog vodoopskrbnog sustava. Također je potrebno uspostaviti suvremeni sustav koji će omogućiti racionalnu i sigurnu opskrbu vodom na prostoru Županije i njenog šireg područja.

U tu svrhu potrebno je izvršiti bilansiranje voda na širem okruženju. Revalorizirajući sve dosadašnje projekte potrebno je doći do koncepcije razvoja vodoopskrbe i njenog etapnog ostvarenja.

Ako sagledavamo potrebe u narednom razdoblju, može se konstatirati da se prema važećim vodopskrbnim planovima planira zahvaćanje izvora Rječine s $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ za vodoopskrbu te zahvaćanje voda Kupe s $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3,0 \text{ m}^3/\text{s}$) za potrebe vodoopskrbe Kvarnera /5/. Očito da se ove potrebe neće brzo ostvariti, ali u doglednoj budućnosti se takav razvoj i takve potrebe za vodom mogu očekivati. S obzirom da je izvor vode s Kupe vezan za realizaciju dolinske željezničke pruge i tunela Risnjak, što se ne planira realizirati, potrebno je tražiti zamjenske izvore vode. U našoj Županiji i okolnim Županijama moguće je zahvatiti vode iz sliva Lokvarke i Križ potoka u Gorskom kotaru, te iz sliva Gacke u Županiji Ličko-Senjskoj.

Izvor Gacke u minimumu ima cca $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Do sada se već koristi cca $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, a potrebe u Lici će se povećati za cca $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ te za potrebe Županije primorsko-goranske ostaje cca $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Iz sliva Lokvarke i Križ potoka planira se zahvatiti $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Mogućnosti zahvaćanja su znatno veće, ali se voda koristi za proizvodnju električne energije. Preusmjeravanjem korištenja vode za vodoopskrbu prema mogućnostima postojećih objekata i akumulacija može se očekivati korištenje od $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Time bi se ukupno zamjenilo cca $4 \text{ m}^3/\text{s}$ od ukupnih $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ koji su bili planirani sa Kupe. Na izvoru Rječine je potrebno ostvariti planiranih $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$, kao i sve ostale manje zahvate voda (Žrnovnica $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) da se osiguraju dugoročne potrebe za vodom ovog područja.

Razvoj postojećih većih sustava i njihovo međusobno povezivanje na županijskoj razini u tri podsustava "Rijeka", "Lokve", i "Žrnovnica" (te za sada samostalnih sustava Čabra, otoka Raba i Cres-Lošinja) u narednom palnskom razdoblju predstavljao preduvjet njihovog konačnog integriranja u suvremeni županijski sustav, koji će uz nove vodozahvate i povezivanje na međuzupanijskoj razini dati novu kvalitetu vodoopskrbe šireg prostora i održivosti razvitka.

Danas je već realizirano djelomično povezivanje vodoopskrbnih sustava Rijeke i Opatije. Na ovaj sustav nužno je što skorije povezati i otok Krk pri čemu treba voditi računa o odvojkju prema Cresu čijom gradnjom će se povećati i sigurnost rada sustava Cres-Lošinj. Ovakvi zahvati trebaju voditi računa o kvaliteti vode pa bi se u ovom sustavu vode iz jezera Tribalj trebale koristiti kao tehnološke vode INA Urinj, čime će se osloboditi dodatnih cca 200 l/s kvalitetnih voda u vodoopskrbnom sustavu Rijeke.

U sustavu "Žrnovnica" potrebno je izvršiti pripreme za proširenje zahvata na izvoru Žrnovnica, te izgraditi vodovod do Senja odnosno Hrmotina kako bi se ostavrio prihvat voda iz Hrmotina (planiranih cca $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$), a u nastavku dogradnja vodoopskrbnog sustava do izvora Gacke.

Za otok Rab potrebno je izgraditi paralelni podmorski cjevovod za dovođenje dodatnih količina vode sa kopna (Hrmotine - južni ogranak).

U gradnji je i sustav "Lokve" danas pod nazivom regionalni vodoopskrbni sustav Gorskog kotara, gdje je danas izgrađena dionica Fužine - Vrata - Delnice. U nastavku će se izgraditi dionica Delnice - Ravna Gora - Vrbovsko - Bosiljevo, a na drugu stranu vodopskrbni sustav će se graditi do Zlobina. Izgradnjom akumulacije Križ potok osigurati će se potrebne količine vode za ovaj regionalni vodoopskrbni sustav te izgradnjom postrojenja za pripremu vode svim će mjestima Gorskog kotara, izuzev područja Čabra, na taj način biti omogućeno spajanje na zajednički sustav. Područje Čabra moguće je riješiti u I fazi kvalitetnim zahvaćanjem voda na izvoru Čabranke s izgradnjom odvojenog vodoopskrbnog podsustava koji će se kasnije spojiti na zajednički sustav, a moguće je to područje i brže spojiti na zajednički sustav "Lokve".

Interes Istarske, Karlovačke, Ličko-senjske i Primorsko-goranske županije za spajanje vodoopskrbnih sustava na međuzupanijskoj razini moguć je tek u budućnosti, nakon zahvata novih količina vode te formiranja jedinstvenog i suvremenog vodoopskrbnog sustava Primorsko-goranske županije. Za formiranje ovog sustava potrebno je osigurati prostornu mogućnost za polaganje cijevi i izgradnju vodoopskrbnih objekata.

Na osnovu definiranih izvora vode i veličine i mjesta potrošnje mogu se postaviti glavni koridori transporta vode, odnosno povezivanja županijskih vodovoda.

Temeljni izvori vode su:

Rijeka	Izvor Rječine i Zvir	5,5 m ³ /s
Gorski kotar	Sliv Križ potok i Lokvarka	2,0 m ³ /s
Lika	Sliv Gacke (Hrnotine)	2,0 m ³ /s
Novi Vinodolski	Žrnovnica	1,0 m ³ /s
Cres	Vransko jezero	0,1 m ³ /s
Čabar	izvor čabranke	0,1 m ³ /s

Najveće mjesto potrošnje prema rasporedu stanovništva, industrije i turizma prema prostornom planu do 2.015. god. je Kvarnereski zaljev (posustav Rijeka), sa maksimalnom dnevnom potrebom za vodom od 3,2 m³/s. Zatim slijedi podsustav Žrnovnica sa maksimalnom dnevnom potrebom za vodom od 1,1 m³/s, te podsustav Lokve sa maksimalnom dnevnom potrebom za vodom od 0,3 m³/s. U ove količine vode nisu uključene tehnološke potrebe za vodom iz javnog vodoopskrbnog sustava, niti količine vode potrebne Istarskoj i Karlovačkoj županiji.

Na osnovu ovih podataka se mogu definirati koridori razvoja glavnih transportnih cjevovoda, važnih za ostvarenje suvremenog županijskog vodovoda.

I koridor; izvori u priobalju Rijeke, izvor (ili akumulacija) Rječina, prema otoku Krku i Cresu do jezera Vrana, te prema Opatiji i Istaraskoj županiji kroz novi željeznički tunel prema Istri.

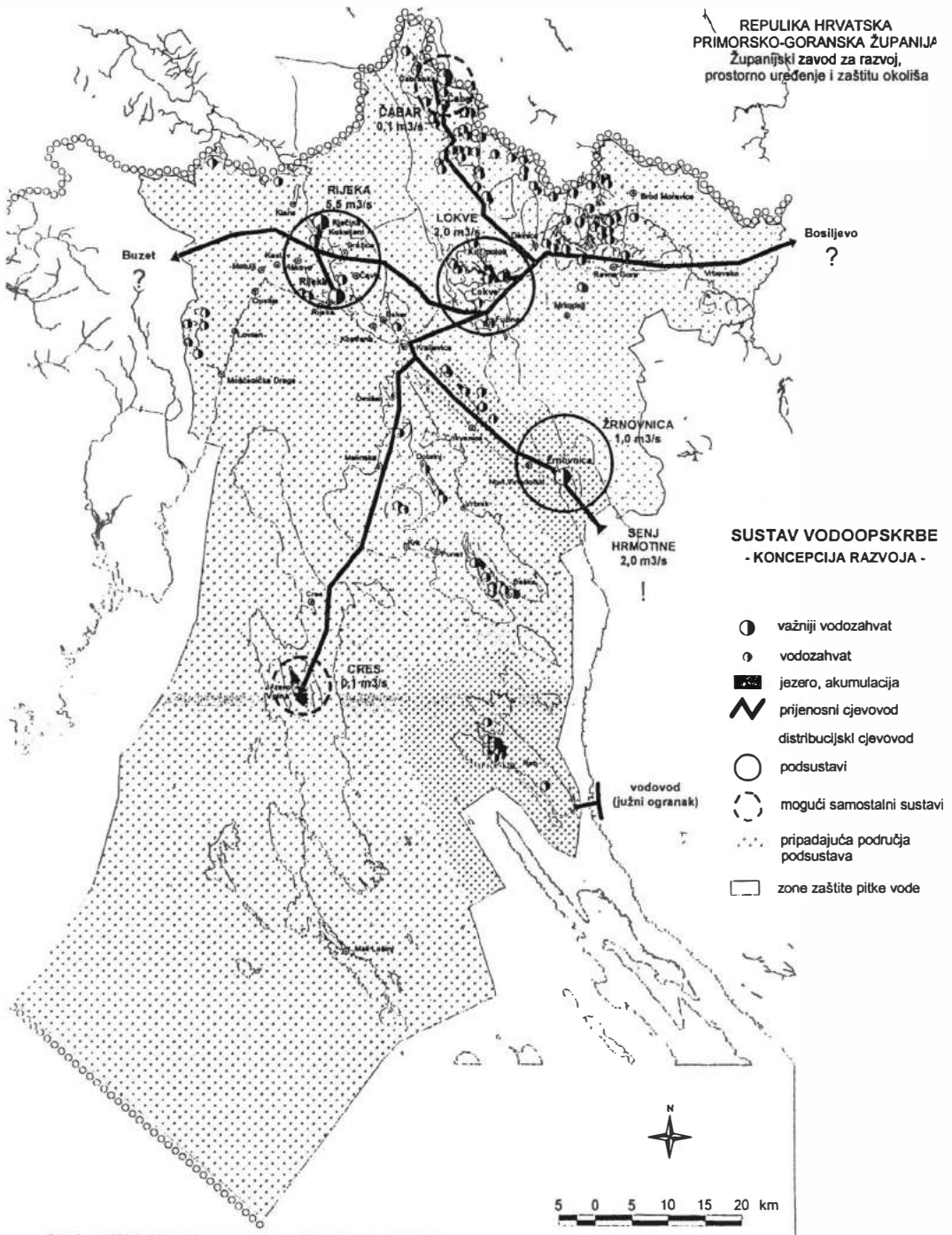
II koridor; akumulacija Križ potok i spoj na cjevovod uz autocestu od Zlobina preko Fužina, Delnica, Ravne Gore, Vrbovskog prema Karlovačkoj županiji i prema sustavu Rijeka.

III koridor; izvor Žrnovnice prema sustavu Rijeka duž trase nove autoceste i prema Ličko-senjskoj županiji sa spojem u Senju (Hrnotine) i paralelno podmorsko spajanje otoka Raba na vodovod Hrvatskog primorja - južni ogranak.

Povezivanjem u cjelinu područja izvorišta i područja potrošnje u budućnosti će se stvoriti županijski vodoopskrbni sustav. Ovakav sustav će omogućiti distribuciju vode prema potrebama pojedinih područja čime se omogućuje razvoj svih područja. Funkcioniranje takvog vodoopskrbnog sustava stvara potrebnu sigurnost u opskrbi vodom jer omogućuje transportiranje vode iz jednog područja u drugo. Centralni nadzor nad radom vodoopskrbnih sustava će omogućiti stvaranje neophodne mase znanja, opreme i ljudi koji će omogućiti suvremeno vođenje i korištenje vodoopskrbnih sustava.

5. Potrebne daljnje aktivnosti (zaključci)

- Izraditi vodoopskrbni plan Primorsko-goranske županije za dugoročno razdoblje
- Kontinuirano ulagati u razvoj sustava vodoopskrbe i to u gradnju, dograđivanje i rekonstrukcije i to posebno na područjima koja su već danas nemaju adekvatnu opskrbu vodom



- Kontinuirano ulagati napore na smanjenju gubitaka vode u vodoopskrbnim sustavima jer se na taj način mogu postići višestruki rezultati ušteda ali se ujedno osuvrenjuje rada sustava
- Već u ovom planskom razdoblju potrebno je ulagati u zahvaćanje dodatnih količina vode iz postojećih ali i novih izvora

- Povezivanje malih sustava u veće cjeline, odnosno postupna izgradnja županijskog vodoopskrbnog sustava.
- Sustavno stvaranje županijske vodoopskrbe koja će uz uvođenje upravljanja iz jednog centra omogućiti racionalniji rad sustava i korištenje voda.
- Uspostavljanje, gdje nema i održavanje na cijelom području Županije, zaštitnih zona izvorišta pitke vode
- Formiranje županijske uprave za vodu (razvoj, izgradnja i upravljanje) te uspostava centralnog nadzora i upravljanja vodoopskrbnim sustavom
- Osigurati mogućnost provođenja regionalnih cjevovoda u koridorima prometne infrastrukture te osigurati sukladnu izgradnju s tom infrastrukturom (željeznički tunel za Istru, autocesta Rijeka-Zagre, Jadranska autocesta)

Literatura

/1/ JVP "Hrvatska vodoprivreda" Zagreb

Građevinski institut Zagreb: "Dugoročni program opskrbe vodom Republike Hrvatske (1990-2015)", Zagreb, 1991.

/2/ Plišić, I., i suradnici: "Sustav vodoopskrbe i odvodnje Županije primorsko-goranske", planerska podloga Županijskog prostornog plana, Institut građevinarstva Hrvatske P.C. Rijeka, 1997.

/3/ Hinić, V. i suradnici: Zaštita voda Županije primorsko - goranske, planerska podloga Županijskog prostornog plana, Institut građevinarstva Hrvatske P.C. Rijeka, 1997.

/4/ Stojić, G., Marušić, R.: "Prostorni plan Primorsko-goranske županije - smjernice za razvoj sustava vodoopskrbe", HRVATSKE VODE Zagreb, VGO Rijeka, listopad 1998.

/5/ Marijan, P., i suradnici: "Predidejno rješenje vodoopskrbe Rijeke, Opatije, Crikvenice i Krka", Hidro consult Rijeka, 1992.

Autori:

Mr.Ivica Plišić dipl.ing.građ., Milan Marinac dipl.ing.građ., Damir Matković dipl.ing.građ.,
Institut građevinarstva Hrvatske P.C. Rijeka, Vukaovarska 10a, Rijeka

Vlatko Šuperina ing.građ., Zavod za razvoj, prostorno uređenje i zaštitu okoliša, Županije
primorsko-goranske Splitska 2, Rijeka



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.32.

Specifičnost vodopskrbe liburnijske rivijere

Ivica Plišić, Milan Marinac, Damir Matković

SAŽETAK: U članku se navode specifičnosti opskrbe vodom sjevernog Hrvatskog - primorja, s posebnim osvrtom na opskrbu vodom područja Liburnijske rivijere i zaleđa (Grad Opatija i Općine Matulji, Lovran i Mošćenička Draga). U radu se prikazuje postojeće stanje razvoja vodoopskrbnog sustava ovog područja te pravci razvoja vodoopskrbe.

Područje Liburnijske rivijere i zaleđa danas na svom području ne zahvaća niti polovicu potrebnih količina vodom kojom se opskrbljuju potrošači na ovom području. U narednom razdoblju koje će s predvidivim razvojem zahtijevati veće količine pitke vode ovaj ne srazmjer će biti još veći. Slična situacija javlja se na području otoka Krka, a u skoroj budućnosti ovakva situacija biti će i na području otoka Cresa i Lošinja.

Ovakav raspored potrošnje i raspoloživih izvorišta pitke vode zahtjeva izgradnju regionalnih vodoopskrbnih sustava.

Kod toga se postavlja pitanje načina ulaganja u razvoj regionalnih vodoopskrbnih sustava i ulaganja u zahvaćanja vode izvan područja potrošnje i postojećih jedinica lokalne samouprave te organizacija gradnje takvih vodoopskrbnih sustava.

KLJUČNE RIJEČI: vodoopskrba, razvojna politika, financiranje izgradnje vodovoda

Specific Characteristics of Water Supply of the Northern Coastal Region of Croatia - Liburnijska Rivijera Case Study

SUMMARY: The paper describes particular features of water supply in the Northern Croatian Coastal Region, focusing on water supply in the area of Liburnijska Rivijera and its hinterland (the City of Opatija and Matulji, Lovran and Mošćenička Draga municipalities). The paper describes the current status of the water supply system development and the prospective. Less than half of water supplied to the consumers of Liburnijska Rivijera and its hinterland is tapped within the region. In the future, the water demand shall increase and the disproportion shall increase with it. Situation is similar on the Island of Krk, and the islands of Cres and Lošinj are expected to face the same situation in the future. Such pattern of consumption and available potable water resources strongly point to necessity for construction of regional water supply systems. The topical issues include method of investment into regional water supply systems, investments into water tapping outside the area of demand and existing local authorities, and organization of such water supply projects.

KEYWORDS: water supply, development policy, water supply system financing

1. Uvod

Ubrzanim društvenim razvitkom inicirana je potreba za razvojem komunalnih sustava među kojima najznačajniju ulogu ima vodoopskrba. Ovaj problem izrazito tišti turistički atraktivna područja kao što je Liburnijska obala gdje potrebe za vodom naročito rastu u ljetnom periodu. Dinamika izgradnje vodovodnih sustava nije pratila rastuće potrebe, stoga ovaj problem predstavlja limitirajući faktor u razvoju društva, posebno turističke privrede kao dominantnog potrošača. Vodoopskrbni kapaciteti su u pravilu nedovoljni, vodoopskrbne mreže usitnjene i nepovezane u cjelovite sustave te ne dopuštaju daljnja proširenja i poboljšanja bez cjelovitih rekonstrukcija i dogradnji.

Područje vodoopskrbe Liburnijske rivijere i zaleđa administrativno obuhvaća Grad Opatiju, Općine Matulji, Lovran i Mošćenička Draga. Upravljanje vodoopskrbnim sustavom je podijeljeno u pet vodoopskrbnih zona: Opatija, Matulji, Lovran, Mošćenička Draga i Visoki Kras. U svim zonama vodoopskrba funkcionira kao jedinstven sustav, što znači da bilo kakva intervencija u bilo kojoj zoni izaziva određene promjene u opskrbi drugih područja. Postojeći vodovodni sustav je danas iskorišten do krajnjih granica. Već u slučaju normalne popunjenosti turističkih kapaciteta (podatak prije domovinskog rata), bilo je potrebno minimalno 280 l/sec, a to je tada značilo manjak vode od cca 85 l/sec. Dogradnjom "booster" stanice na dovodnom cjevovodu iz Rijeke 1996.god. povećan je dotok za cca 90 l/s. Nakon ovog bez dodatne izgradnje opskrbe mreže nije moguće dopremiti u vodovodni sustav niti jednu l/sec novih količina pitke vode. Distributivna mreža je stara 50 ili više godina pa se uslijed toga javljaju veliki gubici vode. Analiza je pokazala da su gubici podjednako veliki tijekom cijele godine, bez obzira na sezonu, što upućuje na zastarjelost cjelokupne vodovodne mreže.

2. Dosadašnji razvoj vodoopskrbe – povijesni pregled

Počeci razvoja vodovoda Opatija sežu u davne osamdesete godine prošloga stoljeća kada su se počeli graditi hotelijersko - turistički objekti na području stare opatije svetoga Jakova. Opatija je bilo malo naselje na području općine Volosko. Zbog svojih geofizičkih svojstava Opatija je predstavljala pravu malu oazu u istarsko - primorskom kršu, istina prilično zemljopisno izolirana od glavnih putnih pravaca. Nakon izgradnje željezničke pruge između Beča i Rijeke, godine 1873. Matulji postaju željeznička postaja koja dočekuje ugledne goste i postaju ulazna vrata sve razvijenijem turizmu. Tada počinje gradnja kapitalnih turističkih objekata (hoteli "Kvarner" i "Imperijal"), što donosi potrebu za paralelnom izgradnjom vodovodne mreže. U sklopu ovih radova je izgrađena vodosprema kapaciteta 600 m³. Rezervoar je vodom opskrbljivan s potoka "Klara" kraj Ičića pomoću crpke ("hidraulički stroj"). Tako je Opatija dobila vodovod najsuvremenijeg tipa za tadašnje prilike i stupanj razvoja tehnike. Rastuća potreba za vodom primorala je Društvo "Južne željeznice" na istraživanje novih izvorišta. Tako godine 1897. dobivaju koncesiju za istraživanje novih izvorišta na Učki, odnosno gradnje vodovoda s izvora "Rečina". Godine 1910. upravu nad izvorištem Mala Učka preuzima dioničko društvo "Quarnero". Uz njih su tri općine, Volosko-Opatija, Veprinac i Lovran, osnovale "Komitet za vodoopskrbu" sa zadatkom da pitanje vodoopskrbe riješi što uspješnije.

Nakon prvog svjetskog rata pod talijanskom vlašću počinje se povećavati broj stanovništva naseljavanjem talijanskih obitelji. Pitanje vodoopskrbe postaje ponovo aktuelno. U to vrijeme vodovod raspolaze s približno 1600 m³ vode dnevno, što je cca 80 % ljetne potrošnje. Uz to se javljaju znatni gubici zbog zastarjelosti mreže. Zato se

1932. god. osniva “Udruženje vodovoda Opatija - Lovran” koje je trebalo otkupiti vodovod i upravljati njime. Godine 1935. ovo udruženje predaje vodovod na upravljanje i vođenje Dioničarskom društvu “Vodovod Opatija i Lovran” na rok od 35 godina. Iste godine i općina Matulji ulazi u Konzorcij općina uvjetovavši proširenje vodoopskrbne mreže izgradnjom vodospreme iz koje bi se Matulji opskrbljivali s 5 l/s, dok bi preostale 4 l/s bile na raspolaganju Konzorciju. Glavni cilj ovog udruženja (konzorcija) je redovita opskrba gradskog i seoskog stanovništva općina Opatija, Matulji i Lovran i to vodom s izvora Učka i vodom iz riječkog vodovoda. Tada je vodoopskrbna kvota za Opatiju iznosila 17,2 l/s, za Matulje 10 l/s, a za Lovran 7,7 l/s. Pored različitih slabosti cijelo vrijeme drugog svjetskog rata su se odvijali radovi na vodovodnoj mreži. Tako su u srpnju 1943.god. izvršeni tehnički pregledi crpnog postrojenja u Voloskom, na Kantridi i tehnički pregled vodospreme na koti 42 te spojnog cjevovoda za istu vodospremu. Također je izvršen tehnički prijem cjevovoda za visoku zonu Opatije (“Kastelo”).

Nakon drugog svjetskog rata se pristupa obnovi stare vodovodne mreže. Razdoblje posebnih aktivnosti su 60-te i 70-te godine kada se gradi i gravitacijsko-transportnog cjevovod profila ČČ 450 mm od Rijeke do Opatije te 80-tih kada se gradi kaptaža izvorišta “Tunel Učka” s crpnom postajom, cjevovodima i prekidnim komorama.

3. Potrebe za vodom

Prema vodoopskrbnom planu ovog područja potrebe za vodom na kraju trećeg planskog razdoblja (2020.god.) iznose za maksimalnu dnevnu potrošnju cca 500 l/s.

Ova količina vode predviđena je za cca 31.000 stanovnika, 10.000 hotelskih gostiju, 4.500 turista u kampovima, 7.000 gostiju u privatnom smještaju, 57.000 stolica u ugostiteljskim objektima, 6.000 rdnika u poduzećima, održavanje cca 3.000 km² prometnica i parkirališta.

Za ovo razdoblje prediđene su opskrbe norma za stanovništvo od 267 l/st/dan, za hotelske goste 415 l/t/dan, za kampove 120 l/t/dan, privatni smještaj 200 l/t/d, ugostiteljske jadinice 60 l/t/dan, radnici u poduzećima 100 l/r/dan, održavanje prometnica 560 l/km²/dan.

U ljetnom danu prosječna potrošnja po stanovniku i turistu iznosila bi 828 l/dan. U ovu količinu vode uključeni su i dnevni posjetitelji i izletnici, marine i njihovi gosti, održavanje okućnica, tuševi na plažama, sportski objekti, uslužne djelatnosti, javni objekti idr.

2. Izvori pitke vode

Izvori pitke vode na ovom području su ograničeni.

Na području Liburnijske rivjere i zaleđa je danas za vodoopskrbu zahvaćeno nekoliko izvora vode s količinama navedenim u tablici br.1.

Ovo područje ne može osigurati potrebne količine vode iz vlastitih izvora (25 l/s) u ljetnom periodu pa se dijelom namiruje iz Slovenije (25 l/s), a dijelom iz Rijeke (do 130 l/s). Ove osigurane količine su na granici s potrebama te je danas osposobljen sustav koji omogućuje dopremu vode iz Rijeke do 240 l/s.

Raspoložive količine vode zahvaćene na području Liburnijske rivjere i zaleđa su nedostatne da se osiguraju potrebne količine vode za vodoopskrbu. Zahvati novih izvora su malobrojni, a dostupne količine vode za vodoopskrbu su ograničene. Prema svim do sada provedenim istražnim radovima i aktivnostima na zahvatu voda, veće količine vode neće biti moguće zahvatiti.

Tablica 1. Raspoloživi izvori vode

SUSTAV	IZVOR	IZDAŠNOST l/s		max. teh. Moguć. korištenja danas l/s
		min.	max.	
OPATIJA	Sredić	2		10
	Mala Učka	6		25
	Vela Učka	6		30
	Rečina	1		10
	Tunel Učka	10	80	70
Vlastiti izvori:		25		145
Iz Rijeke		130		240
Iz Ilirske Bistrice		25		25
UKUPNO:		180		410

Prema postojećim istražnim radovima veće količine vode je moguće zahvatiti jedino na izvoru Kristal. Ovaj izvor se nalazi na razini mora u središtu urbaniziranog područja. Zbog toga nije moguće osigurati potrebnu kvalitetu vode za vodoopskrbu pa se ovaj izvor može koristiti kao izvor drugog reda (opskba vodom za ostale namjene).

Zahvat manjih količina vode je moguć na izvorištima u Šapjanama, Mali dol Brešca, Medveja i Mune. Ovi izvori vode nisu dovoljno istraženi i u narednom razdoblju je potrebno posvetiti nužnu pažnju istražnim radovima.

Prema ovom vodoopskrbnom planu će se potrebne količine vode osigurati iz do sada zahvaćenih vlastitih izvora vode (25 l/s), postojećeg dovoda vode iz Rijeke (240 l/s) te novih zahvata vode po zajedničkom vodoopskrbnom planu Kvarnera. Dio vode koji se dobiva iz Slovenije će se smanjiti na minimum za mjesta uz samu granicu ili će se u konačnosti posve napustiti. Razlog tome su u prvom redu nedostatne količine vode u tom vodoopskrbnom sustavu za potrebe sadašnjih potrošača koji su priključeni na taj sustav, ali i zbog toga što je to dobava vode iz druge države i zahtijeva posebno formirane odnose.

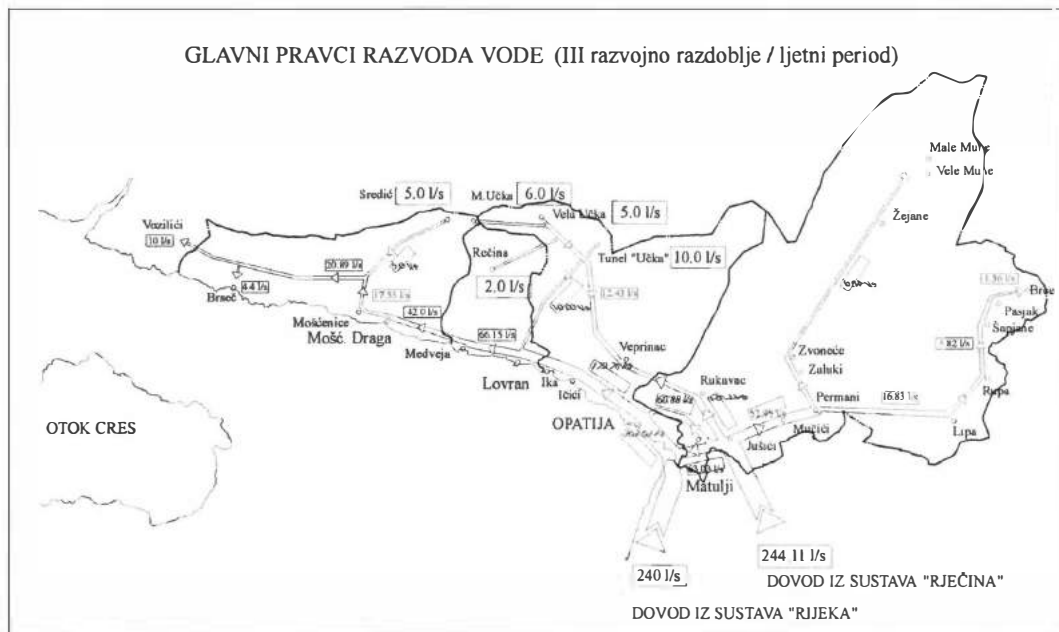
Novi zahvati vode predviđeni vodoopskrbnim planom Kvarnera (CROK), te kasnije predidejnim rješenjem vodoopskrbe Rijeke, Opatije, Crikvenice i Krka (Hidro consult 1992.) su izvor Rječine i iza toga Kupa.

Količine vode iz izvora Rječine se predviđa zahvatiti izgradnjom akumulacije Zoretići. U kasnijim razmatranjima se došlo do povoljnije lokacije brane u Kukuljanima pa se ista akumulacija u novijim dokumentima zove akumulacija Zoretići – Kukuljani ili Kukuljani. Noviji istražni radovi su dali nadu da je potrebne količine vode moguće ostvariti zahvatom vode u samom izvoru Rječine (podzemlje). Ovakav zahvat vode je znatno povoljniji za vodoopskrbu jer se koristi kvalitetnija voda i nije potrebno postrojenje za pročišćavanje vode. Istražni radovi se nastavljaju na području grobničkog polja i u zaleđu izvora Rječine.

Prema planu vodoopskrbe Liburnijske rivijere i zaleđa bi se potrebne dodatne količine vode zahvatile na izvoru Rječine. Koji će biti tip zahvata vode, ovisi o sadašnjim i budućim istražnim radovima.

5. Budući razvoj sustava za vodoopskrbu

Budući razvoj vodoopskrbe ovog područja temelji se na izvorima vode izvan ovog područja potrošnje. Osnovni izvori opskrbe za promatrano razdoblje su izvori vode u Rijeci sa 240 l/s (izvor Zvir) te izvor Rječine sa dodatnih 240 l/s. Izvori opskrbe sa pravicima potrošnje dati su na priloženoj shemi.



Slika 1. Shema planirane vodoopskrbe

Osim ovog Liburnijskog područja prema prostornom planu Županije primorsko - goranske na iste izvode planira se povezati otok Krk, a u daljnjoj budućnosti i otok Cres te dio područja Crikvenice.

U narednom razdoblju prema planovima razvoja Županije predviđa se povezivanje glavnih izvora opskrbe vodom u cjelinu. Osnovni centri opskrbe pored Rijeke (Zvir) izvora Rječine su vode Gorskog kotara (akumulacija Križ potok, i Lokvarsko jezero), izvorište Žrnovnica te vode iz Like (Hrnotine).

Ovakvim razvojem vodoopskrbe postojeći sustavi se povezuju u veće cjeline te se stavljaju regionalni vodoopskrbni sustavi, a u narednom razdoblju predviđa se povezivanje regionalnih vodoopskrbnih sustava u još veće cjeline.

6. Izgradnja i upravljanje regionalnim vodoopskrbnim sustavom

Izgradnja regionalnih vodoopskrbnih sustava zahtjeva drugačiju organizaciju upravljanja, a time i izgradnje takvih sustava. Ovi sustavi zadovoljavaju potrebe većeg broja lokalnih samouprava. Ulaganja u takve sustave moraju biti zajednička. Javlja se problem omjera ulaganja i vlasničke strukture te upravljanja takvim sustavima.

Promišljanjem o načinu rješavanja odnosa nameće se potreba da takvim sustavima upravljaju viši nivoi lokalne samouprave, a to su u našem primjeru Županije. Na tom

nivou bi se trebala osiguravati sredstva, izgradnja i upravljanje takvim sustavima. Županije bi trebale formirati uprave za vode, koje bi vodile brigu o razvoju zajedničkih sustava (regionalnih) tj. sustava koji pokrivaju potrebe više lokalnih samouprava.

U izgradnji, organizaciji i upravljanju regionalnim vodoopskrbnim sustavima, Županijski vodoopskrbni sustav dovodio bi potrebne količine kvalitetne vode do distribucijskih vodospremi u kojima bi vodu preuzimali lokalni vodovodi kojima je lokalna samouprava povjerila, distribuciju, naplatu vode i održavanje vodovoda. Županijski vodovod bi svoje usluge naplaćivao na ulazu u distribucijske vodospreme. U tom slučaju koncesija na izvore vode koji se koriste u Županijskom regionalnom vodovodu pripadale bi Županijskom vodovodu.

3. Zaključci

Izgradnja regionalnih vodoopskrbnih sustava je sadašnjost, ali i budućnost opskrbe vodom mnogih područja.

Problem izgradnje regionalnih vodoopskrbnih sustava kod nas je način financiranja izgradnje ovih vodoopskrbnih sustava te upravljanje njima. Na ovo pitanje potrebno je dati prave odgovore jer o tome ovisi razvoj vodoopskrbe u mnogim regijama.

Literatura

- /1/ Plišić, I. i suradnici: "Plan vodoopskrbe Liburnijske rivijere i zaleđa", Institut građevinarstva Hrvatske P.C. Rijeka, 1998.
- /2/ Plišić, I. i suradnici: "Sustav vodoopskrbe i odvodnje Županije primorsko-goranske", planerska podloga Županijskog prostornog plana, Institut građevinarstva Hrvatske P.C. Rijeka, 1997.
- /3/ Plišić, I. i suradnici: "Konceptija opskrbe pitkom vodom i urbane odvodnje područja Primorsko-goranske županije", Institut građevinarstva Hrvatske P.C. Rijeka, 1998.
- /4/ JVP "Hrvatska vodoprivreda" Zagreb Građevinski institut Zagreb: "Dugoročni program opskrbe vodom Republike Hrvatske (1990-2015)", Zagreb, 1991.
- /5/ Gereš, D.: "Gospodarska bilanca voda u Republici Hrvatskoj", Građevni godišnjak '98, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb, 1998.
- /6/ Stojić, G., Marušić, R. "Prostorni plan Primorsko-goranske županije - smjernice za razvoj sustava vodoopskrbe", HRVATSKE VODE Zagreb, VGO Rijeka, listopad 1998.

Autori:

Mr.Ivica Plišić dipl.ing.građ.

Milan Marinac dipl.ing.građ.

Damir Matković dipl.ing.građ.

Institut građevinarstva Hrvatske P.C. Rijeka, Vukaovarska 10a, Rijeka



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.33.

Kvaliteta vode u vodoopskrbnom sustavu grada zagreba

Dubravko Dragojević, Sanja Bizjak

SAŽETAK: Vodoopskrba Zagreba temelji se na 120 godišnjoj tradiciji zahvaćanja podzemnih voda koje imaju kvalitetu vode za piće, preventivnoj dezinfekciji i distribuciji potrošačima. Kvaliteta vode 6 glavnih vodocrpilišta u 1998. godini prikazana je minimalnim, maksimalnim i srednjim vrijednostima rezultata analiza uzoraka zbirnih voda, za parametre: temperatura, pH-vrijednost, otopljeni kisik, utrošak KMnO_4 , nitrati, ukupna tvrdoća, mineralna ulja, trikloreten, tetrakloreten, željezo i mangan.

Prirodne karakteristike vode na crpilištima su izuzetno povoljne, nema opterećenja s otopljenom organskom tvari, prevladava prilično tvrda do tvrda voda, a karakteristični parametri zagađenja imaju niske vrijednosti.

Sustavna kontrola kvalitete vode na svim crpilištima, prilivnim područjima kao i ostalim vodoopskrbnim objektima, garancija je da će potrošači i nadalje dobivati kvalitetnu vodu za piće, koja zadovoljava kriterije važećeg zakonodavstva.

KLJUČNE RIJEČI: vodoopskrba Zagreba, kvaliteta vode za piće

Water Quality in the City of Zagreb Water Supply System

SUMMARY: The City of Zagreb water supply is based on a 120-years long tradition of tapping groundwater of potable water quality, undertaking preventive disinfection, and distribution to the consumers. Quality of water at six major well fields has been presented for 1998, including minimum, maximum and mean values of the results obtained by sample analysis of the following parameters: temperature, pH value, DOC, KMnO_4 demand, nitrates, total hardness, mineral oils, trichlorethene, tetrachlorethene, iron and manganese.

Natural characteristics of water at the well fields are very favorable, there is no dissolved organic matter load, water is predominantly hard or very hard, and characteristic contamination parameters are very low.

Systematic control of water quality in all well fields, inflow area and water supply structures guarantee quality potable water supply in compliance with the applicable regulations in the future.

KEYWORDS: Zagreb water supply, potable water quality

1. Uvod

Grad Zagreb smješten je na vodi. Bogati vodonosnik savske aluvijalne doline osigurava dovoljne količine vode za podmirenje sadašnjih i budućih potreba grada.

Rijeka Sava protiče tim područjem i prihranjuje ga s potrebnim količinama vode. Filtracijskim i autopurifikacijskim procesima u podzemlju pročišćava se onečišćena voda Save. Na dovoljnoj udaljenosti od rijeke, kada se voda pročisti te poprimi

karakteristike vode za piće, nalaze se eksploatacijski zdenci – vodocrpilišta. Trenutno je u funkciji 7 crpilišta s 35 zdenaca ukupnog kapaciteta 410 000 m³/dan.

Zahvaćena voda na zdencima preventivno se dezinficira te putem 18 vodosprema i 2200 km vodoopskrbne mreže distribuira potrošačima.

Velike količine podzemnih voda nisu pogodne za vodoopskrbu jer se direktno ili indirektno zagađuju s različitim opasnim tvarima. Najučestaliji parametri zagađenja podzemnih voda su:

1. klorirani ugljikovodici
2. nitrati
3. mangan
4. bakterije
5. pesticidi i mineralna ulja-potencijalna opasnost zagađenja

Grad Zagreb nije u potpunosti riješio problem sigurnog deponiranja ili uništavanja opasnog otpada, krutog otpada i komunalnog otpada. Gospodarstvo u većini slučajeva nema uređaje za pročišćavanje, a većina komunalnih i industrijskih otpadnih voda izravno se ulijeva u rijeku Savu.

Planovi zaštite voda ne provode se u dovoljnoj mjeri, a urbanistički planovi često su na štetu prostora rezerviranih za vodoopskrbu.

Iz navedenih razloga isključeno je iz javne vodoopskrbe 14 crpilišta s 17 zdenaca ukupnog kapaciteta od cca 1500 m³/s.

2. Zaštita voda

Zaštita voda provodi se mjerama koje uključuju:

- a) terensku prospekciju užeg i šireg vodozaštitnog područja crpilišta
- b) kontrolu kvalitete podzemne vode
- c) tehnološka rješenja za pročišćavanje podzemnih voda

Terenskom prospekcijom užeg i šireg vodozaštitnog područja utvrđuju se nedozvoljene aktivnosti na utjecajnom području vodocrpilišta. Najčešće se utvrđuju nove deponije krutog otpada, šljunčare, izgradnja objekata, radionice, mini farme i drugo.

Kontrolom kvalitete dolazne vode na crpilište osigurava se sigurna vodopopskrba grada Zagreba. U tu svrhu postoji piezometarska mreža bušotina iz kojih se uzimaju uzorci vode za kontrolu. Smještene su u pravilu na 60, 30 i 15 dana dotoka vode na crpilište. Ukoliko neki od parametara kvalitete vode tih uzoraka ne zadovoljava zakonodavne norme, poduzimaju se mjere i aktivnosti za utvrđivanje izvora zagađenja, a crpilište se isključuje iz vodoopskrbnog sustava.

Na izdašnom vodonosnom prostoru crpilišta Sašnak gdje kvaliteta podzemne vode na pojedinim zdencima ne zadovoljava "Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće" zbog povišenih vrijednosti kloriranih ugljikovodika, izgrađen je uređaj za pročišćavanje vode. Primjenjena tehnologija bazira se na adsorpciji nepoželjnih organskih spojeva na površini aktivnog ugljena. Tim postupkom pročišćava se 400 l/s podzemne vode, što je približno 50% količine vode koja se isporučuje s tog crpilišta.

3. Kvaliteta vode

Javna vodoopskrba grada Zagreba sa 120-godišnjom tradicijom bazira se na zahvaćanju podzemne vode ispravne kvalitete, preventivnoj dezinfekciji plinovitim klorom s

reziduom od 0.1-0.3 mg/l te distribucijom za potrebe gotovo milijun potrošača.

Crpilišta koja su u funkciji dnevno isporučuju približno 400 000 m³ vode koja zadovoljava sve kriterije "Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće" NN 46/94 i NN 49/97. Na temelju rezultata analiza provedenih u 1998. godini prikazane su osnovne karakteristike zbirnih voda glavnih vodocrpilišta grada Zagreba: Strmca, Velike Gorice, Male Mlake, Zapruđa, Sašnjaka i Petruševca.

3.1 Temperatura [MDK=25°C]- metoda analize:termometrija

Srednja vrijednost temperature podzemne vode na svim crpilištima kretala se u rasponu 12.4 °C – 13.9 °C (slika 1).

Najveće temperaturne oscilacije utvrđene su na crpilištu Zapruđe. Za to crpilište specifično je da u ljetnom periodu ima najnižu temperaturu vode (10.4°C) dok je u zimskom periodu temperatura najviša (19.2°C). Temperaturni ekstremi u vremenskim intervalima od 6 mjeseci posljedica su smještaja crpilišta u blizini rijeke Save.

3.2 pH - vrijednost [MDK=6.5-8.5]- metoda analize:elektrometrija

Sva crpilišta imaju povoljnu pH-vrijednost u prosjeku od 7.25 do 7.55 (slika 2)

Najviše vrijednosti imaju crpilišta Zapruđe i Sašnjak, smještena blizu rijeke Save, s maksimalnim vrijednostima od 7.8.

3.3 Otopljeni kisik – metoda analize: ion selektivna elektroda

Koncentracije otopljenog kisika u zbirnim vodama crpilišta pokazuju znatne razlike (slika 3).

Najviše vrijednosti imaju crpilišta Mala Mlaka (8.0 mgO₂/l), Velika Gorica (7.6 mgO₂/l) i Sašnjak (6.7 mgO₂/l), a u padajućem nizu su Strmec, Petruševac, i Zapruđe kod kojih podzemne vode u nepovoljnim hidrološkim prilikama ne sadrže otopljeni kisik. Anoksična voda omogućuje nepoželjne redukcijske procese, sniženje redoks potencijala, smanjenje stabilnosti vode te povećanje topivosti minerala.

3.4 Utrošak KMnO₄ [MDK=3 mgO₂/l] metoda analize: volumetrija

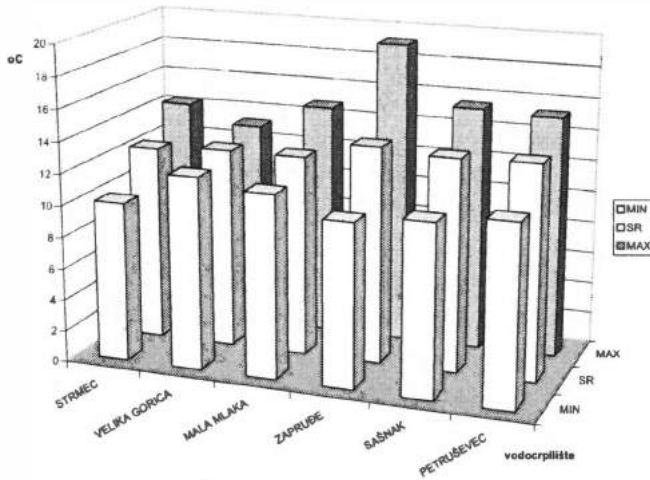
Srednje vrijednosti utroška KMnO₄ (otopljene organske tvari) na svim crpilištima iznose 0.4 mgO₂/l, s izuzetkom Zapruđa gdje su vrijednosti 0.7 mgO₂/l, a izmjerene maksimalne vrijednosti dosežu i do 1 mgO₂/l (slika 4).

Rezultati upozoravaju da je crpilište Zapruđe zbog blizine rijeke Save pod utjecajem viših koncentracija otopljene organske tvari koja se nije stigla oksidirati (autopurifikacija), što je karakteristično i za crpilište Strmec.

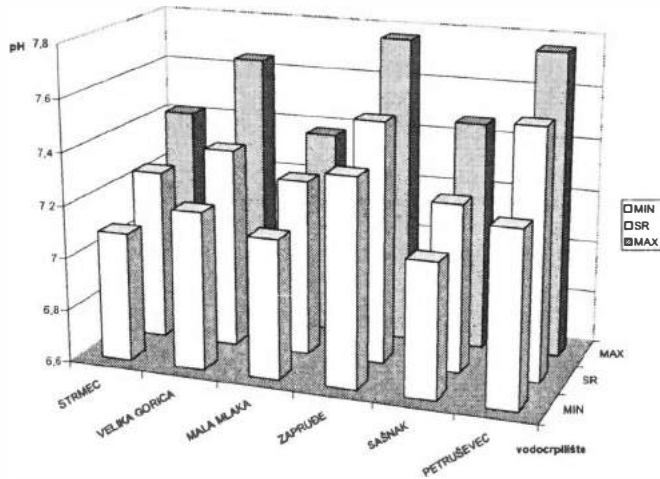
3.5 Nitrati [MDK=10 mgN/l] – metoda analize: ionska kromatografija

Nitrati su jedan od najučestalijih parametara zagađenja podzemnih voda, uzrok zatvaranja brojnih vodocrpilišta na lijevoj obali Save.

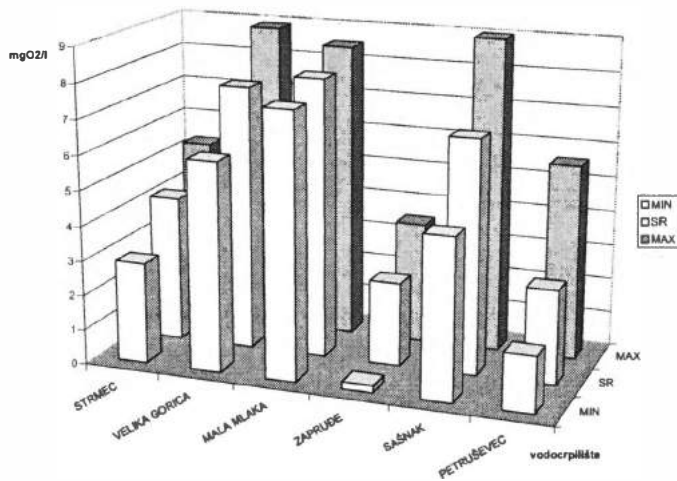
Vidljivo je da su od crpilišta u funkciji s nitratima ugroženi Mala Mlaka i Velika Gorica gdje maksimalne vrijednosti dosežu 7 mgN/l. Crpilišta koja su blizu Save, Strmec, Zapruđe i Petruševac imaju vrlo niske vrijednosti nitrata što ukazuje da rijeka Sava nije opterećena tim spojevima, a na dotoku vode nema zagađivača.



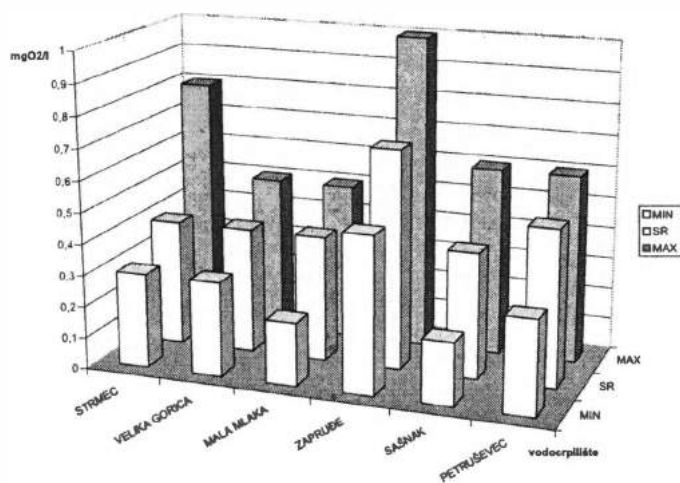
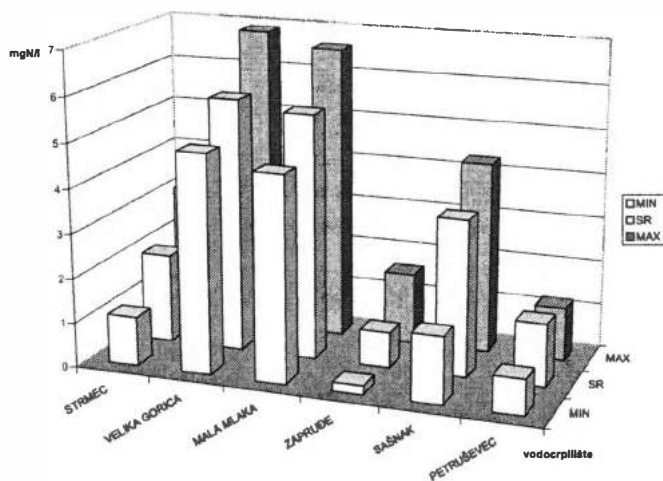
Slika 1. Temperatura na vodocrpilištima u 1998. godini



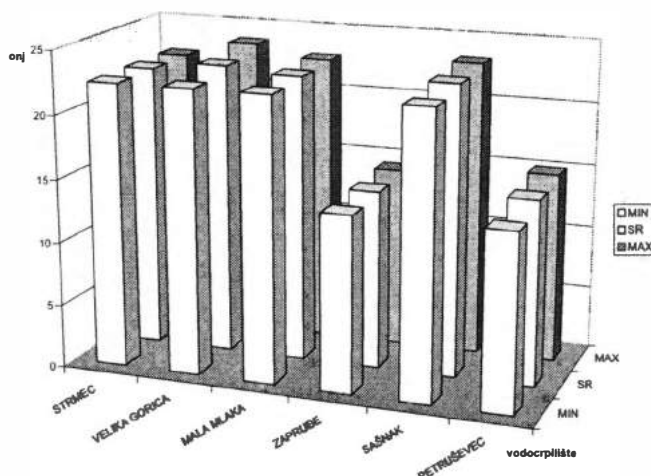
Slika 2. pH vrijednost na vodocrpilištima u 1998. godini



Slika 3. Otopljeni kisik na vodocrpilištima u 1998. godini

Slika 4. Utrošak $KMnO_4$ na vodocrpilištima u 1998. godini

Slika 5. Nitrati na crpilištima na vodocrpilištima u 1998. godini



Slika 6. Ukupna tvrdoća na vodocrpilištima u 1998. godini

3.6 Ukupna tvrdoća – metoda analize: kompleksometrija

Podzemna voda zagrebačkog aluvija sadrži znatne količine otopljenih mineralnih tvari od kojih prevladavaju kalcijev i magnezijev bikarbonat. Crpilišta koja su udaljenija od rijeke Save imaju duži tok vode kroz podzemlje i time mogućnost otapanja više minerala što uzrokuje visoku tvrdoću vode (slika 6).

To je izraženo na crpilištima Velika Gorica, Mala Mlaka i Sašnak kod kojih su srednje vrijednosti tvrdoće vode 23°nj. Crpilišta Zapruđe i Petruševac imaju kratki tok vode i prosječna tvrdoća je 14°nj. Izuzetak je crpilište Strmec koje je blizu rijeke Save a ima visoku tvrdoću zbog karakteristika vode, agresivnosti i većeg sadržaja otopljenog CO₂ od ravnotežnih koncentracija za karbonatno-bikarbonatni sustav.

3.7 Mineralna ulja [MDK=10 µg/l] – metoda analize:FTIR spektrofotometrija

Mineralna ulja prisutna su na svim crpilištima (slika 7) u koncentracijama oko 60% MDK vrijednosti.

Maksimalne vrijednosti koje prelaze upozoravajuću granicu od 80% MDK dokazane su na crpilištima Sašnak, Petruševac i Velika Gorica. Godišnje oscilacije koncentracija mineralnih ulja su znatne te na svim crpilištima imaju 100% iznos promjena.

3.8 Trikloretan [MDK=30 µg/l] i tetrakloretan [MDK=10 µg/l] - metoda analize plinska kromatografija

Najprisutnija zagađivala u podzemnoj vodi zagrebačkog aluvija su trikloretan (slika 8) i tetrakloretan (slika 9). Koriste se najčešće u gospodarstvu u procesima odmašćivanja, a rijeđe u postupcima proizvodnje.

Zbog visokih koncentracija tih spojeva do sada je zatvoreno 15 crpilišta čime je izgubljeno 1500 l/s vode za piće.

Danas, kada je industrijska proizvodnja znatno smanjena, unos tih zagađivala nije više alarmantan. Na cijelom aluvijalnom prostoru dokazuju se vrlo niske vrijednosti, s izuzetkom crpilišta Sašnak gdje su koncentracije tetrakloretena i nadalje iznad MDK. Izgradnjom uređaja za pročišćavanje s aktivnim ugljenom na crpilištu Sašnak uklanjaju se nepoželjni organski spojevi iz grupe kloriranih ugljikovodika te voda zadovoljava zakonodavne norme propisane za vodu za piće.

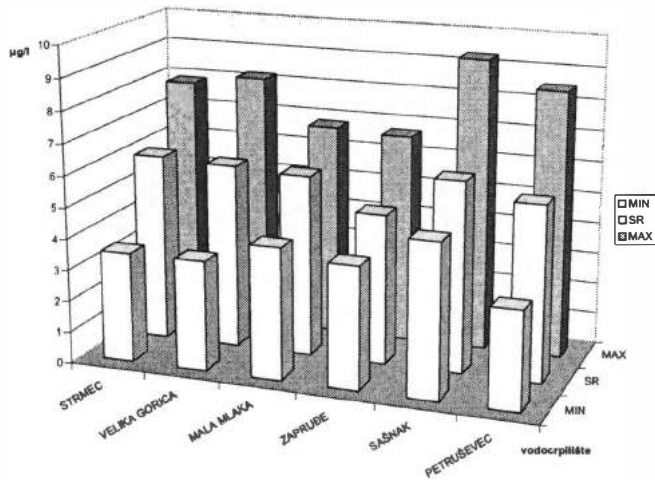
3.9 Mangan [MDK=50 µg/l] i željezo [MDK=300 µg/l]

–metoda analize ICP-emisijska spektrometrija u plazmi

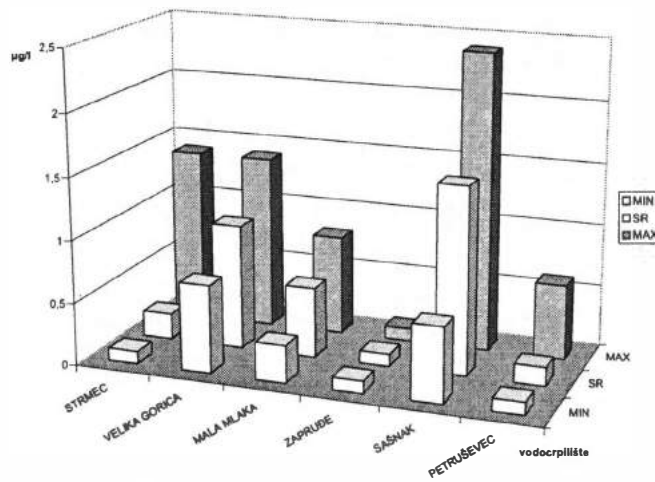
Biogeni elementi mangan i željezo prisutni su u vodama svih crpilišta. Zbirne vode sadrže niske vrijednosti mangana (slika 10) i željeza.

Podzemna voda zagrebačkog aluvija sadrži mjestimično vrlo visoke vrijednosti mangana (do 900 µg/l) i željeza (do 1500 µg/l). Za sada željezovita voda ne dotiče na zdence u eksploataciji te ne predstavlja parametar zagađenja vode za piće. Mangan se kao potencijalna opasnost dokazuje u podzemnim vodama crpilišta Strmec, Zapruđe i posebno Petruševca. Na zdencu B5 crpilišta Petruševac dokazuju se vrijednosti mangana do 150 µg/l, a na zdencu B4 vrijednosti su 50% MDK. S obzirom da voda u ostala tri zdence sadrži mangan u tragovima (< 1 µg/l), zbirna voda ima niske koncentracije koje ne prelaze 12 µg/l.

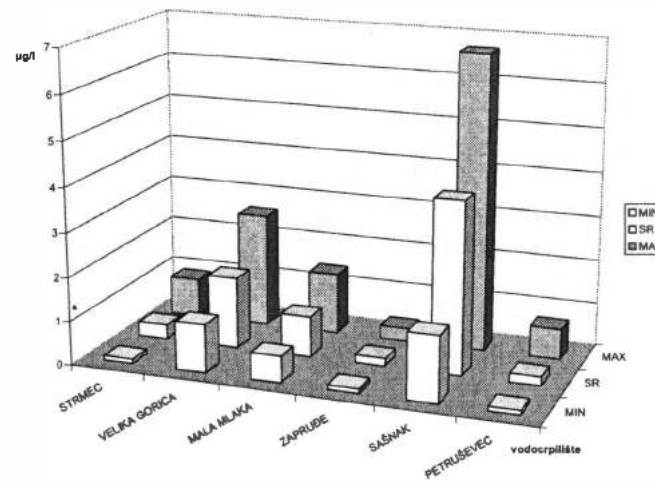
Problem mangana u vodi crpilišta Petruševac ne odnosi se na koncentracije mangana u vodi za piće već na pojavu manganskih taloga u cijevima vodoopskrbne mreže.



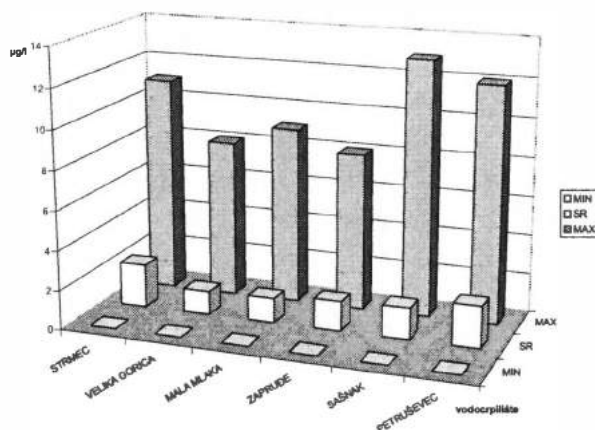
Slika 7. Mineralna ulja na vodocrpilištima u 1998. godini



Slika 8. Triketeni na vodocrpilištima u 1998. godini



Slika 9. Tetrakloroetan na vodocrpilištima u 1998. godini



Slika 10. Mangan na vodocrpilištima u 1998. godini

3.10 Ostali pokazatelji

Svi ostali pokazatelji kvalitete vode kemijski i mikrobiološki dokazuju se u vrlo niskim koncentracijama te za sada postoje samo indikacije o njihovoj prisutnosti.

Zaključak

Vodoopskrba Zagreba svela se na 6 glavnih crpilišta gdje je osigurana kakvoća vode koja zadovoljava hrvatske i europske norme. Pokazatelji kvalitete vode daju jasan pregled minimalnih, maksimalnih i srednjih vrijednosti u 1998. godini zbirnih voda svih crpilišta koja su u funkciji.

Iz grafičkih prikaza pokazatelja: temperatura, pH-vrijednost, otopljeni kisik, utrošak KMnO_4 , nitrati, ukupna tvrdoća, mineralna ulja, trikloreten, tetrakloreten i mangan, date su povoljne prirodne karakteristike vode na crpilištima kao i parametri zagađenja podzemnih voda koji za sada imaju vrijednosti niže od zakonodavnih.

Potrebno je i nadalje provoditi sistematsku kontrolu kvalitete vode na svim crpilištima, prilivnim područjima kao i ostalim objektima vodoopskrbnog sustava. Navedeno je garancija potrošačima da će i nadalje dobivati kvalitetnu vodu za piće po najvišim svjetskim standardima.

Literatura

1. Baza podataka sistematske kontrole kvalitete vode, Vodoopskrba i odvodnja, Sektor vodoopskrbe, Služba kontrole kvalitete vode, 1998.
2. Standard Methods, for the examination of water and wastewater, 18th ed.1992.
3. Guidelines for drinking-water quality, WHO 1993. i 1996.
4. Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, N.N.46/94 i N.N.49/97
5. Vodoopskrba grada Zagreba 1878.-1998., monografija
6. Mayer D.: Kvaliteta i zaštita podzemnih voda
7. Levačić E.:Geokemije vode

Autori:

mr.Dubravko Dragojević, dipl. ing.kem, Vodoopskrba i odvodnja Zagreb, Sektor vodoopskrbe, Služba kontrole kvalitete vode

Sanja Bizjak, dipl.ing.kem, Vodoopskrba i odvodnja Zagreb, Sektor vodoopskrbe, Služba kontrole kvalitete vode



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.34.

Povećanje iskorištenja pri desalinaciji boćatih voda

Branko Kunst, Krešimir Košutić, Lucija Kaštelan-Kunst

SAŽETAK: Razmotrene su mogućnosti povećanja iskorištenja pri membranskoj desalinaciji boćatih voda. Ilustrirana su tri načina povećanja pretvorbe boćate u pitku vodu: primješavanjem nedesalinirane vode membranskom permeatu, optokom dijela koncentrata, i uvođenjem 2. stupnja procesa, te na kraju povezivanje dviju razmotrenih mogućnosti. Rezultati pokazuju da se malim zahvatima u konstrukciji uređaja iskorištenje ulazne boćate vode može povećati za gotovo 50 %. **KLJUČNE RIJEČI:**, reverzna osmoza, membranska desalinacija, pitka voda, stupanj pretvorbe, iskorištenje.

Increased conversion in membrane desalination of brackish waters

SUMMARY: Possibilities to increase the conversion in brackish waters desalination have been investigated. Three methods have been examined: addition of raw water to membrane permeate, reject water recycling and insertion of the second stage of the process. Two of the mentioned methods were also combined. The results have shown that the brackish water conversion could have been increased by almost 50 percent.

KEYWORDS: reverse osmosis, membrane desalination, brackish water, drinking water, conversion.

Uvod

Membranska desalinacija morske i boćatih voda danas je u svijetu nezaobilazan postupak pri rješavanju vodoopskrbe u sušnim područjima i na otocima. Instalirani su i uspješno rade mnogi membranski desalinacijski uređaji (Mediteran, Karipski otoci, Florida, Kanarski otoci, Izrael, arapske zemlje) [1-4], pa i u nas radi već postrojenje na Lastovu [5], tri se grade na Mljetu, a nekoliko daljnjih uređaja se projektira i planira.

Voda dobivena odslanjivanjem boćatih voda zbog nižeg saliniteta jeftinija je od vode dobivene desalinacijom mora. Stoga se nastoji desalinirati sve raspoložive boćate vode, a desalinacijski postupak projektirati i voditi tako da se boćata voda maksimalno iskoristi, da se postigne što je moguće veća pretvorba boćate u pitku vodu.

U ovom radu prikazuju se i razmatraju neke praktične mogućnosti povećanja iskorištenja (pretvorbe) boćate u pitku vodu pri membranskoj desalinaciji.

Prikaz mogućih rješenja

Pri tlačnim membranskim separacijama (reverzna osmoza, nanofiltracija) slana se voda djelovanjem povišenog tlaka protiskuje kroz membranu, pri čemu se dobije permeat

(gotovo čista voda), dok se s tlačne strane sustava odvodi koncentrat. Pri manjim raspoloživim količinama bočate vode uređaj za desalinaciju proračunava se tako da se postigne iskorištenje bočate u pitku vodu od oko 90 %.

Iskorištenje (konverzija), Y , membranskog reverzno osmotskog postrojenja govori o dijelu ulazne bočate vode pretvorene u permeat, pitku vodu:

$$Y = \frac{Q_p}{Q_{ul}}$$

gdje su Q_p i Q_{ul} volumni protoci permeata i ulazne slane vode.

Valja razlikovati konverziju membranskog uređaja od konverzije jediničnog membranskog elementa (modula), Y_m , od kojih je sastavljen uređaj. Konverzija membranskog modula ovisi o konstrukciji odnosno o hidrodinamičkim uvjetima u modulu i dana je specifikacijom proizvođača, dok se konverzija cijelog membranskog (RO) uređaja računa pri projektiranju, a ovisi ne samo o tipu modula već i o koeficijentu separacije membrana, koncentraciji ulazne vode i radnom tlaku.

Membranski desalinacijski uređaj čini niz paralelno spojenih tlačnih cijevi, u kojima se nalaze membranski elementi (moduli). U svakoj tlačnoj cijevi obično se nalazi 6 modula koji su obzirom na prolaz bočate vode spojeni u seriju. Ukupni separacijski učin tlačne cijevi rezultat je prolaza vode kroz sve module koji se nalaze u cijevi. Zato se konverzija tlačne cijevi računa iz nazivnih podataka za membranski modul (koeficijent separacije membrane R , volumni protok permeata Q_p , i konverzija modula Y_m) i iz svojstava vode koju treba obraditi. Iznos konverzije u membranskim uređajima za desalinaciju bočate vode uvijek je iznad 50 %. Visoke su konverzije poželjne jer uz povećanje količine dobivenog permeata (pitke vode) smanjuju se i jedinični troškovi energije. Povišenje konverzije može imati i loših strana kao npr. previsoki porast koncentracije soli u modulima što može izazvati taloženje teško topljivih soli na membranama.

Iskorištenje (konverzija) tlačne cijevi, y .

Uobičajena nazivna konverzija membranskih modula za bočatu vodu iznosi $Y_m = 0,15$. Pri proračunu tlačne cijevi sa šest serijski vezanih membranskih modula uzima se u obzir promjena koncentracije ulazne vode i radnog tlaka od jednog do drugog elementa u tlačnoj cijevi, što mijenja i nazivnu vrijednost konverzije tako da radni parametri za tipičnu tlačnu cijev sa šest modula izgledaju npr. ovako:

Tablica 1. Radni parametri tlačne cijevi sa 6 modula. $R = 0,99$; $Q_p = 44 \text{ m}^3/\text{d}$; $P = 10,2 \text{ bara}$; $Y_m = 0,15$; ulazna koncentracija vode: Suhi ostatak (TDS): 2200 mg/l ; $t = 25^\circ \text{C}$

Modul	c_{ul} (mg/l)	Q_{ul} (m^3/d)	Y	Q_r (m^3/d)	c_r (mg/l)	Q_p (m^3/d)	c_p (mg/l)
1	2200	293,3	0,15	249,3	2584	44,0	23,8
2	2584	249,3	0,15	211,9	3035	37,4	28,0
3	3035	211,9	0,15	180,1	3524	31,8	32,9
4	3524	180,1	0,14	154,9	4091	25,2	37,9
5	4091	154,9	0,14	133,2	4750	21,7	44,0
6	4750	133,2	0,14	114,6	5515	18,6	51,1

Jednom tlačnom cijevi dobije se dakle:

$$\Sigma Q_p = 178,7 \text{ m}^3/\text{dan pitke vode koncentracije } c_p = 33,6 \text{ mg/l}$$

Iz radnih parametara tlačne cijevi proizlazi i vrijednost konverzije za tlačnu cijev sa šest membranskih elemenata:

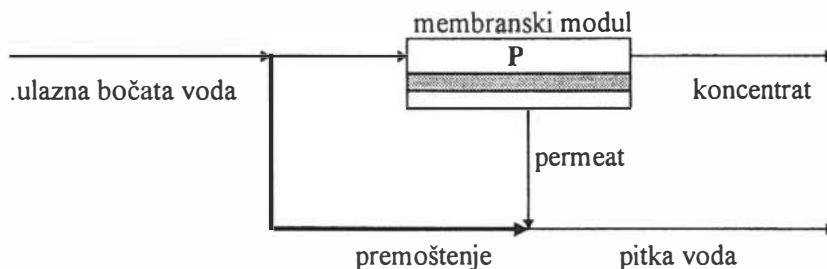
$$Y = \frac{178,7}{293,3} = 0,6093$$

Iako je pretvorbom dobivena vrlo kvalitetna pitka voda niske koncentracije otopljenih tvari (TDS), 60 %-na konverzija bočate vode nije zadovoljavajuća, jer se u tom slučaju 40 % ulazne bočate vode ne iskoristi. Postavljenom cilju od 90 %-nog iskorištenja bočate vode može se približiti primjenom nekoliko mogućih rješenja, kao što su:

- domješavanje dijela nedesalinirane vode produktu,
- optokom dijela koncentrata,
- uvođenjem 2.stupnja procesa sa stupnjevanim tokom retentata.

a) Domješavanje dijela bočate vode permeatu kroz premošnicu

U prethodnom odlomku izračunata niska koncentracija otopljenih tvari u permeatu omogućuje domješavanje ulazne (po mogućnosti predobrađene) vode permeatu kroz premoštenje u sustavu, tzv. bypass mixing (slika 1.)



Slika 1. Shema membranske desalinacije s domješavanjem dijela bočate vode permeatu

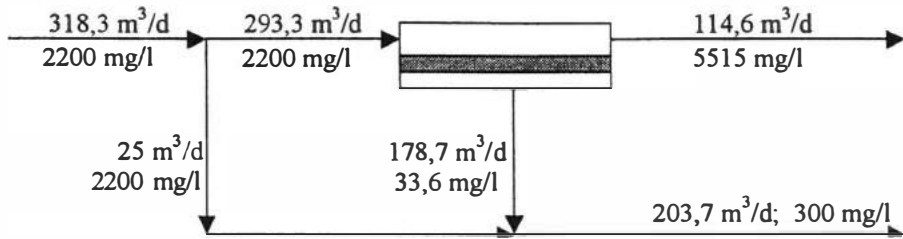
Količina primješavanjem dodane vode membranskom permeatu određena je dozvoljenom koncentracijom otopljenih tvari u pitkoj vodi. Po hrvatskim normama vrijednost ukupnog suhog ostatka nije numerički određena no u europskim i svjetskim normama MDK za TDS iznosi 500 mg/l. U ovom primjeru kao optimalna koncentracija otopljenih tvari (TDS) u dobivenoj pitkoj vodi uzima se 300 mg/l.

Za taj slučaj shema s materijalnom bilancom tlačne cijevi prikazana je na slici 2.

Iz sheme se vidi da će konverzija ulazne bočate vode u ovom slučaju iznositi

$$Y = \frac{203,7}{318,3} = 0,640$$

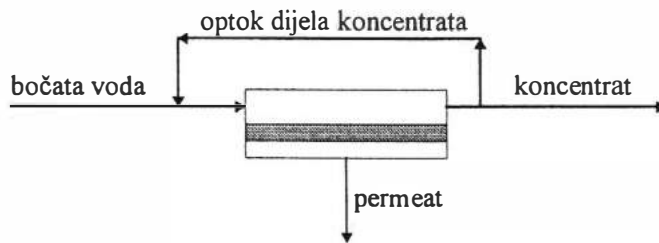
Domješavanjem dijela ulazne vode produktu konverzija je dakle tek malo povećana.



Slika 2. Materijalna bilanca tlačne cijevi s domješavanjem bočate vode

b) Optok dijela koncentrata

Povećanje pretvorbe bočate vode može se postići i optokom dijela koncentrata (reject water recycling) (slika 3). Time se iz koncentrata “izvlači” još dio pitke vode. Zahvat ima smisla kada se radi o slabo bočatoj ulaznoj vodi, jer se u tom slučaju njena koncentracija optokom dijela koncentrata može povećati bez negativnih utjecaja na separacijski učin tlačne cijevi.



Slika 3. Shema membranske desalinacije s optokom dijela koncentrata

Optokom dijela koncentrata povećava se koncentracija ulazne vode u tlačnu cijev pa se mijenjaju i parametri rada membranskih modula. Protok permeata prvog i svih ostalih modula nešto se smanjuje, što vrijedi i za iskorištenje modula Y_m . Za takav se način rada zato ponovno proračunavaju parametri rada modula i tlačne cijevi (tablica 2):

U ovom se slučaju iz cijevi dobije $SQ_p = 168 \text{ m}^3/\text{dan}$ pitke vode koncentracije $c_p = 53,2 \text{ mg/l}$. Materijalna bilanca cijevi s optokom dijela koncentrata dana je na slici 4.

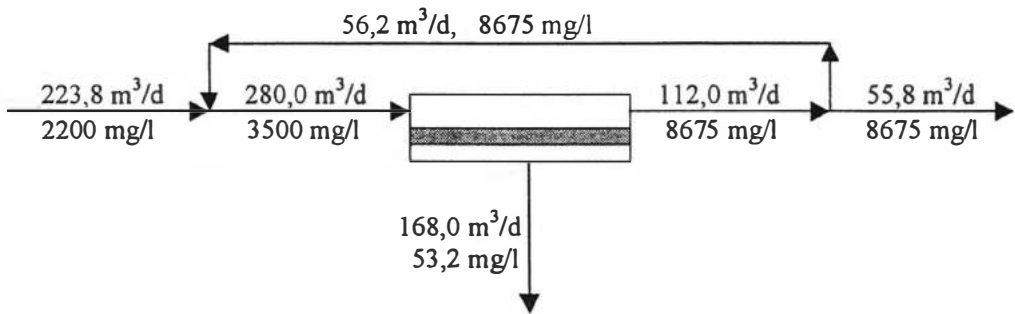
Iz sheme se vidi da će konverzija ulazne vode iznositi

$$Y = \frac{168,0}{223,8} = 0,7507$$

Optokom dijela koncentrata povećana je dakle pretvorba bočate vode sa 60 na 75 %.

Tablica 2. Radni parametri tlačne cijevi uz optok dijela koncentrata: $R = 0,990$; $Q_p = 44 \text{ m}^3/\text{d}$; $P = 10,2 \text{ bara}$; $Y_m = 0,15$; Konc. ulazne vode: 3500 ppm ;

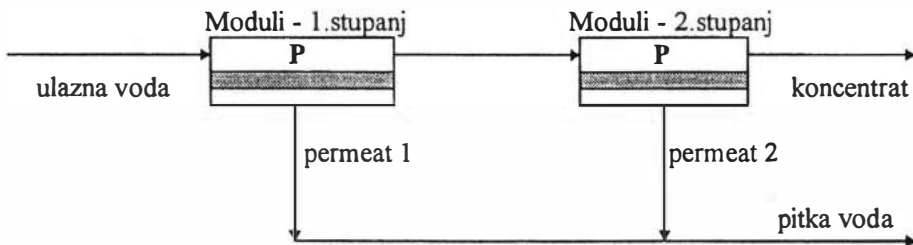
Modul	c_{ul} (mg/l)	Q_{ul} (m^3/d)	Y	Q_r (m^3/d)	c_r (mg/l)	Q_p (m^3/d)	c_p (mg/l)
1	3500	280,0	0,15	238,0	4111	42,0	37,9
2	4111	238,0	0,15	202,3	4829	35,7	44,5
3	4829	202,3	0,14	174,0	5607	28,3	52,0
4	5607	174,0	0,14	149,6	6510	24,4	60,4
5	6510	149,6	0,14	128,7	7558	20,9	70,1
6	7558	128,7	0,13	112,0	8675	16,7	80,9



Slika 4. Materijalna bilanca tlačne cijevi s optokom dijela koncentrata

c) Uvođenje 2. stupnja procesa uz stupnjevani tok koncentrata.

Konverzija ulazne bočate vode može se povećati i uvođenjem 2. stupnja procesa sa stupnjevanim tokom koncentrata (slika 5). Kad izlazni koncentrat iz tlačnih cijevi 1. stupnja nije prekoncentriran njegovom se daljnjom obradom u 2. stupnju procesa može dobiti dodatna količina čiste vode. Za to ne treba utrošiti dodatnu energiju, jer se koncentrat na izlazu iz 1. stupnja procesa nalazi pod povišenim tlakom, ima dakle potrebnu tlačnu energiju za daljnju reverzno osmotsku separaciju već koncentrirane bočate vode.



Slika 5. Dvostupanjaska membranska desalinacija sa stupnjevanim tokom koncentrata

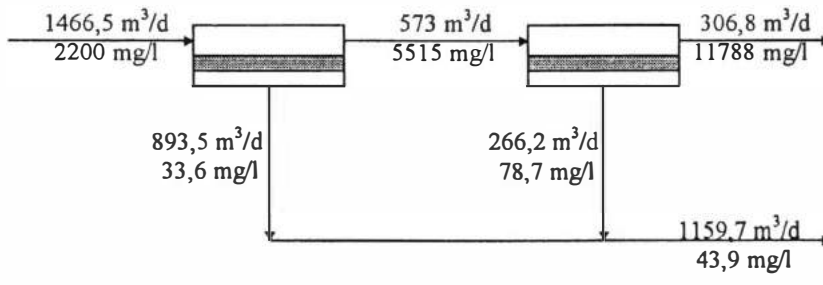
Pri proračunu radnih parametara 2. stupnja (Tablica 3.) treba uzeti u obzir da je protokom kroz 1. stupanj došlo do pada tlaka fluida, pa će 2. stupanj uređaja raditi pri nešto nižem tlaku. Zbog toga, ali i zbog povišene koncentracije ulazne vode i nazivni će protok permeata u 2. stupnju uređaja biti niži.

Tablica 3. Radni parametri tlačne cijevi sa šest modula za 2.stupanj uređaja. $R = 0,990$; $Q_p = 37,2 \text{ m}^3/\text{d}$; $P = 8,0 \text{ bara}$, $Y_m = 0,13$; $t = 25^\circ \text{C}$

Modul	c_{ul} (mg/l)	Q_{ul} (m^3/d)	Y	Q_r (m^3/d)	c_r (mg/l)	Q_p (m^3/d)	c_p (mg/l)
1	3500	280,0	0,15	238,0	4111	42,0	37,9
2	4111	238,0	0,15	202,3	4829	35,7	44,5
3	4829	202,3	0,14	174,0	5607	28,3	52,0
4	5607	174,0	0,14	149,6	6510	24,4	60,4
5	6510	149,6	0,14	128,7	7558	20,9	70,1
6	7558	128,7	0,13	112,0	8675	16,7	80,9

U 2. stupnju uređaja iz jedne se tlačne cijevi dobije $SQ_p = 153,4 \text{ m}^3/\text{dan}$ pitke vode koncentracije $c_p = 78,7 \text{ mg/l}$. Proračun radnih parametara 2. stupnja procesa pokazuje da potrebni odnos broja tlačnih cijevi u 1. i 2. stupnju iznosi 5:2

Materijalna bilanca tlačne cijevi dvostupanjskog membranskog uređaja dana je na sl.6.



Slika 6. Materijalna bilanca tlačne cijevi dvostupanjskog membranskog uređaja

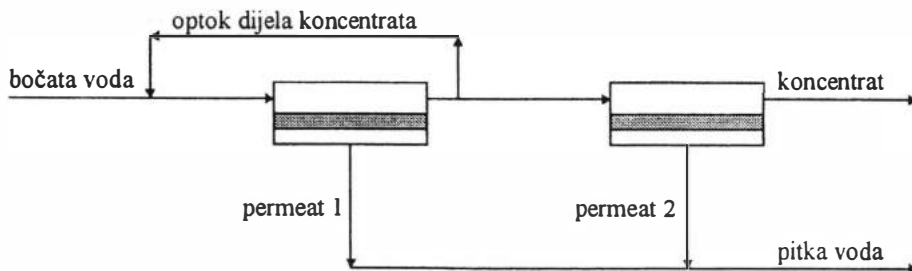
Iz slike 6. proizlazi da će konverzija dvostupanjskog uređaja iznositi

$$Y = \frac{1159,7}{1466,5} = 0,7908$$

tj. da će se uvođenjem 2. stupnja konverzija povećati sa 60 na 79 %.

d) Kombinacija dvostupanjskog uređaja i optoka dijela koncentrata. (b + c)

Budući da je konverzija zamjetno povećana i optokom dijela koncentrata i uvođenjem 2. stupnja procesa, logično je u postrojenje ugraditi obje mogućnosti, tj. spojiti varijante b) i c). Takav uređaj ilustriran je na slici 7, a radni su parametri 2. stupnja takvog uređaja dani u tablici 4.



Slika 7. Membranska desalinacija bočate vode u dvostupanjskom uređaju s protokom dijela koncentrata

U ovom se slučaju u 2. stupnju uređaja iz jedne tlačne cijevi dobije $SQ_p = 138,8 \text{ m}^3/\text{dan}$ pitke vode koncentracije $c_p = 120,3 \text{ mg/l}$. Iz proračuna radnih parametara 2.stupnja procesa vidi se da je za povezivanje 1. i 2. stupnja potreban omjer broja tlačnih cijevi 1. i 2. stupnja od 5:1. Materijalna bilanca uređaja prikazana je na slici 8.

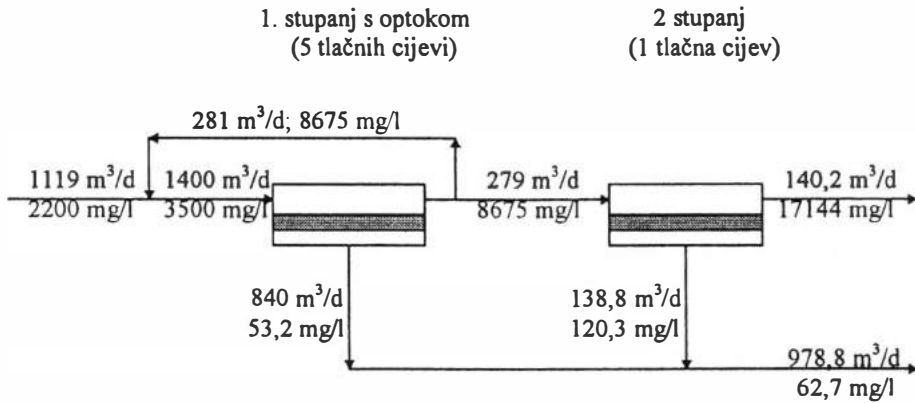
Tablica 4. Radni parametri tlačne cijevi za 2.stupanj uređaja s optokom dijela koncentrata: $R = 0,990$; $Q_p = 33,5 \text{ m}^3/\text{d}$; $P = 8,0 \text{ bara}$; $Y_m = 0,12$;

Modul	c_{ul} (mg/l)	Q_{ul} (m^3/d)	Y	Q_r (m^3/d)	c_r (mg/l)	Q_p (m^3/d)	c_p (mg/l)
1	8675	279,0	0,12	245,5	9845	33,5	95,4
2	9845	245,5	0,11	218,5	11049	27,0	104,2
3	11049	218,5	0,11	194,5	12400	24,0	117,0
4	12400	194,5	0,11	173,1	13916	21,4	131,3
5	13916	173,1	0,10	155,8	15446	17,3	146,5
6	15446	155,8	0,10	140,2	17144	15,6	162,7

Iz slike 8. proizlazi da će u ovom, optimalnom slučaju pretvorba ulazne bočate vode iznositi

$$Y = \frac{978,8}{1119} = 0,8747$$

Time smo se približili postavljenom cilju, 90 %-noj pretvorbi bočate u pitku vodu. U odnosu na prvu proračunatu konverziju (str.3) od 0,6093 povećanje iznosi od 43,6 %. Drugim riječima iz $1000 \text{ m}^3/\text{dan}$ bočate vode umjesto $609 \text{ m}^3/\text{dan}$ dobit će se 875 m^3 pitke vode dnevno.



Slika 8. Materijalna bilanca dvostupanjjskog uređaja s optokom dijela koncentrata

Literatura

1. K.Wangnick, Desalination & Water Reuse 4, br.3, 25 (1994)
2. W.T.Andrews, R.A.Bergman, The Malta seawater RO facility, Desalination 60,135 (1986)
3. R.A.Bergman, Membrane softening versus lime softening in Florida: A cost comparison update, Desalination 102 (1995) 11
4. J.M.Veza,A.Gomez Gotor, J.Perez Castillo, Desalination technology in the Canary Islands, Desalination 85 (1992) 47
5. B.Kunst i sur., Reverzno osmotsko dobivanje pitke vode iz mora u cilju vodoopskrbe otoka Lastovo, Prijedlog rješenja, elaborat za JVP Hrvatska vodoprivreda, FKIT, Zagreb 1995

Autor:

Prof.dr.sc. Branko Kunst, dipl.inž., Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije,
10000 Zagreb, Marulićev trg 20, p.p. 177



Rad 4.35.

Nanofiltracija – suvremena membranska metoda uklanjanja organskih tvari iz voda za piće

Krešimir Košutić, Mira Petrović, Branko Kunst, Marija Kaštelan-Macan

SAŽETAK: Ispitivano je uklanjanje prirodnih i sintetskih organskih tvari iz voda za piće postupcima membranske separacije uz primjenu membrana definirane poroznosti. Poroznost upotrebljenih membrana karakterizirana je propuštanjem referentnih otopljenih tvari. Membranama definirane poroznosti separirane su iz vodenih otopina tipične petrokemikalije, pesticidi i prirodne humusne tvari. Postupkom separacije na tri tipa membrana iz prirodnih voda namijenjenih piću ispitano je izdvajanje otopljenih tvari, posebno prirodnih organskih (humusnih) tvari.

KLJUČNE RIJEČI: Membrane, nanofiltracija, reverzna osmoza, pitka voda, organske tvari, huminske kiseline, pesticidi

Nanofiltration – the new membrane method for separation of organics from drinking waters

SUMMARY: Membrane separations of natural and synthetic organics from drinking waters have been examined using membranes of defined porosities. The membrane porosity was determined by the selected solute rejection method. Various organics such as petrochemicals, pesticides and natural humic substances were separated from the model aqueous solutions by three different commercial membranes. The same membranes were used for the separation of natural humic substances from several potable waters.

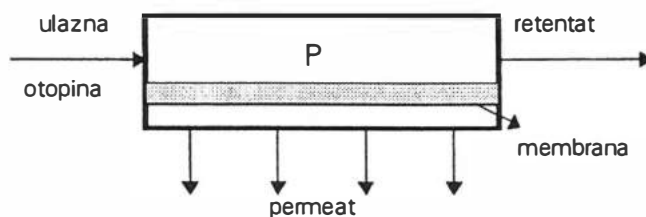
KEYWORDS: Membranes, nanofiltration, reverse osmosis, drinking water, petrochemicals, humic substances, pesticides

Uvod

Za opskrbu stanovništva kvalitetnom pitkom vodom najčešće služe prirodne podzemne vode ili vode iz čistih površinskih vodotokova. Zbog povećanja stanovništva i povećanih onečišćenja štetnim tvarima poput teških metala, pesticida i petrokemikalija kvalitetne prirodne površinske i podzemne vode sve se teže nalaze. S druge strane nove spoznaje o štetnom djelovanju raznih onečišćenja, pa i kemijski promijenjenih prirodnih organskih tvari u vodi dovode do promjena normi o kvaliteti pitke vode.

Navedni razlozi traže dodatne načine osiguranja dovoljnih količina kvalitetne pitke vode. To se postiže poboljšanjem metoda tehnološke obradbe ali i uvođenjem novih postupaka obradbe voda za piće. Takvi su i membranski postupci uklanjanja nepoželjnih tvari iz vode. Membranski se postupci mnogo rabe za desalinaciju slanih voda [1], a počinju se primjenjivati i za uklanjanje onečišćenja i nepoželjnih prirodnih tvari iz površinskih i podzemnih voda [2-4].

Od tlačnih membranskih postupaka za obradbu voda posebnu pozornost pobuđuju reverzna osmoza i nanofiltracija. Oba se postupka temelje na protiskivanju ulazne vode kroz membranu (slika 1), pri čemu kroz membranu prolaze molekule vode, dok molekule i ioni otopljenih tvari prolaze sporije ili uopće ne mogu proći. Tako se s donje strane membrane kao permeat dobije vrlo čista voda.



Slika 1. Princip tlačne membranske separacije

Membranskom se obradbom podešavaju fizikalna, kemijska i sanitarno-mikrobiološka svojstva pitke vode, a jedna od prednosti membranskih postupaka jest da se njima ne smanjuje samo sadržaj soli, već i mnogih organskih i mikrobioloških onečišćenja.

Cilj ovog rada bilo je ispitivanje sposobnosti nekih komercijalno raspoloživih membrana za uklanjanje iz vode sintetskih i prirodnih organske tvari. Separacijske sposobnosti membrana ispitivane su modelnim onečišćenim vodama i prirodnim vodama namijenjenim piću iz različitih dijelova Hrvatske.

Eksperimentalni dio (metodika istraživanja)

Za ispitivanja su upotrijebljene tankoslojne kompozitne membrane: HR95PP, Dow Danmark A/S, (po licenci FilmTec) Naxskov Denmark (u daljnjem tekstu HR); TFC-88821ULP, Fluid Systems Corporation, San Diego CA (u daljnjem tekstu ULP), i nanofiltracijske membrane TS80, TriSep Corporation, Goleta CA.

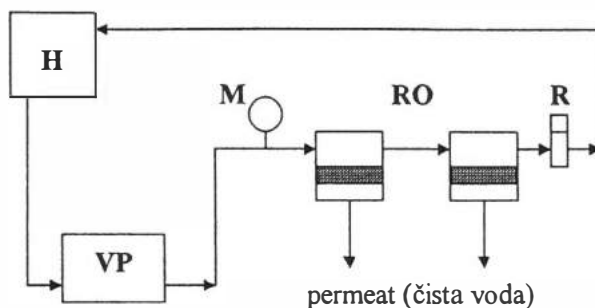
Membranama je određena poroznost tj. veličinska raspodjela pora i njihov efektivni broj u djelatnom sloju asimetrične membrane. Poroznost je određena uz pomoć otopina markera prije opisanim postupkom [5] i računskom obradom dobivenih podataka.

Mjerenja su provedena membranskim uređajem prikazanim na slici 1. Pojna se voda tiska pumpom preko površine membrana, a pročišćena voda izlazi s donje strane membrane. U uređaju je pet serijski spojenih RO jedinica, u svakoj od njih nalazila se membrana površine 13,2 cm². Kratkotrajnim (3 sata) pokusima mjerena je produktivnost membrane, PR, izražena masom permeata po vremenu i površini membrane. Dobiveni rezultati za masu permeata korigirani su na temperaturu od 25°C. Radni tlak bio je 17 bara, a koncentracija otopine markera 100 ppm. U svim pokusima izmjerena je i separacijska sposobnost membrane izražena koeficijentom separacije (zadržavanja) otopljene tvari, R:

$$R = \frac{c_{ul} - c_p}{c_{ul}}$$

gdje je: c_{ul} = koncentracija ulazne slane vode, a c_p = koncentracija permeata.

Koncentracije otopina referentnih i drugih organskih tvari mjerene su analizatorom ugljika (Carbon analyzer), Ionics Inc, model 1555.



Slika 2. Shema membranskog uređaja: H - spremnik za vodu, RO – membranske (RO) jedinice, VP – visokotlačna pumpa, R - regulator tlaka. M - manometar

Separacijski pokusi izvršeni su i s razrijeđenim otopinama (oko 2 ppm) odabranih pesticida (tablica 1). Koncentracije otopina pesticida mjerene su spektrofotometrom Perkin Elmer, UV/VIS, Lambda 20, kod sljedećih valnih duljina: $\lambda_{\text{triadimefon}} = 220 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{MCPA}} = 227 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{atrazin}} = 222 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{profam}} = 233 \text{ nm}$.

Tablica 1. Ispitivani pesticidi

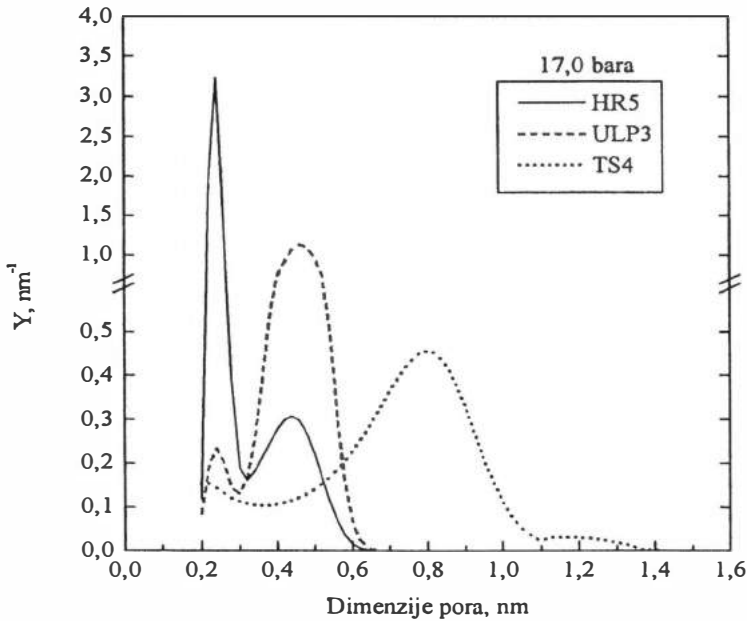
Uobičajeni naziv	Proizvođač	Primjena	Formula	Molekulna masa
Triadimefon (Bayleton)	Pinus, Rače, Sl.	fungicid	$\text{C}_{14}\text{H}_{16}\text{ClN}_3\text{O}_2$	293,8
Atrazin	Chromos, Zgb	herbicid	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{ClN}_5$	215,7
MCPA (2-metil-4-klor fenoksi octena kiselina)	Chromos, Zgb	herbicid	$\text{C}_9\text{H}_9\text{ClO}_3$	200,6
Profam	Pliva, Zgb	herbicid	$\text{C}_{10}\text{H}_{13}\text{NO}_2$	179,2

Modelne otopine za određivanje učinkovitosti membrana bile su vodene otopine natrijeva i kalcijeva klorida (300 ppm), te glicerola i dioksana (100 ppm). Koncentracije otopina natrijeva i kalcijeva klorida određivane su konduktometrijski.

Rezultati i rasprava

Budući da se separacijska sposobnost membrane dijelom temelji na njejoj poroznoj strukturi najprije je određena poroznost membrana. Rezultati za bolji od dva uzorka svakog tipa membrane izraženi krivuljama raspodjele pora po veličini (VRP) pokazani su u slici 3.

Bimodalne raspodjele pora po veličini na slici 3 pokazuju da sve ispitivane membrane u gornjem sloju imaju dvije vrste pora različitih dimenzija. Na površini membrana tipa HR prevladava udio populacije malih pora veličine oko 0,25 nm, dok na površini ostalih membrana prevladava udio većih pora. To su za membrane tipa ULP pore veličine od 0,50 nm, dok je najveći broj pora na površini membrana TS80 grupiran oko promjera 0,8 nm. Iz raspodjelnih krivulja proizlazi da će najbolja separacijska svojstva imati membrane tipa HR, nešto slabije će otopljene tvari zadržavati membrane ULP, dok će separacijske sposobnosti membrana TS80 biti najniže.



Slika 3. Raspodjele pora po veličini u ispitivanim membranskim uzorcima

Za ukupnu poroznost membrane važan je i “efektivni” (aktivni) broj pora na gornjoj površini membrane, parametar koji se također izračunava pri karakterizaciji poroznosti [6]. Broj pora N dobiven je iz omjera:

$$N = PR_{\text{exp}}/Z$$

u kojem je Z = protok kroz prosječnu poru gornjeg sloja membrane (l/h), a taj se podatak dobije iz temeljnih veličina (volumen, brzina prijenosa tvari, koncentracija otopljene tvari na izlazu pore) za jednu poru i uprosječivanjem pri čemu se uzima u obzir eksperimentalnom rezultatu “najbolje prilagođeni” (the best fit) skup pora.

Izračunati podatci za efektivni broj pora N po jediničnoj površini membrane dani su u drugom stupcu tablice 2. Izrazito najveći broj pora imaju membrane tipa HR, broj pora u membranama tipa ULP znatno je manji, dok membrane tipa TS80 imaju efektivno najmanji broj pora u površini.

Tablica 2. Protok permeata, broj pora i separacija modelnih anorganskih i organskih tvari

	PR_{exp} l/m^2h	N $10^{16}/m^2$	$R_{NaCl,300}$	$R_{CaCl_2,300}$	R_{glicerol}	R_{dioksan}
HR-4	71,80	120,88	0,980	0,990	0,924	0,945
HR-5	78,41	144,14	0,977	0,992	0,922	0,938
ULP-3	38,94	39,45	0,926	0,914	0,881	0,892
ULP-4	37,20	38,59	0,932	0,908	0,879	0,872
TS80-4	19,35	5,568	0,899	0,961	0,837	0,844
TS80-5	25,68	6,633	0,857	0,958	0,781	0,778

Ponašanje membrana pri ispitivanju s modelnim otopinama

U tablici 2. prikazani su separacijski koeficijenti dobiveni membranskom separacijom modelnih binarnih otopina s otopljenom anorganskom ili organskom tvari. Kao što se na temelju prije određene poroznosti moglo očekivati, najbolju separaciju modelnih otopina pokazale su membrane tipa HR. Separacijski koeficijenti svih ispitivanih tvari za te su membrane najviši i međusobno se tek malo razlikuju, što govori o kvalitetnom, standardiziranom proizvodu. Separacijski koeficijenti za anorganske soli u pravilu su viši od onih za organske tvari, pri čemu treba uočiti da je R_{NaCl} tek malo niži od R_{CaCl_2} . To znači da se mehanizam separacije osniva isključivo na dimenzijama pora.

Membrane tipa ULP po očekivanju pokazuju nižu separaciju svih modelnih otopina od vrijednosti dobivenih za HR membrane. I tu se očigledno radi o membranama koje separiraju tvari isključivo na temelju dimenzije pora. Neočekivane razlike pojavljuju se pri separaciji anorganskih soli, gdje se očekivala nešto bolja separacija većeg iona Ca^{2+} u odnosu na Na^+ , a ne obratno.

U skladu s veličinskom distribucijom pora membrane TS-80 pokazuju najniže separacijske vrijednosti i za otopine NaCl, i za otopine glicerola i dioksana. Jedino im je visoka vrijednost R za otopine CaCl_2 . Taj podatak očigledno govori da membrane nose električki naboj, djelovanje kojega je to izraženije što je veći naboj iona kojeg membrana treba zadržati. Membrana jače odbija ione kalcija od iona natrija, što znači da separacija kalcija ne ovisi samo o dimenziji pora, već i o elektrostatskim silama. To je tipično za nanofiltracijske membrane koje se pretežno rabe za mekšanje vode.

Ponašanje membrana pri ispitivanju s otopinama petrokemikalija

U tablici 3 prikazani su rezultati membranske separacije vodenih otopina petrokemikalija. Rezultati su netipični i ne mogu se jednostavno protumačiti. Pojava nekih iznenađujućih podataka opravdava provedena mjerenja, jer je očigledno da se ponašanje membrana pri separaciji različitih tvari ne može uvijek predvidjeti, već da neke podatke treba dobiti pokusima. Pri tumačenju tih rezultata treba uzeti u obzir i druge separacijske mehanizme, osim filtracijskog, tj. odnosa efektivne veličine molekula prema veličini pora u membrani. Sigurno će npr. važnu ulogu igrati i sličnost kemijskih svojstava membranskog materijala i otopljenih molekula koje treba zadržati.

Tablica 3. Separacijski koeficijenti, R, otopina nekih petrokemikalija

	N $10^{16}/\text{m}^2$	formaldehid	etilenglikol	2-butanon	etilacetat	2,4,6- triklorfenol
HR-4	120,88	0,278	0,582	0,588	0,672	0,921
HR-5	144,14	0,270	0,555	0,496	0,642	0,927
ULP-3	39,45	0,319	0,624	0,637	0,748	0,785
ULP-4	38,59	0,296	0,622	0,578	0,754	0,801
TS80-4	5,568	0,189	0,398	0,679	0,471	0,770
TS80-5	6,633	0,138	0,330	0,622	0,439	0,637

Ponašanje membrana pri ispitivanju s otopinama pesticida i drugih onečišćenja

Ponašanje membrana pri separaciji modelnih otopina služi i pri tumačenju rezultata membranske separacije pesticida iz vode (tablica 4).

Tablica 4. Separacijski koeficijenti nekih pesticida

	N $10^{16}/\text{m}^2$	R, triadimefon	R, atrazin	R, MCPA	R, propham
HR-4	120,88	0,942	0,980	0,957	0,968
HR-5	144,14	0,902	1,000	0,915	0,968
ULP-3	39,45	0,895	0,906	0,915	0,920
ULP-4	38,59	0,674	0,887	0,872	0,875
TS80-4	5,568	0,518	0,916	0,922	0,843
TS80-5	6,633	0,644	0,707	0,901	0,355

Separacijski se rezultati međusobno dosta razlikuju zbog različite veličine, strukture i svojstava molekula pesticida. Separacijsko ponašanje membrane jednoznačno je ako se radi o mehanizmu separacije temeljenom na veličini pora membrane. To je primjer s membranama tipa HR koje gotovo potpuno zadržavaju velike molekule atrazina i profama. Suprotni je slučaj s membranama TS80, gdje se u procesu miješaju različiti mehanizmi separacije.

Ponašanje membrana pri reverzno osmotskoj obradbi prirodnih voda za piće

Na kraju su membranski obrađene tri prirodne vode namijenjene piću, voda akumulacije Butoniga, Buzet, voda akumulacije Jezero, Krk, te voda Vodovoda, Osijek. Rezultati su ilustrirani u tablicama 5. i 6.

Rezultati u tablici 5 gdje se radi o zadržavanju ukupno otopljenih tvari (TDS) i tvari koje čine tvrdoću vode pokazuju vrlo dobre separacijske rezultate svih membrana. Iz vode akumulacije Jezero s otoka Krka na membranama su gotovo potpuno zadržani otopljeni sastojci (TDS) i tvari što čine tvrdoću vode.

Tablica 5. Koeficijenti zadržavanja, R, sastojaka prirodnih voda

	Butoniga		Jezero, Krk		Osijek	
	TDS	Uk.tvrdoća	TDS	Uk.tvrdoća	TDS	Uk.tvrdoća
Ul.voda, mg/l	266	222,7	80	225	58,4	300
HR-4	0,912	0,983	0,981	1,000	0,925	0,993
HR-5	0,956	0,989	0,988	1,000	0,966	0,993
ULP-3	0,985	0,964	0,972	0,956	0,884	0,953
ULP-4	0,820	0,937	0,968	0,937	0,983	0,950
TS80-4	0,977	0,991	0,988	1,000	0,918	0,993
TS80-5	0,857	0,991	0,988	1,000	0,894	0,987

U tablici 6. uspoređene su vrijednosti apsorbancije A_{254} , tj. apsorpcije ultravioletnog svjetla pri 254 nm za ispitane prirodne vode namijenjene piću. Vrijednost apsorbancije A_{254} , naime, neizravni je pokazatelj sadržaja specifičnih organskih tvari (humusne tvari, lignin, tanin) u vodi za piće [6].

Tablica 6. Membransko zadržavanje humusnih tvari iz modelne vode i iz prirodnih voda za piće

	Mod.otopina	A ₂₅₄ (Butoniga)		A ₂₅₄ (Krk)		A ₂₅₄ (Osijek)	
	R		R		R		R
Ulazna otopina		0.0644		0.145		0.136	
HR	0,873 0,883	0.0103 0.0034 0.0074	0.840 0.947 0.885	0 0	1.000 1.000	0.023 0.011	0.831 0.919
ULP	0,873 0,883	0.0089 0.0090	0.862 0.860	0 0	1.000 1.000	0.014 0.018	0.897 0.868
TS80	0,744 0,836	0.0103 0.0034 0.0074	0.840 0.947 0.885	0.012 0.006	0.917 0.959	0.017 0.010	0.875 0.926

Rezultati pokazuju da je početna apsorbancija, dakle i sadržaj humusnih tvari različit za svaku prirodnu vodu. Zadržavanje humusnih tvari iz modelnih voda (prvi stupac) vrlo je visoko. Nešto slabije zadržani su tek organski sastojci na membranama TS80. I zadržavanje humusnih tvari iz prirodnih voda je vrlo visoko, najviše za vodu s Krka i to na svim ispitanim membranama. Nešto je niža separacija organskih tvari osječke vode, što se pripisuje drukčijim humusnim tvarima u svakoj vodi.

Reverzno osmotske membrane tipa HR i ULP ne zadržavaju humusne tvari bitno bolje od nanofiltracijskih membrana, jer elektrostatsko djelovanje naboja na TS80 membranama kompenzira bolju poroznu strukturu HR i ULP membrana.

Zaključci

Postupkom membranske separacije uz primjenu membrana definirane poroznosti ispitano je uklanjanje prirodnih i sintetskih organskih tvari iz voda za piće.

Postignuti su zadovoljavajući rezultati uklanjanja pesticida i nešto slabije zadržavanje otopljenih petrokemikalija. Za mehanizam separacije pesticida uz svojstva upotrijebljenih membrana važne su i razlike u strukturi i svojstvima molekula ispitivanih pesticida. Ponašanje otopljenih petrokemikalija pri membranskoj separaciji ne može se predvidjeti iz podataka o poroznosti membrana. Stoga je nužno eksperimentalno određivanje ponašanja membrana.

Zadržavanje humusnih tvari iz modelnih voda na svim je membranama veće od 80 %. Uklanjanje humusnih tvari iz prirodnih voda također je veće od 80 %, što obećava uspješnu primjenu tlačne membranske separacije pri obradbi voda za piće. Zadržavanje humusnih tvari na RO membranama tipa HR i ULP nije bitno bolje od onog na nanofiltracijskim (električki nabijenim) membranama.

Literatura:

1. Amjad Z. (ur.): Reverse Osmosis: Membrane Technology, Water Chemistry and Industrial Applications, Van Nostrand Reinhold, New York 1993
2. Fu P., Ruiz H., Lozier J., Thompson K., Spangenberg C., A pilot study on groundwater natural organics removal by low-pressure membranes, *Desalination* **102**, 47-56 (1995)

3. Ericsson B., Tragardh G., Treatment of surface water rich in humus - Membrane filtration vs. conventional treatment, *Desalination* **108**, 117-128 (1996)
4. Ericsson B., Hallberg M., Wachenfeldt J., Nanofiltration of highly colored raw water for drinking water production, *Desalination* **108**, 129-141 (1996)
5. Kaštelan-Kunst L., Dananić V., Kunst B. i Košutić K., Preparation and porosity of cellulose triacetate reverse osmosis membranes, *J. Membrane Sci.* **109**, 223 (1996).
6. Eaton A.D., Clesceri L.S., Greenberg A.E. (ur.): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, Amer.Public Health Ass., Washington D.C., 1995. str. 5-60

Autor:

Mr.Krešimir Košutić, dipl.inž., Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, 10000 Zagreb, Marulićev trg 20, p.p. 177



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.36.

Neki aspekti funkcioniranja, financiranja i povrata troškova izabranih vodovoda u F BiH

Demil Fejzić, Dragana Ćulibrk, Dževad Koldžo, Ranko Tica, Branko Vučijak

SAŽETAK: U okviru Projekta institucionalnog jačanja sektora voda Federacije Bosne i Hercegovine, provodi se i pilot projekat unapređenja tehničkog funkcioniranja i menadžmenta u vodosnabdijevanju na nivou komunalnih poduzeća, općina i kantona. U odabrane tri općine – Bihać, Livno i Zenica, projekat se provodi u četiri koraka, i to:

1. Smanjenje neobračunatih količina vode, u koje spadaju fizički gubici, neizmjerena potrošnja, nelegalni priključci i neobračunata potrošnja;
2. Poboljšanje finansijskog menadžmenta, korištenjem software-a razvijenog na osnovu posebnog finansijskog modela;
3. Mapiranje – digitaliziranjem postojećih mapa distributivne mreže, da bi se dobio GIS, koji se koristi za upravljanje katastrom kućnih priključaka i druge potrebe; te
4. Mjerenje potrošnje vode, koje uključuje velike, zonske vodomjere i zamjenu ili instaliranje potrošačkih vodomjera

Projekat je u toku, pa se u radu iznose neka interesantna poređenja sa zapadno-europskom praksom i do sada postignuti rezultati.

Some Aspects of Functioning, Financing and Payback for Selected Water Supply Systems in the Federation of Bosnia and Herzegovina

SUMMARY: A pilot project for improvement of technical functioning and management in water supply sector on the level of municipal utilities, municipalities and cantons is being conducted within the framework of the Project for Institutional Enhancement of the Water Resources Sector in the Federation of Bosnia and Herzegovina. In three selected municipalities - Bihać, Livno and Zenica - the project is implemented in four steps, i.e.

1. Reduction in unaccounted for water quantities which fall among physical losses, unmeasured consumption, illegal connections and unbilled consumption;
2. Improvement in financial management by use of software developed on the basis of a special financial model;
3. Mapping - by digitalization of the existing distribution grid maps for GIS to be used in management of services register and for other needs;
4. Water consumption metering, including master area water meters and replacement or installation of domestic water meters.

The project is in progress and the paper presents some interesting comparisons with the West European practice and the results achieved so far.

1. Uvod

1.1. Projekat "Institucionalnog jačanja sektora voda u F BiH"

Projekat "Institucionalnog jačanja sektora voda u F BiH" pokrenut je i financiran od strane EU za teritoriju Federacije Bosne i Hercegovine. Za implementaciju Projekta bile su zadužene kompanije Placentar iz Finske i BCEOM iz Francuske, kao strane ekspertne kuće iz ove oblasti, i Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, kao domaća konsultantska kompanija. Projekat se realizirao u periodu maj 98. – maj 99. obuhvativši tri kantonalna centra u F BiH : Bihać kao centar Unsko-Sanskog kantona; Zenica kao centar Zeničko-Dobojskog kantona i Livno kao centar Herceg-Bosanskog kantona.

1.2. Obim radova Projekta

Projektom "Institucionalnog jačanja sektora voda u F BiH" razmatrane su tri osnovne oblasti koje su dominantne pri radu Organizacija iz oblasti vodosnabdjevanje i upravljanja vodama

- ekonomsko poslovanje i financiranje
- zakonodavne osnove poslovanja
- tehnička opremljenost i obučenosť poslovanja

Globalno gledajući, oblast ekonomskog poslovanja i financiranja te oblast zakonodavnog poslovanja Organizacija iz oblasti vodosnabdjevanje i upravljanja vodama definirana je Zakonom o vodama F BiH. Ove dvije oblasti razmatrane su na nivou F BiH i kao poseban segment obrađene su ovim Projektom s prijedlogom institucionalnog jačanja. Oblast tehničke opremljenosti i obučenosť poslovanja razmatrana je na odabranim kantonalnim centrima zbog svoje specifičnosti. Tema ovog referata "Neki aspekti funkcioniranja, financiranja i povrata troškova izabranih vodovoda u F BiH" je upravo iz ove oblasti Projekta "Institucionalnog jačanja sektora voda u F BiH".

1.3. Ciljevi Projekta

Ciljevi Projekta – Utvrditi načine i metode da Sektor voda u F BiH zadovolji Europske standarde poslovanja u ovoj oblasti.

2. Tehnička opremljenost i obučenosť poslovanja

2.1. Uvod

Oblast tehničke opremljenosti i obučenosť poslovanja razmatrana je u kantonalnim centrima – Bihać, Livno i Zenica tj. organizacijama za vodosnabdjevanje svakog od centara.

- Bihać – Javno komunalno preduzeće "Komrad"
- Livno – Javno poduzeće "Komunalno"
- Zenica – Javno preduzeće "Vodovod i kanalizacija"

U svakom kantonalnom centru odabrano je područje grada koje se moglo izdvojiti iz sistema vodosnabdjevanja u cilju sagledavanja ukupne potrošnje vode. Ti dijelovi grada proglašeni su Pilot zonama.

2.2. Opis Pilot zona odabranih gradova Bihaća, Livna i Zenice

Bihać – Odabrana Pilot zona grada Bihaća zove se "Ozimice I" i locirana je u neposrednoj blizini centra grada. Pilot zona snabdjeva se vodom pomoću dva glavna distributivna cjevovoda prečnika \varnothing 300 mm i \varnothing 100 mm. Transport vode cjevovodom \varnothing 300 mm je gravitacioni od rezervoara za vodu "Komarac" koji se nalazi na lokaciji izvorišta "Klokot" dok je transport cjevovodom \varnothing 100 mm tlačni od pumpne stanice "Klokot" na istoimenom izvorištu. U Pilot zoni nalazi se 487 vodomjera malih i srednjih potrošača i 27 vodomjera velikih potrošača – ukupno 514 vodomjera tj. mjernih tačaka potrošnje vode.

Livno – Odabrana Pilot zona grada Livna zove se "Stara Čaršija" i locirana je u samom centru grada. Pilot zona snabdjeva se vodom pomoću jednog glavnog distributivnog cjevovoda prečnika \varnothing 150 mm. Transport vode je gravitacioni od rezervoara za vodu "Stara Čaršija" koji se nalazi na lokaciji izvorišta "Duman". U Pilot zoni nalazi se 290 vodomjera malih i srednjih potrošača i 28 vodomjera velikih potrošača – ukupno 318 vodomjera tj. mjernih tačaka potrošnje vode.

Zenica – Odabrana Pilot zona grada Zenice zove se "Odmut i Jalija" i locirana je u širem centru grada. Pilot zona snabdjeva se vodom pomoću jednog glavnog distributivnog cjevovoda prečnika \varnothing 250 mm. Transport vode je gravitacioni od rezervoara za vodu "Crkvice" koji se nalazi na lokaciji Uređaja tretmana vode za piće koji vodu dobiva sa izvorišta "Babina Rijeka". U Pilot zoni nalazi se 155 vodomjera malih i srednjih potrošača i 30 vodomjera velikih potrošača – ukupno 185 vodomjera tj. mjernih tačaka potrošnje vode.

2.3. Organizacija poslovanja Javnih komunalnih poduzeća.

Javno komunalno poduzeće "Komrad" iz Bihaća i Javno poduzeće "Komunalno" iz Livna objedinjuju niz komunalnih aktivnosti kao što su : vodovod i kanalizacija, odvoz smeća, parkovi i zelenilo, pijaca, organizovanje ukopa umrlih itd. Poduzeća su organizovana po sektorima djelovanja s tim što su im Opšte službe zajedničke.

Javno preduzeće "Vodovod i kanalizacija" iz Zenice istupilo je iz Javnog komunalnog poduzeća "Komrad" i kao samostalno poduzeće zaduženo je samo za oblast vodosnabdjevanja i oblast kanalizacije. Opća služba je na nivou Poduzeća i pokriva samo njegove djelatnosti.

2.4. Zatečeno stanje vodovodne mreže u pilot zonama

Generalno, u svim Pilot zonama odabranih gradova zatečeno stanje vodovodne mreže s svim pripadajućim objektima i opremom je u veoma lošem stanju. Vodovodna mreža nije održavana dug niz godina niti je provjeravana njena tehnička ispravnost. Razlog tome je destrukcija koja se dogodila u prethodnom periodu na ovim područjima i koja nije dozvoljavala pravilno tehničko održavanje sistema vodosnabdjevanja a nakon toga nedostatak sredstava, opreme i obučeni kadrova pospješilo je da se taj trend nastavi.

Snabdjevanje krajnjih potrošača vodom vrši se uz enormne gubitke u vodovodnoj mreži, potrošnja korisnika ne vrši se na odgovarajući način zbog veoma lošeg stanja vodomjera u kojem se nalaze / ispravnost rada vodomjera nije se kontrolisala dugi niz godina. Ispravnost rada vodomjera dovodi se u pitanje i zbog čestih redukcija i kvarova na dovodnoj mreži što prouzrokuje blokadu rada usljed zaprljanja.

2.5. Zatečena tehnička opremljenost i obučenosť u poslovanju.

U ovom momentu niti jedno Javno komunalno poduzeće ne može udovoljiti postavljenim zadacima po tehničkoj opremljenosti kojom raspolaže. Uposleno osoblje kadrovski je spremno održavati postojeće stanje međutim nije spremno da prihvati nove tehnologije koje su im na raspolaganju i nije obučeno da koristi opremu koju su dobili kroz razne oblike donacija. Sredstva s kojima raspolažu ne dozvoljavaju Javnim komunalnim poduzećima da prevaziđu ove probleme.

Problemi nastaju počevši od neredovne isporuke vode krajnjim korisnicima, nemogućnosti evidentiranja i ažuriranja potrošnje te nemogućnosti naplate utrošene vode čime se obezbjeđuju sredstava za normalno tržišno poslovanje.

3. Aspekti funkcioniranja, financiranja i povrata troškova

3.1. Uvod – Pregled tehničkih ciljeva Pilot komponenti

Trenutna situacija ukazala je na slijedeće predmete razmatranja:

- smanjenje trenutnih troškova komunalnih usluga
- bolja praksa upravljanja sustavom vodosnabdjevanja
- generalno upravljanje u pogledu pokrivenosti troškova (obračun – naplata)
- odnos s potrošačima na bazi Potrošačkih ugovora, zakonska načela raspodjele vode unutar zgrada itd.
- iskustvo podugovaranja
- ostala načela rukovođenja

3.2. Smanjenje trenutnih troškova komunalnih usluga

U pogledu pokrivenosti troškova, alternativa prilagođenju tarife za vodu je bilo smanjenje nepotrebnih troškova koji se javljaju zbog enormno velikih gubitaka vode u distributivnoj mreži.

Plan smanjenja gubitaka tj. plan smanjenja neobračunate i nenaplaćene vode razrađen je sa 3 slijedeća cilja

- jednostavna metoda i obuka uposlenog osoblja
- ulaganje u novu opremu
- jednostavna reprodukcija i održavanje

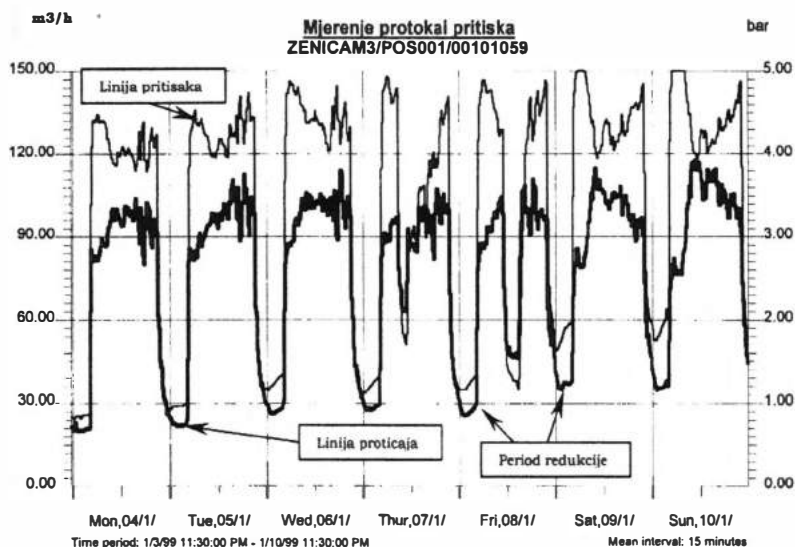
Princip Plana smanjenja za neobračunatu vodu zasnovao se na podjeli sustava vodosnabdjevanja u različite zone uzimajući u obzir zone pritisaka i poštujući bezbjedno snabdjevanje vodom potrošača zajedno s protupožarnom zaštitom. Na prijedlog komunalnih poduzeća odabrana je po jedna zona iz svakog grada nazvana kao Pilot zona.

Princip rada sastojao se od izolacije Pilot zone zatvaranjem graničnih zatvarača i praćenjem ulaznog proticaja u mrežu Pilot zone kontrolnim mjeračem protoka koji je dozvoljavao vršne proticaje bez značajnih gubitaka i praćenjem pritisaka sa nizvodne strane mjerača protoke. U tu svrhu nabavljena je slijedeća oprema

- turbinski mjerač protoke proizvođača "Meinecke" s mogućnošću priključka pulsno instrumenta za zapis proticaja
- sonda za mjerenje pritisaka u rasponu 0-10 bar-a.

- mobilni instrument za zapis izmjerenih vrijednosti proticaja i pritiska tipa COSMOS-DATA LOGGER proizvođača "Meinecke"

Navedena oprema omogućila je kontinualno praćenje promjene proticaja i pritiska tokom vremena i njihovu grafičku predstavu kao na slijedećim dijagramima



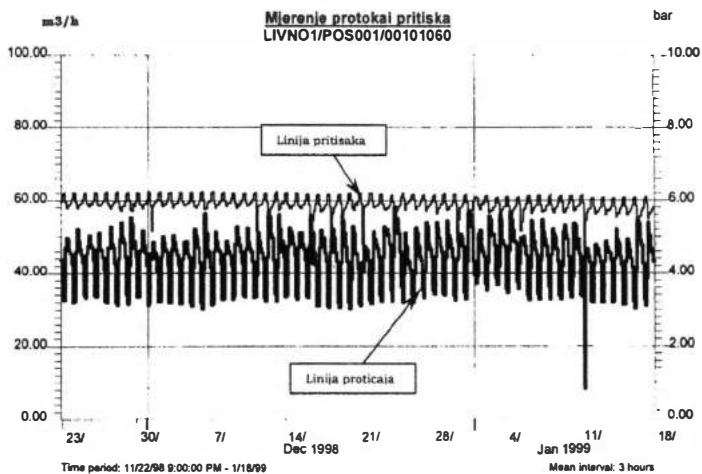
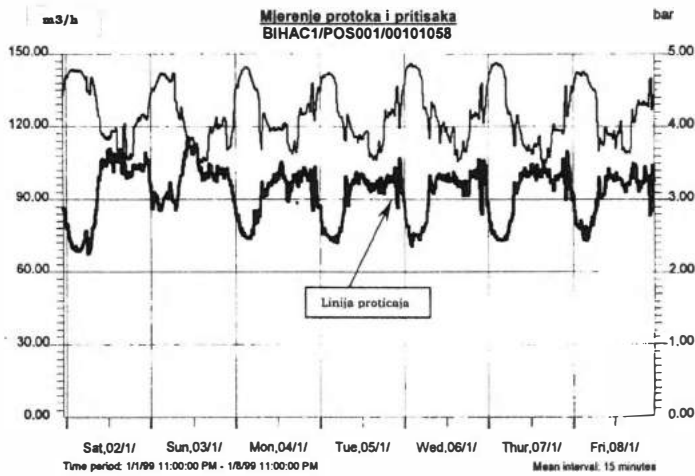
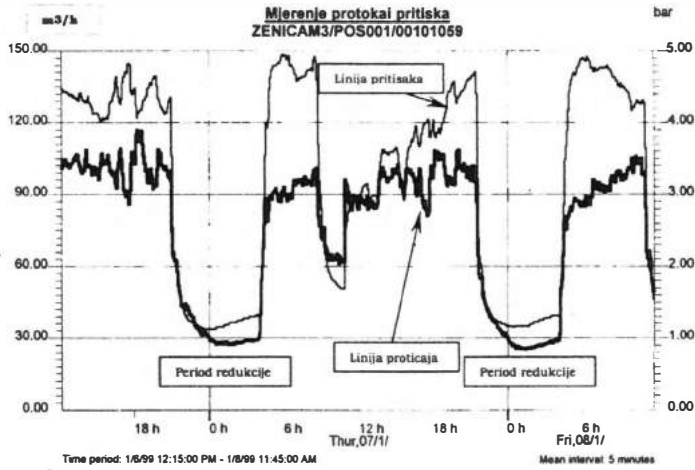
Iz dijagrama se može vidjeti da se promjena proticaja, zapravo promjena potrošnje vode u Pilot zonama kao i promjena pritiska na ulazu u Pilot zone mogla kontinualno mjeriti u raznim vremenskim intervalima-od jednog dana pa do nekoliko mjeseci. Za odabrane vremenske periode automatski se dobivaju analitičke vrijednosti maksimalnog i minimalnog proticaja, tj. pritiska, srednja vrijednost za odabrani period kao i ukupna potrošnja/proticaj. Na ovaj način mogli su se dodijeliti atributi tj. koeficijenti Pilot zonama kojima su se određivali stepeni funkcioniranja za pojedine segmente razmatranja.

3.3. Koeficijenti funkcioniranja Pilot zona

Prvi koeficijent koji se može dobiti direktno iz dijagrama i koji se može dosta precizno mjeriti zove se "efikasnost sustava"

$$\text{Efikasnost sustava} = \frac{\text{Potrošnja vode}}{\text{Dotok vode}} = 1 - \frac{\text{Gubici vode}}{\text{Dotok vode}}$$

Prva mjerenja provedena u Pilot zonama pokazala su slijedeće: Efikasnost sustava za Bihać iznosio je 20%, Livno 30% i Zenicu 28% tj. gubici vode u vodovodnoj mreži u Bihaću su iznosili 80%, Livnu 70% i Zenici 72%. Gubici u razvodnoj vodovodnoj mreži mogu se podijeliti na gubitke nastale u primarnoj mreži, gubitke sekundarne mreže – ogranci i priključci i gubitke koji se javljaju u kućnim instalacijama unutar objekata. Dodatnim mjerenjima ustanovilo se da su glavni gubici u Bihaću na kućnim instalacijama unutar objekata dok su u Livnu i Zenici glavni gubici na primarnoj razvodnoj mreži.



Drugi koeficijent je odnos mjerenja potrošnje vode putem vodomjera potrošača u odnosu na ukupnu potrošnju registrovanu mjeračem protoka

$$\text{Odnos mjerenja} = \frac{\text{Izmjerena potrošnja vodomjerima}}{\text{Dotok vode}}$$

Prikupljanje podataka za proračun drugog koeficijenta je upravo u toku tako da se do momenta pisanja teksta nisu mogli dati konkretni podaci za pojedine Pilot zone. Naredna dva koeficijenta odnose se na efikasnost obračuna i naplate

$$\text{Odnos izdavanja računa} = \frac{\text{Obračunata voda}}{\text{Dotok vode}} \quad ; \quad \text{Odnos plaćanja} = \frac{\text{Naplaćena voda}}{\text{Dotok vode}}$$

U cilju što tačnijeg utvrđivanja zadnja tri koeficijenta u svim Pilot zonama zamijenjeni su vodomjeri svim potrošačima. Prikupljanje podataka za proračun koeficijenata još uvijek je u toku. Ovi koeficijenti ukazaće na količine neobračunate vode, na količine neizmjerene potrošnje kroz nelegalne priključke i neobračunatu potrošnju.

Rezime: Komunalna poduzeća kantonalnih centara aktivno su uzela učešća u implementaciji projekta u osposobljavanju kadra da prihvati novi način poslovanja i rukovođenja.

4. Uloga GIS-a u upravljanju Poduzećima za vodosnabdjevanje i u sektoru voda općenito

Projekat "Institucionalno jačanje sektora voda u Federaciji Bosne i Hercegovine" sadrži i segment jačanja poduzeća za vodosnabdjevanje (Komunalna poduzeća ili Vodovod) u tri odabrane pilot zone – Bihać, Livno i Zenica. Komrad Bihać, Komunalno poduzeće Livno i Vodovod Zenica su u periodu maj / svibanj 1999. predmet detaljnih studija koje bi trebale rezultirati boljim upravljanjem, uvođenjem novih alata za pomoć o odlučivanju, sigurnijim snabdjevanjem sa manjim gubicima te uopće stabilnijim finansijskim poslovanjem.

Jedno od suvremenih oruđa za prikupljanje, pohranu, ažuriranje i uopće upravljanje ovakvim tipom podataka je i GIS – geografski informacijski sustav. On u sebi objedinjuje grafičke podatke kakve sadrže karte sa ucrtanom vodovodnom mrežom sa svim svojim detaljima, ali i tekstualne podatke koji opisuju stanje te mreže.

U periodu 27.01. – 04.02.1999 godine na Institutu za hidrotehniku je, u organizaciji Placentra iz Finske, BCEOM-a iz Francuske i Instituta za hidrotehniku iz Sarajeva, održana obuka za uporabu jednog od takvih alata pod nazivom AutoCAD MAP. Sva tri pomenuta poduzeća za vodosnabdjevanje su na ovu obuku uputila po dva svoja radnika čiji bi zadatak ubuduće bila organizacija prikupljanja, računarska pohrana, ažuriranje podataka te naravno izrada željenih izvješća, sve u cilju donošenja ispravnih odluka u budućem upravljanju ovim sustavima.

Polaznici obuke su naučeni slijedećem:

- Kako manipulirati skeniranim kartama kao podlogama za unos objekata GIS-a
- Šta je geokodirana karta i kakva je njena pozicija
- Šta je koordinatni sustav

- Kako unositi grafičke objekte u GIS
- Kako definirati internu ili vanjsku bazu podataka koja će se vezati za grafičke podatke
- Kako se vrši unos podataka u tako definiranu bazu podataka
- Kako se definira, zapisuje i izvršava upit nad postojećom bazom podataka

Drugi veoma značajan dio GIS-a kao alata je samo prikupljanje podataka – potrebno je veoma precizno odrediti koji su željeni podaci koji bi se pohranjivali u ovakvom sustavu, u kakvom formatu, sa kojom tačnošću itd. Na ovu temu se održava poseban trodnevni workshop u organizaciji IBG iz Švicarske, odnosno njegovog ureda u Bihaću, koji već duže radi na razvoju GIS-a u Unsko-Sanskom kantonu.

Prvi rezultat ovakvog rada u odabranim poduzećima će svakako biti ažurirane karte i do ovog rezultata se može veoma brzo doći. Novoformirani odjeli će ubuduće biti sami u mogućnosti da izrađuju karte različitih razmjera i područja, te dopunjuju precizne radne skice podacima od interesa.

Svakako treba pomenuti i mogućnost dobijanja podataka o kvaliteti mreže i njenih elemenata – materijalu cijevi, starosti, broju registriranih kvarova u posljednje vrijeme, promjeru itd. Selekcijom grafičkog prikaza tako je npr., moguće dobiti kartu u kojoj su prikazani samo oni cjevovodi koji su stariji od 40 godina i rađeni su od azbest cementa ili su imali više od tri kvara u zadnjih 5 godina – ovakva vizuelna (grafička) zajedno s tekstualnom informacijom može mnogo pomoći pri odlučivanju o novim investicijama, bilo da su u pitanju posve novi objekti ili da se želi pristupiti djelomičnoj rekonstrukciji.

Ovakva poduzeća već imaju određene podatke, najčešće financijske prirode, o mreži – npr. kakvo je stanje naplativosti, koji ugrađeni vodomjeri su ispravni, koji tipovi vodomjera su na pojedinim lokacijama ugrađivani i sl. Važno je pomenuti da se i ovi podaci mogu vezati za GIS – naime odabranim ključnim podatkom se svi pomenuti podaci mogu i precizno locirati i na karti i time dobiti jedan novi, viši kvalitet i uporabnost.

Sve ovo ukazuje na značaj uvođenja GIS-a kao alata u sektoru voda. Naravno on nije namjenjen samo Poduzećima za vodosnabdjevanje, već svoje mjesto mora pronaći i na globalnom nivou u Federaciji BiH – druge informacije će biti u pitanju, ali je logika sustava gotovo ista.

Literatura

Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu – Mjesečni izvještaji za Upravljački komitet 1998 –1999

Proizvođački katalozi kompanije Meinecke za korištenu opremu

Autori (koautori):

Đemil Fejzić, dipl.ing.građ., Dragana Ćulibrk, dipl.ing.građ., Dževad Koldžo, ing.građ., Ranko Tica, dipl.ing.elek., Mr.Branko Vučijak, dipl.mat.

Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta, Univerziteta u Sarajevu, Stjepana Tomića br. 1, 71000 Sarajevo; Bosna i Hercegovina



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

R 4.37.

Obnova objekata vodoopskrbe na drniškom i biogradskom području

Zoran Jakelić

SAŽETAK: U članku se daje prikaz aktivnosti na obnovi i dogradnji vodozahvata i crpnih stanica “Biba” i “Turanjsko jezero” na biogradskom području, te rekonstrukciji crpne stanice “Čikola” na drniškom području. Za svaki objekt dan je kraći prikaz pripadajućeg vodoopskrbnog sustava, pokazatelja kakvoće i raspoložive količine vode, te osnovne hidrogeološke činjenice. također su dani podaci o vrijednosti radova i opisani zanimljivi detalji izvedbe.

KLJUČNE RIJEČI: Vodoopskrba, vodozahvat, sustav, crpna stanica, obnova, dogradnja

Reconstruction of Water Supply Structures in Drniš and Biograd Regions

SUMMARY: The paper describes the activities on reconstruction and expansion of the water intakes and pumping stations (Biba and Turanjsko Jezero) in the Biograd region, and reconstruction of Čikola pumping station in the Drniš area. For all structures, a brief description is given of a corresponding water supply system, along with water quality and available quantity indices, basic hydrogeological data, the data on value of works and some interesting construction details.

KEYWORDS: water supply system, water intake, system, pumping station, reconstruction, expansion

1. Uvod

Agresija na Republiku Hrvatsku, izazvala je niz drastičnih poremećaja u funkcioniranju infrastrukturnih djelatnosti. Poremećaji su se osobito osjetili na području prometa, opskrbe električnom energijom, te u opskrbi vodom. Ovajm tekst ima za cilj približiti stručnoj javnosti izvedbu radova na nekima od manjih, ali značajnih, objekata vodoopskrbe na području Damacije.

2. Projekt hitne obnove

Republika Hrvatska je 1992. godine zatražila pomoć Svjetske banke u financiranju cjelovite obnove na ratom zahvaćenim područjima. Nakon provedene pripreme 1994. godine potpisan je između Republike Hrvatske i Međunarodne banke za obnovu i razvoj (IBRD) Sporazum o realizaciji Projekta hitne obnove (PHO). Ukupna vrijednost Projekta iznosila je 205.300.000,00 USD, od čega je kreditnim aranžmanom IBRD-a pokriveno 128.000.000,00 USD (IBRD kredit 3760-HR). U cjelini Projekta komponenta obnove

vodoprivrednih objekta iznosila je ukupno 46.550.000,00 USD od čega je na IBRD kredit 3760-HR otpadalo 21.250.000,00 USD. Realizacija projekta povjerena je stručnim službama Hrvatskih voda. Aktivnosti na projektu trajale su u periodu od kraja 1994. do kraja 1997.

3. Rekonstrukcija i izgradnja vodoopskrbnih objekata na biogradskom području

Teška situacija u vodoopskrbi zadarsko-biogradskog područja tijekom Domovinskog rata usmjerila je aktivnosti Hrvatskih voda na manja (tzv. zamjenska) vodocrpilišta u zaleđu Biograda i Zadra.

Prije rata glavno izvorište za opskrbu stanovništva biogradskog područja bilo je izvorište "Kakma". S ovog izvorišta crpilo se 65 l/s vode u vodospremu "Straža" zapremine 4000 m³, odakle je gravitacijom stizala do potrošača u Biogradu, Sv. Filip i Jakovu i okolici. "Kakma" je također davala oko 20 l/s u smjeru Benkovca. Pored "Kakme" u vodoopskrbni sustav bio je uključen i vodozahvat "Biba" odakle je oko 15 l/s teklo gravitaciono do vodospreme "Biograd" zapremine 400 m³, te dalje do potrošača. Nakon oslobođenja biogradskog zaleđa izvršena je sanacija izvorišta "Kakma" i ono je ponovo uključeno u vodoopskrbni sustav.

Pored izvorišta "Kakma" na širem području biogradskog zaleđa od osobitog su značaja četiri manja (zamjenska) vodozahvata; Biba, Turanjsko jezero, Kutijin stan i Begovača. 1995. g. je Institut za geološka istraživanja iz Zagreba za potrebe Hrvatskih voda izveo detaljna hidrogeološka istraživanja. Izvedene su tri istražne bušotine, i to dvije u području vodozahvata Kutijin stan te jedna u području vodozahvata Begovača.

Rezultati su ukazali na to da se vodozahvati Turanjsko jezero, Kutijin stan i Begovača prihranjuju sa istog sliva (sjeverozapadno područje Vranskog polja), dok vodocrpilište Biba pripada odvojenom, manjem slivu Pećina-Biba-Živača. Kao perspektivni vodozahvati ocijenjeni su Turanjsko jezero (pretpostavljeno 30 l/s), Kutijin stan (pretpostavljeno 50-60 l/s) i Biba (pretpostavljeno 25-30 l/s). Na vodozahvatu Begovača uočen je tanak vodonosni sloj od cca 20 m debljine koji leži na izuzetno slanoj vodi, te je stoga ovaj vodozahvat manje interesantan, ali nije odbačen kao izvor pitke vode.

Hidrokemijska mjerenja ukazala su na mjestimična zaslanjenja uzoraka vode, te na visoko prisustvo nitrata, premda još uvijek u dozvoljenim granicama.

Imajući u vidu rezultate istraživanja, a potaknuti katastrofalnim stanjem vodoopskrbe, Hrvatske vode su započele s pripremom izgradnje triju vodozahvata; Bibe, Turanjskog jezera i Kutijinog stana. Projekat je uvršten u POH i dobio je oznaku HV/B/ICB/A1.4.4.4a/01. Natječaj za izvoditelja objavljen je rujna 1995. Ugovor o građenju potpisan je 21.12. 1995. sa tvrtkom "Industrogradnja" Zagreb na iznos od 5.000.000,00 kn (oko 900.000,00 USD). Radovi na izgradnji i rekonstrukciji vodozahvata Biba i Turanjsko jezero su dovršeni u cijelosti, dok radovi na vodozahvatu Kutijin stan nisu realizirani.

Obnova i rekonstrukcija vodozahvata "Biba"

Ovaj vodozahvat smješten je na sjeverozapadnom dijelu depresije Vranskog jezera, u selu Vrana. Radovi na vodozahvatu započeli su 26.02. 1996. Projektom je bilo predviđeno ukloniti sve postojeće objekte izuzev kaptaze, izgraditi vodozahvatnu komoru (podzemni objekt), te nadzemni upravljački objekt. Svi objekti smješteni su na ograđenoj parceli nepravilnog oblika približne površine od 900 m².

Vodozahvatni objekt, tlocrnih dimenzija 10.3 x 5.0 m i dubine 4.5 m, sastoji se od tri dijela, vodozahvatne pretkomore, sabirnog bazena iz koje se crpi voda potopljenim crpkama, te zasunske komore. Nadzemni upravljački objekt, tlocrtna površine 8.5 x 6.0 m i visine u sljemenu 3.6 m, sastoji se od strojarnice, komandne prostorije i prostora za boravak posade, sanitarnog čvora, te prostorija za smještaj opreme za kloriranje i neutralizaciju klora.

Tehnički pregled objekta obavljen je 11.04 1997. godine, nakon čega je izdana uporabna dozvola, Vodocrpilište "Biba" se je odmah po dovršetku uključilo u vodoopskrbu Biograda.

Tlačni cjevovod izgrađen u sklopu vodozahvata opskrbljivat će u budućnosti s 8 l/s vodospremu "Vrana" (nije izgrađena), dok gravitacioni vod, kojim se preko procrpnice "Crkvine" dovodi 20 l/s do vodospreme "Kostelj", opskrbljuje se vodoopskrbni sustav Biograda. Ukupni instalirani kapacitet crpilišta je 28 l/s.

Građevna jama vodozahvatne građevine izvedena je u širokom iskopu što je omogućilo i bolji uvid u raspored izvora. Ustanovljeno je da je raspoloživa količina vode oko 30 l/s (što su i pretpostavila hidrogeološka istraživanja), te da postoji jedan glavni izvor i nekoliko sporednih, raspoređenih oko pet metara lijevo i desno, te metar do dva iznad glavnog izvora. Sporedni izvori nestali su sa smanjenjem dotoka vode sa slivnog područja, dok je glavni izvor bio aktivan svo vrijeme, no sa dosta manjom izdašnošću u ljetnom periodu (5-8 l/s). Glavni izvor je kaptiran starom kaptazom na kojoj nisu vršeni nikakvi radovi, već je glavnina toka vode usmjerena ka novom vodozahvatu umetanjem ACC cijevi DN 300.

Brzina reakcije izvora na promjenu hidrološkog stanja potvrđuje zaključak ispitivanja da se radi o izvoru s relativno malim slivnim područjem jer bi se značajne oscilacije izdašnosti događale unutar nekoliko dana, ovisno o intenzitetu padavina.

Izgradnja vodozahvata "Turansko jezero"

Vodozahvat "Turansko jezero" nalazi se posred Vranskog polja, na mjestu kraškog izvora (lokve) najveće dubine od oko 9 metara. U zimskom periodu dotok u lokvu je velik i iznosi oko 200 l/s, a ljeti dotok prestaje ali se voda zadržava u kavernožnom podzemlju. Hidrogeološko vrednovanje izvora pokazalo je da postoji mogućnost eksploatacije crpljenjem bez opasnosti od povišenja saliniteta zbog precrpljivanja.

Radovi na ovom vodozahvatu počeli su 15.07. 1997., a da bi se mogli nesmetano odvijati bilo je potrebno instalirati bateriju crpki od 160 l/s. Početkom kolovoza nastupio je period najnižeg vodostaja no i tada je bilo potrebno angažirati crpke sa 60-80 l/s kako bi se voda držala na 30 centimetara od dna čime je omogućen strojni široki iskop.

Prilikom pozicioniranja objekta konzultiran je hidrogeolog. Nakon uklanjanja mulja i dokopa na projektiranu kotu od 9 m.nm bilo je moguće precizno locirati najizdašnije izvore. Objekat je izmješten oko tri metra istočnije u odnosu na projektirani položaj kako bi se zahvatila glavnina toka.

Po pozicioniranju objekta izveden je filtarski sloj po dnu jezera, te uz zidove vodozahvata. Izbetonirani su trakasti temelji vanjskih gabarita 6,6 x 3,6 m u kojima su postavljena dva niza barbakana DN 100 mm radi boljeg bočnog procjeđivanja, te dvije kampade zidova upojnog bunara, svaka visine 4 m. Na koti 13,5 m.nm izvedena su dva ACC preljeva DN 800 mm. Podna ploča strojarnice nalazi se na koti 17 m.nm. Iznad upojnog bunara izvedena je prostorija strojarnice vanjskih gabarita 6,6 x 3,6 m, visine 3,6 m. u sljemenu.

Radovi na vodozahvatu dovršeni su početkom listopada 1997. godine. Krajem istog mjeseca održan je i tehnički pregled te ishodaena uporabna dozvola.

Prostor Turanjskog jezera zasut je zemljanim materijalom te je tako formiran ograđeni plato površine 2000 m². Izveden je vodonepropusni glineni sloj debljine 0,5 m. koji onemogućava procjeđivanje padalina izravno u zonu vodozahvata. Da bi se dalo konačno mišljenje o zonama zaštite morat će se provesti dodatna istraživanja.

Ovaj vodozahvat, prema rezultatima crpljenja za vrijeme izvedbe upojnog bunara, te prema rezultatima kemijske analize može davati u ljetnim mjesecima minimalno 40-50 l/s kvalitetne vode, a daljnja preciznija mjerenja će pokazati da li je kapacitet i veći.

Tijekom 1998. godine dovršeni su i radovi na spajanju vodozahvata "Turanjsko jezero" s kakmanjskim cjevovodom, čime se ovaj vodozahvat uključuje u vodoopskrbni sustav Biograda i okolice.

4. Rekonstrukcija crpne stanice "Čikola"

Crpna stanica "Čikola" smještena je neposredno iznad izvora rijeke Čikole, klasičnog kraškog preljeva koji se povlači u ljetnim mjesecima. U vrijeme najveće izdašnosti u vrtači se formira kraško jezerce koje se prelijeva u nekoliko rukavaca, da bi se par stotina metara niže, uz lijevi rub Petrova polja, formirao tok rijeke Čikole.

Maksimalna izdašnost izvora rijeke Čikole procijenjena na 8 m³/s ukazuje na sliv značajnih dimenzija. Sliv zahvaća jugozapadne padine Svilaje a izgrađuju ga propusne karbontne stijene Jursko-Kredne starosti. Podzemna voda se povremeno izljeva na površinu u dodirnoj zoni s barijerom Petrova polja koju izgrađuju lapori Neogena. Barijera je djelomično nepotpuna (viseća) jer dio voda ispod Petrova polja otječe u sliv izvora Pantan (kod Trogira). Povremenost izvora Čikole tumači se ovakvim odnosima u podzemlju.

Vodoopskrbni sustav drniškog područja počivao je na nekoliko nestalnih, sanitarno problematičnih izvora, kao što su Torak (50 l/s u najvećoj izdašnosti) ili Točak (2-5 l/s). Konceptija dugoročnog rješenja vodoopskrbe ne samo Drniša, nego i petropoljskih i miljevačkih sela, predviđala je kaptiranje izvora Čikole, koji je izdašnošću od oko 150 l/s osiguravao dovoljne količine kvalitetne vode. Prije rata dovršena je gradnja c.s. "Čikola" i azbest-cementnog cjevovoda DN 350 mm (južni krak) prema Drnišu i DN 300 mm (sjeverni krak) prema Siveriću, koji su spojeni u prsten. Ovim je riješena vodoopskrba Drniša i sela u Petrovom polju. U 1990-toj godini sustav je potrošačima isporučio 1.000.000 m³ vode.

Odmah je uočeno da, pored područja Petrovog polja, izvor može pokriti potrebu za vodom područja Unešića i dalje prema Kaštelanskoj zagori, te prostor općina Ružić i Muć. Po završetku ratnih djelovanja nastavlja se izgradnja opisanog vodoopskrbnog sustava, čija važnost nadilazi drniško područje, a kojeg je srce obnovljena c.s. "Čikola".

Radovi na crpnoj stanici "Čikola"

Crpna stanica "Čikola" izgrađena je 1987. god. prema projektu "IPZ"-a iz Zagreba. Kako je kaptaža izvora bila problematična zbog oscilacija vodostaja, odlučeno je da se lociraju podzemne kaverne koje su uvijek pune vode, te da se do njih ubuše četiri bušotine. Istražni radovi su locirali povoljnu kavernu visine 1,5 m i širine 4 do 5 m, čiji je položaj uvjetovao smještaj c.s. na uzvisini iznad izvora.

Kapacitet starih crpki marke Pleuger iznosio je 4 x 50 l/s, što je bilo dovoljno za opskrbu Drniša i petropoljskih sela (Kljaci, Ružić, Baljci, Kričke, Otavice). Iz crpne stanice

“Čikola” voda se tlačila u vodospremu “Čikola” zapremine 2000 m³, smještenu neposredno iznad crpne stanice, a odatle gravitacijskim razvodom dovodila u navedena naselja.

Navedene objekte nisu mimoišla ratna razaranja tijekom Domovinskog rata, naročito azbest-cementni cjevovod Čikola - Drniš. Sama crpna stanica “Čikola”, te vodosprema “Čikola” nisu pretrpjele teža građevinska oštećenja, ali je sva elektrooprema i dobar dio strojske opreme bio devastiran i nepopravljivo oštećen.

U ljeto 1994. pripremljen troškovnik obnove c.s. “Čikola” koji je poslužio za izradu tender dokumentacije. Po pribavljanju potrebne prateće dokumentacije (garancije za povrat kredita i sl.) objekat je uvršten u POH i dobio oznaku HV/C/ICB/A1.4.4.1/01.

Radovi na obnovi c.s. počeli su u studenom 1995. god. a završeni su krajem ožujka 1996. god. Izvođač radova bila je šibenska tvrtka “MIAB”, a vrijednost radova iznosila je 1.154.166,48 kn, (233.080,19 USD).

Građevinske štete su sanirane za nekoliko tjedana (popravljeni su svi zatvori, te obnovljena fasada), jer se željelo objekt sačuvati od daljeg propadanja. Kako bi se donekle popravila situacija u vodoopskrbi okolnih naselja, provizorno je montirana jedna od četiri stare crpke, tako da je crpna stanica bila djelomično u funkciji i za vrijeme izvođenja radova.

Kako bi se riješio problemu odstupanja osi bušotina od vertikale, koji se pokazao najdrastičnijim upravo na mjestu pozicioniranja crpki, ugrađene su četiri crpke marke KSB (kapaciteta 50 l/s svaka) sa radijalno-aksijalnim ležajevima. Takvo rješenje omogućava pouzdan rad crpki i u slučaju zakošenja, što je i bio najvjerojatiji položaj potopljene crpke. Za nove crpke izrađeni su posebni čelični kavezi, koji je štite punom duljinom i ne dozvoljavaju nalijevanje bilo kojeg dijela crpke na stijenu. Prije samog potapanja crpki pregledana je video snimka bušotina, te je prema zapaženim pojedinostima prilagođena i tehnika spuštanja. Međutim, i pored svih priprema, neočekivano se naišlo na poteškoću u bušotini br. 1, u kojoj se crpka zbog stijenske prepreke nije mogla spustiti na predviđenu kotu već je postavljena tri metra više. Prilikom izrade upravljačkog softvera ova je činjenica uzeta u obzir, pa je za ovu crpku razrađen poseban režim rada u ljetnom i zimskom periodu.

4. Zaključak

Realizacijom radova putem IBRD kredita 3760-HR uspješno je riješen dio problematike obnove u ratu oštećenih vodoopskrbnih sustava. U planiranju aktivnosti na obnovi posebna se pozornost posvetila stručnoj i tehničkoj ispravnosti rješenja, te dobroj pripremi radova. Stoga ne iznenađuje da su se opisani poslovi na biogradskom i drniškom području izveli korektno i unutar predviđenog roka. Objekti opisani u ovom članku svojim puštanjem u pogon značajno su tome doprinjeli.

Literatura

1. “Idejno rješenje vodoopskrbe naselja općine Drniš uz Petrovo polje” – OVP Split OUR projekt – T.D. 54/85, 1985.
2. “Osiguranje potrebnih količina vode za vodoopskrbu i poljoprivredu na priobalnom području između rijeka Krke i Zrmanje” – JVP “Hrvatska vodoprivreda” OJ Split, 1993.

3. "Zajam IBRD 3760 HR – izvješće o realizaciji" – Hrvatske vode Zagreb , 1997.
4. "Investicijski program izgradnje vodoopskrbnog sustava Ružić i Muć" - Hrvatske vode Zagreb VGO Split, 1996.
5. "Predinvesticijski program izgradnje vodoopskrbnog sustava na području općine Unešić, te na području poćina Prgomet, Lećeveica, Primorski Dolac, Seget i Marina" - Hrvatske vode Zagreb VGO Split, 1997.

Autor:

Zoran Jakelić, dipl.inž.građ, Hrvatske vode VGO Split, Vukovarska 35, 21000 Split



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.38.

Natapanje i održivi razvoj Županije istarske

Zorko Kos

SAŽETAK: Povjesno gledano, Istra je do prije nekih 150 godina isključivo živjela od poljoprivrede, u prvoj polovici ovog stoljeća snažno se razvijaju industrija i rudarstvo, a iza Drugoga svjetskog rata turizam, dostigavši 80-tih godina jednu trećinu ukupnog prometa Hrvatske. Procjenjuje se da će se budućnost razvoja ove županije temeljiti na turizmu i poljoprivredi. Pri tome se turizam mora proširiti na čitav poluotok, a ne samo duž obale (seoski turizam), a poljoprivredu preusmjeriti na tržišno gospodarstvo s proizvodnjom ekološke hrane uz održivi razvoj ne samo vodnog već i ostalih grana gospodarstva.

Da bi se postigli navedeni ciljevi u proteklih 30-tak godina realizirani su veoma zamašni radovi u domeni zaštite od voda korištenja vode i zaštite voda. Izrađene su u dva navrata (1979. i 1998.) i kompleksne studije za razvoj natapanja svih podobnih poljoprivrednih površina. Realizacijom toga plana bitno bi se poboljšala demografska struktura i zaposlenost, u unutrašnjosti poluotoka, gdje se napučenost još uvijek omanjuje. U referatu se daje prikaz sadašnjeg stanja i mjera za postizanje navedenih ciljeva, a podaci se pretežno temelje na "Planu navodnjavanja za područje istarskih slivova" koji je dovršen koncem 1998. godine.

KLJUČNE RIJEČI: Natapanje, akumulacije, demografski razvoj, gospodarstvo, održivi razvoj, turizam.

Irrigation and Sustainable Development of Istarska County

SUMMARY: Historically, Istria had almost exclusively been agricultural region until some 150 years ago. In the first half of this century, it underwent intensive development in industrial and mining sector, and after the Second World War tourist industry was launched to reach its peak during the eighties (one third of total Croatian tourist industry turnover). Current estimates indicate that its future development shall go in direction of progress in the areas of tourism and agriculture. To achieve that, the tourism should encompass entire Istrian peninsula, not only the coastal belt (rural tourism), and agriculture should be re-oriented towards market economy based on production of eco-food and sustainable development of not only water management but also other sectors of economy.

In order to achieve the specified goals, some comprehensive projects in water protection and water utilization have been undertaken during the last 30 years. Two complex irrigation development studies were prepared (1979 and 1998), which covering all suitable arable land. Implementation of such schemes would considerably improve demographic structure and employment rates in the inland of the peninsula where the population rates are still on decrease. The present paper is an overview of the current status and measures to be undertaken to achieve the set objectives, and the data are mainly based on the Istrian Catchments Areas Irrigation Plan which was finished late in 1998.

KEYWORDS: irrigation, reservoirs, demographic development, economy, sustainable development, tourism.

1. Općenito

Jadransko se more, kao ogranak Sredozemnog, duboko usjeklo u europsko kopno pa mu se sjaverno rubno područje praktički nalazi u središtu Europe. To je osiguralo istarskom poluotoku izuzetno povoljan geopolitički, prometni i gospodarski položaj u srcu Europe. Ako se ovoj činjenici pridruže izuzetno povoljne značajke osnovne fizičke okoline kao što su klima, vodno bogatstvo, reljef i tlo, onda su ispunjeni preduvjeti za veoma intenzivan visokoučinkovit održivi razvoj. Da li i u kojoj mjeri će se ove prednosti i pogodnosti implementirati ovisi isključivo o kvaliteti upravljanja kako na lokalnoj (županijskoj) razini tako i ponajviše središnjih (republičkih) vlasti. Jedna od karika takva moguća razvoja, s tehničko-gospodarskog aspekta, sažeto je prikazana i u ovome radu.

Uzimajući u obzir naprijed navedeno, nema nikakve dvojbe da se u skladu sa svjetskim trendovima, osnovna poluga budućeg razvoja ove županije nalazi u skladnom održivom razvoju turizma i poljoprivrede uz promet (pomorski i kopneni) kao glavnu infrastrukturu. K tome cilju izrađen je i Plan navodnjavanja za područje istarskih slivova kao jedna od neophodnih podloga za održivi razvoj poljoprivrede. U nastavku će dati kratak prikaz kako dosadašnjeg razvoja tako i sadašnjeg stanja ove grane.

2. Dosadašnji razvoj

Istarski poluotok zaprema površinu od oko 3.100 km² što čini 4,98 % od ukupne kopnene površine Republike Hrvatske. Najveći je poluotok Jadranskog mora s najrazvijenijim turističkim gospodarstvom koje je 1990. dostiglo 35 % obujma Republike. Osim već spomenutog ovo područje ima i neke druge veoma povoljne značajke za razvoj poljoprivrede u uvjetima natapanja a to su visoki postotak poljoprivrednog tla u onosu na ukupnu površinu (58 % ili 168.424 ha u 1974.); visoki prosjek srednjih godišnjih oborina (1050 mm); velike količine raspoložive vode (u prosjeku oko 500 mil. m³ površinskih i oko 1000 mil. m³ podzemnih voda otječe godišnje u more); relativna blizina planiranih natapnih površina i izvorišta voda; povoljni uvjeti za gradnju akumulacija što osigurava racionalno korištenje vodnog bogatstva, i drugo.

Jedan od bitnih problema razvoja ove županije u drugoj polovici ovog stoljeća je depopulacija unutrašnjosti poluotoka gdje se stanovništvo od pamtivjeka bavilo gotovo isključivo poljoprivredom. Računa se da je u Istri još sredinom 30-tih godina od poljoprivrede živjelo oko 60 % stanovništva (oko 140.000 žitelja) da bi na području županije u 1991. bilo registrirano svega 709 poljoprivrednih gospodarstava i 1.608 mješovitih, pa se može zaključiti da od poljoprivrede nije živjelo više od 10.000 stanovnika, što čini svega 4,9 % od ukupnog broja. Nadalje, samo u razdoblju od 1962. do 1994. udio u strukturi nacionalnog dohotka poljoprivrede i vodoprivrede pao je od 16,4 % u 1962. na svega 4,3 % u 1994. Djelomično je ta pojava i opravdana radi svođenja ruralne populacije na, za današnje prilike, realnu mjeru. Međutim, činjenica je da je smanjena poljoprivredna proizvodnja i da je veliki dio obradivih površina napušten.

Da bi se koliko-toliko zaustavio ili bar ublažio negativni trend kretanja stanovništva u središnjem dijelu poluotoka 70-tih su godina započele pripreme za izradu plana natapanja svih za to podesnih poljoprivrednih površina županije. Naime, već tada je u obalnom pojasu, koji obuhvaća, svega jednu trećinu površine županije, živjelo oko dvije trećine stanovništva. Realizacijom navedenog plana Istra bi se uz 25,3 % natapnih površina od ukupno obrađenih, približila susjednim europskim zemljama. Ovaj plan natapanja, čija je prva faza dovršena 1979. i objavljena pod nazivom "Study of Water Resources and

their Exploitation in Istra, Yugoslavia” rađen je uz potporu UNDP (svega oko 800.000 USD) i stručnu pomoć eksperata FAO. Od ukupnog fonda poljoprivrednog tla izdvojeno je 18.960 ha podobnih bez ograničenja za razvoj poljoprivrede u uvjetima natapanja. Ovisno o lokaciji, poljoprivredne su površine svrstane u sedam natapnih sustava podjeljenih u 32 natapne jedinice površine od 400 do 800 ha svaka. Struktura poljoprivrednih kultura je iznosila (%) 28 : 25 : 47 (voće : povrće : ratarstvo). Ukupna potreba natapanja vode procijenjena je na 82,9 mil. m³ a osiguravale bi se iz sedam akumulacija u slivovima Mirne, Raše, Boljunčice i Pasinčice, te nešto iz tekućeg dotoka. Planom je procijenjena i dugoročno osigurana voda i za sve ostale korisnike (uglavnom vodoopskrbe). Realizacija plana je programirana kroz 40 godina (1975-2015.) Do sada je proteklo više od polovine toga razdoblja, a ništa nije realizirano osim dvije akumulacije (Letaj i Botonega).

3. Plan natapanja iz 1998.g.

Uzimajući u obzir naprijed navedeno, te promjene koje su nastale nakon 1991. (političke, gospodarske, znanstvene, nove podloge i dr.) Hrvatske vode su odlučile da se izradi novi plan natapanja područja Županije istarske te su taj zadatak povjerile Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci. Ugovor o tom poslu je potpisan krajem 1994. a elaborat je predan investitoru krajem 1998. i nosi naslov “Plan navodnjavanja za područje istarskih slivova”. Elaborat obrađuje isto područje kao i studija iz 1979., ali se obrada temelji na novo prikupljenim podlogama, nekim novim znanstvenim saznanjima, te novim planskim proporcijama temeljenim na novom političkom ustroju. Rezultati analiza se u nekim segmentima bitno razlikuju od prethodnih što je vidljivo iz tablice 1.

Tablica 1

Natapno područje	Natapna površina, ha			Potreba za vodom, mil. m ³		
	1979.	1998.	1998/1979.	1979.	1998.	1998/1979.
1. Čepić-Potpican	1.885	2.102	111,5	8,48	2,78	32,8
2. Donja Raša	300	300	100,0	1,35	0,58	43,0
3. Puljština	1.940	1.653	82,5	9,07	6,59	72,6
4. Bujština	4.800	5.236	109,1	19,07	13,96	73,2
5. Dolina Mirne	2.500	2.424	97,0	10,97	6,94	61,0
6. Poreština	4.735	6.612	139,6	21,93	17,98	82,0
7. Rovinjština	2.800	3.427	122,4	12,01	10,21	85,0
UKUPNO	18.960	21.754	114,7	82,88	59,04	71,2

Osnovne značajke ovih analiza jesu:

- U planu iz 1998. natapna je površina povećana za oko 15 % a istovremeno smanjena potreba za natapnjom za oko 30 % Penman-Montheith formuli (program CROPWAT objavljen u FAO IDP iz 1992.) Napominje se da je u prethodnom slučaju (1979.) ET računata po Blaney - Criddlovoj formuli (ii generacija - FAO verzija),
- struktura planiranih kultura u studiji iz 1979. bila je 28 : 25 : 47 (voće : povrće : ratarski usjevi), a u planu iz 1998. 33 : 47 : 20 . Bitno su povećane površine u korist veočarskih i povrtlarskih kultura, što bolje odgovara vujetima okoline i gospodarskom trendu u svijetu.

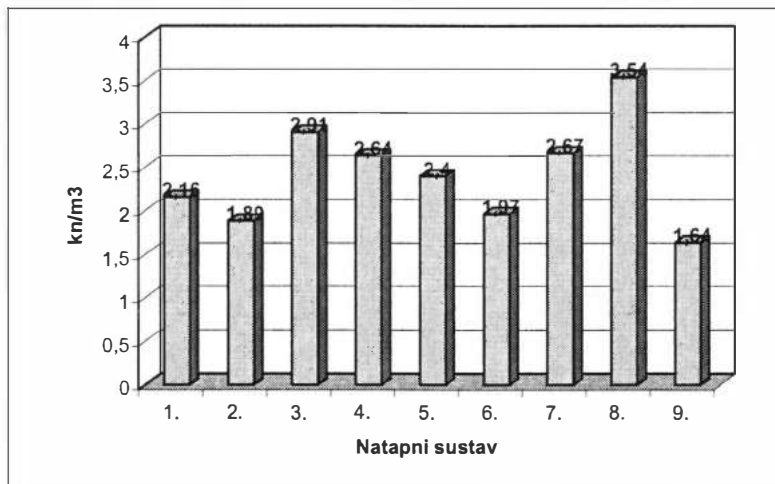
c) i u jednom i u drugom slučaju akumulacije su dimenzionirane simuliranjem pogona programom RESOP (HEC). Natapne su mreže u planu iz 1998. dimenzionirane programom WESNET.

Prema sadašnjem planu ukupna natapna površina iznosi 21.754 ha a raspoređena je kao i u prethodnom slučaju u sedam natapnih sustava. Za osiguranje natapne vode predviđa se izgraditi slijedećih šest akumulacija. Letaj (sanacija) Marčana, Kotli, Draga, Bračana i Momjan. Privremeno se predviđa koristiti i već postojeću akumulaciju Botonega i nešto tekućeg dotoka Mirne i Raše. U postupku izbora najpovoljnijeg skupa akumulacija, obrađeno je i analizirano 14. različitih lokacija pri čemo je za izbor optimalnih rješenja simuliran pogon na više od 50 različitih veličina akumulacija.

Usporedni prikaz nekih veličina planova natapanja iz 1979 i 1998.

Brane planiranih akumulacija predviđene su nasutog tipa, a sve natapne mreže projektirane su iz cijevi od ljevanog željeza (od $\text{Ć } 200$ do $\text{Ć } 1600$). Pogon natapanja je planiran kišnim uređajima tipa Typhon (ratarstvo) te sustavima lokaliziranog natapanja (voćarstvo). Ukupni troškovi akumulacija iznose oko 260 mil. kuna, a natapnih mreža (cjevovodi, crpne postaje, prema) oko 1.158 mil. kuna ili sveukupno oko 1,42 milijardi kuna, što daje prosjek od 65.200 kn/ha.

Cijene natapne vode na hidrantu sustava kreću se od $1,64 \text{ kn/m}^3$ za područje doline Mirne do najviše $3,54 \text{ kn/m}^3$ za područje Rovinjštine. Cijene za ostale sustave (i faze) vidljive su na slici 1.



Slika 1. Grafički prikaz cijena natapne vode

Redoslijed prioriteta implementacije, mjernoga jedino postignutom cijenom natapne vode jest ovaj:

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1. Dolina rijeke Mirne | 6. Bujština - 1. faza |
| 2. Dolina donje Raše | 7. Poreština |
| 3. Bujština - 5. faza | 8. Puljština |
| 4. Čepić-Potpican | 9. Rovinjština |
| 5. Bujština - 2. faza | |

4. Natapanje i održivi razvoj

Princip održivog razvoja pretpostavlja da odnos pojedinaca i društva prema korištenju prirodnih bogatstava (vode, tlo, šume, zrak) i planiranju budućeg razvoja osigurava uobičajenu prirodnu obnovu prema ustaljenim fizičkim i biološkim ciklusima.

S tim u vezi prirodna bogatstva treba koristiti u skladu s prirodnim zakonima obnove, i tom ograničenju treba prilagoditi sve planske i tekuće aktivnosti. Dakako, na bogatstva biološke sfere moguće je utjecati i umjetnim putem, ali i to treba podrediti uvjetu održanja ustaljene ravnoteže u prirodi; s tim u vezi, za praktične potrebe planiranja vodnogospodarskog razvoja neophodno je razraditi metodologiju za pojedine oblasti i grane tako da sveukupnost vodnog bogatstva po količini i kvaliteti ostaje u granicama svojih prirodnih vrijednosti. Prema tome mijenjat se može namjena, mjesto, raspoloživost po vremenu i sl.

Ocjenjuje se da od ukupne količine atmosferskog tako u Istri oko 1.500 mil. m³ vode otječe površinskim i podzemnim putevima u more. Ukupna potrošnja u zadnjih 10-tak godina iznosila je u prosjeku oko 35 mil. m³ što iznosi svega oko 2,3 % od raspoložive. U slučaju da se ostvare sva predviđanja planirana ovom studijom, negdje 2040. potrošnja bi se povećala na oko 148 mil. m³ što čini samo oko 9,9 % raspoložive. Prema tome sve količine vode koje se sada koriste ili će se koristiti u daljnjoj budućnosti predstavljaju ili preljevi krških vrela ili otjecanja sa slivnih površina pa bi u svakom slučaju završile u mori i odatle nastavile svoj uobičajeni prirodni ciklus kruženja isparavanjem u atmosferu. Upotrebom te vode za natapanje se, u biti, ništa ne mijenja odnosno mijenja se samo mjesto odakle voda pretvorena u paru, prelazi u atmosferu.

Isparavanjem vode s bilja i tla (umjesto iz mora kao krajnjeg recipijenta) znatno se skraćuje tok vode po površini zemlje a time doprinosi smanjenju štete koje može prouzročiti tečenjem po površini tla i smanjenju troškova za održavanje vodnih tokova. Suprotno navedenom, ne bi bilo u skladu s principom održivog razvoja kada bi se, npr. prekomjerno iscrpljivale podzemnim vodonosni slojevi, tj. više nego što iznosi prirodno prihranjivanje.

U primjeru Županije istarske, održivi vodnogospodarski razvoj može se sažeti u slijedećem:

- a) Planiranjem razvoja korištenja vode za bilo koju granu i djelatnost mora se temeljiti na principima višenamjenskog i kompleksnog pristupa. S tim u vezi nije dovoljno optimalnost rješenja odrediti samo na osnovama gospodarske učinkovitosti, već treba primjenjivati i principe višeciljne analize. Optimalizacija po bilo kom jedinstvenom cilju nije danas više zadovoljavajuća, jer ne održava stvarno stanje u dotičnoj regiji i ne slijedi pristup s postavkama održivog razvoja. Dapače, kod natapanja se Predmet: tome još pojavljuje veći broj pridruženih ciljeva koji se odnose na bilje, tlo, vodu i sl. koje sve treba uzimati u obzir prilikom razmatranja optimalnog rješenja.
- b) U kasnijim fazama projektiranja, pri određivanju specifičnih rješenja i graničnih uvjeta, treba provesti analizu mogućih odstupanja od planiranih ciljeva i pokusa dati odgovor što će se u tom slučaju dogoditi, kakva je za to vjerojatnost, te dati prijedlog načina i mjera za upravljanje takvim stanjem. Problem rizika treba posebno razmotriti prilikom izrade projekta pogona natapnog ili drugog vodnogospodarskog sustava.
- c) Definiranje namjene i optimalnih veličina sustava i pojedinih građevina u njemu treba razmotriti i sa stanovišta optimalno rješenje vremenski ograničeno, odnosno da je njegova optimalnost uvjetovana prilikama vremena u kojem je nastala. Slijedom toga, neki vodnogospodarski sustav je mogao imati optimalno rješenje prije, recimo,

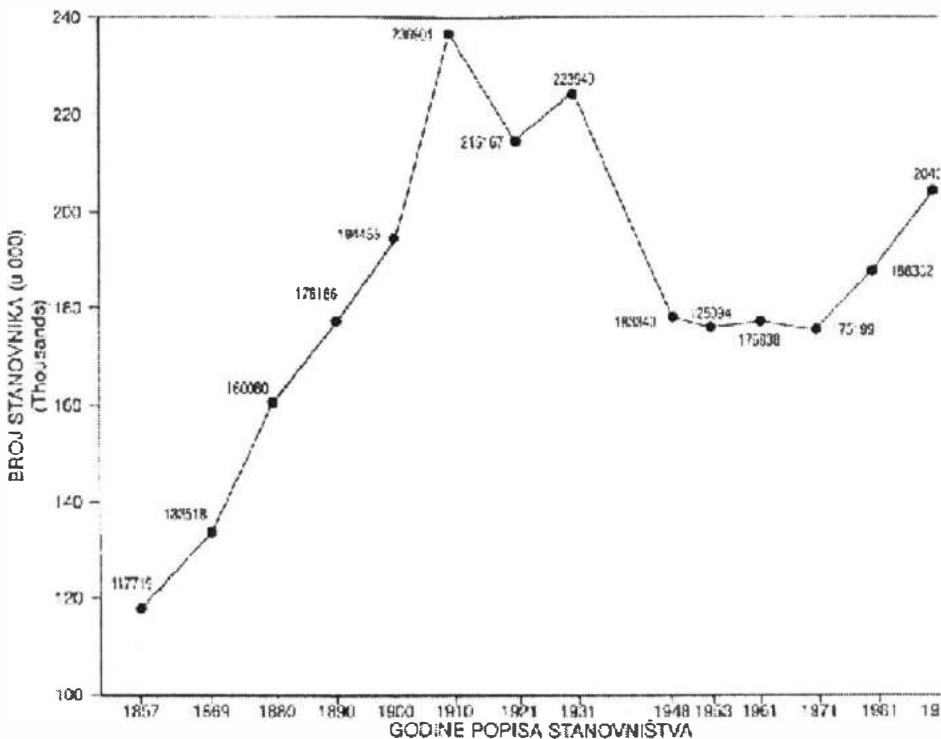
30 ili 50 godina kada je sagrađen, a danas više nema, ili, neki sustav koga mi danas planiramo po svim važećim kriterijima optimalizacije, moguće je da te značajke neće imati nakon 30 ili 50 godina. Iz toga slijedi da pristup, planiranju mora sadržavati, strateške elemente budućeg razvoja u odnosu na mogućnosti, potrebe, alternative, posljedice i sl. S tim u vezi pojavljuje se potreba izrade analize osjetljivosti koja ukazuje na promjene koje mogu nastati u izlazu sustava uslijed izmjene ulaznog naloga ili sustavnih parametara.

5. Natapanje i demografski i gospodarski razvoj

Jedan od bitnih čimbenika za razumijevanje svekolikog razvoja poluotoka čine promjene demografske slike Istre. Vjerojatno nema niti jedne regije u Hrvatskoj u kojoj su, te promjene bile tako izražene i tako duboke kako u kretanju ukupnog broja stanovnika, tako i u narodnosnoj i socijalnoj strukturi i zaposlenosti.

U ovom stoljeću Županiju su potresla dva velika demografska procesa: to je eksodus iza Prvoga i Drugoga svjetskog rata. Prema prvom službenom popisu stanovništva (1857). poluotok je imao 117.719 stanovnika da bi se nakon 50 godina udvostručio (236.901 u 1910). i dostigao svoju najveću vijednost 1918. s oko 260.000 stanovnika.

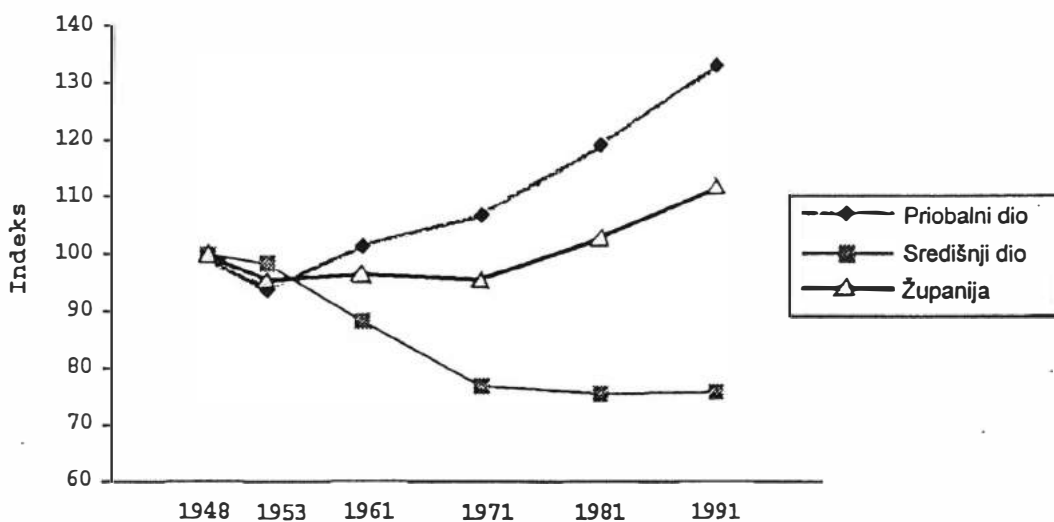
Prvi eksodus je snizio broj stanovnika na oko 200.000 duša da bi se postupno taj broj povećao na oko 230.000 uoči Drugoga svjetskog rata, a nakon toga ponovno pao na oko 175.000 stanovnika, te se počeo oporavljati tek iza 1970.



Slika 2. Kretanje stanovništva u Istri

Najzanimljivije razdoblje za sagledavanje današnjeg stanja sela i poljoprivrede je ono nakon 1945. kada su se zbile velike demografske i socijalne promjene. Nakon drastičnog pada iza 1945. stanje se približno ustalilo 1971. a blago povećanje primjećuje se tek 1981. (oko 5.000 duša više negoli 1948.). U razdoblju 1948. - 91. broj stanovnika Istarske županije povećao se samo za 11,5 % dok je istovremeno broj stanovnika Hrvatske povećao za 26,6 %. To se dogodilo unatoč brojnim prednostima ovog područja u odnosu na ostale predjele Republike, posebno u pomorstvu (brodogradnja), turizmu i poljoprivredi.

Jedan od ključnih problema sadašnjeg stanja jeste nastanjenost pojedinih dijelova poluotoka. U razdoblju 1948. - 91. relativni odnos broja stanovnika smanjio se u svim općinama osim u Puli, a dogodilo se to i po apsolutnom broju izuzev još općinu Rovinj. Gustoća stanovništva za cijelu županiju iznosi 72,46 st/km² dok je ta vrijednost za Hrvatsku 84,51 st/km². Rasprostranjenost gustoće je izrazito nepovoljna za središnji dio i stalno se pogršava tako da je priobalni dio u 1971. imao 69,6 % stanovnika, a središnji 30,4 % dok su te vrijednosti za 1991., 74,3 % i 25,7 %.



Slika 3. Kretanje broja stanovnika pojedinih dijelova Županije (1948.-1991.)

Uvođenje natapanje u poljoprivredi osigurava:

- opće povećanje bogatstva područja - posebno standarda poljodjelskog stanovništva;
- povećanje broja zaposlenih u primarnoj poljodjelskoj proizvodnji i u pratećim djelatnostima, te sprječava povećanje naseljenosti u gradovima;
- stabilnost proizvodnje i kakvoću uroda.

Realizacijom plana natapanja koji je upravo pripremljen, broj zaposlenih u poljoprivredi i u pratećim djelatnostima povećao bi se negdje za oko 20.000 mjesta čime bi se bitno izmjenila demografska slika poluotoka. Da bi se to ostvarilo, trebalo bi poduzeti slijedeće:

- a) osigurati postupak, ali stalan razvoj natapnih površina tako, da se cjelokupan plan realizira za oko 30 godina. Za to treba osigurati značajna sredstva proračuna i povoljne domaće i međunarodne zajmove uz dugi rok otplate;
- b) stvoriti organizacijske pretpostavka za realizaciju takva plana, što bi bilo najbolje provesti putem Javnog vodoprivrednog poduzeća "Hrvatske vode";

- c) poduzeti stalne i dugoročne mjere pripreme lokalnog ruralnog stanovništva za izmjenu strukture poljoprivredne proizvodnje uvođenja novih usjeva, te preobrazbu u potpuno tržištu orijentirano gospodarstvo.

Realizacija natapanja na većim površinama zahtjevat će razvoj većeg broja komplementarnih djelatnosti, posebno u području skladištenja, prerade i marketinga. To će osigurati naselja koja su neoprevidano zanemarena i bitno opuštošena u zadnjih 50-tak godina. Time će se sačuvati vrijedno povijesna baština i vratiti joj ulogu koju je stoljećima odigrala na ovom prostoru. To će, nadalje, osigurati razvoj jedne daljnje komplementarne grane razvoja poljoprivrede, a to je seoski turizam. Istra ima idealne uvjete za to s obzirom da nijedno mjesto nije udaljenije od mora više od 50 km, a ima izvanredne raznolikosti u unutrašnjosti (razvedeni i šumoviti krajolik, vrijedne i jedinstvene kulturne spomenike, veći broj akumulacija, toplice, razvijeno lovstvo itd.). Uzimajući u obzir sadašnje stanje hrvatskog gospodarstva te odnos države prema poljodjelstvu, pored navedenog treba uzeti u obzir i ove čimbenike:

- dovršenost sustava, odnosno pojedinih građevina u njemu, ili osigurana voda;
- spremnost i motiviranost seoskih gospodarstava za natapanje, odnosno raspoloživost dobro uhodanih i organiziranih gospodarstava;
- visina pogonskih troškova, odnosno cijena natapne vode na hidrantu.

Na temelju naprijed navedenih postavki, a uzimajući u obzir i administrativnu strukturu, zemljopisni položaj, te polučene rezultate u nedavno izrađenom planu, jedan od mogućih prijedloga početne faze razvoja bio bi slijedeći:

- a) Dolina rijeke Mirne od utoka Botonege do mora ukupne površine oko 2.500 ha. Prema provednim analizama za natapanje ove površine osigurana je voda u akumulaciji Botonega do godine 2020. kada bi trebalo ostvariti novo rješenje. Izgraditi bi trebalo samo natapnu mrežu i nabaviti opremu i mehanizaciju za natapanje, a u nedostatku sredstava kao glavni dovodni kanal može koristiti rijeka Mirna. Analizom pogona je utvrđeno da ovaj sustav ima najnižu cijenu natapne vode od svih do sada obrađenih u Istri (1,64 km³).
- b) Poljoprivredno dobro Valtura na cijeloj mogućoj površini od oko 180 ha. naime, ovo manje natapa godišnje oko 20-30 ha, kolike su im raspoložive količine vode na postojeća tri bušena bunara. S obzirom da je dovod vode iz udaljenih izvorišta (Blaz, sliv Mirne, Pazinčica) vezan za realizaciju većih površina (1.653 ha), visokih investicijskih ulaganja i najviše cijene natapne vode između svih analiziranih sustava (2,91 km³) još 1985. izrađena je studija lokalnog osiguranja vode za raspoloživih 180 ha tla. Rješenje se sastoji u cjelogodišnjem crpljenju vode iz postojećih bunara i pohranom u vrtači Brkranjske kopi bi trebalo osposobiti za akumulaciju (oko jedan milijun m³ zapremine). Nastano je izrađen i glavni projekt, te izgrađena osnovna natapna mreža. Prema tome trebalo bi još samo vrtaču osposobiti za akumulaciju (oblaganje plastičnim folijama) pa bi se sustav mogao u cjelosti koristiti. Time bi se mogla i testirati djelotvornost natapanja na području Puljštine za eventualni budući razvoj na planiranim površinama.
- c) Područje Čepićkog, Posertskog i Potpićanskog polja na ukupnoj površini od oko 2.100 ha. Za ariguranje potrebne količine vode za natapanje ovog područja sagrađevna je još 1969. akumulaciju Letaj na Boljunčici zapremine 6,5 mil. m³. Da bi akumulacija bila operativna za natapanje potrebno je riješiti problem vodoodrživosti na dijelu zaplavnog prostora, na čemu su istražni radovi upravo u tijeku. Natapne su površine još od ranije osigurane od poplava, a u cjelosti je riješena i unutarnja odvodnja, dobrim

dijelom drenskim sustavima. Kako je visinska razlika između akumulacije i natapnih površina između 30 i 50 m, a akumulacija se nalazi svega par km udaljena od polja ne treba ni dokazivati koliko je ovo rješenje povoljno.

6. Zaključak

Poljoprivreda je od davnine igrala stožernu ulogu u demografskom i općedruštvenom razvoju Županije istarske. Tradicionalni način gospodarenje tлом (naturalna proizvodnja) je odavno završio svoj povijesni ciklus i morao se zamijeniti novim (tržišna proizvodnja) bez čega nema skladnog razvoja.

Ideje da će tu ulogu preuzeti turizam su iluzije, jer je turizam poljoprivredi samo komplementarna djelatnost. Da bi se prevladao taj raskorak između sazrelih povijesnih prilika i stvarnog stanja, ubrzo iza Drugoga svjetskog rata započeli su oprezni radovi da se u toj domeni (uređenje voda, nelioracije, posebno natapanje) uspostavi stanje kakvo traže narasle potrebe. Iako su sve susjedne zemlje koje se nalaze u istim ili sličnim klimatskim prilikama kao i Hrvatska u proteklih 50-tak bitno razvile natapanje, u nas se to nije dogodilo. Dapače, 60-tih i 70-tih godina bilo je dosta pokušaja za osjetni zamah u toj grani, pa su postignuti i određeni rezultati, ali je nedavno veći dio toga napušten i zapušten tako da je situacija sada gora negoli prije 30-40 godina. Primjerice u Istri je iza 1950. sagrađeno natapnih sustava na oko 400 ha tla, od čega je danas u pogonu ne više od jedne desetine.

Izgradnjom i stavljanjem u pogon sustava ranije spomenutih kao početna faza moglo bi se privesti natapanju 4.000 - 5.000 ha tla što bi bio veliki uspjeh ne samo u lokalnim već i u nacionalnim razmjerima, jer bi se time gotovo udvostručile površine koje se sada natapaju (2.941 ha u 1991.) Time bi se raskorak u odnosu na susjedne zemlje, gdje se, u prosjeku natapa bar 100 puta više površina, donekle ublažio. Međutim, iluzija je i pomisliti da će se to ostvariti samo zalaganjem lokalnih vlasti ili vodoprivrednih organizacija. Za tako nešto neophodno je neposredno angažiranje središnjih državnih (vodoprivrednih) organa kako sa sredstvima, tako u organizaciji, planiranju i rukovođenju.

Literatura

1. XXX Plan navodnjavanja za područje istarskih slivova. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 1998.
2. UNDP/FAO: AG : DP/ YUG/73/009 Study of Water Resources and their Explaitation in Istra, 1979.
3. XXX Razvoj Županije istarske od 1996. do 2010. godine. Fakultet ekonomije i turizma "Dr. Mijo Mirković" Pula, 1996.
4. XXX Program obnove i razvitka Županije istarske, Županijski odbor HDZ Županije istarske, Pazin, 1994.
5. Veći broj studija, projekata i članaka
6. XXX Statistički ljetopis hrvatskih županija, 1993.

Autor:

Prof.dr. Zorko Kos, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, V.Cara Emina 5

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.39.

Planiranje i razvitak sustava za navodnjavanje

Dragutin Gereš, Mijo Vranješ

SAŽETAK: U radu se prikazuje okvir za planiranje sustava za navodnjavanje tako da se zadovolji postavka održivog razvitka. Potrebno je planiranje na slivnom području, potreba vode kao i poljoprivrednog podsustava. Poznati su uzroci i razlozi neefikasnosti postojećih sustava za navodnjavanje: količina i kakvoća vode, zaslanjivanje, prevlaživanje tla, neprimjereno korištenje vodnih resursa, neučinkovito upravljanje sustavima te neprimjerena podrška struktura. Multidiscipliniranim i integralnim prilazom mogu se riješiti naznačena pitanja upravljanja resursima zemljišta i vode.

KLJUČNE RIJEČI: navodnjavanje, planiranje, voda, tlo, razvitak.

Irrigation System Planning and Development

SUMMARY: The paper gives a framework for irrigation system planning within which the sustainable development requests will be met. The planning needs to encompass the catchment area, both regarding the water demand and agricultural subsystem. The causes of inefficiency of the existing irrigation systems are known - water quantity and quality, salination, excessive soil water content, inadequate exploitation of water resources, inefficient system management and inadequate structural support. Highlighted issues of land and water resources management could be resolved by multidisciplinary and integrated approach.

KEYWORDS: irrigation, planning, water, soil, development

1. Uvod

Povećana briga za kvalitetu života i stanje okolišta posljednjih godina prebacuje pažnju s gospodarskog razvitka na održivi razvitak. Koncept održivog razvitka različiti ljudi različito tumače. Cjelokupne diskusije i definicije o održivom razvitku poklanjaju pažnju na dugoročne performanse gospodarstva, koje trebaju osigurati zadovoljavajući život budućim generacijama. U okružju bilo kojeg društva to znači implikacije zahtjeva za zaštitu svih vrsta resursa. To nije moguće uvijek postići. Stvarnija definicija održivog razvitka kaže da upotreba iscrpivih resursa u razvoju može biti dozvoljena kada kapitalni resursi i nove investicije kompenziraju iskorištene prirodne resurse.

Kontrola i upravljanje vodnim resursima u poljoprivredi i proizvodnji hrane razlikuje se od zemlje do zemlje. Upravljanje vodnim bogatstvom temelji se na poznavanju svih vodnih resursa – vode, tla i ljudi te na njihovom potencijalu u odnosu na razvitak gospodarstva u cjelini.

Voda je ograničeni i osnovni prirodni resurs, koji koriste i troše različiti korisnici. Važno je stoga na nacionalnoj razini primijeniti koncept održivog razvitka u razvoju i upravljanju

resursima. Korištenje vodnih bogatstava, posebno potrošnja vode za navodnjavanje, može biti uzrok konflikata na nacionalnoj i međunarodnoj razini.

Tehnologija upravljanja vodama je dobro uspostavljena, ali njezina primjena za posebne razvojne probleme je daleko od učinkovite. Prijenos informacija je postao vrlo jednostavan, ali se mora uspostaviti procedura da informacije stignu do ljudi koji ih mogu koristiti.

2. Održivi razvoj i upravljanje vodama u poljoprivredi

Svi postavljeni ciljevi razvoja ne mogu se postići odjednom pa se utvrđuju prioritete u aktivnostima. Tako je FAO u suradnji s ostalim specijaliziranim organizacijama UN sastavio Akcijski plan u kojem je naglašeno sljedeće:

1. Učinkovito korištenje vode: efikasnost korištenja vode u poljoprivrednom sektoru je apsolutno niska. Potrebne su pozitivne akcije za promjenu neefikasnih tehnologija kao i podrška za primjenu. Nije zanemarivo obrazovanje kadrova na svim razinama, pojačano istraživanje upravljanja vodom i tlom u uvjetima navodnjavanja i bez njega, praćenje rada sustava za navodnjavanje te uspostavom politike cijena.
2. Odvodnja suvišne vode, kontrola saliniteta: kontrola suvišne vode na i u tlu je nužna da bi se spriječilo prevlaživanje ili zamočvarenje zemljišta. Pri korištenju navodnjavanja odvodnja suvišne vode je od velike važnosti. Opažanja podzemne vode, studije vodne bilance i zajednička uporaba površinskih i podzemnih voda moraju se dosljedno provoditi. U močvarnim područjima, kao i na zaslanjenim površinama, poželjno je izvesti pilot projekte da bi se verificirale raspoložive tehnologije i dr.
3. Kontrola kakvoće vode: poželjne su i potrebne akcije, kojima bi se uspostavio učinkovit i troškovno povoljan sustav monitoringa koji bi osigurao vodu odgovarajuće kakvoće za navodnjavanje. Također je nužno poduzeti mjere da poljoprivredna praksa ne onečišćuje vodne resurse.
4. Razvoj programa malih dimenzija: mali programi korištenja voda mogu zadovoljiti više lokalnih potreba, a ujedno mogu biti potencijal za postizanje održivog poljoprivrednog razvitka. Primjer programa: razvoj navodnjavanja, opskrba vodom stanovništva i gospodarstva, povrat vode u podzemlje (infiltracija), zaštita tla, zaštita od štetnog djelovanja voda. Ove inicijative su sastavni dio integralnog razvoja i zaštite te upravljanja okolišem.
5. Upravljanje vodama: temelji se na dugoročnoj strategiji i praktičnim programima za korištenje vode u poljoprivredi. Nacionalni planovi formiraju politiku i strategiju u uvjetima održivog razvitka. Planiranje, razvitak i upravljanje vodnim resursima na integralnoj osnovi su temeljne postavke za održivi razvitak.

Fizikalni okoliš i prirodni resursi su logički povezane varijable koje određuju razine produktivnosti održive poljoprivrede u uvjetima navodnjavanja. Razlike u proizvodnom potencijalu utječu na izvodljivost pojedinih tehnologija. S druge strane tehnologije utječu na okoliš i resurse.

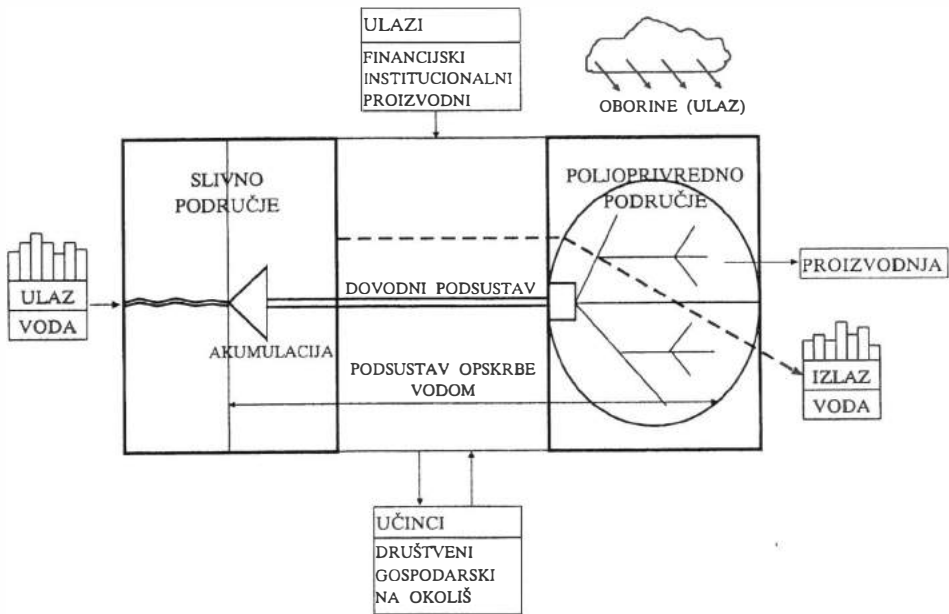
3. Planiranje sustava za navodnjavanje

Sustav za navodnjavanje

Održivi razvitak navodnjavanja počinje s dobrim planiranjem. Strateško planiranje i akcije moraju biti formirane s jasnim ciljem da bi investicije za navodnjavanje bile učinkovite. Moderne tehnologije i pogon sustava za navodnjavanje unapređuju aspekte

održivosti sustava. Oni osiguravaju bolje korištenje vode, daju veću produktivnost po jedinici utrošene vode, manje otjecanje – gubitke vode, eroziju i onečišćenje voda.

Sustav za navodnjavanje možemo promatrati u tri fizikalno-upravljačka područja: slivno područje, sustav opskrbe vodom i poljoprivredno područje.



Slika 1. Sustav za navodnjavanje u prirodnom i socijalnom okruženju (Keller, 1988.)

Voda je temeljni ulaz u sustav. Može se koristiti površinska ili podzemna voda. Uz ovaj ulaz postoje još mnogi financijski, institucionalni i proizvodni ulazi, koji su temeljni za ostvarenje i uspjeh u navodnjavanju. Lista tih ulaza, koji moraju biti uključeni u proces izbora i planiranja navodnjavanja uključuje: radnu snagu, izbor kultura, zaštita bilja, upravljanje, kapital i kredite, tehnologija navodnjavanja, energija za rad sustava, prometna i komunikacijska sredstva itd. Poljoprivredna proizvodnja uz navodnjavanje ili bez njega je glavni izlaz. Uz ovaj izlaz proizvodnje postoji djelomičan izlaz vode, ali i društveni i gospodarski utjecaj kao i utjecaj na okoliš. Dobro planiranje razvoja i upravljanja sustavom za navodnjavanje znači minimiziranje neproduktivnih ulaza i negativnih učinaka na ekosustava i maksimiziranje neto dobiti (u odnosu na troškove).

Oprema za navodnjavanje

Moderna oprema za navodnjavanje povećava produktivnost i doprinosi održivosti sustava. Prvi je korak u procesu planiranja i projektiranja izbor prikladne tehnologije navodnjavanja.

Moderna ili mehanizirana oprema za navodnjavanje ispunjava osnovne uvjete za primjenu. Izbor se temelji na podacima o kulturama, opskrbi vodom, tlu i klimatskim pokazateljima. Nakon izbora potencijalne opreme slijedi provedba detaljnih analiza. Provodi se i puna ekonomska analiza. To je najčešće na bazi godišnjih troškova i odnosa dobiti/trošak. Za većinu uvjeta na terenu i kultura predviđenih za gajenje više od jedne

vrste opreme daje zadovoljavajuće rješenje. Zbog toga je konačni izbor vrste opreme ograničen na socijalno-ekonomsku odluku, ovisno o očekivanoj vjerojatnosti zadovoljenja održivosti: ekonomske i tehničke. Konačnu odluku bi trebao donijeti planer u suradnji s korisnikom opreme.

Na tržištu se nudi veliki izbor opreme za navodnjavanje. Problem nije u efikasnosti opreme nego je važno da se oprema ispravno primjeni i dobro upravlja istom. Cijena se sastoji od inicijalnih troškova opreme, iskazanih u domaćoj i stranoj valuti. Za ekonomsko planiranje utvrđuje se vijek trajanja opreme. Potrebno je dalje utvrditi i godišnje troškove održavanja opreme, obično u postocima investicijske vrijednosti.

Učinkovitost primjene opreme sastoji se od tradicionalne efikasnosti korištenja vode – jednolikost dostave po površini i gubitaka vode. Također treba iskazati i efikasnost vremenskog rasporeda natapanja.

Tablica 1. Troškovi i učinkovitost različitih vrsta opreme za navodnjavanje

Tehnika navodnjavanja i vrsta opreme	Troškovi opreme kn/ha	Vrijek trajanja god	Godišnji trošak održavanja % invest.	Učinkovitost %
Površinske metode	1000-7000	trajne	1	65-85
- dovodi vode: kanali	2800-8500	15	3	-
cijevi	5500-15000	20	1	-
- automatizacija	2000	10	5	-
Oprema za kišenje				
- pokretno kišno krilo	5500-9000	10-15	3-4	65-80
- tifon	6500-8500	10	6	60-70
- centar pivot(400 m)	8000	15	5	70-85
- linearni uređaj	8000-14000	15	6	65-85
- stabilna cijevna mreža	16000-23000	15-20	2	65-75
Lokalizirano natapanje	10500-28000	7/20	2-3	75-90

Povoljnost izbora opreme, osim do sada traženih analiza, ovisi i o slijedećim elementima: oprema, posebno mehanizirana, mora odgovarati lokalnim terenskim prilikama kao i izboru kultura; prilagodljivost opreme različitim uvjetima pogona; potrebi nadzora u radu; održavanje opreme; rizik od većih kvarova, kada može doći do štete na uzgoju biljaka; upravljanje, pogon i održavanje opreme.

Prirodi kultura i dobit

Analiza priroda kultura i dobiti rada se na osnovu realnih veličina, a ne na maksimalnim veličinama. Pretpostavljaju se poljoprivredne ulazne veličine i obrada tržišta za proizvode sustava. Dobit se znatno smanjuje kada su potrebne crpke za opskrbu vodom. Sustavi za kišenje troše od 0,9 do 2,1 kWh/ha-mm dostavljene vode. Oprema tipa tifon troši od 3,5 do 4,9 kWh/ha-mm. Za lokalizirano natapanje potrebno je od 0,3 –0,9 kWh/ha-mm isporučene vode.

Test održivosti za opremu

Za primjenu modernih tehnologija navodnjavanja u području bez iskustva u primjeni navodnjavanja poželjno je izvršiti testiranje tehničke i ekonomske opravdanosti – održivosti. Također se ispituje i prilagodba općeg stanja korisnika izabranoj opremi.

Tablica 2. Faktori koji utječu na izbor opreme

Tehnika navodnjavanja i vrsta opreme	Faktori					prilagodljivost terenu
	primjena na malim parcelama	održavanje	rizik	upravljanje, pogon i održavanje		
				radna snaga	napor	
POVRŠINSKE METODE N.	potpuna	korisnik	nizak	iskusna	5-10	ograničena
OPREMA ZA KIŠENJE						
pokretna kišna krila	djelomično/potpuno	dobavljač	srednji/v	iskusna	5-9	ograničena
tifon	djelomično	dobavljač	isoki	iskusna	4	ograničena
centar pivot	ne	dobavljač	visok	veliko iskustvo	1	mala
linearni uređaj	ne	dobavljač	visok	veliko iskustvo	2	mala
stabilna cjevna mreža	potpuna	korisnik	visok	iskusna	1	potpuna
LOKALIZIRANO NATAPANJE	potpuna	dobavljač	srednji	iskusna	1	potpuna
	potpuna	dobavljač	visok	veliko iskustvo	4-10	potpuna

Prilagodba opreme lokalnim, prirodnim uvjetima je obično manji problem od prilagodbe lokalnim društvenim i institucionalnim prilikama. Javlja se pitanje neodgovarajućeg lokalnog osoblja za upravljanje sustavom i nedostatak iskustva u plasmanu proizvoda. Oprema je ekonomski održiva, kada tijekom novca, koji se ostvaruje proizvodnjom, zadovoljava potrebe – iznosi za gorivo, rezervne dijelove, popravke za vrijeme vegetacijske sezone.

4. Zaključak

Planiranje održivog sustava za navodnjavanje sadrži veći broj aktivnosti. Nije dozvoljeno samo optimaliziranje pojedinih dijelova sustava. Potrebne su opsežne analize cjelokupnog sustava: prirodnih uvjeta, okoline, tehnologije navodnjavanja, financijskih i društvenih uvjeta.

Bilo koji od modernih sustava za navodnjavanje potencijalno može raditi učinkovito ako je isti prilagođen fizikalnim i biološkim prilikama na terenu. Međutim, uspješnost rada sustava je u potpunosti ovisna o socijalno-gospodarskim prilikama sredine.

Održivo planiranje sustava za navodnjavanje je više nego optimalizacija pojedinih dijelova. Potrebno je postaviti strategiju srednjeg i dugoročnog planiranja prirodnih uvjeta, društvenih i financijskih uvjeta te zaštite okoliša.

Literatura

1. Biswas, A.K.(1991): Water for Sustainable Development in the 21st Century: a Global Perspective. *Water International*, 16 (1991), 219-224.
2. FAO (1990): An International Action Programme on Water and Sustainability Development. Rome.
3. Gereš, D., Bonacci, O., Marušić, J., Ružić, J. (1995): Integrated Water Management System in Croatia. *Hrvatske vode*, 3 (1995) 12, 205-214.

4. Gereš, D. (1995): Održivi razvoj i integralno upravljanje vodama. Prva hrvatska konferencija o vodama, Dubrovnik, 24.-27.5.1995. Zbornik radova (ur. D. Gereš), knjiga 1, 49-58.
5. Gereš, D. (1995): Integralno upravljanje vodama. *Građevinar*, 47 (1995) 391-396.
6. Gereš, D. (1998): Sustainable Irrigation Development. XIXth Conf. of the Danube Countries, Osijek, 15-19 June 1998. Proceedings (ed D. Gereš), 619-622.
7. Keller, J. (1988): Irrigation Scheme Water Management. US Agency for International Development, Logan, Utah.

Autori:

doc.dr.sc. Dragutin Gereš, Hrvatske vode, Zagreb, Ulica grada Vukovara 220, Građevinski fakultet Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku, Drinska 16a

doc.dr.sc. Mijo Vranješ, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Matice Hrvatske 15



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.40.

Primjena dinamičkog programiranja na upravljanje melioracijskim sustavima

Marija Šperac, Dragutin Gereš

SAŽETAK: U radu će biti prikazana metoda dinamičkog programiranja kao jedna od mogućih metoda o ptimalizacije vodoprivrednih sustava.

Melioracijski sustav je u suprotnosti s prirodom. Njime se otklanjaju negativni utjecaji prirode: suše i poplave - navodnjavanjem i odvodnjom, te on teži optimalnom upravljanju koje će otkloniti negativne posljedice prirodnih poremećaja.

Stanje melioracijskog sustava detemirano je slučajnim vrijednostima (hidrološkim ulazom) koje se definiraju slučajnim vektorom. Slučajni vektor ima direktan utjecaj na odluke u svakoj upravljačkoj etapi. Ciljna funkcija je stohastičkog karaktera, stoga nije moguće postaviti "ekstrem funkcije", nego se ekstremizira matematičko očekivanje ciljne funkcije. Ovom metodom rješavaju se stohastički procesi upravljanja melioracijskim sustavima uz uvjet poznavanja odgovarajuće funkcije razdiobe slučajnog vektora.

KLJUČNE RIJEČI: dinamičko programiranje, melioracijski sustavi, slučajni vektor, ciljna funkcija, stohastički proces.

Application of Dynamic Programming on Land Reclamation Systems Management

SUMMARY: The paper presents dynamic programming method as one of possible methods for optimization of water resources management systems.

The land reclamation system is in opposition to natural conditions. It removes negative natural impact by drainage and irrigation and it intended for optimum management which would remove negative consequences of natural disorders.

The land reclamation system condition is determined by random values (hydrological input) defined by a random vector. Random vector directly affects decisions made in any management stage. The target function is stochastic, therefore it is not possible to set a "function extreme" but rather to bring to extreme mathematical expectation of a target function. By this method, stochastic processes of drainage systems management are solved provided adequate functions of random factor distribution are known.

KEYWORDS: dynamic programming, land reclamation systems, random vector, target function, stochastic process

Uvod

“Samo pravodobno i efikasno planiranje korištenja, raspodjele i zaštite vodnih resursa, uz racionalno upravljanje i brižljivu kontrolu, mogu osigurati zadovoljenje potreba za vodom u budućnosti, a da bude i životna sredina očuvana“ - preporuke je Komiteta za vode EEK Oun upućene vladama zemalja članica - 1971,

Današnje društvo karakterizira brzi demografski rast i urbanizacija, što dovodi do velikog povećanja potrošnje vode, pri čemu se postavljaju sve strožiji zahtjevi obzirom na kvalitet vode. S druge strane zagađenje površinskih i podzemnih voda raste po eksponencijalnoj progresiji, te se naglo smanjuju količine kvalitetnih, upotrebljivih vodnih resursa.

Kriza vode danas je izražena u svim područjima života, a za stručnjake koji se bave tim problemom posebno se ističu problemi : teškoće pri osiguravanju potrebnih količina vode za razne potrebe korištenja; problemi od štetnog djelovanja voda; problemi koji bi se mogli javiti uslijed zagađenja voda i destrukcije vodenih ekosistema. Zbog ovih problema parcijalni sustavi se povezuju u veće cjeline, sa jedinstvenim upravljanjem za pojedine slivove.

Zahtjevana sigurnost od štetnog djelovanja voda dostiže visoke vrijednosti zbog opterećenosti riječnih dolina urbanim, privrednim i infrastrukturnim sustavima. Neophodno je specifičnu potrošnju svesti na optimalnu mjeru i provesti proces recirkulacije.

Navedenim problemima opterećeni su i melioracijski sustavi jer su dio cjelukupnog vodoprivrednog sustava .

Svojstva melioracijskih sustava

Osnovna svojstva melioracijskih sustava su : suprotnost interesa, dinamičko svojstvo sustava, asinhronost, složenost ekonomske sigurnosti sustava, značaj za okolinu, sociološki aspekt, povezanost : voda-razvoj - očuvanja okoline, stohastička svojstva sustava. U ovom radu posebno težište biti će na dinamičkom i stohastičkom svojstvu..

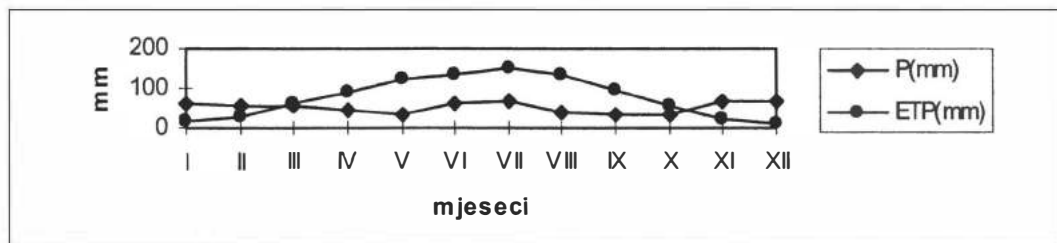
Tri su bitna gledišta dinamičnosti melioracijskog sustava: upravljanje u prošlosti utječe na budućnost; stalna promjena zahtijevane funkcionalnosti; dinamičnost neprekidnog razvoja konfiguracije.

Po svojoj prirodi melioracijski sustavi su izrazito stohastičkog karaktera u pogledu ulaza u sistem, zahtijevanog izlaza, stanja sustava,, ciljeva, modela, ograničenja, ekonomskih parametara koji ulaze u kriterije za vrednovanje upravljačkih odluka.

Zbog navedenih svojstava na upravljanje melioracijskim sustavima primjenjuju se odgovarajuće metode za postepeno otklanjanje osnovnih neizvjesnosti. Jedna takva metoda je i dinamičko programiranje.

Značajno svojstvo melioracijskih sustava je i asinhronost između raspoloživih količina vode i potreba za vodom. Jedan primjer asinhronosti prikazan je na slici 1. - prikaz srednjih mjesečnih oborina i evapotranspiracije za podatke s meteorološke stanice Osijek za vremensko razdoblje od 1964, do 1990.

Pravilnim upravljanjem melioracijskim sustavima može se ove prirodne suprotnosti ublažiti, te omogućiti pravilan razvoj poljoprivrednih biljaka i povećati kvalitet i kvantitet poljoprivredne proizvodnje.



Slika 1. Asinhronost između oborina i evapotranspiracije

Dinamičko programiranje i melioracijski sustavi

Dinamičko programiranje je jedna od najprimjenjivijih i numerički najoperativnija metoda za optimalizaciju vodoprivrednih sustava. Njime se mogu rješavati i optimalna analiza i optimalna sinteza vodoprivrednih sustava.

Dinamičko programiranje je postupak pronalaženja optimalnih rješenja u zadacima s višestapnom strukturom. Ovom metodom omogućeno je određivanje daljnjeg nastavka optimalnog puta iz svakog stanja određenog prostora stanja i iz svake etape određenog savladanog puta.

Računski se postupak dinamičkog programiranja bazira na dva prolaza. Prvi prolaz određuje koji su optimalni nastavci puta iz svakog čvora-stanja (od početka prema kraju), a zatim se u obratnom smjeru (od kraja prema početku) definitivno određuje trajektorija prolaska sustava kroz prostor stanja. Dinamičko programiranje je primjenjivo kod svih višestapnih procesa, nezavisno od karaktera etapa i veličine koraka diskretizacije pojedinih etapa.

Zadatak dinamičkog programiranja može se definirati: treba naći optimalnu trajektoriju, koja započinje u nekom početnom stanju s_0 , a koja se završava na nekom konačnom stanju s_k , pri čemu ciljna funkcija treba dostići ekstremnu vrijednost - minimum ili maksimum.

Jedan od zadataka melioracijskih sustava za dinamičko programiranje mogao bi se definirati na slijedeći način: Sustav iz početnog neizgrađenog stanja treba dovesti u konačno stanje izgrađenosti uz uvjet minimalnih financijskih ulaganja i maksimalne dobiti. Zadatak dodatno opterećuje stohastičnost zadataka upravljanja, jer je stanje sistema u ovisnosti od slučajnih ulaznih faktora, koje definiramo slučajnim vektorom r , tako da je stanje u $i+1$ -om intervalu jednako:

$$s_{i+1} = \vartheta(s_i, u_i, v_i)$$

Proces se u ovom slučaju ne može potpuno kontrolirati, jer u svakoj upravljačkoj etapi na odluke utječe i taj slučajni vektor. Ciljna funkcija može se napisati u obliku:

$$I(s_0, U) = I(s_0, u_1, v_1) + \dots + I(s_{i-1}, u_i, v_i) + \dots + I(s_{N-1}, u_N, v_N)$$

Obzirom da je ciljna funkcija slučajna funkcija, nije moguće njeno ekstremiziranje, ali se može naći odgovarajuće upravljanje koje će ekstremizirati matematičko očekivanje te slučajne ciljne funkcije. Zadatak se svodi na slijedeće: naći optimalno upravljanje:

$$U^0 = (u_1^0, u_2^0, \dots, u_N^0)$$

time je zadovoljen kriterij

$J: E [I (s_0, U)] \Rightarrow$ ekstremum

gdje je E - operator matematičkog očekivanja.

Za slučaj stohastičkog dinamičkog programiranja rekurentna relacija je u obliku:

$$F_N(s_0) = \max(\min)_{u_1 \in U} E[I_i(s_0, u_1) + F_N(s_1, r_1)]$$

Kao što je vidljivo iz formule ne radi se o ekstremizaciji slučajne ciljne funkcije, nego o ekstremizaciji matematičkog očekivanja slučajne ciljne funkcije. Na taj način se dinamičkim programiranjem rješavaju stohastički procesi upravljanja uz uvjet poznavanja odgovarajuće funkcije raspodjele $f(r)$ slučajnog vektora r .

Zaključak

Melioracijskim sustavom se otklanjaju negativni utjecaji prirode : suše i poplave - navodnjavanjem i odvodnjom, te on teži optimalnom upravljanju koje će otkloniti negativne posljedice prirodnih poremećaja. Za što veću učinkovitost proizvodnje primjenom melioracijskih postupaka predložena je metoda dinamičkog programiranja za upravljanje melioracijskim sustavima.

Dinamičko programiranje je optimalizacijska metoda koja se primjenjuje u zadacima s višestapnom strukturom koja je zastupljena i kod melioracijskih sustava.

Posebnu pozornost pri upravljanju melioracijskim sustavima treba posvetiti slučajnim vrijednostima koje određuju stanje sustava. Slučajne vrijednosti se definiraju slučajnim vektorom koji ima direktan utjecaj na odluke u svakoj upravljačkoj etapi. Ciljna funkcija je stohastičkog karaktera, te se stohastički procesi upravljanja melioracijskim sustavima rješavaju dinamičkim programiranjem uz uvjet poznavanja odgovarajuće funkcije razdiobe slučajnog vektora.

Literatura :

1. Ecker, J., Kupferschmid, M. : Introduction to Operations Research, New York, 1988.
2. Gereš, D. : Sustainable Irrigation Development XIX Conference of the Danube Countries of Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Osijek, 1998. p. 619 - 622
3. Marušić, J. : Hydromelioration Works and Drainage Systems in the Danube Basin in Croatia, XIX Conference of the Danube Countries of Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Osijek, 1998. p. 587 - 596
4. Šperac, M., Gereš, D. : Analysis of the Stability of the Irrigation Optimization Solutions, XIX Conference of the Danube Countries of Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Osijek, 1998. p. 631 - 638

Autori:

1. Mr. sc. Marija Šperac, Građevinski fakultet Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku, Drinska 16a, 31000 Osijek
2. Doc. dr. sc. Dragutin Gereš, Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10 000 Zagreb, Građevinski fakultet Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku, Drinska 16a, 31000 Osijek



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.41.

Optimalizacija cjevovoda u sustavima za navodnjavanje

Dragutin Gereš, Marija Šperac

SAŽETAK: Za potrebe planiranja ili simulacije stanja cjevovoda u sustavima za navodnjavanje koristi se program Pipe-net. Program koristi principe ravnoteže između troška potrebne energije i korištenja cjevovoda, izraženih marginalnim cijenama. Prikazani su novi uvjeti za optimalno rješenje, koje je stabilno za različita početna rješenja. Potrebno je dalje istraživanje mogućnosti smanjenja promjera cjevovoda.

KLJUČNE RIJEČI: navodnjavanje, cjevovodi, optimalizacija, marginalne cijene.

Optimization of Irrigation System Pipelines

SUMMARY: Pipe-net program is used for irrigation pipelines planning or status simulation. The program uses principles of balance between energy cost and pipeline utilization expressed through marginal costs. New conditions for optimum solution which would remain steady for different initial solutions are described. Further investigations into pipeline diameter reduction are necessary.

KEYWORDS: irrigation, pipeline, optimization, marginal cost

1. Uvod

Pitanje optimalizacije cjevovoda dobilo je na značaju iz više razloga, kao npr. nedostatak investicijskih sredstava, težnja da se šteti voda itd. Rješenje optimalizacijskih modela je olakšano primjenom tehnike operacionalnih istraživanja i računala.

Većina optimalizacijskih modela ima ograničenja u primjeni. Raniji modeli koristili su se za relativno manje razgranate mreže. Prstenaste mreže postavljale su niz problema u optimalizaciji. Potrebne količine vode u dionicama rješavane su nizom protoka, uz uvjet da se zadovolje minimalni tlakovi i da ukupni gubici tlakova u prstenu budu jednaki nuli. Postavlja se pitanje dostizavanja cilja tj. da ukupni troškovi investicija i pogona budu najmanji. Optimalizacijski modeli moraju rješavati pitanja raspodjele vjerojatnosti opterećenja mreže i konačne protoke u sastavu, vjerojatnost pogrešaka u dijelovima sustava i optimalni raspored dijelova mreže.

Za model Pipe-net ulazni su podaci situacija podsustava za navodnjavanje – čvorovi, veze u čvorovima i potrebne količine vode u čvorovima, zatim cijene cjevovoda, energije, cijene kapitala.

2. Postavljanje modela

Za slučaj zadane cijevne mreže za navodnjavanje poznata je konfiguracija mreže i potreba za vodom po dionicama. Modeli proračuna mreže određuju promjere cjevovoda i

karakteristike crpki tako da trošak bude minimalan. To su linearni modeli. U takvoj primjeni modela urađene su pretpostavke: cijena cjevovoda je proporcionalna promjeru, svaka dionica između dva čvora ima samo jedan, uniformni promjer.

Proračun počinje s rješenjem koje je izvodljivo. Marginalna cijena energije – MCE definira se kao trošak energije po jedinici tlaka. Za crpke, MCE je trošak energije po jedinici protoka i jedinici tlaka (C) pomnoženo s ukupnim protokom crpke – $Q:MCE=C \times Q$. Za razdjelne čvorove MCE je prosječna veličina (po metodi težina) svih MCE čvorova, koji opskrbljuju promatrani čvor.

Faktor težine je protok iz čvora koji opskrbljuje :

$$MCE = \frac{\sum(Q_i \times MC_i)}{\sum Q_i} \quad (1)$$

gdje je: Q_i = protok iz čvora “i” prema promatranom čvoru

MC_i = marginalna cijena energije MCE u čvoru “i”

Kritični je čvor onaj koji ima najmanji prekomjerni tlak iznad zahtjevanog i koji se nalazi na kritičnom putu. Uzduž kritičnog puta nema prekomjernih tlakova. Razlika između zahtjevanog i raspoloživog tlaka u svim čvorovima, koji ne leže na kritičnom putu je višak tlaka H_p^E :

$$H_p^E = H^0 - H^{\min} \quad (2)$$

gdje je: H^0 = raspoloživi tlak u čvoru

H^{\min} = minimalni potreban tlak

Svaki spoj se promatra pojedinačno. Uz pretpostavku da se protoka ne mijenja u slučaju promjene promjera cjevovoda, proračunavaju se cijene cjevovoda za dionicu s postojećim promjerom, te većim ili manjim promjerom. Odluka o povećanju, smanjenju ili zadržavanju istog promjera cijevi temelji se na postavkama:

1) ako je:

$$(U_0 - U_{0-1}) \times L > (H_p^{0-1} - H_p^0 - H_p^E) \times C \quad (3)$$

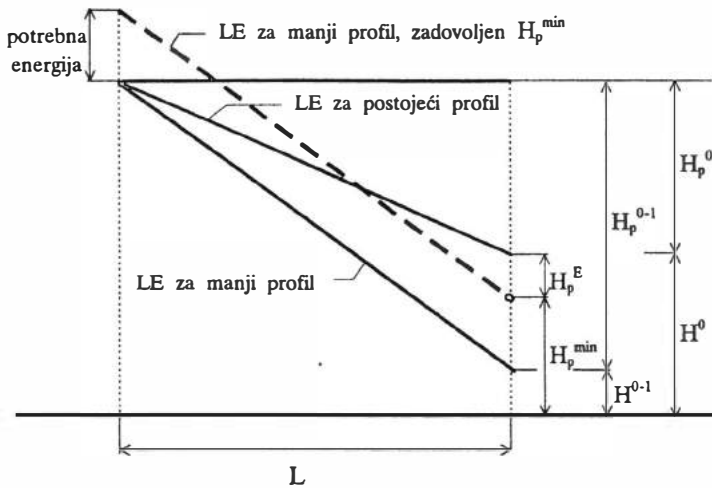
tada se reducira promjer cijevi

2) ako je:

$$(U_{0-1} - U_0) \times L < (H_p^0 - H_p^{0+1} - H_p^E) \times C \quad (4)$$

tada se povećava promjer cijevi.

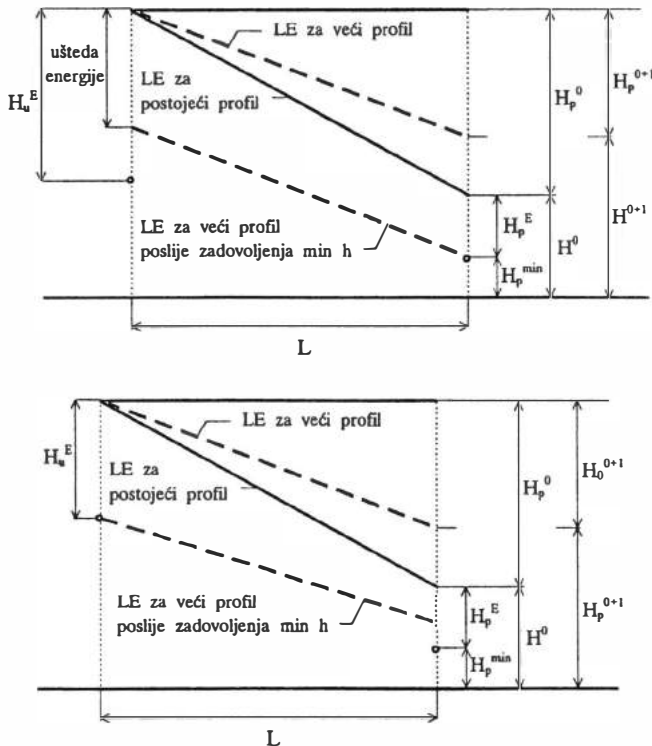
Ukoliko ni jedan od gornjih uvjeta nije ispunjen tada nema promjene promjera cijevi. Ovaj način poredbe naziva se “tehnika marginalne (rubne) energije kritičnog spoja”. Primjenjuje se za sve cjevovode. Cjevovodi na kritičnom putu imaju dodatni tlak H_p^E jednak nuli. Ukupni se troškovi uspoređuju prije i poslije primjene promjena promjera cjevovoda. Ukoliko dođe do smanjenja ukupnog troška ponavlja se procedura. U suprotnom slučaju proračun se zaustavlja i najniži trošak je lokalni optimalni trošak.



Slika 1. Uvjeti za smanjenje promjera cjevovoda

Navedeni model je jednostavan, temelji se na diskretnom nizu promjera cjevovoda i na isti način se primjenjuje na razgranatu i prstenastu mrežu. Za početak rada potrebno je inicijalno rješenje, za koje se očekuje da bude izvodljivo. Dva inicijalna rješenja daju različite ukupne troškove.

Potrebni uvjeti za povećanje promjera cijevi po izrazu (4) prikazani su na slici br. 2.



Slika 2. Uvjeti za povećani promjer cjevovoda

a) višak energije na uzvodnom čvoru je veći od uštede energije na nizvodnom čvoru

b) višak energije na uzvodnom je manji od uštede energije na nizvodnom čvoru

U slučaju povećanja promjera cijevi, naravno uz jednaki protok, gubitak energije se smanjuje. Nastaje višak tlaka, koji se može uštedjeti pomoću smanjenja raspoložive energije. To smanjivanje može biti samo do granice kod koje su tlakovi na uzvodnom ili nizvodnom čvoru zadovoljeni. Pojavljuju se dva slučaja za analizu, ovisno o uštedenoj energiji na uzvodnom čvoru ili na nizvodnom čvoru. Poređenje izlazi iz općih uvjeta da ukupna linija energije – LE ne bude ispod zahtjevanih tlakova na svakom čvoru.

a) kontrolni je čvor nizvodni čvor. Slijedeći uvjeti moraju biti ispunjeni:

dotatna cijena za cjevovod: $(U_{0+1} - U_0) \times L$

ušteda energije: $(H_p^0 + H_p^E - H_p^{0+1}) \times C$

$$(U_{0+1} - U_0) \times L < (H_p^0 + H_p^E - H_p^{0+1}) \times C \quad (5)$$

b) kontrolni je čvor uzvodni čvor. Moraju biti ispunjeni uvjeti:

dotatna cijena za cjevovod: $(U_{0+1} - U_0) \times l$

ušteda energije: $H_u^E \times C$

$$(U_{0+1} - U_0) \times L < H_u^E \times C \quad (6)$$

Dodatno poboljšanje modela moguće je uvođenjem koncepta u kojem su svi čvorovi na kritičnom putu. Cilj je ovog postupka smanjivanje prekomjernih tlakova na čvorovima koji ne leže na kritičnom putu. Smanjivanje se vrši do granica tlakova tako da ti čvorovi postanu kritični. Višak tlaka se reducira smanjivanjem promjera cjevovoda, koji teže čvoru koji se proračunava.

Računski primjer

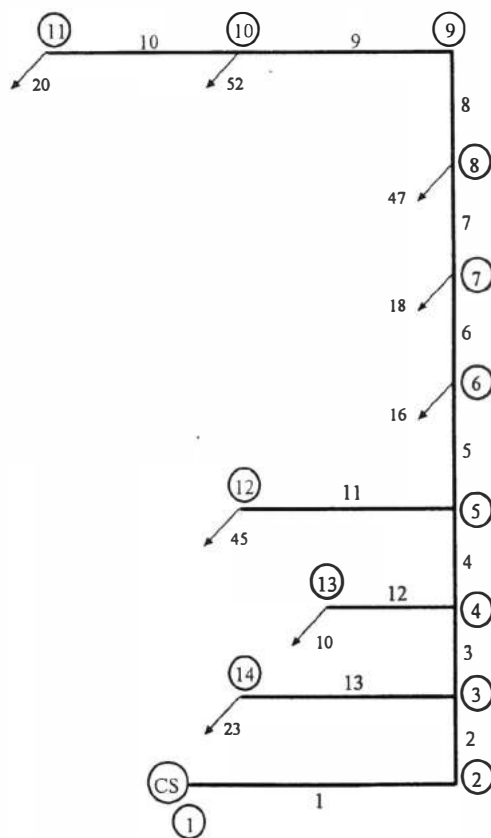
Razgranata mreža podsustava za navodnjavanje ima karakteristike prikazane na slici 3. i u tablici 1.

Planirano vrijeme rada podsustava: 20 godina. Godišnji broj sati rada je 1440 sati. Cijena 1 kwh električne energije je 0,62 kn, kamatna stopa je 12%, a pretpostavljena efikasnost rada crpne stanice je 70%. U čvoru 1 nalazi se crpna stanica. Raspoloživi je tlak u čvoru 115,0 m.

Proračun je izvršen primjenom modela i izraza (5) i (6) te primjenom koncepta kritičnog puta. Uspoređeni su rezultati i linearnog programiranja. Rezultati su prikazani u tablici 2. Dobijeni rezultati na modelu i “kritičnom” putu su stabilni, čak i u slučaju različitih inicijalnih rješenja. Krajni rezultat je vrlo sličan rezultatu dobijenom primjenom linearnog programiranja. Osnovna je razlika u tome što tehnika linearnog programiranja daje dva moguća primjera cjevovoda za pojedine dionice.

Tablica 1. Podaci o cjevovodima i čvorovima

CJEVODI		POTREBE U ČVORU		
Broj	Dužina (m)	Broj čvora	Mineralni potrebni tlak (m)	Potrebna protoka (l/s)
1	700	2	185,4	0
2	600	3	172,2	0
3	1050	4	188,4	0
4	350	5	191,9	0
5	250	6	206,9	16
6	500	7	198,9	18
7	250	8	194,9	47
8	350	9	177,0	0
9	950	10	196,2	52
10	1150	11	159,0	20
11	550	12	197,0	45
12	150	13	194,9	10
13	500	14	188,9	23



Slika 3. Primjer cjevovoda

Tablica 2. Rezultati proračuna razgranate mreže

	MODEL	ČVOROVNA KRITIČNOM PUTU	LINEARNO PROGRAMIRANJE
OPTIMALNI TLAK U ČI- CRPKA (m)	207,81	207,16	207,30
PROMJERI CJEVODA (cm)			
1	70	90	90
2	70	90	90
3	70	90	80
4	70	90	80
5	70	80	80
6	30	30	35
7	30	30	35
8	25	25	25
9	30	30	25/30
10	12,5	12,5	10/12,5
11	20	20	15/20
12	8	8	8
13	12,5	12,5	12,5
RASPOLOŽIVI TLAK U ČVORU (m)			
2	207,55	207,09	207,22
3	207,33	207,03	207,15
4	207,02	206,94	206,97
5	206,93	206,91	206,91
6	206,89	206,89	206,89
7	202,48	202,48	204,55
8	200,82	200,82	203,66
9	198,70	198,70	200,99
10	196,39	196,39	196,21
11	179,63	179,63	159,00
12	202,83	202,83	197,00
13	201,73	201,64	198,00
14	196,95	196,64	188,90
MARGINALNI GODIŠNJI TROŠKOVI (kn)			
Cjevovodi	53.390	65.850	59.325
Energija	15.540	14.950	14.800
Ukupno	68.930	80.800	74.125

3. Zaključak

Za optimalizaciju cjevovoda u sustavu za navodnjavanje učinkovito se može koristiti program Pipe-net. Za poznate potrebe u dionicama i čvorovima mreže model određuje minimalne troškove. Programima su dodana dva nova koncepta – kada uvjeti traže povećanje promjera cjevovoda i stanje kada su svi čvorovi na kritičnom putu. Optimalno rješenje ovisi o početnim uvjetima. Program koristi principe ravnoteže između troškova potrebne energije i troškova cjevovoda, izraženih marginalnim cijenama. Koncept što većeg broja čvorova na kritičnom putu ponekad daje poboljšanje rješenja. Potrebno je dalje istraživanje mogućnosti za smanjenje promjera cijevi na najmanju moguću mjeru. Krajnji optimalni rezultat proračunskog primjera dobiven je poboljšanim modelom [izraz (5) i (6)]. Rezultat je približno jednak rezultatu dobivenom linearnim programiranjem.

Oznake

MCE	marginalna cijena energije
C	MCE za cjevovod za postojeći protok
H^0	raspoloživi tlak na čvoru
H^{\min}	minimalni potrebni tlak
H_p^0	gubitak tlaka radi protoka u cjevima s postojećim profilom
H_p^{0+1}	gubitak tlaka radi protoka u cjevovodu s povećanim profilom
H_p^{0-1}	gubitak tlaka radi protoka u cjevovodu sa smanjenim profilom
H_p^E	dodatni tlak na nizvodnom čvoru
H_u^E	tlak koji se može uštedjeti na uzvodnom čvoru
L	dužina cjevovoda
MC_i	MCE u čvoru "i"
Q_i	protoka iz čvora "i" prema čvoru koji se razmatra
LE	ukupna linija energije
U_0	cijena po jedinici dužine postojećeg cjevovoda
U_{0+1}	cijena po jedinici dužine povećanog projekta cjevovoda
U_{0-1}	cijena po jedinici dužine smanjenog profila cjevovoda

Literatura

1. Gereš, D. (1989): Primjena systemske analize u navodnjavanju. *Vodoprivreda* 21 (1989/3-4), 517-521.
2. Gereš, D. (1988): Primjena tehnike optimalizacije na navodnjavanje ratarskih kultura. Konferencija SYM-OP-IS '88, Brijuni. Zbornik radova, Naučna knjiga Beograd, str. 493-496.
3. Šperac, M. Gereš, D. (1998.) Analysis of the Solutions of the Irrigation Optimization Solutions, Proc.: XIX Conf. of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of the Water Management, Osijek, pp 631-638.
4. Torno, H.C. (ed), (1985): Computer Application In Water Resources. ASCE, New York.

Autori:

doc.dr.sc. Dragutin Gereš, Hrvatske vode, Zagreb, Ulica grada Vukovara 220, Građevinski fakultet Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku, Drinska 16a
mr.sc. Marija Šperac, Građevinski fakultet Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku, Drinska 16a

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.42.

Navodnjavanje u području Donje Neretve

Damir Vidoš, Mijo Vranješ, Dragutin Gereš, Davor Romić

SUMMARY: U sklopu sveukupnih melioracijskih radova na području Donje Neretve treba riješiti navodnjavanje obradivih površina u sušnom razdoblju. Ranija zamisao vodozahvata u Neretvi nešto uzvodnije od Metkovića i dovod vode do mjesta navodnjavanja je djelomično ostvarena. Osnovni razlog ovakvom pristupu je naglašeni prodor mora u korito rijeke (slani klin) upravo u sušnom razdoblju, koji prema skromno izmjerenim podacima doseže do Gabele. Iz istog razloga su izgrađene ustave na Maloj Neretvi. Međutim, zaslanjivanje područja se ne događa samo kroz površinske vodotoke, nego je najveći donos soli u obradivi površinski sloj obradivog tla iz dubokih podzemnih slojeva aluvija preko dotoka slane podzemne vode. Zato je potrebno navodnjavanje površinskog sloja tla svježom vodom kako bi se spriječilo izoljavanje. Sadašnje rješenje je proteklih desetljeća provjereno u praksi i pokazalo se pogonski vrlo skupo i neučinkovito. Količina vode $7 \text{ m}^3/\text{s}$ se crpi na visinu do 10 m u sustav kanala i odvodi kroz vrlo dug transport do mjesta navodnjavanja uz velike gubitke vode iz kanala. Usput se voda u kanalima i zaslani. Daleko bolje rješenje je zasnovano na prirodnom dotoku vode iz uzvodnog dijela sliva Neretve uz razvođenje postojećom mrežom kanala i vodotoka. U tom slučaju treba spriječiti prodor mora u korito rijeke izgradnjom prikladnog objekta u blizini ušća. Time se dobije gotovo neograničena količina vode za navodnjavanje, a ne troši se pogonska energija. Rješenje pregrade mora omogućiti plovnost rijekom, što se postiže pokretnom konstrukcijom. Suvremeni materijali i dostignuća struke omogućuju racionalno rješenje. **KLJUČNE RIJEČI:** melioracija, navodnjavanje, obrana od soli, prodor mora u rijeku, Neretva

Irrigation in the Lower Neretva Region

SUMMARY: Irrigation of arable land during dry season would be resolved within the framework of comprehensive land reclamation activities carried out in the Lower Neretva region. An earlier idea of positioning a water intake on the Neretva River somewhat more upstream the town of Metković, and conveying the water to the irrigation site has been implemented to a certain degree. The basic reason behind this approach is intensive ingress of sea into the riverbed (salty wedge) during the dry season. The modest available data indicate that it extends to Gabela. For the same reason, the weirs were constructed at the Small Neretva. However, salination does not happen only through the surface water courses, because the major salt input into the arable land surface layer is from deep underground alluvial layers and inflow of salty groundwater. Therefore, the surface layer needs to be irrigated with fresh water to prevent salt extraction. The present solution has been tested in practice during the last decade, and it has proven very expensive in operation and inefficient. Quantity of $7 \text{ m}^3/\text{sec}$ of water is pumped to the height of 10 m, into a system of canals, to be conveyed through a long transportation system to the irrigation point, all of which is accompanied with major water losses from the canal. On its way, the water gets salinated in the canals. A much better solution would be natural water inflow from the upstream part of the Neretva catchment, which would be distributed through the existing network of canals and

watercourses. In such case, the sea ingress into the riverbed could be prevented by construction of adequate facility near the delta. This solution would offer an unlimited quantity of water for irrigation, and no power would be consumed for operation. The dam should be conceived so that it enables the river navigability; therefore, it should be mobile. Modern materials and state-of-the-art approaches should enable a cost-effective solution.

KEYWORDS: land reclamation, irrigation, salination control, sea ingress into the river, the Neretva River

1. Uvod

U obilju vode biti žedan i trpiti sušu. Nezgodno stanje, naročito za Neretvu.

A tek saznanje da kroz divnu Neretvu i u sušnom ljetu teče pored nas obilje vode, odlazi u more, a Dolina ostaje žedna. Dakle, nije lijepo kao što izdaleka izgleda.

Donju Neretvu zadnjih pola stoljeća nazivaju "Kalifornijom Hrvatske" (jugoistočne Evrope) ili slično. Ni Kalifornija nebi bila onakva kakvu je znaju da nema navodnjavanje, a Neretva toga nema i ni u kom slučaju ne može imati takve pridjeve. Nakon rješenja odvodnje i isušivanja močvare to je suha ratarsko voćarska površina, koja željno čeka kišu isto kao i tamo na otocima. A voda koja ju okružuje, ugrožava i spašava slana je (morska ili bočata).

U okruženju prirodnog ambijenta, prije više od pola stoljeća, male potrebe bile su zadovoljene prirodnim putem, uglavnom iz izvora po rubu doline. Uske parcele dobivene jendečenjem uz povišene obale vodotoka i rukavaca hranile su se obiljem vode iz divlje i neukroćene Neretve i njezinih rukavaca, koja je prije svog skončanja u moru stvorila bogatu močvarnu deltu.

Melioracija Donje Neretve utemeljena je na isušivanju močvare, zatvaranju rukavaca, navodnjavanju umjetnim i prirodnim kišenjem. Rasoljavanje tla, stvaranje plodnih polja još nije završeno. Stvorene su velike površine, ali daleko od kvalitetne vode, tako da se ideja o intenzivnoj poljoprivredi većim dijelom pretvorila u suho ratarenje.

Planovi predviđaju da je potrebno navodnjavati oko 7000 ha površina, a potrebna minimalna norma prema proračunima FAO je oko 6 do 7 l/sek po jednom hektaru. Uz normalne gubitke količina i za potrebe osvježenja potrebno je oko 7500 l/sek kvalitetne vode za navodnjavanje. Ljetna izdašnost lokalnih izvora je zanemariva u odnosu na potrebe. Ovim količinama zadovoljilo bi se potrebe cijelog područja uz lijevu obalu Neretve od Metkovića do mora, te područje Luke na desnoj obali.

Ove količine su dovoljne, ako imamo izgrađene sustave za navodnjavanje umjetnim kišenjem, sa strogo određenim režimom redosljeda kišenja, sa maksimalnom štednjom. A Neretvom, sada ukroćenom, i u ljetnim mjesecima teče od 50 do 250 m³/sek.

Od ulaza u Hrvatsku kod Metkovića do ušća u more Neretva ima razliku minimalnih vodostaja samo nekoliko desetaka centimetara (50-60). U doba zimskih mjeseci to je divlja rijeka. Poplavni maksimumi dosežu vodostaje po nekoliko metara iznad razine mora, protok do 2500 m³/sek, te joj prosječna širina oko 160 m i dubina do 12 m nisu dovoljne.

Ljeti, kada su mali dotoci (ispod 10% od maksimuma), rijeka je pod snažnim djelovanjem i usporom mora. Djelovanje plime i oseke osjeća se i dalje od Metkovića, a morska voda u uklinjenom donjem sloju dopire do mosta u Metkoviću. Tečenje slatke vode odvija se u površinskom sloju debljine manje od 1 m.

Bilo je više ideja zahvata kvalitetne vode za navodnjavanje iz rijeke. Ispitivanja su pokazala da je postavljanje plivajućeg zahvatnog uređaja kod Kule Norinske i na Duvratu

kod Metkovića nedovoljno efikasno i nesigurno, te se od toga odustalo. Postojala je ideja pregrađivanja Neretve nizvodno od Opuzena, ali veliki i teški radovi izgradnje betonske brane, velike brodske prevodnice u začetku su zaustavili razvoj ovakve ideje.

2. Navodnjavanje danas

Ključni objekti melioracija Donje Neretve po koncepciji iz tog razdoblja su ustave u Opuzenu i na ušću Male Neretve, koje izoliraju cjelokupne površine uz lijevu obalu Neretve od Metkovića do ušća. Na tim objektima osniva se osiguranje prostora od otvorenog prodora mora u zaobalje, regulacija voda unutar prostora i djelomična obranu od poplava.

Krajem drugog svjetskog rata u Metkoviću je srušen stari most. Ostaci, koji se nisu tada uklonili stvorili su prag, te morska voda ne može jače prodrijeti uzvodno od mosta. Tako se došlo do prihvatljive lokacije zahvata vode za navodnjavanje uzvodno od mosta u Metkoviću.

Izgrađen je sustav za navodnjavanje zamišljen šezdesetih godina u FAO projektu. Uz dopune projektiran je krajem sedamdesetih i izgrađen krajem osamdesetih (1987). Sastoji se od zahvata na Neretvi uzvodno od Metkovića, hidrotehničkog tunela, magistralnog kanala i tlačnih sustava za navodnjavanje.

Zahvat – glavna crpna stanica za navodnjavanje izgrađena je na najnižvodnijem mogućem mjestu na Neretvi vodeći računa o slanosti, neposredno uz granicu, a na teritoriju Bosne i Hercegovine. Crpna stanica je na čeličnom pontonu, tri crpke kapaciteta $3 \times 2,5 \text{ m}^3/\text{sek}$ sa visinom dizanja vodnog stupca oko 7 m.

Hidrotehničkim tunelom dužine oko 0,5 km, kroz brdo Predolac provodi se voda do glavnog magistralnog kanala. Tunnel na svom izlazu ima građevinu za umirenje i razbijanje kinetičke energije vode. Kota dna izlazne građevine je +0,10 mnm.

FAO projekt 1963 nije predviđao melioraciju područja Kuti, te je put vode za natapanje predviđen tek na kratkom potezu (do Fratrove jaruge) umjetnim kanalima u nasipima, te dalje kroz prirodne tokove Starorječja Neretve, močvaru područja Kuti do Male Neretve. Krajem sedamdesetih, područje Kuti se određuje za melioraciju. Koncepcija navodnjavanja se ne mijenja, te se za rješenje odabire izgradnja magistralnog kanala u nasipima dužine oko 10 km po sjevernom rubu područja Kuti.

Kako je okolni teren u području Koševo oko izlaza iz tunela prosječno oko kote +0,20 do +0,45 mnm, magistralni kanal za navodnjavanje je izgrađen u nasipima, čija kota krune prelazi +3,00 mnm. Tlo na kojem je izgrađen kanal loše je nosivo, na dubokim slojevima treseta. Nasipi su zemljani i nisu oblagani. Očekivana su velika slijeganja, ali je zaključeno da će doprinos napretku, pokriti troškove održavanja nasipa.

Cjelokupni akvatorij i prostor nemelioriranih površina mora se održavati kao slatkovodni bazen. Voda je dostupna svakome, posve nekontrolirano, prepuštena velikom isparavanju, utjecaju slanosti podzemnih voda i osjetljivom i nesigurnom rukovanju morskim ustavama.

Za dovod vode do udaljenih parcela bili su predviđeni polustacionarni sustavi hidrantskih mreža sa tlakom do 8 bara, mobilnom opremom za velike površine (Boom i Tiphon).

Područje Luke uz desnu obalu Neretve, do 1988 imalo je navodnjavanje posebnim sustavom sa vrela Modro oko. Sustav je napušten, vodovod uništen. Koševo i Vrbovci (oko 400 ha) koristi vodu za navodnjavanje iz lateralnog kanala, koji iz vrela ima kvalitetnu vodu.

Izgrađeni sustav predviđa dovod 7,5 m³/sek kvalitetne vode za navodnjavanje u profil Male Neretve u Opuzenu, održavanje slatkovodnog bazena površine (vodene i močvarne) oko 2500 ha, obranu od zaslanjenja, razvod putem tlačnih sustava na oko 3600 ha. Početak rada sustava i dovod vode za navodnjavanje mora biti polovicom lipnja, a traje do kraja rujna, dakle oko 110 dana. Kod započinjanja dovoda svježee vode, zatečena kvaliteta vode u području mora biti zadovoljavajuća. U protivnom prođe i do 40 dana do zadovoljenja kvalitete crpkanjem, tj potiskivanjem slane vode prema moru.

Sustav za dovod vode završen je 1988, u zadnjih 10 godina radio je 6 puta i to sa samo 2/3 kapaciteta. Samo je kroz jednu sezonu (1989) postignuta mogućnost intenzivnog korištenja tlačnog sustava Glogačko jezero (500 l/sek), više nije bilo pokušaja ovakvog korištenja, jer je došlo do devastacije sustava za navodnjavanje Glogačko jezero. Godine 1997 i 1998 u dvije sezone, a nakon znatnih rekonstrukcija i ulaganja postignuti su zadovoljavajući rezultati u pogledu kvalitete vode.

Nasipi dovodnog kanala za navodnjavanje su se slegli prema očekivanju i do 1 m, propusti su se deformirali i već nakon svega nekoliko sezona rada, mora se izvršiti obimna rekonstrukcija.

Karakteristike postojećeg sustava:

- Ispuštanje vode u veliko područje
- Korištenje vode bez kontrole i raspodjele
- Nemogućnost dovoda potrebnih količina na unutrašnje parcele
- Vrlo malo realno korištenje unutar melioracijskih sustava, gdje je najpotrebnije
- Veliki gubici vode infiltracijom i isparavanjem
- Kanal s pozajmištima i prometnicama zauzima preko 40 ha najboljih površina
- Velike i česte rekonstrukcije dovodnog kanala
- Vrlo skupo održavanje crpne stanice
- Promijenjen sustav vlasništva, oblici i površine parcela
- Neizgrađeni i vrlo skupi, te vrlo nepovoljni sustavi za kišenje

Sve ovo upućuje na traženje novog rješenja navodnjavanja.

3. Prijedlog cjelovitog rješenja

Slana morska voda djelovanjem morskih mijena, a uslijed malog dotoka kroz Neretvu, naročito ljeti, uklinjava se u rijeku ostavljajući samo 1 do 2 m prostora ispod površine u kome teče slatka voda. Klin je sve manje izražen udaljavanjem od ušća, ali u pridnenim slojevima u vrijeme većih suša dopire i dalje od Metkovića. Biološki minimum Neretve je 25 m³/sek, koji se rijetko pojavi, jer rad hidroelektrana i donji pritoci stvaraju dotok na profilu Metkovića od 50 do 250 m³/sek. Sada se ta voda ne koristi. Gornji lakši slojevi omogućavaju kvalitetniju vodu u priobalnom dijelu nizvodno od Opuzena, ali nedovoljno da bi se prihvatilo za korištenje.

Stara ideja prekida slanog klina pregradom u ranijem razdoblju nije mogla biti prihvaćena zbog:

- Velike masivne konstrukcije betonske pregrade
- Velike brodske prevodnice
- Uspora i povišenja vodostaja uzvodno od ustave za vrijeme velikih voda

Upotrebom novih materijala i lakih konstrukcija iz raznih područja tehnološkog razvoja

(npr. i materijala proizvedenih za svemirska istraživanja) ideja pregrađivanja Neretve i prekidanja slanog klina postaje realna i znatno laše ostvariva u odnosu na prijašnja vremena.

Pregrada

Moguće je Neretvu pregraditi uzvodno od naftnog terminala u Rogotinu, npr. nizvodno od ušća Desanske rijeke.

Na plitkom temelju pogodne (montažne, sidrene) konstrukcije koja ne narušava hidraulički profil rijeke postaviti plivajuću pregradu od plastične ili gumene konstrukcije (zavjesa, vodeni mjehur ili slično) koji će prekinuti klin slane vode, a istovremeno gotovo bez uspora propustiti nadolazeće slatke vode (slika 2). Pregrada ne mora biti do površine ili ne mora cijelom dužinom biti do površine.

Određeni dio pregrade mora zadovoljiti potrebe prolaza manjih brodica. Prolaz velikih brodova ostvario bi se otvaranjem potrebne dužine pregrade preklopom, potapanjem ili rastvaranjem dijela pregrade. Operacija nebi trebala trajati duže od 1 sata, a dubina otvora mogla bi se lako odrediti prema tipu broda, što znači da prigodom operacije prolaska broda u korito rijeke ne mora uću velika količina slane vode (mora).

Za vrijeme kada nema potrebe za navodnjavanjem cijela se konstrukcija može demontirati, spremiti u skladište, a za drugu sezonu ponovo postaviti. Ovo daje rješenje potpune sigurnosti za protok velikih voda, kao i za čuvanje konstrukcije.

Na ovaj način bitno se mijenjaju prilike u vodama Donje Neretve:

Prirodni vodotoci i jezera

Prestaje potreba za čvrstim zatvaranjem ustave na Maloj Neretvi u Opuzenu, a rekonstrukcijom ustave na ušću Male Neretve omogućava se osvježanje i tijekom ljeta. Protok kroz Neretvu se smanjuje, a time i erozija obala, odnošenjem pijeska. Obiljem vode sada se može osvježiti jezero Mihalj koje ljeti često atrofira.

Desanska rijeka tada ima dovoljno vode za osvježanje Crne rijeke i jezera Vlaška, kanala naftnog terminala, jezera Birina i akvatorija luke u Pločama.

Poboljšava se kvaliteta vode u močvari Kut i u području Vid Norin.

Zbog rjeđe potrebe zatvaranja ustave na ušću Male Neretve omogućuje se ulazak ribe i riblje mlađi iz mora u močvaru.

Navodnjavanje

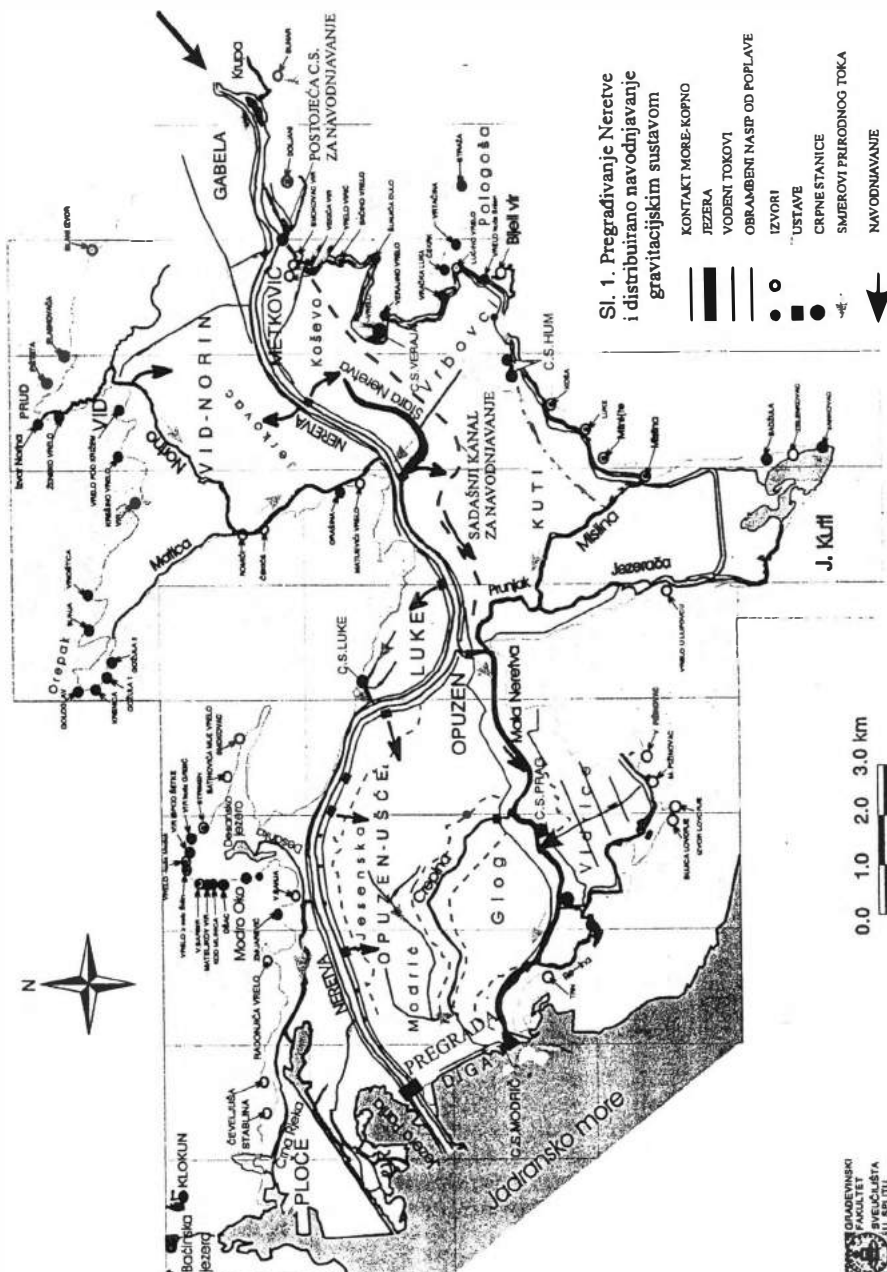
Prestaje potreba crpkanja 7,5 m³/sek vode u Metkoviću, a time i natapnog kanala, što oslobađa oko 50 ha površina, stvara oko 100.000 m³ materijala potrebnog za izgradnju i rekonstrukciju nasipa obrane od poplava.

Sustav za navodnjavanje postaje gravitacijski (prirodan) s mogućnošću dovoda vode do svake parcele unutar i izvan dosadašnjeg sustava za odvodnju.

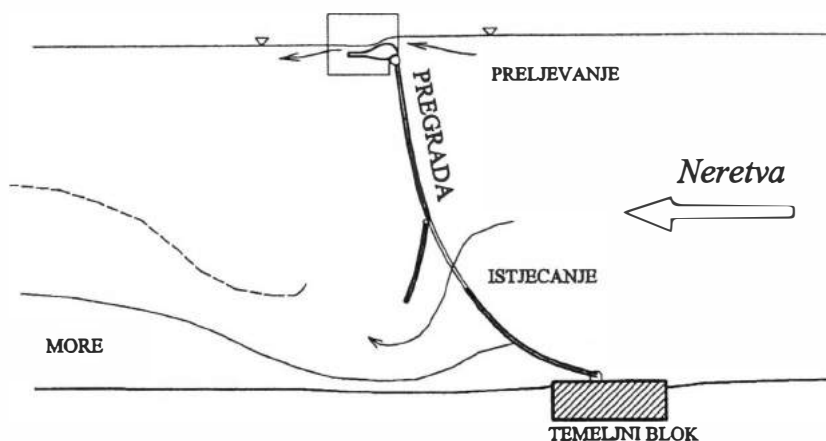
U Donjoj Neretvi na hidromelioracijskim sustavima izgrađeno je 160 km kanala za odvodnju. Kanali za odvodnju u ljetnim mjesecima pomoću objekata za regulaciju (male ustavice) postaju kanali za navodnjavanje dostupni svakome sa dovoljnim količinama kvalitetne vode.

Doziranjem se može puštati samo potrebna količina vode, eventualni višak crpi se postojećim crpkama za odvodnju na upola manju visinu dizanja i upola manjim količinama od sadašnjih za navodnjavanje.

U sadašnjim nasipima za obranu od poplava postoji niz ustava i propusta kroz koje se jednostavno može iz rijeke upuštati potrebna voda i razvoditi po cijelom području gdje se predviđa navodnjavati. Postojeća mreža melioracijskih kanala se lako može dijelom preurediti u kanale za navodnjavanje, a u zimskom razdoblju ti kanali opet služe za odvodnju viška vode iz područja. Cjeloviti sustav za navodnjavanje je prikazan u situaciji na slici 1.



Slika 1



Slika 2. Fleksibilna (pomična) pregrada

Literatura

1. Clemmens, A.J. and Replage, J.A. (1989) "Control of Irrigation Canal Networks", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol 115, No. 1, pp 96-110
2. Molina, L.S. and Miles, J.P. (1996) "Control of an Irrigation Canal", Journal of Hydraulic Engineering, Jul. 1996., Vol. 122, No. 7, pp 403-410
3. Stephens, R and Imberger, J. (1996) "Dynamics of the Swan River Estuary; the seasonal variability", Journal of Maritime and Freshwater Research, Vol. 47, No. 3
4. Lewin, J. (1996) "Dugald Clerk Lecture 1995, Mechanical Aspects of Water Control Structures", Proceedings Water Maritime and Energy, Vol. 118, N0. 3
5. Kee, S.T. and Kim, M.H. (1997) "Flexible Membrane Wave Barrier. II: Floating/Submerged Buoy-Membrane System", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Mar/Apr. 1997., Vol. 123, No. 2, pp 82-90
6. McAnally, W.H. and Pritchard, D.W. (1997) "Salinity Control in Mississippi River under drought Flows", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Jan/Feb. 1997., Vol. 123, No. 1, pp 34-40
7. Vittori, G. (1998) "Oscilating Tidal Barriers and Random Waves", Journal of Hydraulic Engineering, Apr. 1998., Vol. 124, No.47, pp 406-412
8. Vranješ, M. at ost. "Zaštita od zaslanjivanja vode i tla u Donjoj Neretvi; razvojni projekt", Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu-Hrvatske vode Zagreb, 1995.-1998.

Autori:

Damir Vidoš, dipl. ing. građ., "Neretvanski sliv" Opuzen

Doc. dr. Mijo Vranješ, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu

Doc. dr. Dragutin Gereš, dipl. ing. građ., Hrvatske vode, Zagreb

Davor Romić, dipl. ing. agr., Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.43.

Kakvoća i mogućnost upotrebe vode za navodnjavanje u dolini Neretve

Davor Romić, Frane Tomić, Josip Marušić, Željko Klačić, Mijo Vranješ

SAŽETAK: Od 1997. godine u dolini Neretve kakvoća površinskih voda analizira se jednom mjesečno na dvanaest lokaliteta koji su potencijalni izvori za navodnjavanje. U uzorcima se analiziraju svi potrebni parametri obuhvaćeni klasifikacijom za procjenu kakvoće vode za navodnjavanje (*Ayersa i Westcota, 1985*). Rezultati provedenih istraživanja pokazuju veliku prostornu i vremensku varijabilnost utvrđenih parametara. Tako se, u Neretvi kod Opuzena ukupna koncentracija soli u vodi kretala od 0,4 do 7,7 dS/m, u Crnoj Rici kod Rogotina od 1,3 do čak 17,2 dS/m. Kod crpne stanice Vidrice koncentracija soli bila je od 1,5 do 7,7 dS/m. Slično je utvrđeno i u Crepini -od 0,9 do 6,8 dS/m. U Maloj Neretvi koncentracija soli varirala je od 0,6 do 2,8 dS/m, Bočini od 1,7 do 2,0 dS/m, a u Norinu od 1,1 do 1,9 dS/m. Najviše koncentracije soli javljaju se u ljetnim mjesecima kada je i najčešća primjena navodnjavanja. S obzirom na ovako visoke koncentracije soli u vodama postoje ozbiljne opasnosti od zaslanjivanja tala u dolini Neretve, bilo kapilarnim dizanjem soli do rizosfere ili primjenom takve vode za navodnjavanje.

KLJUČNE RIJEČI: navodnjavanje, zaslanjene vode, zaslanjivanje, alkalizacija

Quality of Surface Water in The Neretva Valley and Its Possible Use in Irrigation

SUMMARY: Since 1997, the surface water in the Neretva River valley has been analyzed on a monthly basis in twelve locations which are considered potential irrigation sources. The samples are analyzed for all parameters required in the irrigation water quality classification (*Ayers and Westcot, 1985*). The investigation results show considerable spatial and time variability of determined parameters. Thus, in the Neretva near Opuzen, total concentration of salt in water was from 0.4 to 7.7 dS/m, in Crna Rika near Rogotin from 1.3 up to 17.2 dS/m. Near Vidrice pumping station concentration of salt was from 1.5 to 7.7 dS/m. Similar values were determined at Crepina, from 0.9 to 6.8 dS/m. In Mala Neretva, concentration of salt varied from 0.6 to 2.8 dS/m, in Bočina from 1.7 to 2.0 dS/m, and in Norin from 1.1 to 1.9 dS/m. The maximum salt concentrations have been recorded during the summer season when irrigation is most frequently needed. Due to so high salt concentrations in water, there is a serious danger of soil salination in the Neretva River valley either through capillary suction of salt to the root zone or by use of such water for irrigation.

KEYWORDS: irrigation, salinated water, salination, alcalination

Uvod

Dolina Neretve, ukupne površine 12.067 ha, predstavlja specifični prirodno - geografski prostor usječen u krški okvir, unutar kojega je poljoprivreda doživljavala različite promjene. Organizacija života ljudi, ciklusi poljoprivredne proizvodnje, ali i sav živi svijet bili su prilagođeni vodnom režimu prirodnog okruženja. Intenzivna poljoprivredna proizvodnja dovela je do toga da dolina Neretve dobije epitet "hrvatske Kalifornije". Zahvati na uređenju zemljišta, regulacijski zahvati u samoj delti kao i izgradnja hidroenergetskih i drugih objekata unutar sliva Neretve imali su značajan utjecaj na promjenu vodnog režima. Predpostavka je da je to imalo utjecaja i na sve dublji prodir morske vode unutar delte.

Poljoprivrednici u dolini Neretve koriste površinske i podzemne vode za navodnjavanje. Korištenje vode nedefinirane kakvoće za navodnjavanje može imati za posljedicu zaslanjivanje ili/i alkalizaciju poljoprivrednih tala. Teško je i nabrojati primjere sekundarne salinizacije ili/i alkalizacije koji su zabilježeni u dugoj povjesti navodnjavanja (Romić, 1995). Kombinacija utjecaja zaslanjene podzemne vode i korištenja zaslanjene vode za navodnjavanje može imati katastrofalne posljedice i u dolini Neretve. Provođenje višegodišnjih istraživanja, ali i uspostava sustava trajnog motrenja uz odgovarajuće gospodarenje naročito u poljoprivrednoj proizvodnji, jedina su garancija da do ozbiljnih problema neće doći.

Materijal i metode rada

Uzorci vode za laboratorijske analize uzimani su na 12 lokacija iz otvorenih vodotoka jednom mjesečno počevši od kolovoza 1997. Uzorci vode uzeti su i konzervirani na način propisan "Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće" (N.N. 46/94). U uzorcima vode određeni su svi relevantni parametri: reakcija (pH), elektrovodljivost (EC_{iw}) i sadržaj pojedinačnih kationa i aniona, a prema metodama APHA (1992). Tako je potenciometrijski određena reakcija (pH), elektrovodljivost (EC_e) konduktometrijski, mikroprocesorskim konduktometrom s platinskom elektrodom. Koncentracije klorida određivane su metodom $AgNO_3$ titracije, nitrati kolorimetrijski fenol disulfonskom kiselinom, sulfati turbidimetrijski $BaCl_2$, bikarbonati H_2SO_4 titracijom, kalcij metodom EDTA titracije, magnezij plamenom AAS, natrij plamenfotometrijski. Analize su učinjene u laboratoriju Zavoda za melioracije Agronomskog fakulteta.

Rezultati istraživanja

Da bi se voda mogla klasificirati u svrhu korištenja za navodnjavanje potrebno je poznavati njezin kemijski sastav. U slučaju zaslanjenih voda najčešći parametri za procjenju njihove primjenjivosti jesu ukupna koncentracija soli izražena EC_{iw} vrijednošću, zatim odnos Na^+ prema Ca^{2+} i Mg^{2+} u vodi izražen SAR_{iw} odnosno RNa_{iw} vrijednošću, te sadržaj potencijalno toksičnih iona natrij, klor, bor, metali u tragovima (Ayers i Westcot 1985). Kakvoća vode ocjenjuje se na temelju triju potencijalnih problema: zaslanjivanja, smanjenja infiltracijske sposobnosti i toksičnosti, dodajući još i specifične efekte pri različitim tehnologijama (npr. bikarbonati kod navodnjavanja kišenjem).

U tablici 1 prikazan je prosječan kemijski sastav vode tijekom istraživanja na lokacijama u dolini Neretve. Iz tablice je vidljivo da je kakvoća vode najpovoljnija na lokacijama Norin, Bočina i Mala Neretva, gdje su prosječne vrijednosti iznosile $EC_w < 2$ dS/m. Nadalje, na četiri je lokacije: Neretva-Opuzen, Vrbovci, Crepina i Mala Neretva -Ušće prosječna

elektrovodljivost bila $EC_{iw} < 4$ dS/m, a $EC_{iw} > 4$ S/m utvrđena je na lokacijama Desanka, Kanal Modrič, CS Vidrice i CS Neretva-Ušće. Najviša prosječna elektrovodljivost tijekom istraživanja bila je na lokaciji Crna Rika-Rogotin i iznosila je 7,93 dS/m.

Tablica 1. Prosječni kemijski sastav površinskih voda u delti Neretve

Lokacija	E.C. dS/m	NO ₃ -N	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
		mg/l						
Norin	1,03	0,06	113,6	86,8	25,8	246,2	81,3	201,7
Vrbovci	3,55	0,86	443,5	189,2	74,1	980,6	280,4	320,4
Bočina	1,57	0,25	166,3	100,1	40,1	360,1	83,6	317,0
Neretve - Opuzen	2,32	0,33	305,5	92,2	48,9	676,3	124,2	215,5
Mala Neretve	1,48	0,19	158,7	100,4	29,4	253,3	100,6	344,9
Desanka	4,42	0,39	658,5	109,5	87,9	1391,3	264,5	212,6
Crna Rika-Rogotin	7,93	0,30	1242,1	134,3	171,8	2681,5	471,9	218,6
Kanal Modrič	4,53	0,15	666,5	136,8	98,1	1313,4	263,2	295,9
Crepina	2,36	0,09	311,3	97,2	49,9	644,3	122,9	236,8
CS Vidrice	4,84	0,37	702,5	128,9	95,8	1495,6	249,2	272,2
Mala Neretva-Ušće	3,65	0,16	556,4	110,6	69,5	689,4	154,9	603,5
CS Neretva-Ušće	4,59	0,73	655,4	127,7	96,9	1330,7	224,0	271,6

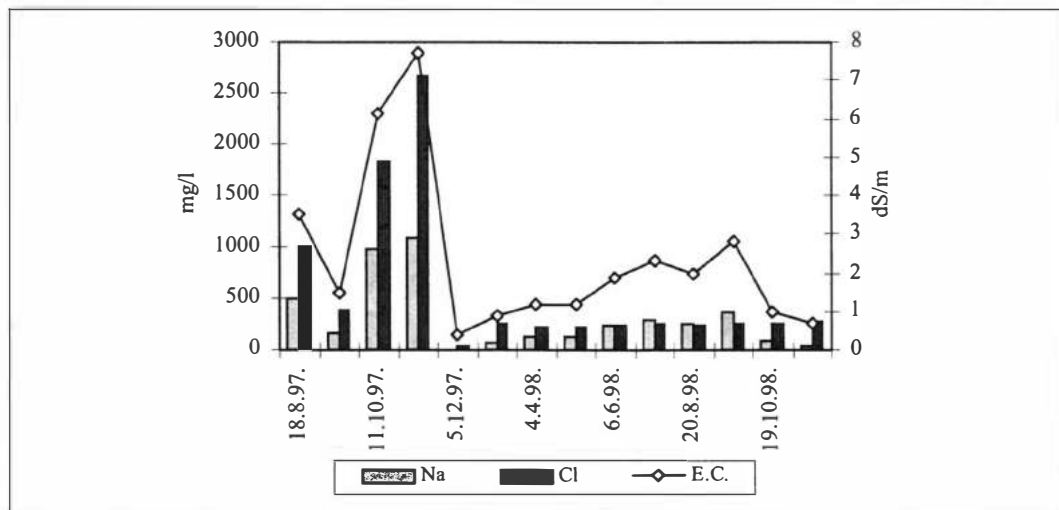
EC_{iw} samo je jedan od parametara za procjenu kakvoće vode za navodnjavanje. Za procjenu kakvoće vode potrebno je poznavati i njezin ionski sastav. Kako je iz tablice 1 vidljivo visoka ukupna koncentracija soli prati visoku koncentraciju Na⁺ i Cl⁻. Najviša prosječna koncentracija od 2681,5 mg/l Cl⁻ i 1242,1 mg/l Na⁺ izmjerena je u vodama Crne Rike. Visoke koncentracije soli u vodama na ovom području, posljedica su prodora morske vode. Uz Na⁺ i Cl⁻ to potvrđuju i odnosi Ca²⁺ i Mg²⁺ u vodama Crne Rike. Naime, poznato je da morska voda sadrži više magnezija nego kalcija. Nadalje, iz tablice 1 je vidljivo da EC_{iw} i ionski sastav varira s obzirom na mjesto uzorkovanja. Međutim, sezonsko variranje značajno je zbog potreba navodnjavanja kako je prikazano nekoliko lokaliteta na grafikonima. Na grafikonu 1 prikazani su odnosi promjena EC_{iw} i sadržaja Na⁺ i Cl⁻ tijekom istraživanja na lokaciji Neretva - Opuzen.

Iz grafikona 1 je vidljivo da je najviša koncentracija soli izmjerena u studenome 1997. godine. Nakon toga koncentracija soli opada da bi svoj drugi maksimum imala u rujnu 1998. Slična dinamika zabilježena je i u vodi Crepine kako je prikazano na grafikonu 2. I u Crepini se u ljetnim mjesecima 1998. g. EC_{iw} se približavaju kritičnim vrijednostima, naročito za osjetljive kulture.

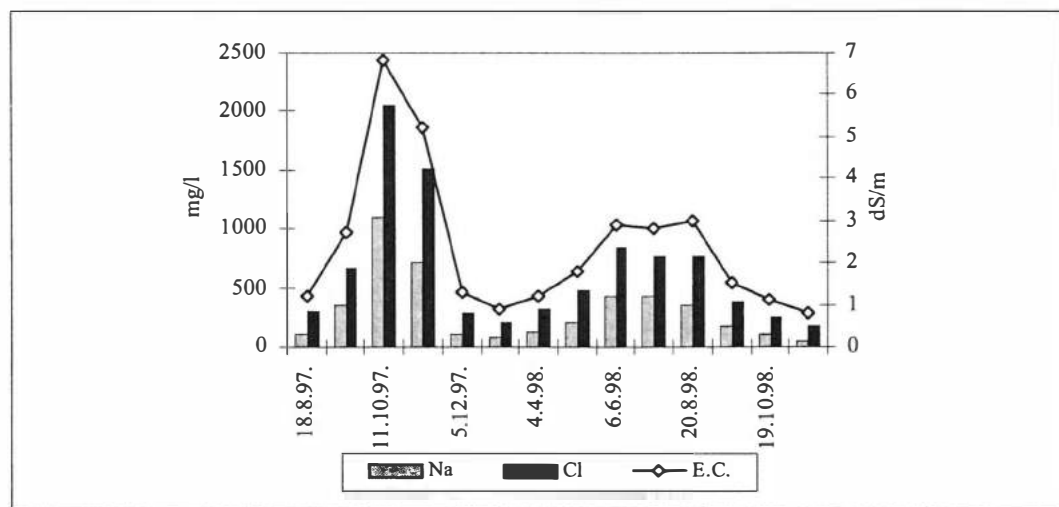
U kanalu Modrič je EC_{iw} i ionski sastav vode ujednačeniji tijekom razdoblja istraživanja (grafikon 3). Međutim, vrijednosti analiziranih parametara su više i dostižu u ljetnim mjesecima, kada se navodnjavanje i primjenjuje, vrlo kritičnih $EC_{iw} > 5$ dS/m. Navodnjavati vodama sa $EC_{iw} > 5$ dS/m mogu se samo neke za soli vrlo tolerante kulture (Maas, 1986).

Tijekom uzorkovanja vode iz kanala Modrič, na parceli u neposrednoj blizini, navodnjavan je rasad kupusa na kojem su se jasno uočavali simptomi oštećenja nastali primjenom zaslanjene vode.

Zaslanjene vode mogu imati katastrofalne posljedice ne samo za biljke negi i za tlo. Dosadašnjim su istraživanjima Romića i sur. 1998 utvrđena tri načina zaslanjivanja



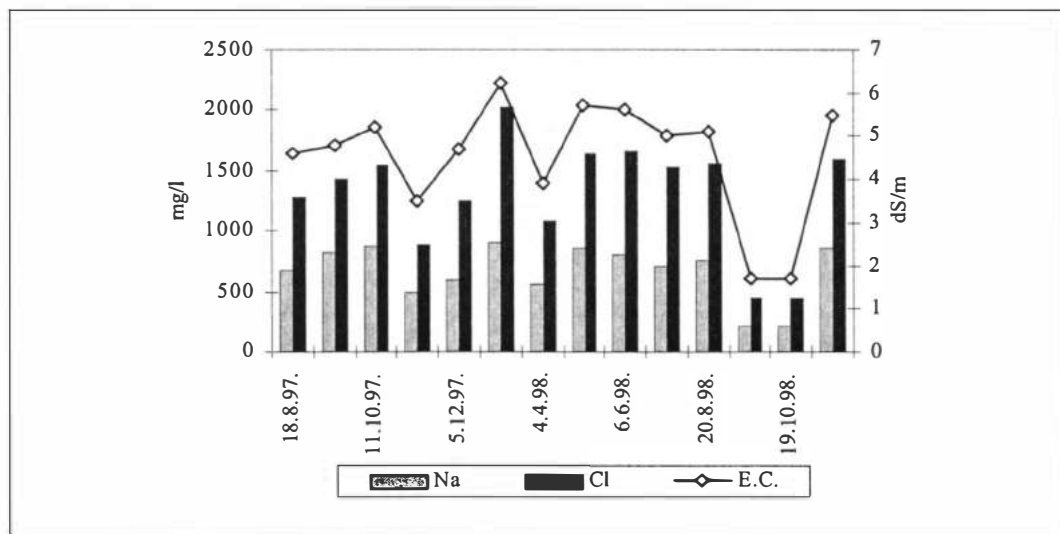
Grafikon 1. Promjene vrijednosti EC_c (dS/m) i koncentracija iona klor i natrija (mg/l) u vodi Neretve kod Opuzena



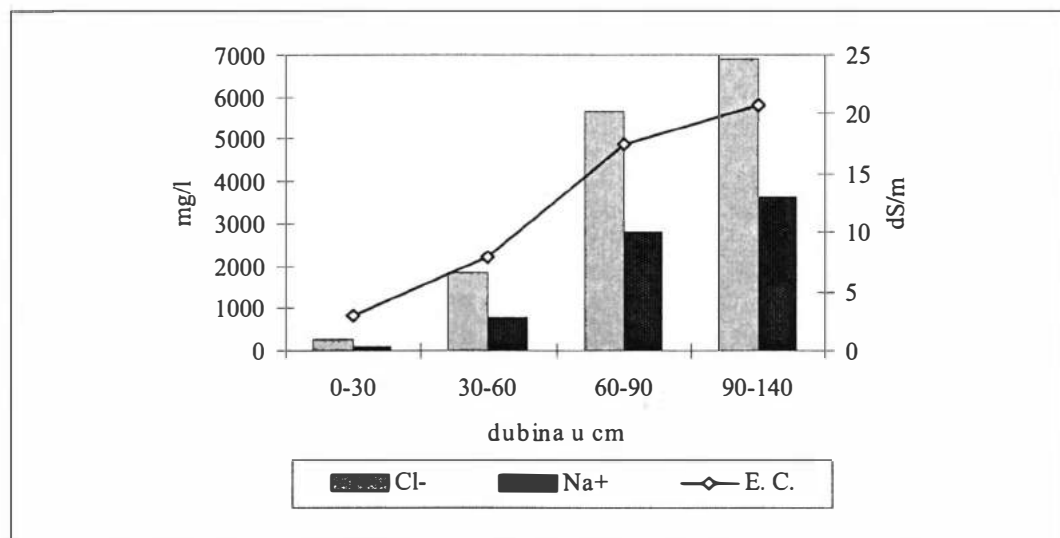
Grafikon 2. Promjene vrijednosti EC_{iw} (dS/m) i koncentracija iona klor i natrija (mg/l) u vodi Crepine

poljoprivrednih tala u dolini Neretve: a) podzemnom vodom zaslanjenom pod utjecajem prodora mora, b) navodnjavanjem vodom nezadovoljavajuće kakvoće, te c) iznošenjem zaslanjenih sedimenata pri izvođenju melioracija na površinu tla. Na grafikonu 4 prikazana je vertikalna distribucija iona natrija i klor te povećanje elektrovodljivosti dubinom profila na lokaciji Opuzen - Ušće. Radi se o profilu zaslanjenom podzemnom vodom, u kojem se vrijednost elektrovodljivosti otopine tla (EC_c) povećava od 2,94 dS/m u sloju 0-30 cm do čak 20,65 dS/m na dubini 90 - 140 cm. Na istoj dubini izmjerena je i najviša koncentracija iona klor 6912,75 mg Cl⁻/l, te natrija - 3650,0 mg Na⁺/l.

Potrebno je naglasiti da distribucija soli unutar profila, kako je prikazano u grafikonu 4, može odstupati od literaturno poznatih tipičnih distribucija pod utjecajem zaslanjene podzemne vode. Naime, u ljetnim mjesecima uslijed kapilarnog dizanja vode i soli, te evapotranspiracije, dolazi do nakupljanja soli u površinskom horizontu. Međutim, u dolini Neretve riječni sedimenti različitog teksturnog sastava, te naročito pjeskoviti proslojci, prekidaju kapilarne tokove, što rezultira drugačijom distribucijom soli.

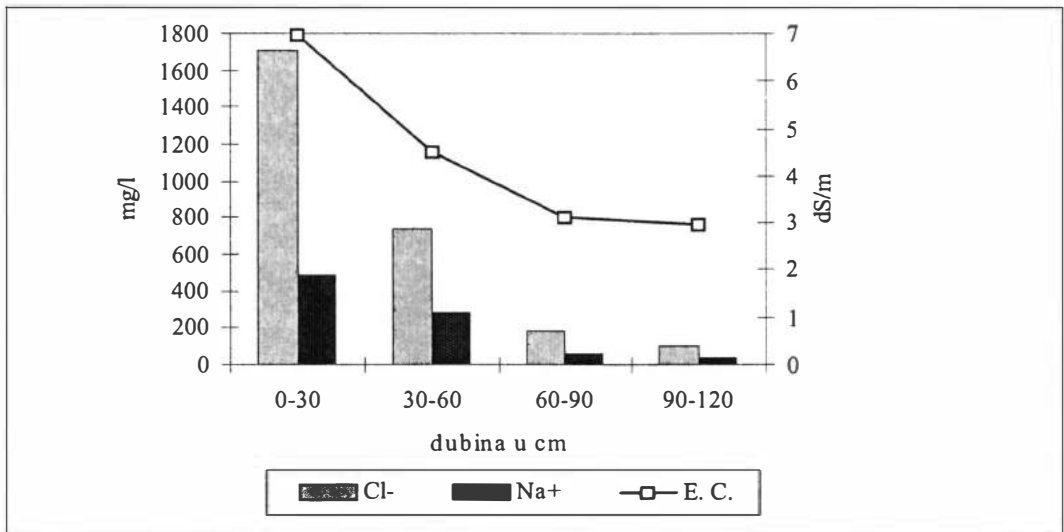


Grafikon 3. Promjene vrijednosti EC_e (dS/m) i koncentracija iona klora i natrija (mg/l) u vodi kanala Modrič



Grafikon 4 . Promjene vrijednosti EC_e (dS/m) i koncentracija iona klora i natrija (mg/l) po dubinama profila na lokaciji Opuzen - Ušće pod utjecajem zaslanjene podzemne vode

Na lokaciji Vidrice, na kojoj je bio zasađen kupus koji je navodnjavan, distribucija soli unutar profila (grafikon 5) suprotna je onoj sa grafikona 4. Koncentracija soli bila je najviša u površinskom horizontu. Vrijednost elektrovodljivosti (EC_e) smanjuje se postupno od 6,95 dS/m u površinskom sloju 0 - 30 cm do 2,96 dS/m na dubini 90 - 120 cm. Naročito je izraženo nakupljanje iona klorida u površinskom sloju, a koncentracija iznosi čak 1710,46 mg Cl⁻/l. Visoke koncentracije klorida u otopini tla toksične su za biljke, a stupanj oštećenja nakupljanjem u lisnom tkivu ovisi o vremenu izloženosti i koncentraciji, osjetljivosti kulture, te potrošnji vode od strane biljke. Koncentracija klorida u površinskom sloju navodnjavanog tla daleko je viša od gornje granice tolerantnosti većine kultura. Kloridi se, međutim, ne adsorbiraju ili na drugi način zadržavaju u tlu, te su lako pokretljivi unutar otopine tla. Koncentracija iona natrija, zbog drugačijeg ponašanja natrija u tlu, ne pokazuje tako izrazito povećanje kao koncentracija klorida. Kation natrija lako se uključuje u procese ionske zamjene u tlu, na taj način akumulira i uzrokuje oštećenja takvih tala. Zbog toga su problemi natrija dugotrajniji, ali imaju za posljedicu trajna oštećenja.



Grafikon 5. Promjene vrijednosti EC_e (dS/m) i koncentracija iona klorida i natrija (mg/l) po dubinama na lokaciji Vidrice navodnjavanoj zaslanjenom vodom

Primjena zaslanjenih voda traži posebne mjere gospodarenja (Rhoades 1987). Poznavajući kemijski sastav vode, odabirom tolerantnih kultura ili/i načina primjene mogu se izbjeći štetne posljedice na biljci. Primjenom ispiranja mogu se smanjiti visoke koncentracije soli u otopini tla. Akumuliranje suvišnog natrija u adsorpcijskom kompleksu tla te sprječavanje peptizacije i alkalizacije može se izbjeći primjenom gipsa ($CaSO_4$) ili drugih kemijskih sredstava. Na načelima održivog gospodarenja u primjeni zaslanjenih voda u svijetu ima puno iskustava. Posebno ističemo da je edukacija korisnika (poljoprivrednih gospodarstvenika) jedan od ključnih segmenata održivog gospodarenja vodom i tlima u dolini Neretve.

Zaključak

Rezultati provedenih istraživanja pokazuju veliku prostornu i vremensku promjenjivost elektrovodljivosti i ionskog sastava površinskih voda, potencijalnih izvora vode za navodnjavanje. Visoke koncentracije soli, posebice na lokalitetima južnije od Opuzena mogu uzrokovati i uzrokuju oštećenja na poljoprivrednim kulturama. Nadalje, kontinuirana primjena zaslanjenih voda koje sadrže visoke koncentracije natrija mogu trajno oštetiti poljoprivredna tla koja su jedan od najvažnijih prirodnih resursa. Trajno motrenje uz odgovarajuće mjere gospodarenja koje traži primjena zaslanjenih voda jedino su jamstvo da do šteta na poljoprivrednim kulturama i poljoprivrednim tlima neće doći.

Literatura

- APHA American Public Health Association (1992): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Edition. Washington D.C.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W. (1985): Water Quality for Irrigation. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1.
- Maas, E.V. (1986): Salt Tolerance of Plants. Applied Agricultural Research, No.1:12-25.
- Rhoades, J.D. (1987): Use of Saline Water for Irrigation. WHO Collaborating Center on Surface and Ground Water Quality, Water Quality Bulletin, Volume 12, No.14-20.
- Romić, D. (1995): Režim vode Vranskog jezera i procjena njene kakvoće za navodnjavanje. Poljoprivredna znanstvena smotra, Vol. 60, Br.1, 27-44.
- Romić, D., Marija Romić, Klačić, Ž., Stričević I. (1998): Stanje zaslanjenosti tala i pogodnost površinskih voda za navodnjavanje u donjoj Neretvi. Arhiv Zavoda za melioracije.
- XXX (1994): "Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće" Narodne novine 46/94.

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



Rad 4.44.

Planiranje operacije sustava za navodnjavanje pomoću dinamičkog programiranja

Marija Vukelić-Šutoska, Ana Vukelić

SAŽETAK: Izraz “dinamičko programiranje” uopćeno upućuje na postupak optimizacije. Takvo programiranje nije poseban vid tehnike linearnog ili nelinearnog programiranja, to je više približavanje nego tehnika. Može se koristiti pri proučavanju rješavanja zadaća višenamjenskog karaktera, posebice pri rješavanju stohastičkih zadaća podržanih izumiteljskom teorijom. Djelokrug posljedičnih značajki zadaće često su vremenski periodi, iako djelokrug može također biti prostor područja ili objekti kao što su mjesto akumulacije ili navodnjavano polje. Analizirani su jednodimenzionalni i višedimenzionalni procesi optimalne razdiobe, stohastičko dinamičko programiranje i planiranje rada sustava za navodnjavanje.

KLJUČNE RIJEČI: dinamičko programiranje, optimizacija, računске metode, stohastičko programiranje, sustav za navodnjavanje.

Scheduling Irrigation System Operation Using Dynamic Programming

SUMMARY: The term ‘dynamic programming’ generally refers to an optimization procedure. Such programming is not a particular type of linear or non-linear programming technique but rather an approach. It initially developed from the study of multistage (sequential) decision-making problems especially the stochastic decision-making problems associated with inventory theory. The stages of sequential characteristics of the problem are often time periods, however the stages can also be space regions or physical entities such as reservoir sites or irrigation fields. The present paper analyses one-dimensional and multi-dimensional processes of optimal distribution, stochastic dynamic programming and scheduling an irrigation system operation.

KEYWORDS: dynamic programming, optimization, computational methods, stochastic programming, irrigation system

1. Uvod

Korištenje matematičkih modela za planiranje sustava vodnih resursa i upravljanje (menadžment) nije novo, ali su nove sadašnje mogućnosti analiziranja složenih zadaća. Usporedo s brzim razvojem tehnologije, tehnike sustava analiza i operacija naglo su se proširile i prihvaćene su u mnogim oblastima menadžmenta resursa, posebice vodnih resursa, i predstavljaju neophodnu pomoć pri donošanju upravljačkih odluka.

2. Jednodimenzionalni procesi optimalne razdiobe

2.1 Jednostavna razdioba jednorodnog vodnog resursa

Opći matematički model problema jednostavne razdiobe jednorodnog vodnog resursa može se formulirati na sljedeći način: promatra se (n) različitih mogućnosti utroška vodnog resursa, tj. (n) različitih proizvodnih procesa. Svaki proces karakterizira funkcija učinkovitosti utroška vodnog resursa. Ova učinkovitost može biti izražena kroz dobit koja se ostvaruje realizacijom procesa, a ovisi o opsegu utrošenog vodnog resursa. Ako se sa (x_j) označi količina vodnog resursa dodijeljena (j-tom) procesu, a sa $(g_j(x_j))$ funkcija dobiti od razdiobe i utroška vodnog resursa biti

$$F(X) = \sum_{j=1}^n g_j(x_j) = g_1(x_1) + g_2(x_2) + \dots + g_n(x_n) \quad (1)$$

Problem se sastoji u iznalaženju skupa varijabli (x_1, x_2, \dots, x_n) takvog za koji će funkcija $(F(X))$ imati maksimum, pri čemu ukupno utrošena količina resursa ne može premašiti raspoloživu količinu (S):

$$x_1 + x_2 + \dots + x_i + \dots + x_n = S \quad (2)$$

Problem može biti riješen primjenom metoda dinamičkog programiranja koje se temelje na načelu optimalnosti.

Optimalna politika ima to svojstvo, da, bez obzira na početno stanje i rješenje u početnom trenutku, sljedeća rješenja moraju sačinjavati optimalnu politiku u odnosu na stanje, koje je dobiveno kao rezultat prvotnog rješenja.

Drugim riječima, ako je količina resursa (x_n) dodojeljena (n-tom) procesu, to će preostalu količinu resursa $(S-x_n)$ biti neophodno raspodjeliti tako da se ostvari maksimalna dobit. Ako se sa $(f_n(S))$ označi maksimalna dobit od razdiobe raspoložive količine vodnog resursa (S) na (n) procesa, može se napisati da je

$$f_n(S) = \max(g_n(x_n) + f_{n-1}(S-x_n)), \quad 0 \leq x_n = S \quad (3)$$

$$\text{pri čemu je } f_1(S) = \max(g_1(x_1)), \quad 0 \leq x_1 = S, \quad f_0(S) = 0 \quad (4)$$

Dalje nije teško odrediti optimalnu razdiobu vodnog resursa u vrijednosti (S) jedinica na (n) različitih procesa.

Ako se sa (x_n^*) označi ona vrijednost (x_n) za koju izraz (3) ima maksimum, tada proizlazi da je (x_n^*) dio vodnog resursa (S) koji se dodjeljuje (n-tom) procesu. Ako se sa (x_{n-1}^*) označi ona vrijednost od (x_{n-1}) za koju izraz

$$f_{n-1}(S - x_n^*) = \max\{g_{n-1}(x_{n-1}) + f_{n-2}[(S - x_n^*) - x_{n-1} - 1]\}, \dots, (0 \leq x_{n-1} \leq S - x_n^*) \quad (5)$$

ima maksimum, tada proizlazi da je (x_{n-1}^*) dio vodnog resursa koji je dodijeljen (n-1) procesu. Na sličan način mogu se formirati ostale vrijednosti $(x_{n-2}^*, \dots, x_2^*, x_1^*)$ kao dijelovi raspoložive količine vodnog resursa koji se dodjeljuju odgovarajućim procesima.

Posebno (x_1^*) je ona vrijednost za (x_1), Za koju se postiže maksimum izraza
 $f_1(S-x_n^*-x_{n-1}^*-\dots-x_2^*)=\max g_1(x_1)=g_1(S-x_n^*-x_{n-1}^*-\dots-x_2^*)$, ($0=x_1=S-x_n^*-\dots-x_2^*$) (10.119)
 Ovdje se uzima kao pretpostavka da je funkcija ($g_1(x_1)$) neopadajuća.

3. Višedimenzionalni procesi optimalne razdiobe

3.1 Proces razdiobe sa dva vida vodnog resursa

U razmatranju jednodimenzionalnih procesa optimalne razdiobe postavlja se problem razdiobe jednog resursa u uvjetima, definiranim samo jednim ograničenjem. U ovom slučaju razmatra se proces razdiobe dva vida resursa na više neovisnih tehnoloških procesa.

Dva vida vodnog resursa u ograničenim količinama, (R) i (S) jedinica, raspoređuju se na (n) različitih tehnoloških procesa, tako da se: (x_j)-jedinica vodnog resursa (R) dodjeljuje (j-tom) procesu, a (y_j)-jedinica vodnog resursa (S) dodjeljuje (j-tom) procesu. Polazi se od toga da je definirana pojedinačna dobit, tj. funkcija ($h_j(x_j, y_j)$), koja predstavlja dobit od (j-tog) procesa, ako mu je dodijeljeno (x_j)-jedinica vodnog resursa prvog vida i (y_j)-jedinica vodnog resursa drugog vida.

Matematički model problema optimalne razdiobe dva vodna resursa svodi se na maksimizaciju funkcije (2n) varijabli:

$$(\max)F(X, Y) = \sum_{j=1}^n h_j(x_j, y_j) \quad (6)$$

pod uvjetima

$$\sum_{j=1}^n x_j = R, \dots, (x_j \geq 0), \dots, (\sum_{j=1}^n y_j = S), \dots, (y_j \geq 0) \quad (7)$$

Ovakvim matematičkim modelom opisuje se dvodimenzionalni proces razdiobe, bez obzira na vrijednost za (n).

Koristeći se načelom optimalnosti dinamičkog programiranja, definira se niz funkcija $f_n(R, S)$:

$$f_n(R, S) = \max_{(x,y)} [F(X, Y)] = \max_{(x,y)} \sum_{j=1}^n h_j(x_j, y_j) \quad (8)$$

gdje se maksimum potražuje u oblasti definiranoj izrazima (6), dok (n) može uzeti vrijednost iz niza 1,2,3,....

Za (n=1) iz izraza (7) dobiva se

$$f_1(R, S) = \max_{(x,y)} [h_1(x_1, y_1)] \quad (9)$$

a za (n=2) rekurentna jednadžba ima oblik

$$f_n(R, S) = \max_{0 \leq x_n \leq R} \max_{0 \leq y_n \leq S} [h_n(x_n, y_n) + f_n(R - x_n, S - y_n)] \quad (10)$$

3.2 Proces razdiobe jednog vodnog resursa na više grana korištenja

Problem se sastoji u planiranju razdiobe neke količine jednog vodnog resursa na više grana korištenja sukcesivno tijekom (n) vremenskih razdoblja.

Za slučaj da postoje tri grane korištenja u koje se može ulagati vodni resurs, čija je raspoloživa količina (b_i) na početku (i-tog) razdoblja, računato od kraja planskog razdoblja, tada dodijeljene količine vodnog resursa pojedinim granama na početku (i-tog) razdoblja mogu se označiti sa (x_i), (y_i) i (z_i). Ove vrijednosti moraju zadovoljiti relaciju

$$x_i + y_i + z_i = b_i \quad (11)$$

U ovisnosti o količini uloženog vodnog resursa u pojedine grane ostvaruje se dohodak tijekom (i-te) godine respektivno po granama:

Dohodak I grane: $f_1(x_i)$

Dohodak II grane: $f_2(y_i)$

Dohodak III grane: $f_3(z_i)$

Na koncu svakog razdoblja preostale količine vodnog resursa se ponovno raspoređuju. Ovaj povraćaj resursa definiran je sljedećim funkcijama po granama:

Preostali dio vodnog resursa iz I grane: $g_1(x_i)$

Preostali dio vodnog resursa iz II grane: $g_2(y_i)$

Preostali dio vodnog resursa iz III grane: $g_3(z_i)$

Prema tome, raspoloživi vodni resurs za razdiobu na početku (i-1) razdoblja iznosi

$$b_{i-1} = g_1(x_i) + g_2(y_i) + g_3(z_i) \quad (12)$$

Polazeći, međutim, od jednadžbe (10), izraz za (b_{i-1}) može se napisati u sljedećem obliku:

$$b_{i-1} = g_1(x_i) + g_2(y_i) + g_3(b_i - x_i - y_i) \quad (13)$$

Pretpostavka je da se ostvarena dobit ne ulaže u proizvodnju.

Matematički model problema se sastoji u tome da se sačini funkcija cilja

$$(\max)F(X, Y) = \sum_{j=1}^N [f_1(x_j) + f_2(y_j) + f_3(b_j - x_j - y_j)] \quad (14)$$

Zadatak optimizacije procesa razdiobe svodi se na iznalaženje vektora ($X=(x_1, x_2, \dots, x_N)$) i ($Y=(y_1, y_2, \dots, y_N)$) koji osiguravaju maksimum funkcije ($F(X, Y)$), a istodobno zadovoljavaju ograničenja definirana izrazima

$$x_i + y_i = b_i, \quad (i=1, 2, \dots, N), \quad (x_i=0), \quad (y_i=0) \quad (15)$$

gdje je (b_i) unaprijed zadana veličina.

Najveća dobit ovisi samo o sljedećim veličinama:

(b_N) - početna raspoloživa količina vodnog resursa na početku procesa razdiobe koji će trajati (N) razdoblja i

(N) - broj razdoblja u kojima će se obavljati razdioba.

Na temelju načela optimalnosti mogu se formirati primjerene rekurentne relacije preko kojih se rješava naprijed definiran problem.

Označavajući sa $(W_1(b_1))$ optimalnu dobit od razdiobe za slučaj da je $(N=1)$, tj. da se optimalna razdioba traži samo za jedno razdoblje, može se napisati da je

$$W_1(b_1) = \max_{(x_1, y_1)} [f_1(x_1) + f_2(y_1) + f_3(b_1 - x_1 - y_1)] \quad (16)$$

gdje je $(x_1 + y_1) \leq b_1$, $x_1 \geq 0$ i $y_1 \geq 0$.

Ako plansko vrijeme sačinjavaju dva posebna razdoblja na početku kojih se donosi odluka o razdiobi vodnog resursa, tada se optimalna dobit može izraziti kao funkcija $(W_2(b_2))$ na sljedeći način:

$$W_2(b_2) = \max_{(x_2, y_2)} [f_1(x_2) + f_2(y_2) + f_3(b_2 - x_2 - y_2) + W_1(b_1)] \quad (17)$$

gdje je $(x_2 + y_2) \leq b_2$, $x_2 \geq 0$ i $y_2 \geq 0$.

Sličnim razmatranjem dolazi se do opće rekurentne relacije

$$W_n(b_n) = \max_{(x_n, y_n)} [f_1(x_n) + f_2(y_n) + f_3(b_n - x_n - y_n) + W_{n-1}(b_{n-1})] \quad (18)$$

gdje je $(x_n + y_n) \leq b_n$, $x_n \geq 0$ i $y_n \geq 0$, a (n) označava broj razdoblja u procesu planiranja razdiobe vodnog resursa na tri grane korištenja.

4. Stohastičko dinamičko programiranje

U dinamičkom programiranju, gdje je model procesa predmet slučajnog utjecaja, može se primijeniti koncept koji se sastoji u poznavanju slučajnog vektora. Može se razmatrati slučajni vektor $(R_t = r_t(1), r_t(2), \dots, r_t(N))$ elemenata koji su kao slučajne veličine uvedeni u sustav tijekom vremena (t) . Ako se pretpostavi da su (X_t, Q_t) respektivno stanje i kontrolni vektori, tada jednadžbe transformacije dobivaju sljedeći vid:

$$X_{t+1} = T(X_t, Q_t, R_t) \quad (19)$$

Uobičajena objektivna funkcija za (N) stanja problema je u obliku

$$R(X_1, \dots, X_N, Q_1, \dots, Q_N, R_1, \dots, R_N) = E_{R_1, \dots, R_N} \left[\sum_{t=1}^N h(X_t, Q_t, R_t) \right] \quad (20)$$

gdje je (E) - očekujući operator.

Problem se tada sastoji u određivanju sekvenci (Q_1, Q_2, \dots, Q_N) koje maksimiziraju (R) . Tada, u suglasnosti s načelima optimalnosti, funkcijska jednadžba za $(F_N(x))$ i maksimalna vrijednost (R) , koje ovise o (N) brojnih stanja i početnog stanja, su

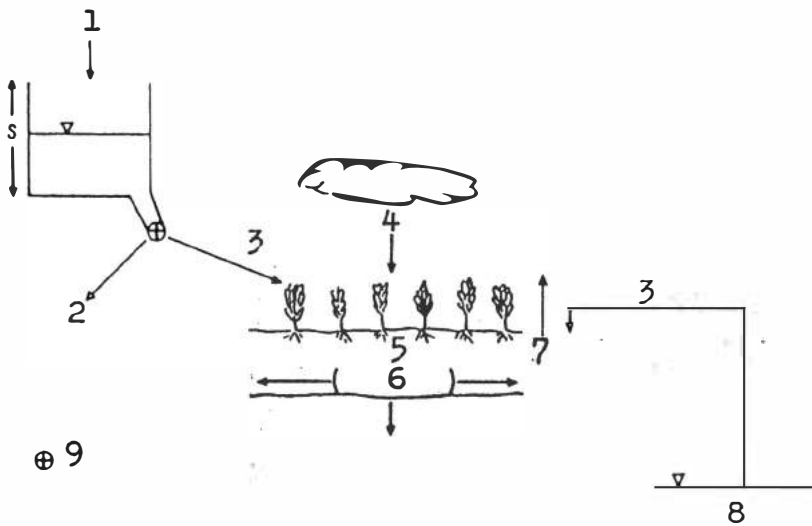
$$F_1(X_1) = \max_{Q_1, R_1} E[h(X_1, Q_1, R_1)] \quad (21)$$

$$F_N(X_1) = \max_{Q_1, R_1} E[h(X_1, Q_1, R_1) + F_{N-1}(T(X_1, Q_1, R_1))] \quad N \geq 2 \quad (22)$$

Rješenje je definirano postupnim korištenjem prethodnih funkcijskih jednadžbi.

5. Planiranje operacija jednog sustava za navodnjavanje

Problem u operaciji jednog sustava za navodnjavanje se formulira kao nestacionaran, stohastički, kao dinamičko programiranje. Problem se može prikazati shematski, kao što je na slici (1).



Slika 1. Shematski prikaz jednog sustava za navodnjavanje
1-dotjecaj ka sustavu, 2-ispust, 3-navodnjavanje, 4-oborine, 5-zemljište (zona korjena),
6-proširivanje, 7-evapotranspiracija, 8-akvifer i 9-kontrolni indikator

Može se pretpostaviti da je vektor stanja

$$X_t = \begin{matrix} x_t(1) & \text{količina vode u površinskom sloju} \\ x_t(2) & \text{dotjecaj tijekom prethodnog razdoblja} \\ x_t(3) & \text{količina vode u zemljišnoj zoni (zoni korjena)} \end{matrix}$$

odnosno da je vektor slučajnosti

$$R_t = \begin{matrix} r_t(1) & \text{neto dotjecaj u površinski sloj tijekom promatranog razdoblja} \\ r_t(2) & \text{efektivne oborine tijekom promatranog razdoblja} \end{matrix}$$

Nestacionarni problemi imaju višestruke tehničke definicije. U ovom slučaju značajka nestacionarnog problema je primjenjljiva radi sljedećih uvjeta: jednadžbe transformacije u dinamičkom programiranju problema podložne promjenama s vremenom, tj. $(X_{t+1}=T_t(X_t, Q_t, R_t)T_t)$, postaju vremenski ovisne i gustoća vjerojatnosti funkcije se razlikuje za svaki tjedan.

Kontrolni vektor (Q_t) može se dati sljedećim oblikom:

$$Q_t = \begin{matrix} q_t(1) & \text{neto voda za navodnjavanje korištena iz površinskog izvora} \\ & \text{akumulacije) na početku promatranog razdoblja} \\ = & \\ q_t(2) & \text{neto voda korištena iz akvifera ili alternativnog izvora na početku} \\ & \text{promatranog razdoblja} \end{matrix}$$

Transformacija (T_t), kao i $(X_{t+1}=T_t(X_t, Q_t, R_t))$, može biti definirana sljedećim jednadžbama:

$$x_{t+1}(1) = \min \left[x_t(1) - \frac{1}{B} q_t(1) \frac{A}{12} + r_t(1); S \right] \quad (23)$$

$$x_{t+1}(2) = r_t(1) \quad (24)$$

$$x_{t+1}(3) = d_t + \min \{ h_t; \max [x_t(3) + q_t(1) + q_t(2) + r_t(2) - V_z; 0] \} \quad (25)$$

Pojavljeni parametri i jednadžbe mogu se definirati sljedećim opisima:

A-površina pod kultivacijom (ha), S-obujam akumulacije (m^3), h_t -aktivan akumuliran prostor podzemne akumulacije na početku (t) razdoblja (m/ha), V_t -evapotranspiracijski potencijal za (t) razdoblje (m/ha), d_t -raspoloživa vlažnost zemljišta u novoj povećanoj zoni korjena (m/ha), B-korištena površina za navodnjavanje, E_t -koeficijent koji odražava otpornost kultura na sušu i (T)-akvifer ili alternativna opskrba vodom (m/ha).

Rubni uvjeti:

$$q_t(1) \frac{A}{12} \leq x_t(1)B \quad (26)$$

$$\text{ako } (x_t(3) - E_t V_t) < 0 \quad (27)$$

$$\text{tada } (q_t(1) + q_t(2)) > 0, \quad q_t(2) = T \quad (28)$$

Kontrolne opcije

$$\text{Opcija 1: } q_t(1) = q_t(2) = 0 \quad (29)$$

$$\text{Opcija 2: } q_t(1) = h_t - x_t(3), \quad q_t(2) = 0 \quad (30)$$

$$\text{ako je } [h_t - x_t(3)] \frac{A}{12} \geq x_t(1)B$$

Opcija 3: $q_t(1)+q_t(2)=h_t-x_t(3)$

gdje je

$$q_t(2) \neq 0, \dots, i, \dots, q_t(1) = x_t(1) \frac{A}{12} B \quad (31)$$

Ako rubni uvjet (27) je povezan, Opcija 3 je neizvediva i treba biti uvedena

$$\text{Opcija 4: } q_t(1)=x_t(1)BA/12 \quad q_t(2) = T \quad (32)$$

Moguće je razmatrati sljedeće objektivne funkcije:

$$R(X_1, \dots, X_n, R_1, \dots, R_n, Q_1, \dots, Q_n) = \sum_{t=1}^n [G_t(X_t, Q_t, R_t) - C_t(X_t, Q_t)] \quad (33)$$

gdje je (G_t) -povoljna veličina porasta u (t) -tom razdoblju pomnožena cijenom i (C_t) -veličina troška.

Na taj način i (G_t) i (C_t) su izraženi monetarnim jedinicama. Koristeći se Mooreovom (Mur) tehnikom pri kojoj $(f(w))$ je relativan porast krivulje, dobiva se

$$G_t(X_t, Q_t, R_t) = \left[\int_{\theta_1}^{\theta_2} f(w) dw \right] \frac{Y \rho_t P}{100(\theta_2 - \theta_1)} \quad (34)$$

gdje su (θ_1) i (θ_2) -vlažnosti na početku i koncu promatranog razdoblja, definirani sljedećim jednadžbama:

$$\theta_1 = 100 \left\{ 1 - \frac{[x_t(3) - q_t(1) + q_t(2)]}{h_t} \right\} \quad (35)$$

$$\theta_2 = 100 \left\{ 1 - \frac{[\min(h_t); \max x_t(3) + q_t(1) + q_t(2) + r_t(2) - V_t; 0]}{h_t} \right\} \quad (36)$$

U jednadžbi (33) (V) je najveći potencijal prinosa u fizičkoj jedinici, (P) jedinična cijena i (ρ_t) relativni pokazatelj rasta melioracijskog područja. Pod Mooreovom pretpostavkom linearnosti, omjer bilo koje dvije (ρ) vrijednosti bit će skladan, a zbroj (ρ) vrijednosti jednak broju jedan. Veličina (R) predstavlja ukupan dobitak. Predmet rada je maksimizirati očekivanu vrijednost (R) vodeći pri tome računa o rubnim uvjetima i kontrolnim opcijama. Može se definirati indeks (j) koji pokazuje slijed od konca procesa do promatrane sezone, relacija između (t) (prethodno korištenog).

Funkcija $F_j(X)$ izjednačava maksimum ukupnog očekivanog (j) razdoblja "povratka" dobivenog kada se starta u stanju (X) na početku (t) -tog razdoblja i slijedene optimalne solucije. Funkcija $Q_j^*(X)$ je optimalna vrijednost kontrolnog vektora za (t) -to razdoblje kada je sustav u stanju (X) na startu (t) -tog $(t=n+1-j)$ razdoblja. Koristeći se načelima optimalnosti funkcije, $(F_j(x))$ i $(Q_j^*(X))$ su relacije sljedećih jednadžbi u kojima indeksi upućuju (j) -tom (povratnom) indeksu:

Funkcionalne jednadžbe

$$F_1(X_1) = \max_Q^* E_{R_{1X}} [G_1(X_1, Q_1, R_1) - C_1(X_1, Q_1)] \quad (37)$$

$$F_j(X_j) = \max_Q^* E_{R_{jX}} \{G_j(X_j, Q_j, R_j) - C_j(X_j, Q_j) + F_{j-1}[T_j(X_j, Q_j, R_j)]\} \quad (38)$$

tako da je $Q_j^*(X_j) = Q_j(X_j)$

$$\begin{aligned} E_{R_{jX}} \{G_j(X_j, Q_j, R_j) - C_j(X_j, Q_j) + F_{j-1}[T_j(X_j, Q_j, R_j)]\} = \\ = \max_Q^* E_{R_{jX}} \{G_j(X_j, Q_j, R_j) - C_j(X_j, Q_j) + F_{j-1}[T_j(X_j, Q_j, R_j)]\} \end{aligned} \quad (39)$$

Objekte funkcije treba računati s postupnim algoritmom unatrag. Funkcija ($F_j(X)$) je prva računata za sve povoljne vrijednosti (X) i to se pohranjuje u tabeli za mrežu odabranih točaka. Tada se funkcije ($F_2(X)$) i $Q_2^*(X)$ računaju korištenjem funkcionalnih jednadžbi i rezultati se pohranjuju. Ova procedura se nastavlja za ($F_j(X)$), ($j=1, \dots, n$).

6. Zaključak

Općenito, za složene probleme sustava za navodnjavanje, modeli mogu biti konstruirani korištenjem formata dinamičkog programiranja koji rješava problemski sustav na konceptualnoj osnovi.

Literatura

- (1) BELLMAN, E.R.: Dynamic Programming.- New Jersey, Princeton University Press, 1987.
- (2) FIERING, M.B., HARRINGTON, J.J., Russel J. deLucia: Water Resources System Analysis, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada, 1971.
- (3) MITAL, W.K.: Optimization Methods in Operation Research and System Analysis.-New Delhi, Wiley Eastern Limited, 1976.
- (4) R.J. deLucia: Operating Policies for Irrigation Systems under Stochastic Regimes, Harvard University, 1969.
- (5) MOORE, C.V.: A General Analytical Framework for Estimating the Production Function for Crop Using Irrigation Water. Journal "Farm Economics" 43, 1971.
- (6) SIVAZLIAN, D.B., STANFEL, E.L.: Optimization Techniques in Operation Research.-New Jersey, Prentice-Hall, 1975.
- (7) VUKELIĆ, Z.: Određivanje protoka za dimenzioniranje mreže hidrosustava za navodnjavanje primjenom metoda teorije vjerojatnosti i matematske statistike.-Struga, VIII Jugoslavensko savjetovanje o izgradnji sustava za odvodnjavanje i navodnjavanje, 1977., Časopis "Vodoprivreda", br. 52-54, str. 46-52, 1977., Journal IRRICAB (Great Britain), International Irrigation Center, 1977.
- (8) WAGNER, M.H.: Principles of Operation Resaerch.-New Jersey, Prentice-Hall, 1969.

Autori:

Mr. asist. Marija Vukelić-Šutoska, dipl. građ. inž., Zavod za vodostopanstvo na Republika Makedonija vo Skopje

Ana Vukelić, dipl. inž. mat., studentica poslijediplomskog studija Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.45.

Praćenje stanja voda na području HE Novo Virje

Ljiljana Aleksić, Mladen Petrićec, Đuro Hatić

SAŽETAK: Hrvatska elektroprivreda i Hrvatske vode kao dominantni korisnici voda i prostora rijeke Drave već niz godina usmjeravaju i razvijaju sustav mjerenja i opažanja u okviru planiranja uređenja i korištenja voda. Za potrebe projekta HE Novo Virje prikupljen je veliki broj podataka o značajkama režima površinskih i podzemnih voda u zaobalju. Uspostavljeni sustav praćenja stanja voda za potrebe planirane HE Novo Virje predstavlja pouzdanu podlogu za projektiranje i verifikaciju tehničkog rješenja i usvojenih mjera zaštite okoliša, pouzdano i objektivno definiranje nultog stanja, kao i praćenje promjena tijekom izgradnje i eksploatacije. Da bi se prikupljeni podaci efikasno koristili, sustav praćenja uključuje razvoj relacijskih baza i prostorno prikazivanje geokodiranih podataka korištenjem Geografskog informacijskog sustava. U radu je opisan uspostavljeni sustav za praćenje stanja podzemne vode u zaobalju HE Novo Virje i primijenjena informatičke osnova za pohranjivanje, pregled i analizu rezultata terenskih mjerenja i opažanja. **KLJUČNE RIJEČI:** okoliš, vodotok, baze, Drava, GIS, hidroelektrana

Novo Virje HPP Area Water Monitoring

SUMMARY: Croatian Power Board and Croatian Waters, which are the major users of the Drava River water and space, have been directing and developing the measurement and monitoring system within the water training and use planning for a number of years. As required for the Novo Virje Hydroelectric Power Plant (HPP), a large number of data was collected on surface and groundwater regime characteristics within the subject river basin. The established system for water monitoring for the planned Novo Virje HPP is a reliable background for design and verification of technical concept and accepted environmental protection measures, reliable and objective determining of referenced status, and monitoring during construction and exploitation of the power plant. In order to provide for effective use of collected data, the monitoring system includes development of relational bases and 3D presentation of geo-coded data by application of GIS. The paper describes the set up Novo Virje HPP river valley groundwater monitoring system and application of database for storage, retrieval and analysis of field measurement and monitoring results.

KEYWORDS: environment, water course, bases, the Drava River, GIS, hydroelectric power plant

1 Uvod

U ovom radu je prikazan sustav praćenja razina i kakvoće podzemne vode na području HE Novo Virje, informatička podrška primijenjena za pohranjivanje, pregled i analizu rezultata mjerenja i ispitivanja, te planovi daljnjeg razvoja sustava za praćenje stanja prirodne sredine u zaobalju HE Novo Virje.

Kompleksni sustav praćenja stanja rijeke Drave i zaobalja za potrebe planiranja uređenja i korištenja rijeke Drave sustavno usmjeravaju, razvijaju i financiraju Hrvatske vode (HV) i Hrvatska elektroprivreda (HEP). U okviru postojećeg praćenja stanja rijeke Drave i zaobalja redovito se provode hidrološka mjerenja na Dravi i pritokama, opažanja razina podzemne vode u zaobalju Drave, praćenje morfoloških i psamoloških promjena Drave, te meteorološka opažanja. Ispitivanje kakvoće površinskih i podzemnih voda provodi se kontinuirano za potrebe različitih korisnika, a provedba je povjerena nadležnim institucijama.

Tijekom razvoja hidroenergetskih i vodoprivrednih objekata na rijeci Dravi je prikupljen veliki broj raspoloživih podataka o stanju površinskih i podzemnih voda. Na temelju rezultata prethodnih studijskih istraživanja za potrebe HE Novo Virje definiran je program proširenja sustava opažanja oborinskih, površinskih i podzemnih voda, te su usvojeni opseg i sadržaj, metodologija, prioriteti i osnovni pravci razvoja praćenja površinskih i podzemnih voda. Organizacija uspostave sustava opažanja oborinskih, površinskih i podzemnih voda, provedbe mjerenja, prikupljanja, sistematizacije, obrade i pohrane izmjerenih podataka povjerena je 1996. godine Institutu za elektroprivredu i energetiku Zagreb (IEE). Tijekom 1996. godine je uspostavljen sustav za praćenje razina podzemne vode izvedbom piezometara na područjima koja nisu dovoljno pokrivena piezometarskom mrežom, a u 1997. godini se započelo s praćenjem kakvoće podzemne vode na novo uspostavljenoj piezometarskoj mreži u zaobalju HE Novo Virje.

2 Primijenjena informatička osnova

Budući da su rezultati prethodnih opažanja razina i ispitivanja kakvoće podzemne vode raspoloživi u različitim oblicima i formatima kod različitih institucija, ukazala se potreba za objedinjavanjem i sistematizacijom tih podataka u takvom obliku koji će na učinkovit način omogućiti njihovo efikasno korištenje.

Za pohranu podataka prikupljenih kod praćenja stanja voda na području HE Novo Virje odabrana je objektno orijentirana relacijska baza *Paradox 5.0 za Windows 95 tvrtke Borland International USA*. Izbor relacijskog modela baze za pohranu i obradu podataka uvjetovan je mogućnošću njezinog postupnog razvoja kroz realizaciju odvojenih baza raznovrsnih podataka. Geokodiranjem elemenata sustava planirane HE Novo Virje i sustava praćenja stanja prirodne sredine, primjenom GIS (*Geografski informacijski sustav*) tehnologije, omogućuje se dobivanje informacija o svakom upisanom elementu, te pregled i analiza podataka pohranjenih u izdvojenim bazama podataka, koji su vezani za taj element.

3 Praćenje razina podzemne vode u zaobalju HE Novo Virje

U zaobalju HE Novo Virje mjerenja razina podzemne vode je do 1986. godine provodio Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske (DHMZ) na piezometrima *Osnovne mreže Drave*. U okviru istraživanja za vodnu stepenicu Đurđevac, 1986. godine je osnovana dodatna piezometarska mreža (*Mreža II reda*). Za potrebe praćenja razina podzemne vode u zaobalju HE Novo Virje, 1996. godine je definirana nova piezometarska mreža u koju je uključen dio piezometara izvedenih u okviru prethodnih istraživanja za VS Đurđevac i *Osnovne mreže DHMZ-a*. U konačnosti, praćenje razina podzemne vode u zaobalju HE Novo Virje se od studenog 1996. godine provodi na ukupno 402 piezometara koji su sistematizirani u 222 skupine, tako da su izvedeni kao

4 Praćenje kakvoće podzemne vode u zaobalju HE Novo Virje

Praćenje kakvoće podzemne vode na području HE Novo Virje započeto je 1987. godine u okviru istraživanja za VS Đurđevac. U razdoblju do 1996. godine kakvoća podzemne vode se ispitivala na promjenljivom broju postaja, tako da se u 1996. godini broj postaja sveo na 35. Treba naglasiti da je od toga broja najveći broj postaja bio u naseljima, dok su se samo 4 nalazile na šumskim, a 8 na poljoprivrednim tlima. Osnivanjem 1997. godine nove mreže za praćenje kakvoće podzemne vode u zaobalju HE Novo Virje broj postaja se na šumskim i poljoprivrednim tlima značajno povećao. Danas se kakvoća podzemne vode ispituje na ukupno 66 postaja raspoređenih tako da pokrivaju u gotovo istom omjeru naselja, poljoprivredna i šumska tla. Broj ispitivanih pokazatelja kakvoće vode je promjenjiv u ovisnosti o lokacijskoj pripadnosti naseljenim mjestima, poljoprivrednim ili šumskim tlima. Ispitivanje pokazatelja kakvoće vode na piezometarskoj mreži obavlja se s učestalošću 4 puta godišnje. Svi se rezultati ispitivanja pokazatelja kakvoće vode redovito pohranjuju bazu podataka. Pregled podataka i rezultata ispitivanja za svaku postaju omogućen je korištenjem GIS alata.

5 Daljnji razvoj sustava za praćenja stanja prirodne sredine

Osim praćenja stanja i kakvoće podzemne vode u tijeku je organizacija praćenja stanja površinskih voda i meteoroloških parametara na području HE Novo Virje.

Za praćenje režima površinskih voda proširuje se postojeći sustav praćenja površinskih voda novim limnigrafskim i vodokaznim postajama na pritokama Drave. Dosadašnja hidrološka mjerenja provodi DHMZ na postajama: Mlačine na Glibokom potoku, Koprivnica na Koprivničkoj rijeci, Komarnica na ulazu u melioracijsko područje, Batinska na kanalu Rog-Strug, Čivičevac i Ždala na Ždalici. Za potrebe HE Novo Virje postojeći sustav praćenja površinskih voda proširen je sa šest limnigrafskih postaja, tri vodokaza za mjerenje razina voda stajaćica i osam lokacija za simultana mjerenja protoka vode.

Opažanja meteoroloških parametara organizira i provodi DHMZ. Na području HE Novo Virje se nalaze dvije klimatološke postaje Koprivnica i Đurđevac, te sustav kišomjernih postaja: Ludbreg, Rasinja, Sokolovac, Gola, Hlebine, Ždala, Molve, Novigrad Podravski, Đurđevac, Čepalovac i Ferdinandovac. Za potrebe HE Novo Virje predviđeno je proširenje sustava obnovom postojećih i uspostavljanjem novih meteoroloških postaja za opažanje sljedećih parametara: oborine, temperatura zraka, jačina i smjer vjetera, sunčeva svjetlost, relativna vlažnost zraka i temperatura tla.

6 Zaključak

Šira društvena i lokalna zajednica, te zakonska regulativa stavljaju pred korisnike voda i prostora sve strože zahtjeve kod izgradnje novih vodoprivrednih i hidroenergetskih objekata u pogledu dozvoljenog utjecaja i poremećaja prirodne sredine. Takvi zahtjevi u velikoj mjeri povećavaju opseg potrebnih istraživanja prirodne sredine kod izbora projektnih parametara građevine i definiranja zaštite od nepovoljnih utjecaja. Posebno značajno postaje praćenje prirodne sredine koje s jedne strane povećava pouzdanost prethodnih istraživanja i utvrđivanje "nultog" stanja prije izgradnje, a s druge omogućuje kasniju kvantifikaciju poremećaja nastalih tijekom izgradnje i eksploatacije građevine. Uspostavljeni i planirani sustav praćenja stanja rijeke Drave i zaobalja zadovoljava

postavljene stroge zahtjeve zakonske regulative i daje podlogu za sagledavanje prirodne sredine u zaobalju planiranog višenamjenskog sustava HE Novo Virje.

Današnji razvoj informatičke tehnologije omogućuje sistematizaciju, pohranjivanje, pregledavanje i efikasno korištenje velikog broja prikupljenih podataka prirodne sredine. U tu svrhu komercijalno razvijene baze podataka i GIS tehnologija postaju nezamjenjivi dio praćenja stanja prirodne sredine.

Iskustvo u primjeni baza podataka za sistematizaciju, pohranjivanje i efikasno korištenje velikog broja podataka prirodne sredine, te GIS tehnologije u okviru praćenja stanja voda u zaobalju HE Novo Virje potvrđuje takav zaključak.

Literatura

- Aleksić, Lj., 1997., *GIS u interpretaciji stanja podzemne vode Dravskih hidroelektrana*, GIS u Hrvatskoj, *GIS u energetici i infrastrukturi*. str. 399 - 415, Zagreb
- Aleksić, Lj., i Petrićec, M., 1998., *Primjena GIS-a kod monitoringa Drave i Pridravlja u Hrvatskoj*, Zbornik radova Međunarodne konferencije o razvoju europskih rijeka (International Conference on European Rivers Development). str. 69-76, Budimpešta
- Institut za elektroprivredu i energetiku, 1997., *GIS rijeke Drave - Područje HE Novo Virje, GIS za podzemne vode*, Zagreb
- Institut za elektroprivredu i energetiku, 1997., *HE Novo Virje, Monitoring - Pripremne aktivnosti na uspostavi sustava za opažanje, mjerenje i praćenje stanja oborinske, površinske i podzemne vode*, Zagreb
- Institut za elektroprivredu i energetiku, 1998., *HE Novo Virje Monitoring podzemne vode u 1997. godini*, Knjige I i II, Zagreb
- Monitoring kakvoće podzemne vode u 1997.*, Zagreb
- Elektroprojekt, 1993., *Prethodna studija utjecaja HPP Novo Virje na okoliš*, Zagreb,
- Elektroprojekt, 1995., *HE Novo Virje, Zaobalje - Objekti za opažanje oborinskih, površinskih i podzemnih voda*, Zagreb
- UNESCO, 1994., *Introduction to the use of geographic information systems for practical hydrology*, International Hydrological Programme
- K. Kovar i H.P. Nachtnebel, 1996., *Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management*, HydroGIS 96
- F.R. McFadden, J.A. Hoffer, 1988., *Data Base Management*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., California

Autori:

Ljiljana Aleksić, dipl. ing. građ., dr.sc. Mladen Petrićec, dipl. ing. građ., Institut za elektroprivredu i energetiku d.d., Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Đuro Hatić, dipl. ing. građ., Hrvatska elektroprivreda d.d., Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

WERKOS[®]

*friends
of
nature*



Rad 4.46.

Hydroenergetski sustav HE Senj i problem poplavljanja grada Otočca

Danko Holjević, Ivica Plišić, Luka Sopta

SAŽETAK: Hidroenergetski sustav HE Senj, sagrađen je početkom šezdesetih godina, dok je sama hidroelektrana puštena u pogon 1966. godine. Unutar sustava, sa osnovnom svrhom proizvodnje električne energije, zahvaćene su vode rijeka Like i Gacke, sa svojim većim i manjim pritocim. Okosnica sustava čini akumulacija Kruščica (zapremine 142 milijuna m³ vode), tri hidrotehnička tunela (propusne moći od 49 do 60 m³) i kompenzacijski bazen Gusić polje (zapremine 1,5 milijuna m³ vode). Izgradnjom hidroenergetskog sustava došlo je do promjene prirodnih vodnih režima rijeka Like i Gacke. Na taj način izmijenili su se uvjeti propagacije poplavnih valova na pojedinim djelovima prostornog sustava. U radu se analiziraju mogući scenariji poplavljanja područja grada Otočca u ovisnosti o veličini protoke rijeka Like i Gacke, manipulaciji i upravljanju objektima HE Senj. Dan je i osvrt na mjere koje se poduzimaju za povećanje sigurnosti grada. Složenost sustava HE Senj ipak iziskuje cjelovitije analize dinamike sustava sa stanovišta obrane od poplava, te primjenu iskustava sa područja grada Otočca na grad Gospić, Bakovac i Kosinjsko polje.

KLJUČNE RIJEČI: hidroenergetski sustav HE Senj, scenarij poplavljanja grada Otočca, mjere obrane od poplava

Senj Hydropower System and the City of Otočac Flooding Issues

SUMMARY: Senj Hydropower System was built in early sixties, and the power plant within the system was commissioned in 1966. The system was primarily conceived for power generation, and it intakes the water of the Lika and Gacka Rivers and their major and minor tributaries. The backbone of the system consists of Kruščica Reservoir (volume 142 mil m³), three power tunnels (throughput 49 to 60 m³) and Gusić Polje Compensation Basin (volume 1.5 mil m³). Construction of the hydropower system caused changes in natural water regimes of the Lika and Gacka Rivers. Consequently, this changed conditions of flood wave propagation in particular sections. The paper analyzes possible flooding scenarios for the City of Otočec, relative to the Lika and Gacka Rivers flow rates, and Senj Hydroelectric Power Plant handling and operation. An overview is given of measures undertaken to improve safety of the city. Complexity of the Senj Hydropower System demands a comprehensive analysis of the system dynamics with respect to flood control aspects and application of the experience gained with the City of Otočac to the towns of Gospić, Bakovac and Kosinjsko polje.

KEYWORDS: Senj Hydropower System, City of Otočec flooding scenarios, flood control measures

1. Uvod

Rijeke Lika i Gacka svojim cijelim slijevnim područjem čine slijevno područje hidroenergetskog sustava HE Senj. Cjelokupno područje tipično je krško, te na njemu specifični geološki, morfološki, topografski, tektonski i drugi odnosi, uvjetuju razvijenost mreže površinskih vodotoka i načina dotoka vode.

Rijeka Lika, čiji slijev karakteriziraju većinom površinska slijevanja i izravni utjecaj oborinskog režima, predstavlja primjer izrazito bujičnog vodotoka. Velike su oscilacije između ekstremnih protoka tijekom godine, koji se kreću od $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ do skoro $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Izvorište rijeke Like nalazi se u podnožju Velebita, na području naselja Medak (zona Mrdenovac), na kontaktu karbonatnog i vapnenačkog masiva. Veći pritoci rijeke Like jesu: Otešica, Novčica, Bogdanica te potok Bakovac na području između akumulacije Kruščica i Lipovog polja s lijeve i Jadova i Glamočnica s desne strane.

Rijeka Gacka, iako ima sličnu strukturu i geološku građu slijeva kao rijeka Lika, nema veću površinsku mrežu vodotoka. Postojeća mreža je vrlo slabo razvijena, te najveći dio vode dotječe u slijev podzemnim putem, a izvan topografskih granica direktnog slijeva. Izvorište rijeke Gacke sastoji se od stalnih i povremenih vrela koja se prihranjuju iz velikih podzemnih retencija i osiguravaju stalnost protoka u granicama od $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ do oko $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Sama izvorišna zona smjestila se na istočnom dijelu Gackog polja, područje naselja Sinac i Lešće, gdje su najveća vrela: Veliko i malo Tonkovićevo, Majerovo i Pećina. Tok rijeke Gacke od izvorišne zone do područja Vivoza u potpunosti je prirodan te predstavlja primjer rijetke prirodne ljepote. Prvi regulacioni radovi, nizvodno od Vivoza, započeti su tijekom 19. stoljeća sa svrhom rasterećenja tzv. Južnog kraka u smjeru Gornjeg i donjeg Švičkog jezera sa ponornim zonama i svrhom prebacivanja dijela vode u smjeru Gusić polja tzv. Sjevernim krakom. Izgradnjom hidroenergetskog sustava HE Senj situacija se u mnogome izmjenila, te se u redovnim uvjetima sva voda usmjerava na turbine HE Senj.

2. Hidroenergetski sustav HE Senj

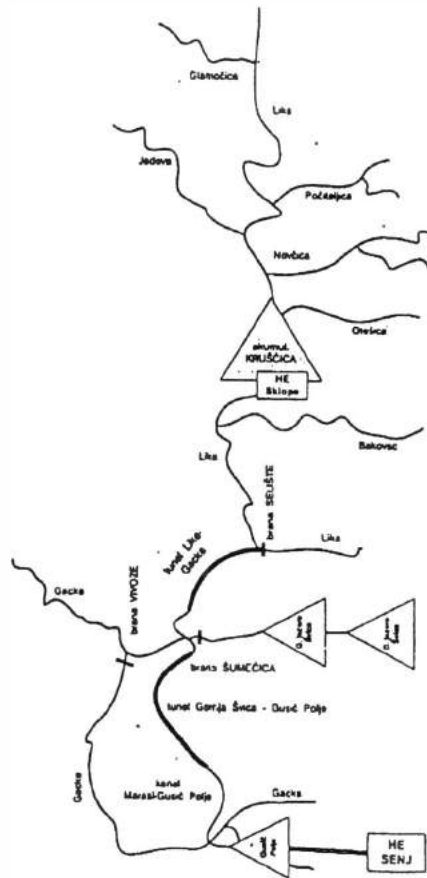
Sustavom HE Senj se zahvaćaju vode rijeka Like i Gacke, sa primarnom svrhom proizvodnje električne energije, te postojeća koncepcija sustava uključuje:

- a. Branu Sklope sa akumulacijom Kruščica, smještenom u srednjem toku rijeke Like, sa svrhom izravnjanja bujičnih voda rijeke i energetskim iskorištenjem raspoloživog pada na pribranskoj hidroelektrani,
- b. Prebacivanje izravnanih voda rijeke Like, tunelom do rijeke Gacke i
- c. Odvodnja vode rijeka Like i Gacke kanalima i tunelima prema hidroelektrani Senj.

Ovu postojeću koncepciju sustava HE Senj ilustrira slika 1.

Izgrađeni hidroenergetski sustav HE Senj čine objekti :

1. Akumulacijsko jezero Kruščica - korisnog volumena 134 mil. m^3 formirano izgradnjom brane Sklope, te omogućuje izravnjanje prirodnog protoka Like, koji oscilira od $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ do skoro $800 \text{ m}^3/\text{s}$.
2. Brana Sklope s preljevom i temeljnim ispustom na rijeci Lici - tipa je nasute brane dužine $l = 218 \text{ m}$ (u kruni) i visine $h = 75 \text{ m}$, uz preljev sa max. protokom $1440 \text{ m}^3/\text{s}$ i temeljni ispust $187,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

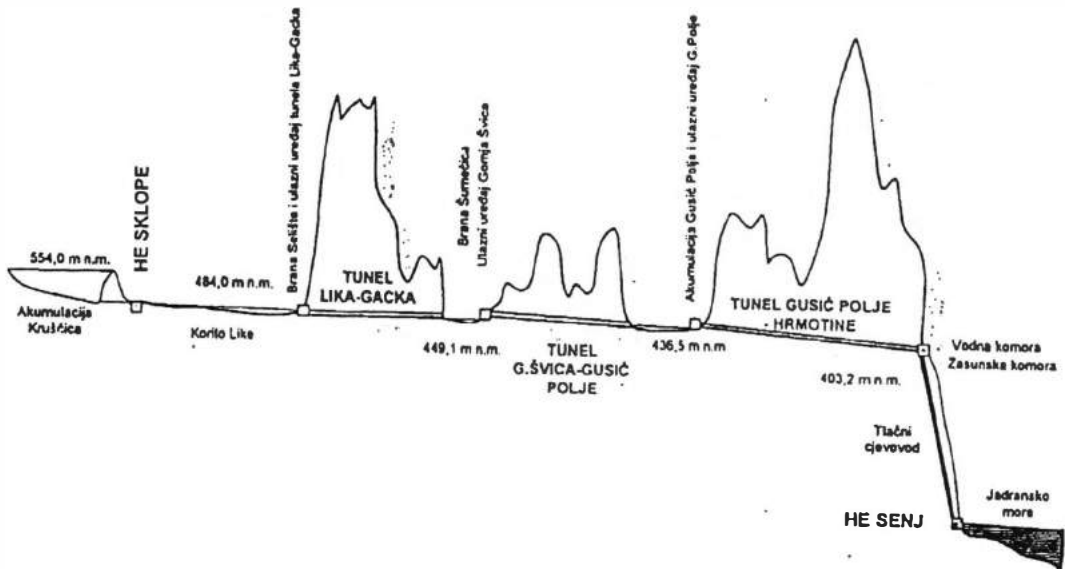


Slika 1. Shema sustava HE Senj

3. Hidroelektrana Sklope, instalirane protoke $45 \text{ m}^3/\text{s}$ - s konstruktivnim padom 60 m , snage 22 MW i prosječne godišnje proizvodnje $75,1 \text{ GWh}$.
4. Brana Selište - stvara svojim usporom akumulaciju od max. 3 mil.m^3 vode, u sastavu nje nalazi se automatska zaklopka visine $2,0 \text{ metra}$ i dužine 24 metra .
5. Dovodni tunel Lika – Gacka - prevodi vodu iz sliva Like u sliv Gacke, dužine $l = 0,477 \text{ km}$, dijametra $d = 3,85 \text{ m}$, pada $I = 2,64 \text{ ‰}$ i max. protoke $49 \text{ m}^3/\text{s}$, spaja čvorište Selište (Lika) i čvorište Šumećica.
6. Čvor Šumećica sa branama Vivoze i Šumećica - reguliranim koritom i odvodnim kanalom u smjeru Gornjeg i Donjeg Švičkog jezera, ovo čvorište predstavlja ključno mjesto za problem poplava grada Otočca, te će se obraditi detaljno u posebnoj poglavlju.
7. Dovodni tunel Gornja Švica - Gusić polje, dovode se vode Like i Gacke u područje Gusić polja do lokacije Marasi, tunel je dužine $l=9,195 \text{ m}$, potkovastog oblika visine $h = 4,9 \text{ m}$ i širine $b = 4,7 \text{ m}$, pada $I = 1,2 \text{ ‰}$ i max. protoke $60 \text{ m}^3/\text{s}$.
8. Kanal Marasi - Gusić polje, čini spoj sa kompenzacijskim bazenom Gusić polje, trapeznog je oblika, duljine $l = 1,99 \text{ km}$, pada $I = 0.042 \text{ ‰}$ i protoke max. $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$.
9. Kompenzacijski bazen Gusić polje, svrha mu je dnevno reguliranje protoka za HE Senj, korisni volumen cca. $1,5 \text{ mil.m}^3$ vode, ostvaren je izgradnjom nasipa na prirodnom polju, te ima preljev u smjeru ponora Gusić polja, max. protoke $20 \text{ m}^3/\text{s}$.

10. Tunel Gusić polje - Hrmotine dovodi vodu do vodne komore Hrmotine (sa obalne strane Velebita), kružnog je presjeka promjera $d = 5$ m, dužine $l = 13,57$ km i pada $I = 1,5$ ‰, poprečno je obložen u ovisnosti o kvaliteti stijene kroz koju prolazi.
11. Hidroelektrana Senj: od vodne komore Hrmotine do strojarnice vodi čelični tlačni cjevovod dužine $l = 410$ m, promjenjivog svijetlog otvora $d = 4/3,85/3,7/3,55$ m postavljen pod kutem od 43° u odnosu na horizontalu, strojarnica je postavljena podzemno sa tri vertikalne Francis turbine koje proizvode godišnje prosječno 970 GWh. Iskorištene vode tunelom se uvode u more. Ne postoji mogućnost ispuštanja vode u more u slučaju da postrojenje ne radi.

Uzdužni presjek hidroenergetskog sustava HE Senj dan je na slici 2.



Slika 2. Uzdužni presjek hidroenergetskog sustava HE Senj.

3. Čvor Šumečića i scenariji mogućih poplava grada Otočca

Čvor Šumečića predstavlja ključnu točku sustava HE Senj u smislu mogućih poplava područja grada Otočca uslijed propagacije poplavnih valova rijeka Like i Gacke. U ovom čvorištu mješaju se vode rijeka Like i Gacke, te maksimalna propusna moć njegovih pojedinih segmenata, direktno utječe na mogućnost pojave poplava. Čvor Šumečića čine slijedeći objekti :

- Nasuta brana Vivoze koja zatvara ulaz vode u Sjeverni krak rijeke Gacke, sa zapornicom $\max.Q = 12$ m³/s.
- Regulirano korito Gacke od brane Vivoze do brane Šumečića $\max.Q = 92,50$ m³/s.
- Regulirano korito Like od izlaza iz tunela (Selište) do brane Šumečića $\max.Q = 49,00$ m³/s.
- Armirano - betonska brana Šumečića, kojom se u čvorištu održava stalna razina vode za potrebe osiguranja instaliranog protoka HE Senj (60 m³/s), sa segmentnom zapornicom i preklopnom zaklopkom kojom se omogućuje preljevanje vode u Južni krak Gacke.

- e. Regulirano korito brane Šumećica u smjeru Gornjeg i donjeg Švičkog jezera $max.Q = 32,50 \text{ m}^3/\text{s}$.
- f. Regulirano korito od brane Šumećica do ulaza u tunnel Gusić polje $max. Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$.

Shema maksimalnih propusnih moći pojedinih segmenata čvorišta Šumećica kao i drugih elemenata sustava HE Senj, a koji direktno utječu na mogućnost pojave poplava na području grada Otočca dana je na slici 3 .

Maksimalna propusna moć pojedinih segmenata u stvarnosti je daleko manja od projektiranih. Ovo se posebno odnosi na sjeverni i južni krak Gacke, gdje se $max.Q$ bez pojave izlivanja kreće oko $2 \text{ m}^3/\text{s}$ za sjeverni krak, odnosno oko $10 \text{ m}^3/\text{s}$ za Južni krak Gacke.

Analizirajući shemu na slici 3 uz prethodno navedene maksimalne protoke, može se doći do osnovnih scenarija pojave poplava područja grada Otočca:

1. Nailazak poplavnog vala rijeke Gacke stogodišnjeg povratnog perioda, koji za profil Šumećica iznosi $Q = 92,50 \text{ m}^3/\text{s}$ uz normalni maksimalni rad HE Senj ($60 \text{ m}^3/\text{s}$) i anuliranje voda Like (zatvaranje tunela na brani Selište) izazvao bi poplave zbog nedovoljnog kapaciteta mogućih preljavnih recipijenata: Sjevernog i Južnog kraka Gacke. Ta razlika sada iznosi oko $20 \text{ m}^3/\text{s}$ i izazvala bi veća izlivanja vode.
2. Prestanak rada HE Senj zbog kvara ili redovitih aktivnosti na održavanju izaziva pojavu poplava za svaku protoku Gacke veću od maksimalne sadašnje propusnosti Sjevernog i Južnog kraka zajedno, a ona u datom trenutku iznosi cca $15 \text{ m}^3/\text{s}$.
3. Pogreške u manipulaciji objektima hidroenergetskog sustava HE Senj također mogu izazvati pojavu poplava na području grada Otočca. Pogreške mogu biti različite:
 - 3.1. Nepravovremeno zatvaranje ili otvaranje pojedinih zapornica ili zasuna (npr. Selište, Vivoze, Šumećica ,G.Švica).
 - 3.2 Tehnički kvarovi na pojedinim objektima ili zapornicama, odnosno zasunima.
 - 3.3 Neprilagođeni rad turbina HE Senj vezan za nemogućnosti daljnje distribucije električne energije (slučajevi pucanja ključnih dalekovoda usljed nevremena).

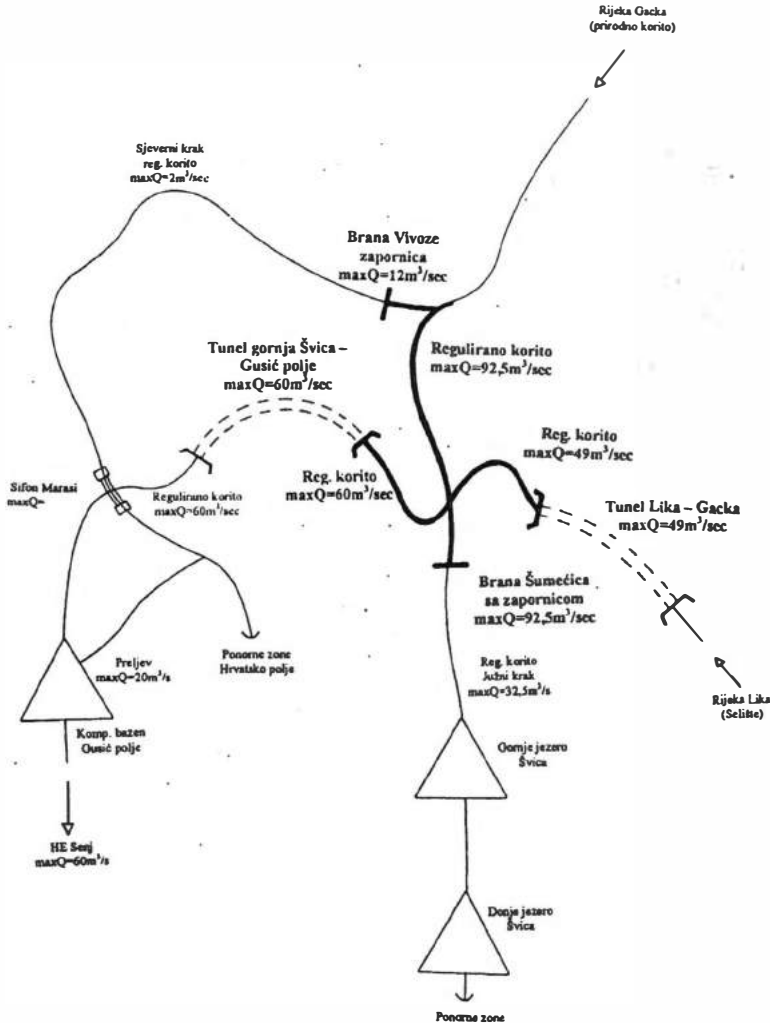
Područja grada Otočca koja bi u prethodno navedenim slučajevima bila izvrnuta plavljenju, različite su namjene i kreću se od poljodjelskih površina do uže gradske jezgre koja se nalazi uz Sjeverni krak. Na slici 4. dana je situacija sa ucrtanim potencijalnim poplavnim područjima. Postupanje u slučaju pojave od poplava tretira neusvojeni "Operativni pravilnik za obranu od velikih voda rijeke Gacke na hidrosistemu OOUR-a HE Senj i Sklope".

Jedino stvarno unaprijeđenje stanja sa aspekta zaštite od poplava moguće je postići detaljnom analizom postojećeg stanja na pojedinim ključnim segmentima sustava kao i mjerama za njegovo unaprijeđenje.

4. Mjere i aktivnosti na unaprijeđenju zaštite od poplava područja grada Otočca

4.1 Izvedbeni projekt regulacije sjevernog kraka Gacke od brane Vivoze do naselja Dubrava

Spriječavanje mogućeg plavljenja grada Otočca može se postići povećanjem propusne moći sjevernog kraka Gacke u području grada Otočca. Sjeverni krak je umjetno prokopan kanal koji prolazi kroz Otočac prema sjeveru te skreće na zapad kroz Dabrov klanac prema naselju Brlog. U ovom naselju sjeverni krak se križa sa kanalom Marasi. Ovo

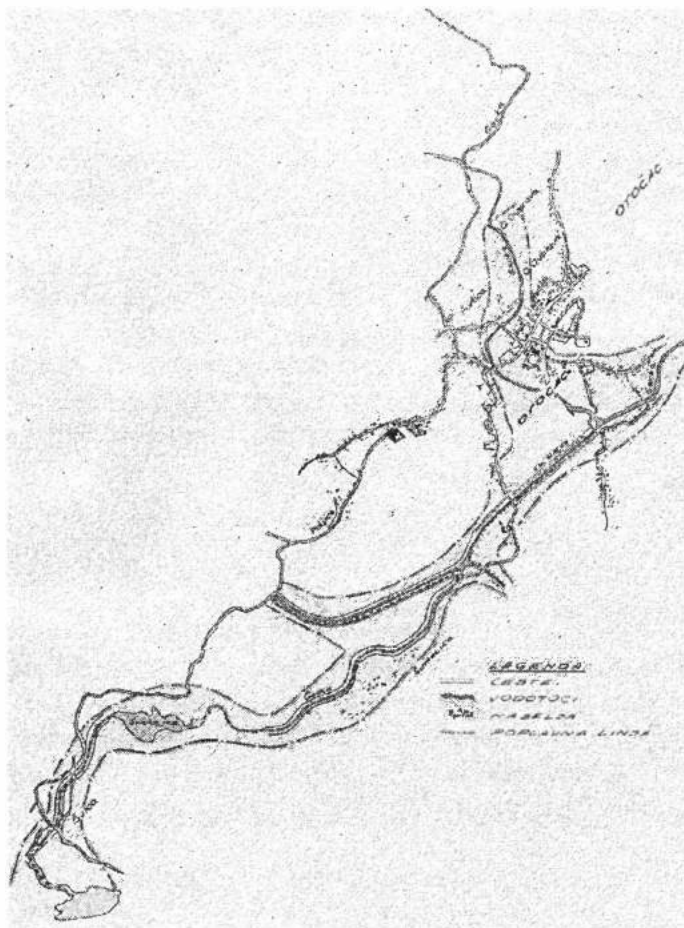


Slika 3. Shema čvorišta Šumećica

križanje izvedeno je sifonom ispod kanala Marasi propusnog kapaciteta od $5 \text{ m}^3/\text{s}$, s preljevom u kanal Marasi. Od ovog križanja voda dospjeva u ponore u Gusić polju.

Sadašnja propusnu moć sjevernog kraka kroz grad Gospić od $2 \text{ m}^3/\text{s}$ planira se povećati na $18 \text{ m}^3/\text{s}$. Ovime se značajno povećava propusna moć sjevernog kraka Gacke i smanjuje mogućnost plavljenja grada Otočca. Propusna moć nizvodnog dijela sjevernog kraka u ovoj fazi se neće mijenjati. U tom području nema naseljenih mjesta niti objekata, teren je miniran, a Dabrov klanac pun je ponora. Zbog toga će se veći dio vode koji prođe sjevernim krakom kroz grad Otočac do kanala Marasi izgubiti u podzemlje. Ovo će omogućiti adekvatno korištenje sifona i preljeva uz kanal Marasi.

Za postizavanje planirane protoke kroz grad Otočac od $18 \text{ m}^3/\text{s}$ potrebno je urediti korito sjevernog kraka u dužini od 2.600 m. Problem postizavanja planirane protoke predstavlja mali pad terena. Sjeverni krak rijeke Gacke je dugačak 26 km s ukupnom visinskom razlikom od 15,6 m, što daje prosječni pad $I = 0,0006 \text{ ‰}$. Na potezu koji se planira rekonstruirati prosječan pad iznosi $I = 0,0004 \text{ ‰}$. Potrebno je osigurati, širinu



Slika 4. Poplavna područja grada Otočca

kanala od 19 m u kruni poprečnog presjeka, odnosno 11 m u dnu. Ovu širinu nije moguće svuda postići. Zbog toga će se na mjestima suženja izvesti vertikalni zidovi s manjom hrapavošću. Provedeni hidraulički proračun provjeren je na simulacijskom matematičkom modelu HEC-RAS.

Zbog nemogućnosti dubljeg ukapanja kanala (mali pad), dio stambenih objekata ugrožen je zaobalnim vodama. Za zaštitu tih objekata izgraditi će se sabirni kanal s crnom stanicom. Izgradnjom planiranih objekata smanjiti će se mogućnost plavljenja grada Otočca. Za potpuno uklanjanje mogućnosti plavljenja ovog područja potrebne su aktivnosti na nizvodnim dijelovima ovog energetskeg sustava.

4.2 Matematički model propagacije poplavnih valova od brane Vivoze do Donjeg švičkog jezera

Za analizu poplavnih valova danas postoje mnoštvo matematičkih modela. Izgradnja matematičkih modela je zapravo vrlo zahtijevan i dugotrajan znanstveni rad koji nije do kraja završen. Naime, predstoji rad na njihovom usavršavanju do razine kada će se moći sigurno prepustiti širem krugu korisnika.

Za analizu poplavnih valova od brane Vivoze do čvorišta Šumečica, a zatim prema donjem Švičkom jezeru i Karlovu kanalu koristi se 1D nestacionarni model. On omogućuje analizu stacionarnog i nestacionarnog strujanja u kanalima, time i analizu mogućih scenarija poplavlivanja koja su navedena u poglavlju 3.

Nakon izlivanja vode iz korita moguće je koristiti i 1D i 2D modele. Dvodimenzionalni modeli su znatno kompleksniji od 1D modela i omogućuju simulaciju poplavlivanja u širokom području izvan kanala. Međutim, i 1D modeli mogu često dovoljno dobro simulirati poplave.

Izgrađeni matematički model za prethodno definirano šire područje čvora Šumečica će se koristiti kod nalaženja optimalnog rješenja regulacijskih radova na Južnom kraku Gacke. Model će omogućiti i analizu dodatnih građevinskih zahvata, kao prokopa novog odteretnog kanala na lokaciji Švica - Gornje Švičko jezero, izgradnja pregrade na Gornjem Švičkom jezeru, te ukupnog učinka takvih mjera na prevenciju poplava na području grada Otočca.

5. Zaključak

Mjere koje se trenutno poduzimaju na prevenciji poplava na području grada Otočca omogućit će veću sigurnost grada.

Međutim, složenost sustava HE Senj traži cjelovitiju analizu dinamike tog sustava sa stanovišta obrane od poplava. Naime, scenarij prisilnog prestanka rada HE Senj zahtijeva dodatne mjere na unaprijeđenju upravljanja sustavom i obrani od poplava.

Budući da sustav HE Senj zahvaća sliv rijeke Like s akumulacijom Krušćica, poduzete mjere i aktivnosti u obrani od poplava grada Otočca bi trebalo primjeniti i za grad Gospić, Bakovac i Kosinjsko polje.

Literatura

1. Hidroelektrana Senj, Generalni projekt, Elektroprojekt, Zagreb, 1956
2. Sopta L., Sopta D., " Studija o srednjim dnevnim dotocima HE Senj za razdoblje od 1981 do 1994 ", Tehnički fakultet, Rijeka, 1996
3. Produljivanje nizova dnevnih protoka i hidrološko bilanciranje HES Senj i Sklope, Institut za elektroprivredu i energetiku d.d., Zagreb, 1997
4. Studija optimalnog korištenja voda slivova Like i Gacke, Elektroprojekt, Zagreb, 1984
5. Vodoprivredna osnova slivova Like i Gacke, Elektroprojekt, Zagreb, 1971
6. HE Senj, Obrada rezultata mjerenja protočnosti derivacijskih objekata, Elektorprojekt, 1995., Zagreb
7. HE Senj, Obrada rezultata mjerenja protočnosti derivacijskih objekata matematičkim modelima, Elektorprojekt, 1995., Zagreb
8. Holjević D., Projektni zadaci :
 "Izvedbeni projekt regulacije rijeke Gacke od ustave Vivoze do D.Dubrave"
 "Matematički model propagacije poplavnih valova južnim krakom rijeke Gacke od ustave Šumečica do ponora u D.Švičkom polju" ,Hrvatke vode-Zagreb, Rijeka, 1998

Autori:

Danko Holjević dipl. ing. građ., Hrvatske vode, VGO – Rijeka, Ciottina 17b, Rijeka.
 mr Ivica Plišić dipl. ing. građ., IGH PC-Rijeka, Vukovarska 10a, Rijeka.
 prof. dr Luka Sopta, Tehnički fakultet u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka.



Rad 4.47.

Klimatski čimbenici kao podloga projektiranja HE Podsused

Gordana Hrabak-Tumpa, Ivo Vuković, Stjepan Ivatek-Šahdan

SAŽETAK: Duž Save - od slovenske granice do Ivanje Rijeke - planirana je izgradnja višenamjenskih vodnih stepenica Save i pripadajućih hidroelektrana obzirom da u tom području Sava ima pad od 36 m. Prva u izgradnji trebala bi biti HE Podsused. Akumulacija buduće hidroelektrane sačinjavat će prošireno korito rijeke Save od granice sa Slovenijom (od Bregane) do zaseoka Gornja Srbečka (prije utoka Krapine u Savu). Izgradnjom akumulacije moglo bi doći do promjene eko sustava te i klimatskih promjena. Upravo je stoga potrebno odrediti "nulto stanje" te predvidjeti očekivane promjene. U radu je razmatran klimatski potencijal šireg okoliša Podsuseda kao i očekivana pojava smanjene vidljivosti zbog izgradnje akumulacije.

KLJUČNE RIJEČI: hidroelektrana, temperatura zraka, količina oborine, vodna bilanca.

Climate Factors as the Basis for Podsused HPP Design

SUMMARY: Construction of multipurpose hydropower system, including hydroelectric power plants has been planned along the Sava River, on the stretch between the Slovenian border and Ivanja Rijeka, where the Sava head is 36 m. The first structure planned for construction is the Podsused Hydroelectric Power Plant. The future reservoir of this power plant shall form the enlarged Sava River bed occupying the area from the Slovenian border (Bregana) to the Gornja Srbečka settlement located upstream the Krapina River mouth into the Sava.

Construction of the reservoir could cause eco-system and climate changes. Therefore, it is necessary to determine the "referenced status" and forecast expected changes.

The paper discusses climate potential of the greater area of Podsused and expected decrease in visibility caused by the reservoir construction.

KEYWORDS: hydroelectric power plant, air temperature, precipitation amount, water balance

1. Uvod

Na vodnim stepenicama Save potrebno je izgraditi male hidroelektrane koje bi imale višeznačnu ulogu: Zagreb bio dobio električnu energiju koja ne bi bila rezultat onečišćenja okoliša, štedjeli bi se ostali energenti, akumulacije bi služile za rekreaciju i turizam, uredile bi se obale u cilju smanjenja opasnosti od poplava.

Poznavanje meteoroloških i klimatskih elemenata dotičnog područja potrebno je iz nekoliko razloga:

- određivanje hidrološke isplativosti objekta,
- kao podloga za određenje projektnih parametara objekta,

- za izradu studije utjecaja na okoliš i izrade “nultog stanja” zbog utvrđivanja mogućih klimatskih promjena uslijed rada hidroelektrane,
- upotreba vremenskih i prognostičkih parametara kod same gradnje objekta.

Određivanje lokacije izgradnje hidroelektrane vezano je uz poznavanje vodnog resursa i vodnog potencijala koji se određuju iz hidroloških i meteoroloških podataka.

Potrebno je poznavati oborinski režim kao što su: dnevna, mjesečna i godišnja količina oborine, intenzitet oborine, broj kišnih dana, broj dana s određenom količinom oborine, ekstremne količine oborine kao i sušna odnosno kišna razdoblja, količinu isparavanja te sadržaj vode od snijega.

Izgradnja vodnih stepenica uvjetovat će stalno povećanje nivoa Save što može izazvati promjenu kvalitete vode, promjenu režima površinskih voda i toka Save, režima prijenosa nanosa kao i režima površinskih voda u zaobalju i objekata odvodnje.

Rad hidroelektrana može, zbog povećanja vodene površine (akumulacije), utjecati na vertikalnu i horizontalnu vidljivost, promijeniti godišnji broj dana s pojavom magle, smanjiti raspon između maksimalne i minimalne temperature zraka, doprinijeti promjeni količine isparavanja te preraspodjeli i/ili povećanju količine oborine.

Danas već postoje saznanja o umjetnom djelovanju na oborinske procese u cilju preraspodjele oborine u svezi prostora i vremena padanja oborine. Naime, poznavanjem strujnog, termičkog i higričkog režima određuju se područja gdje postoje fizikalni uvjeti djelovanja na procese u atmosferi zasijavanjem oblaka, u cilju povećanja ali i preraspodjele oborine.

Analiza je obavljena pomoću meteoroloških podataka Meteorološkog opservatorija Zagreb-Maksimir te običnih meteoroloških postaja Podsused i Novi Dvori.

2. Neke klimatske karakteristike

Pod *klimom* nekog područja podrazumijevamo skup svih vremenskih stanja u višegodišnjem razdoblju. Nastaje djelovanjem klimatskih činitelja na klimatske elemente. Najvažniji klimatski činitelji su podnevna visina Sunca i njezine promjene tijekom godine, udaljenost od mora, nadmorska visina, oblik i sastav Zemljine površine.

Stanje se opisuje pomoću srednjih vrijednosti određenih meteoroloških elemenata i njihovih odstupanja. Meteorološki element je svojstvo zraka (temperatura, vlažnost, gustoća...) ili pojava koja je nastala određenim fizikalnim procesom u jednom dijelu atmosfere (grmljavina, magla, rosa...).

Promatraju se specifična stanja atmosfere kao što su: toplinsko, strujno i stanje vlažnosti.

2.1. Toplinsko stanje

Toplinsko stanje atmosfere opisuje se pomoću temperature zraka, vode i tla.

U ovom radu analizirane se samo temperaturne prilike zraka.

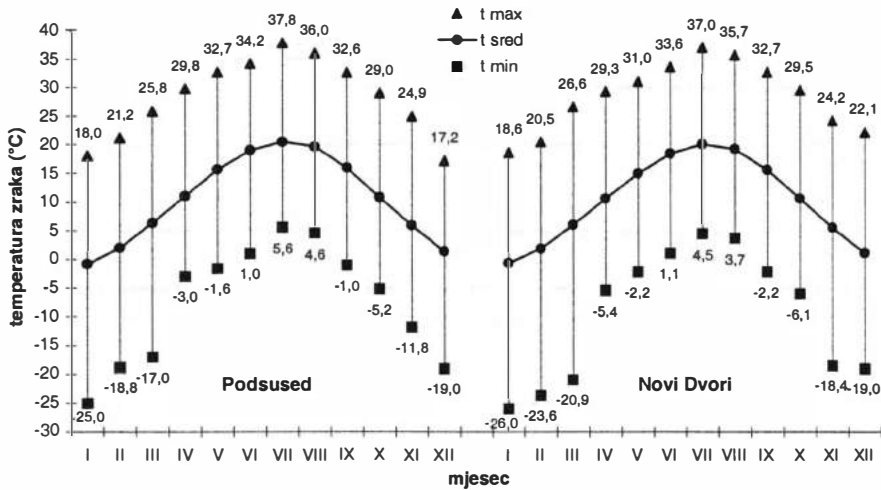
Na samoj lokaciji buduće hidroelektrane, kao i na području buduće akumulacije, ne postoje meteorološka motrenja. Najbliža meteorološka motrenja bila su u urbanom dijelu Podsuseda i Novih Dvora.

Temperatura zraka

Temperatura zraka promatrana je u 30-godišnjem razdoblju. Kako je obična meteorološka postaja Podsused postala kišomjerna tijekom 1986. godine to je za tu postaju promatran

niz temperature i vlage zraka 1957-1986. dok je niz podataka postaje Novi Dvori bio iz razdoblja 1960-1989.

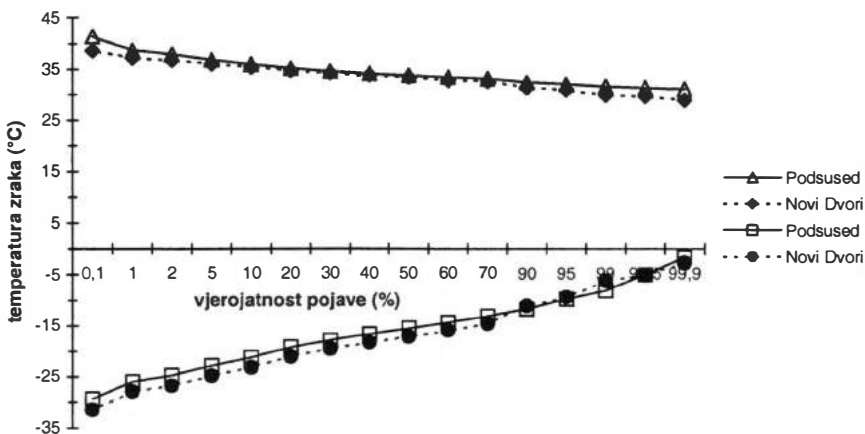
Na slici 1. nalazi se grafički prikaz godišnjeg hoda srednje mjesečne temperature zraka kao i ekstremnih temperatura postaja Podsused i Novi Dvori.



Slika 1. Godišnji hod srednje mjesečne temperature zraka i apsolutni ekstremi temperature zraka (°C), Podsused, 1957-1986., Novi Dvori, 1960-1989.

Može se dobro uočiti godišnji hod temperature zraka s maksimalnim vrijednostima tijekom srpnja a minimalnim u siječnju.

Srednje vrijednosti kao i apsolutni minimumi temperature zraka nešto su niži na području Novih Dvora dok je maksimum viši na području Podsuseda.



Slika 2. Vjerojatnost pojave ekstremnih temperatura zraka (°C), Podsused i Novi Dvori

Prema proračunu ekstrema također je dobiveno da se na području Podsuseda može, u prosjeku, očekivati za 0,6 °C viša maksimalna temperatura zraka a na području Novih Dvora čak za 2,4 °C niža minimalna temperatura zraka.

2.2. Stanje vlažnosti

U ovom se radu promatra godišnji hod relativne vlage zraka, veze između vlage i temperature zraka (klimogram), godišnjeg hoda naoblake te oborinski režim.

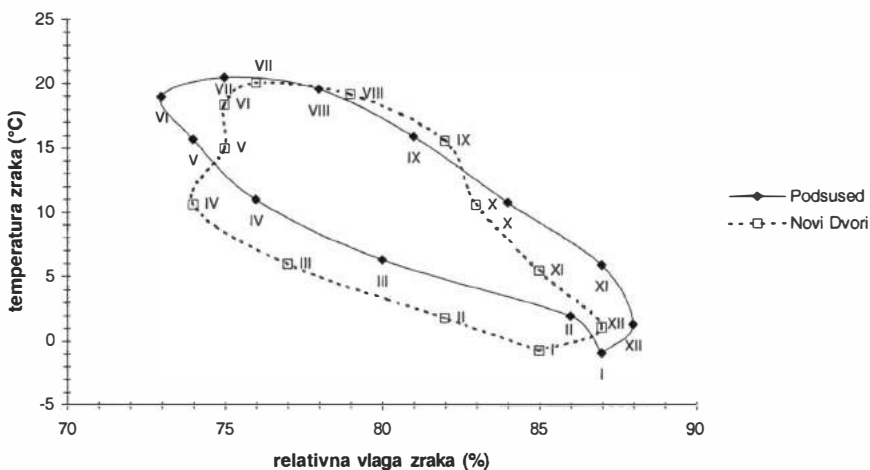
Godišnji hod vlage prikazan je na klimogramu, slika 3. Prema godišnjem hodu relativne vlage zraka postaja Podsused i Novi Dvori minimalne vrijednosti zabilježene su u proljeću i ranom ljetu a maksimalne u siječnju (kada se mogu očekivati i najniže temperature zraka).

2.2.1. Klimogram

U pravilu su godišnji hodovi temperature i relativne vlage zraka suprotni: pri maksimalnoj dnevnoj temperaturi zraka javlja se minimalna vlaga zraka (rano poslije podne) a neposredno nakon izlaska Sunca postoji maksimum relativne vlage zraka i minimum temperature zraka. Slično je i kod godišnjeg hoda: topliji zrak sposobniji je da primi veću količinu vlage te je i relativna vlaga zraka manja.

Na klimogramu se uočava prisustvo rijeke Save na području Podsuseda u svezi povećanja relativne vlage zraka u odnosu na područje Novih Dvora.

Gotovo identičnim vrijednostima temperature zraka tijekom proljeća pridružena je znatno manja relativna vlaga zraka nego li tijekom jeseni. Povećanje vodene površine sigurno će doći do promjene oblika ovog klimograma.



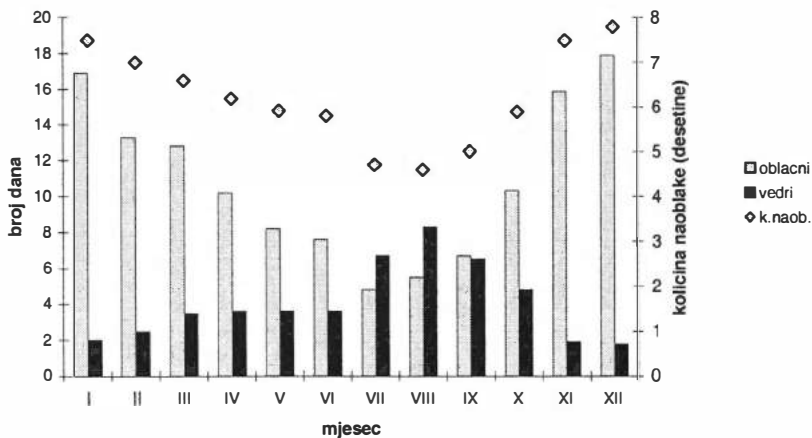
Slika 3. Klimogram za postaje Podsused (1957-1985.) i Novi Dvori (1960-1989.)

2.2.2. Naoblaka

Oblak je dio atmosfere zamućen brojnim vodenim kapljicama ili ledenim kristalićima reda veličine 10 μm. Obzirom na sastav oblak može biti voden, leden ili miješan.

Obzirom na nastanak oblake dijelimo na: orogenetske, frontalne i konvektivne. *Orogenetski* oblaci nastaju pri adijabatskom dizanju a time i ohlađivanju zraka. *Frontalni*

oblaci nastaju na granici dviju zračnih masa različitih svojstava a time i temperatura zraka. *Konvektivni* oblaci nastaju u uzlaznoj struji zraka koji se odozdo grije.



Slika 4. Godišnji hod broja oblačnih i vedrih dana i naoblake (desetine), Zagreb-Maksimir, 1960-1989.

Naoblaka je zastrtost nebeskog svoda oblacima. Iskazuje se u desetinama površine cijelog svoda.

Vedar dan definiran je kao onaj u kojem je srednja dnevna naoblaka bila manja od 2/10 zastrtog neba. *Oblačan dan* je onaj u kojem je srednja dnevna naoblaka veća od 8/10 zastrtog neba.

Najmanje oblaka ima tijekom ljetnih mjeseci dok se tijekom prosinca treba, u prosjeku, očekivati zastrtost neba do 8 desetina.

Može se uočiti da je broj vedrih i oblačnih dana tijekom srpnja, kolovoza i rujna gotovo jednak dok tijekom hladnog dijela godine postoji znatno povećanje broja oblačnih dana. U hladnom dijelu godine potrebno je u skoro 80 % vremena očekivati nebo zastrto oblacima. Gledajući godinu u cjelini broj oblačnih dana je 2,7 puta veći od broja vedrih dana.

Povećanje broja oblačnih u odnosu na vedre dane moglo bi biti i veće u slučaju povećanja vodene površine akumulacije, povećanja vlažnosti zraka i povećanja isparavanja.

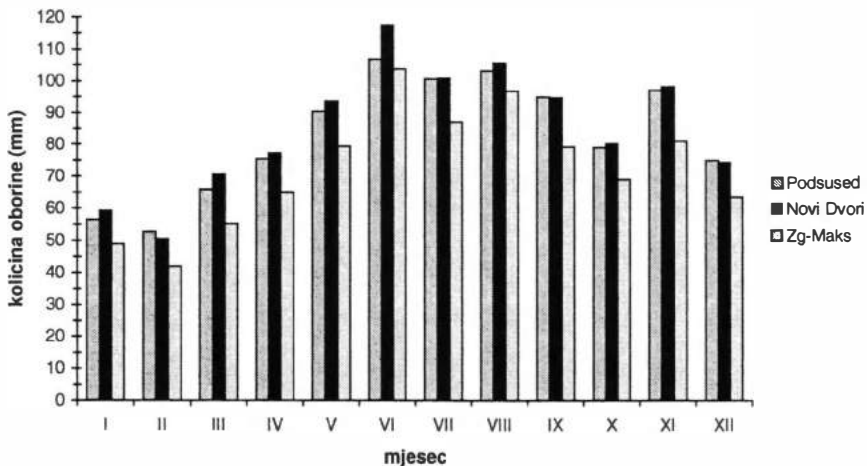
2.2.3. Oborina

Oborina nastaje kao rezultat mnogih fizikalnih procesa u atmosferi koji su u svezi promjena toplinske energije. Da bi nastala oborina čestice oblaka moraju višestruko narasti. U ovisnosti o brzini pojedinih procesa u oblaku nastaju različiti oblici oborine - od tekuće do krute.

Osim oborine, koja pada iz oblaka, postoje i oborine koje se talože na tlo izlučivanjem iz najnižeg sloja zraka koji je zasićen vodenom parom (rosa i inje).

Količina oborine je visina sloja oborinske vode iskazana milimetrima.

Promatran je godišnji hod mjesečne količine oborine postaja Podsused, Novi Dvori i Zagreb-Maksimir razdoblja 1960-1989.



Slika 5. Godišnji hod mjesečne količine oborine, Podsused, Novi Dvori, Zagreb-Maksimir, 1960-1989.

Na slici 5. se dobro uočava smanjenje količine oborine na urbanoj sredini Zagreba a prisutno je tijekom cijele godine (središte grada ima oko 15 % manju količinu od prstena). Ovo je, najvjerojatnije superponiranje utjecaja Zagrebačke gore i toplinskog otoka grada. Na području Podsuseda u prosjeku padne 998 mm oborine, na području Novih Dvora 1023 mm.

Veoma je važan podatak i maksimalna dnevna količina oborine. Najveća dnevna količina oborine promatranog razdoblja pala je u rujnu 1987. godine: na području Podsuseda u iznosu od 82,2 mm, na području Zagreb-Maksimira od 86,1 mm. U Novim Dvorima najveća količina pripala je srpnju 1980. godine u iznosu od 95,0 mm.

Proračunom ekstrema izračunate su očekivane dnevne maksimalne količine oborine za promatrane postaje a prikazane su na slici 6.

Snijeg je važan u svezi ukupne količine oborine. Važnost mu raste povećanjem zemljopisne širine i nadmorske visine.

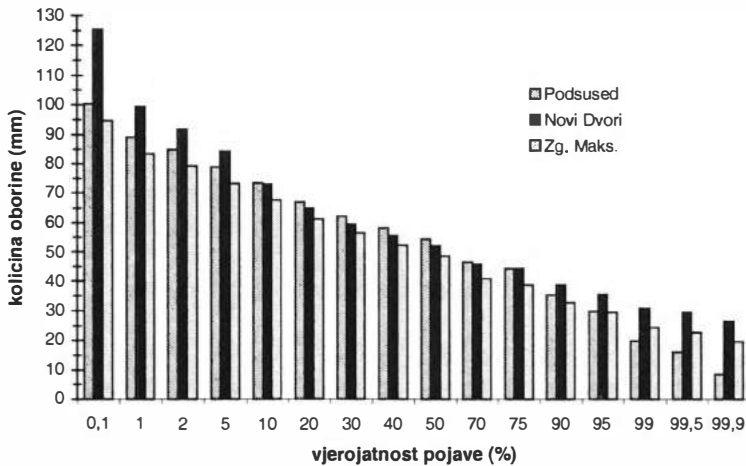
Dan sa snijegom na tlu je onaj u kojem je izmjerena visina iznosila barem 1 cm visine snijega.

Trajanje snježnog pokrivača funkcija je kako nadmorske visine (u prvoj približnosti na svakih 100 m nadmorske visine produljenje trajanja snježnog pokrivača je za 10 dana) tako i debljine naslage.

Broj dana sa snijegom na tlu šireg zagrebačkog područja veoma je varirao iz godine u godinu. Bilo je zimskih mjeseci u kojima uopće nije bilo snijega na tlu (npr. siječanj 1988. godine) ili ga je bilo u svim danima (npr. siječanj 1964. godine). Prosječni broj dana sa snježnim pokrivačem šireg područja Podsuseda prikazan je na slici 6.

Promatrano područje ima, prosječno tijekom zimskih mjeseci, tridesetak dana sa snježnim pokrivačem. Ponovno ističemo da je ovo veoma promjenljiv element klime tako da je bilo zima samo sa ukupno tri dana snježnog pokrivača (zima 1974/75. na području Novih Dvora) ili pak sa 97 dana (zima 1962/63. i to također na području Novih Dvora).

Apsolutno najveća visina snijega, na ove tri promatrane postaje unutar ovih 31 zima, izmjerena je u iznosu od 72 cm i to na području Novih Dvora. U prosjeku treba, na



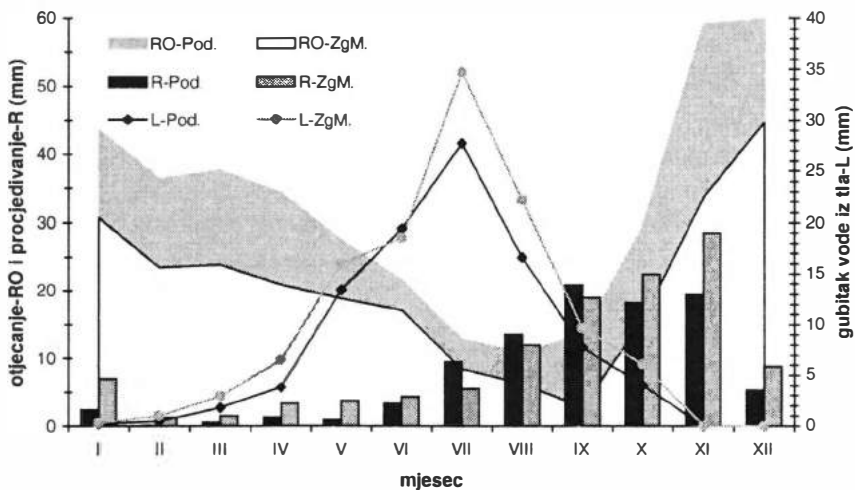
Slika 6. Očekivana maksimalna dnevna količina oborine te srednji broj dana sa snježnim pokrivačem Podsused, Novi Dvori i Zagreb-Maksimir

području Podsuseda i Novih Dvora, očekivati najveću godišnju visinu snijega od 26-27 cm a na urbanom području Zagreba do 20 cm.

2.2.3. Vodna bilanca

Srednje komponente vodne bilance važne su komponente klime određenog područja. Pokazuju koliko je, u prosjeku, količina oborine veća od evapotranspiracije. Od viška oborinskih voda nastaju zalihe u tlu i to prvenstveno u jesen. U prosjeku je manjak tijekom proljeća i ljeta koji se nadoknađuje vlagom iz tla.

Godišnji hod komponenata vodne bilance, izračunat iz mjesečnih vrijednosti temperature, relativne vlažnosti i količine oborine postaja Podsused i Zagreb-Maksimir razdoblja 1956-1985. godine, prikazan je na slici 7.



Slika 7. Vodna bilanca, Podsused i Zagreb-Maksimir, 1956-1985.

Možemo ustanoviti da je maksimalna mjesečna količina oborine najveća tijekom ljetnih mjeseci kada je i najveća, kako stvarna tako i potencijalna, evapotranspiracija. Najveće punjenje vodom tla je krajem ljeta i početkom jeseni dok je otjecanje najizraženije zimi. Najveći gubitak vode iz tla je tijekom ljetnih mjeseci (deficitaran je za oko 50 mm) a najveći sadržaj vode u tlu je tijekom zime (do 400 mm).

Uspoređujući područje Podsuseda i Zagreb-Maksimira možemo ustanoviti da područje Podsuseda ima nešto veći sadržaj vode u tlu dok je evapotranspiracija nešto veća na urbanom području Zagreba (utjecaj toplinskog otoka grada).

3. Zaključak

U ovom radu nisu razmatrana dva bitna meteorološka elementa a to su: vertikalna i horizontalna vidljivost i strujni režim.

Postoje posebna razmatranja smanjenja određenih kategorija vidljivosti u svezi povećanja vodenih površina. Analiza je napravljena u svezi povećanja vodene površine, smanjenja razlike između temperature vode i zraka, promjene količine isparavanja, promjene relativne vlažnosti zraka, promjene cirkulacije uz rijeku Savu u odnosu na određene kategorije vidljivosti pa i formiranja magle pri tlu.

Obzirom da na samoj lokaciji buduće hidroelektrane ne postoje meteorološka motrenja to je neophodno postaviti automatsku meteorološku postaju s osnovnim mjerenjima (temperatura zraka, vode i tla, vlaga, smjer i brzina vjetra na dva nivoa, količina oborine). Ova mjerenja nastavila bi se i u vrijeme rada hidroelektrane i na taj način dobio bi se uvid u proračunate očekivane vrijednosti odstupanja pojedinih meteoroloških elemenata.

Literatura

- Eagleman, J.R., 1967: Pan evaporation, potential and actual evapotranspiration, *J.Appl.Met.*, 6, 482-488.
- Morton, F.I., 1975: Estimating evaporation and transpiration from climatological opservations, *Your.of Appl.Met.*, Vol.14, 488-497.
- Šinik, N., N.Pleško, 1976: Energetska ravnoteža prizemnog sloja atmosfera-tlo u Hrvatskoj, *Rasprave i prikazi*, Zagreb, DHMZ,
- Hrabak-Tumpa, G., 1981: Utjecaj stepenica Save kod Zagreba na formiranje magle, Zagreb, studija, DHMZ, 1-39.
- Monteith, J.L., 1981:Evaporation and surface temperature, *Quart.Jour.Roj.Met.Soc.*, Vol.107, 1-27.
- Pandžić, K., 1985: Vodna bilanca na istočnom primorju Jadrana, *Rasprave* 20, Zagreb, 21-29.
- Pandžić, K., K.Cesarec, B.Grgić, 1995: Analiza oborina i protoka na rijeci Cetini, Prva hrvatska konferencija o vodama, Dubrovnik
- Hrabak-Tumpa, G., K. Pandžić, V. Vučetić, 1996: Klimatski potencijal šireg okoliša Podsuseda, Zagreb, studija, DHMZ, 1-63.

Autori:

Gordana Hrabak-Tumpa,dipl.inž., Ivo Vuković,dipl.inž. i Stjepan Ivatek-Šahdan,dipl.inž.

Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb Grič 3



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.48.

Upliv HE Vrhovo na nizvodne objekte

Mario Krzyk

SAŽETAK: Za hidroelektanu Vrhovo se, pri dnevnom prilagođavanju potrebama elektroenergetskog sistema, predviđa trapezni način rada. Odnos između dnevnog i noćnog protoka bi ovisio o srednjem dnevnom protoku rijeke Save. Protok i njegovu brzinu promjene diktira nizvodna nuklearna elektrana Krško, odnosno hidrotehnički objekti, izgrađeni za potrebe nuklearne elektrane. Ta nalaže dva uvjeta: minimalni protok je definiran tako da se izbjegne prekomjerna toplotna polucija rijeke Save i drugo, definirana je maksimalna brzina povećanja protoka koju mogu kontrolirati automatske ustave na brani akumulacije nuklearne elektrane. U cilju utvrđivanja posljedica predviđenog načina rada hidroelektrane Vrhovo, analizirane su promjene hidrauličkih karakteristika u koritu rijeke Save od hidroelektrane Vrhovo do brane nuklearne elektrane Krško. Upotrebljen je bio jednodimenzionalni matematički model PRLAX. Rezultat analize su bile brzine promjene protoka i nivoa vode u karakterističnim profilima.

KLJUČNE RIJEČI: nestalni tok, jednodimenzijiski matematički model, HE Vrhovo, NE Krško

Vrhovo HPP Impact on Downstream Structures

SUMMARY: The Vrhovo Hydroelectric Power Plant (HPP) is designed for trapezoidal operational mode for diurnal accommodation of the power generation system requirements. Relation between diurnal and nightly discharge would depend on the mean daily discharge of the Sava River. The discharge and discharge change rate are dictated by the downstream Krško Nuclear Power Plant (NPP), namely hydrotechnical structures constructed for the Krško NPP. The nuclear power plant imposes two requirements i.e. minimum discharge is defined so as to avoid pollution of the Sava River due to overheating and maximum increase in discharge is defined so that it can be controlled by the automatic weirs on the power plant reservoir dam. In order to determine consequences of the operational mode planned for the Vrhovo HPP, changes in hydraulic characteristics in the Sava riverbed were analyzed for the stretch between the Vrhovo HPP and the Krško NPP dam. A 1D mathematical model PRLAX was used. The analysis result includes discharge change rates for typical profiles.

KEYWORDS: unsteady flow, 1D mathematical model, Vrhovo HPP, Krško NPP

1. Opis problema

Za posljednju u slovenskom nizu savskih hidroelektrana, HE Vrhovo, projektant predviđa trapezni način rada u elektroenergetskom sistemu. Na taj način bi se proizvodnja prilagodila potrebama dvadesetčetverosatnog ciklusa pri raspoloživom dotoku rijeke Save u akumulaciju. Na udaljenosti 32 km od HE Vrhovo je izgrađena akumulacija za opskrbu vodom rashladnih uređaja nuklearne elektrane Krško. Opremljena je ustavama

s automatskom regulacijom nivoa u akumulaciji. Njihove karakteristike su takve da mogu uspješno slijediti promjenama protoka do $150 \text{ m}^3/\text{s}$. Minimalni protok preko brane HE Vrhovo je diktiran zahtjevanim protokom u profilu NE Krško, potrebnim za njen nesmetan rad, obzirom na dozvoljenu toplotnu poluciju Save. Taj iznosi $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri radu HE Vrhovo se predviđa relativno velika brzina promjene snage na agregatima – do $10 \text{ MW}/\text{min}$, što bi izazvalo promjenu protoka od $125 \text{ m}^3/\text{s}/\text{min}$. Takvi manevri bi mogli izazvati brze promjene nivoa i protoka u dijelu toka rijeke Save nizvodno od brane HE Vrhovo, što bi moglo imati negativne posljedice, osobito na branu akumulacije NE Krško.

U cilju sagledavanja posljedica predviđenog načina rada, matematičkim modelom su bile opisane promjene hidrauličkih uvjeta toka rijeke Save od brane HE Vrhovo do brane NE Krško u dužini 32095 m . Poštovana su ograničenja koja diktiraju potrebe i mogućnosti hidrotehničkih objekata za pravilan rad HE Vrhovo i NE Krško, te odgovarajuće karakteristike korita rijeke Save. Ovisno od prosječnog dnevnog dotoka Save u akumulaciju HE Vrhovo i elektroenergetskih potreba, predviđene su različite kombinacije dnevnog i noćnog protoka na turbinama. Kritičan slučaj predstavlja primjer maksimalnog povećanja protoka (za $74 \text{ m}^3/\text{s}$) pri minimalnom noćnom protoku ($100 \text{ m}^3/\text{s}$). Računom je bilo potrebno utvrditi brzinu promjene nivoa vode i protoka u karakterističnim profilima. U slučaju da bi te vrijednosti prekoračile granične vrijednosti, ponovnim računima bi se utvrdila vremenska ograničenja manevara promjene snage te s tim i protoka HE Vrhovo.

2. Opis matematičkog modela

Račun širenja vala u dolini rijeke Save na dijelu toka HE Vrhovo - brana NE Krško je izvršen jednodimenzionalnim matematičkim modelom PRLAX razvijenim na Fakultetu za građevinarstvo i geodeziju Univerziteta u Ljubljani.

2.1. Osnovne jednačbe

Upotrijebljene su St. Venantove jednačbe u konzervativnom obliku:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial t} = 0 \quad \text{jednačba kontinuiteta i} \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{S} \right) + gS \frac{\partial z}{\partial x} = -gSI \quad \text{dinamička jednačba.} \quad (2)$$

Pri tome je značenja oznaka u jednačbama slijedeće:

- x i t su neovisne promjenjive: duljina na apscisnoj osi i vrijeme koje se računa od trenutka početka manevara promjene protoka,
- S in Q su površina poprečnog presjeka i odgovarajući protok,
- z je kota slobodne površine toka,
- g je vrijednost gravitacijskog ubrzanja,
- I nagib energetske crte, definiran po Manningovoj jednačbi:

$$I = \frac{Q^2 n_g^2}{S^2 R^{4/3}} \quad (3)$$

gdje je R hidraulički radij i n_g Manningov koeficijent hrapavosti. Na Fakultetu za građevinarstvo i geodeziju u Ljubljani je na više primjera upotrebljen i testiran matematički model koji pretpostavlja uniforman koeficijent hrapavosti duž cijelog računskog područja. Obzirom na veliku dužinu analiziranog dijela toka i promjenjive hidrauličke uvjete, za kvalitetnu analizu je matematički model bilo potrebno dopuniti mogućnošću računanja sa promjenjivim vrijednostima koeficijenta hrapavosti.

2.2. Primjenjena metoda rješavanja

U računarskom programu PRLAX se sistem jednažbi rješava eksplicitnom metodom konačnih razlika drugog reda točnosti - Lax -Wendroff metoda. Pri tome se poštuje minimalni vremenski interval, potreban da bi se osigurala stabilnost metode:

$$\Delta t < \frac{\Delta x}{v + \sqrt{gS/B}} \quad (4)$$

gdje je v brzina toka i B širina slobodne površine pri odgovarajućoj koti površine vode.

2.3. Početni i rubni uvjeti

Početni uvjet pri računu su dubine pri odgovarajućem protoku. Te su rezultat računa stalnog nejednolikog toka na analiziranoj dužini pri čemu se dinamička jednačba rješava iteracijski od profila do profila toka uz zadanu kotu vode u zadnjem nizvodnom profilu. Oba rubna uvjeta, uzvodni i nizvodni, se u programu mogu definirati na tri različita načina, čime se na odgovarajući način opiše stvarno događanje u prirodi. To su:

- ovisnost $Q(t)$, čime se zadaju promjene protoka u vremenu;
- funkcija $z(t)$, tj. promjena kote slobodne površine toka u vremenu na rubu modela i
- $Q(z)$ - funkcija protoka rubnog profila.

Pri tome mora biti bar jedan uvjet definiran kao funkcija nivoa slobodne površine vode.

3. Računski podaci

3.1. Geodetski podaci

Topografija računskog područja je u matematičkom modelu opisana sa 162 profila na međusobnoj udaljenosti 200 m. Geometrijske karakteristike poprečnih profila su bile zadane kao kombinacija parova: apsolutna kota – širina korita, u takozvanom obliku ZZ-BB. Osnova za to su bili geodetsko izmjereni poprečni profili na prosječnom rastojanju 400 m, te po potrebi, interpolacijom dodani na manjim rastojanjima.

3.2. Hidraulički podaci

3.2.1. Rubni uvjeti

Lijevi rubni uvjet je bio definiran zadanom zakonitošću vremenske promjene protoka, definirane po predviđenom trapeznom načinu rada HE Vrhovo. Obzirom na različite

predložene varijante rada hidroelektrane, te uzimajući u obzir dotok u akumulaciju HE Vrhovo, izabran je kritičan slučaj promjene protoka, tj. povećanje protoka od $100 \text{ m}^3/\text{s}$ na $174 \text{ m}^3/\text{s}$ u 35 s.

Desni rubni uvjet bi trebao simulirati rad ustava na brani NE Krško, koji je ovisan od dotoka i nivoa vode iza ustava, te moguće brzine odazivanja ustava. To je onemogućilo definiranje rubnog uvjeta u smislu ovisnosti protoka od nivoa vode jer je taj istovremeno ovisan i od trenutnog položaja ustava, koje se prilagođavaju nivou vode. Pri tome, nije realno predvidjeti ni stalni nivo vode iza ustava, jer one reagiraju tek nakon odgovarajuće promjene nivoa. Pri stalnom protoku od $100 \text{ m}^3/\text{s}$ na ustavama, propisana kota vode u akumulaciji iznosi 150 m n.m.

Zato je pri definiranju desnog rubnog uvjeta izabran kompromis između spomenutih pristupa, s tim da je korito rijeke fiktivno produženo nizvodno od akumulacije NE Krško. Pad dna fiktivnog korita je jednak prosječnom padu dna akumulacije. Na tako definiranom zadnjem nizvodnom profilu, zadana je kota površine vode tako da je pri stalnom protoku $100 \text{ m}^3/\text{s}$, nivo vode u profilu brane NE Krško 150 m n.m.

3.2.2. Koeficijent hrapavosti

Za korito analiziranog dijela toka rijeke Save su bile preuzete vrijednosti koeficijenta hrapavosti po Manningu (n_g), utvrđene u prijašnjim studijama, zasnovanim na vrijednostima dobivenim terenskim mjerenjima pri različitim proticajima. Za protoke manje od $500 \text{ m}^3/\text{s}$, te vrijednosti se kreću u granicama od 0.030 do $0.036 \text{ s/m}^{1/3}$.

3.2.3. Vremenski korak i vrijeme računanja

Spomenuti uvjet maksimalnog vremenskog koraka (jednačba 4) zahtjeva vremenski korak manji od 21 s. Obzirom na predviđeno vrijeme manevra na HE Vrhovo (35 s), sa tako izabranim vremenskim korakom ne bi se dovoljno detaljno zahvatile sve hidrauličke promjene. Zato je izabran vremenski korak 5 s.

U trapeznom načinu rada HE Vrhovo je predviđeno da vrijeme dnevnog rada, sa povećanim protokom od $174 \text{ m}^3/\text{s}$, traje 16 sati. Preliminarni računi so pokazali da se, pri kritičnom maneuvru, uvjeti stalnog toka na cijeloj analiziranoj dionici uspostave u vremenu kraćem od 7 sati, računajući od početka manevra na HE Vrhovo. Zato je to vrijeme izabrano za ukupno vrijeme simulacije događanja.

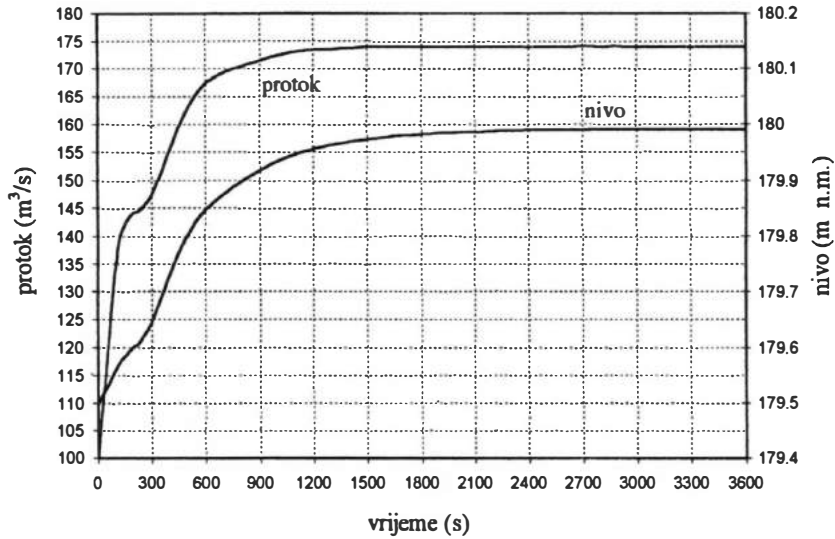
4. Rezultati

4.1. Točnost rezultata

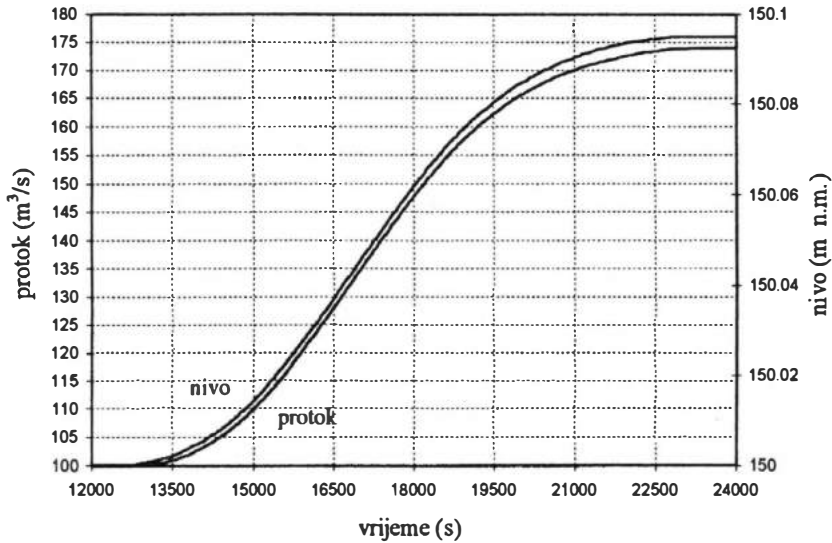
Točnost rezultata jednodimenzionalnih programa, koji upotrebljavaju spomenute jednačbe (1 do 3), je utvrđena na osnovu istraživanja na fizičkim modelima. Za prizmatične doline, bez većih promjena širine toka, iznosi oko 15%.

4.2. Prikaz rezultata

Rezultati računa, za slučaj izabranog kritičnog manevra promjene protoka na HE Vrhovo od $100 \text{ m}^3/\text{s}$ na $174 \text{ m}^3/\text{s}$ tokom 35 s, su prikazani na dijagramima za poprečne profile neposredno nizvodno od brane HE Vrhovo i na brani NE Krško.



Slika 1. Promjena nivoa i protoka neposredno pod branom



Slika 2. Promjena nivoa i protoka na brani NE Krško

4.3. Analiza rezultata

Pošto u analiziranom dijelu toka, nizvodno od HE Vrhovo, nema velikih geometrijskih promjena korita rijeke Save, to se i brzina širenja poremećaja značajno ne mijenja i njena prosječna vrijednost iznosi 2.52 m/s. Maksimalne vrijednosti brzine promjene dubine i protoka u karakterističnim profilima su date u tablici 1.

Tablica 1. Maksimalne brzine promjene dubine i protoka u karakterističnim profilima

Profil	Maks. brzina promjene dubine (m/min)	Maks. brzina promjene protoka (m ³ /s/min)
Most u Sevnici	0.007	1.3
Most u Krškem	0.006	0.9
Brana NE Krško	0.001	0.85

7. Zaključak

Na dijelu toka Save od brane HE Vrhovo do brane NE Krško, matematičkim modelom je izvršena analiza upliva promjene snage na HE Vrhovo pri trapeznom načinu rada koji bi izazvao promjene protoka brzinom 125 m³/s/min. Upotrebljen je jednodimenzionalni matematički model PRLAX. Od mogućih kombinacija početnog protoka i protoka nakon povećanja snage, kao mjerodavan je izabran slučaj najvećeg povećanja protoka (za 74 m³/s) od najniže početne vrijednosti (100 m³/s) pri koti akumulacije NE Krško 150 m n.m. To je slučaj pri kom se pojavljuju najveće brzine promjene dubina i protoka u profilima duž analiziranog dijela toka. Mjerodavni profil je profil brane NE Krško sa maksimalnom promjenom protoka, koju ustave još mogu kontrolirati jednakoj 150 m³/s na sat (2.5 m³/s/min). Rezultati računa su pokazali da bi brzina protoka bila manja od 0.9 m³/s/min. Režim toka bi se ustalio nakon nešto više od sedam sati, računajući od početka manevra, na cijelom analiziranom dijelu toka. Dakle, predviđene promjene protoka po trapeznom načinu rada na HE Vrhovo bi izazvale povećanja dubine i protoka unutar prihvatljivih granica, predviđenih za branu NE Krško, uzimajući u obzir i 15 %-tnu točnost upotrebljenog matematičkog modela.

Literatura

1. FAGG: Preračun posledic morebitne porušitve jezovne zgradbe HE Vrhovo in račun visokovodnih valov, 1998, Ljubljana.
2. FAGG: Matematični model Save, odsek D – sedanje stanje, 1984, Ljubljana
3. Krzyk, M., Zakrajšek, M.: Račun obratovalnih valov pri HE Vrhovo v trapeznem načinu obratovanja z analizo vplivov na objekte dolvodno od pregrade, Ljubljana, april 1998.
4. Prečni dolinski profili Save, Merilo 1:1000/200.
5. Rajar, R.: Hidravlika nestalnega toka, 1980, Ljubljana, učbenik.

Autor:

Mag. Mario Krzyk, univ. dipl. inž. gradj., Univerzitet u Ljubljani, Fakultet za građevinarstvo i geodeziju, Hidrotehnički odsjek, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana, Slovenija.



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.49.

Oborinske prilike i proizvodnja električne energije u hidroelektranama Dalmacije

Ivo Vuković, Gordana Hrabak-Tumpa, Stjepan Ivatek-Šahdan

SAŽETAK: Stalna skrb o povećanju energetske efikasnosti jedna je od osnovnih komponenata održivog razvitka. Ona doprinosi smanjenju utjecaja na okoliš energetskog objekta, povećanje zaposlenosti, ali i konkurentnost nacionalne ekonomije.

Ukupni potencijal vodnih snaga u Hrvatskoj procjenjuje se na 20 TWh godišnje. Od tog je potencijala iskorišteno manje od 1/3 vrijednosti u ukupno 17 hidroelektrana Hrvatske.

U ovom će se radu dati prikaz oborinskih prilika u svezi rada hidroelektrana južne Hrvatske i to po mjesecima i po godinama.

Ustanovljen su određena odstupanja od prosječnih vrijednosti koja su i diskutirana.

KLJUČNE RIJEČI: meteorološka postaja, vodni potencijal, količina oborine, energetska vrijednost dotoka.

Precipitations and Power Generation in Dalmatian Hydroelectric Power Plants

SUMMARY: Permanent care for increase in power generation efficiency is one of the basic components of sustainable development. It contributes to attenuation of power plant environmental impact, increase in employment and competitiveness of national economy.

Total Croatian hydropower potential is estimated to 20 TWh/year. Seventeen hydroelectric plants exploit less than one third of that potential.

The present paper shall give an overview of precipitations as related to operation of the hydroelectric power plants in the Southern Croatia, broken down as per months and years.

Certain deviations from average values have been established and discussed.

KEYWORDS: weather station, hydropower potential, precipitation amount, inflow power generation value

1. Uvod

Zrak i voda osnovni su činitelji bez kojih nije moguć život. Voda ima mnogobrojnu primjenu: a iskorištava se za vodoopskrbu domaćinstva i industrijskih pogona, proizvodnju električne energije, prijevoz, natapanje obradivih polja, te kao osnovna sirovina u proizvodnji. Rekreacija čovjeka nezamisliva je bez vodenih površina.

Potrošnja vode ovisi o tome za što se koristi. Električna energija proizvedena pomoću vode upotrebljava se kako za kućanstva tako i za potrebe industrije. U prvom slučaju

potrošnja je u svezi s potrebama domaćinstva koje su najveće tijekom zime (grijanje) dok je potreba u industriji stalnija i pravilnija.

Meteorološki čimbenici određenog područja uvažavaju se pri planiranju, izgradnji i održavanju elektroenergetskog objekta.

Oborina, u svezi vremensko-prostorne razdiobe, najvažniji je ulazni parametar koji daje naznaku bilance voda i u svezi što optimalnijeg iskorištenja.

Veoma je važno poznavanje godišnjeg hoda količine oborine kao i njezina prostorna promjenljivost. Oborina se mijenja tijekom godine ali i iz godine u godinu. Upravo je stoga veoma važno poznavati oblik i način njezina padanja.

U hidroelektranama se dio potencijalne pretvara u električnu energiju (oko 30 % potencijalne enegije se gubi). Osnovni pokazatelji iskoristivosti hidroelektrane su snaga i energija vode. Instalirana snaga ovisi o potražnji energije ali i o veličini akumulacije. Meteorološki elementi, na temelju kojih se određuju ulazni projektni parametri su količina oborine koja će direktno padati u akumulaciju, gubitak vode zbog isparavanja, temperaturni režim (specijalno u svezi temperature zraka od 0 °C). Za retenciju potrebno je poznavanje očekivanih maksimalnih količina unutar određenog povratnog razdoblja.

2. Sliv Cetine, hidroelektrane i meteorološka motrenja

Na području Dalmacije postoje akumulacijske i protočne hidroelektrane.

U tablici 2.1. dan je prikaz hidroelektrana Dalmacije u svezi moguće proizvodnje (u GWh).

Tablica 2.1. Moguća proizvodnja u hidroelektranama Dalmacije, (GWh)

AKUMULACIJSKE ELEKTRANE		PROTOČNE ELEKTRANE	
naziv	mog. proiz.	naziv	mog. proiz.
HE PERUČA	104	HE MILJACKA	123
HE ORLOVAC	289	HE GOLUBIĆ	20
HE ZAKUČAC	1400		
HE DUBROVNIK	1354		
HE ĐALE	133		
HE KRALJEVAC	35		
CS BUŠKO BLATO	-		

2.1. Meteorološka motrenja

Na području sliva rijeke Cetine postavljen je cijeli niz kišomjernih postaja. Do 1980-te godine radilo je ukupno 27 kišomjernih postaja za potrebe HEP-a dok je danas u operativi samo četiri postaja: Donji Dolac, Prančević brana, Dicmo i Vedrine.

Za potrebe kontinuiranih praćenja stanja vremena postavljena je automatska meteorološka postaja (bez mjerenja smjera i brzine vjetra) Trilj-pumpna postaja.

Na običnoj meteorološkoj postaji Sinj postoje i mjerenja isparavanja iz isparitelja.

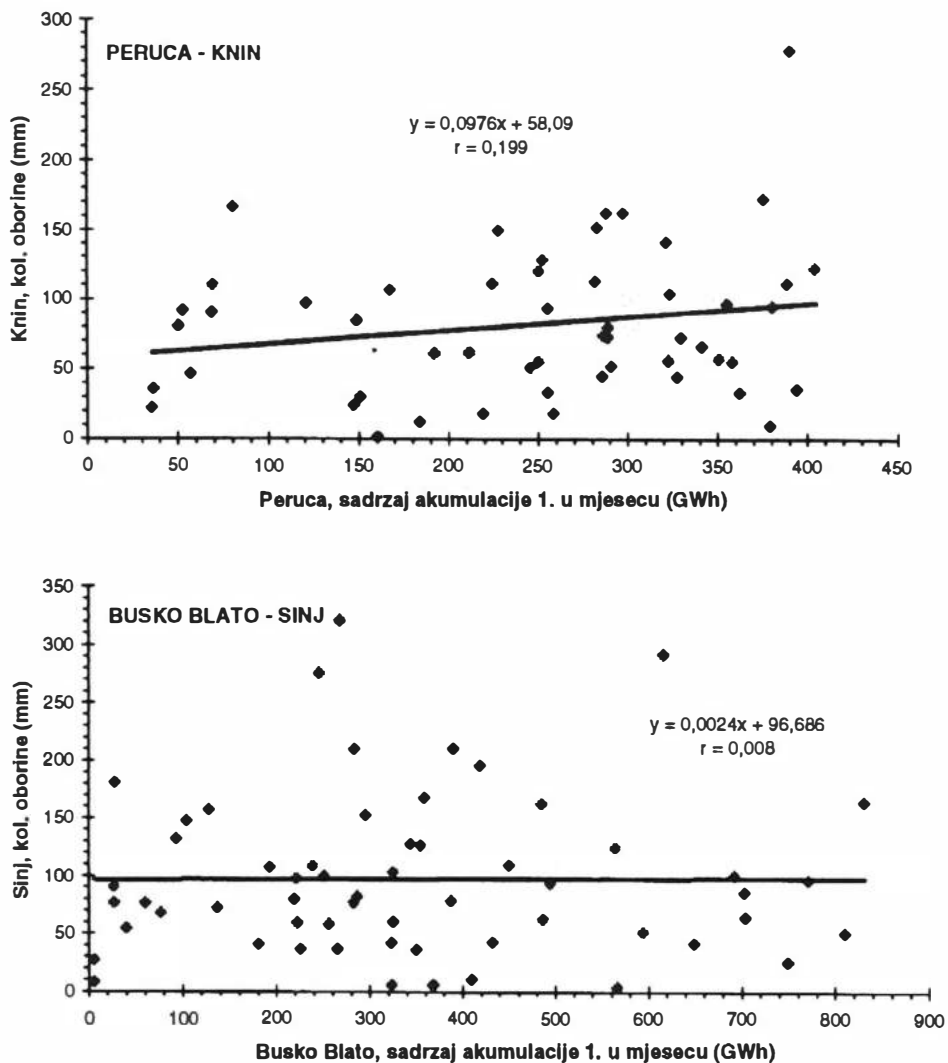
2.2. Oborinske prilike i sadržaj akumulacije

Analiza je rađena u svezi sadržaja akumulacija prvog u mjesecu i ukupne mjesečne količine oborine datog područja proteklog mjeseca.

Sadržaj akumulacije Peruča (HE Peruča, HE Zakučac i HE Đale) povezan je uz količinu oborine meteorološke postaje Knin a sadržaj Buškog Blata (HE Orlovac, HE Zakučac i HE Đale) uz količinu oborine postaje Sinj.

Proučavane su sveze mjesečnih podataka niza 1994-97. i 1990. godine.

Na slici 2.1. dan je prikaz sveze sadržaja akumulacije i oborinskih prilika.



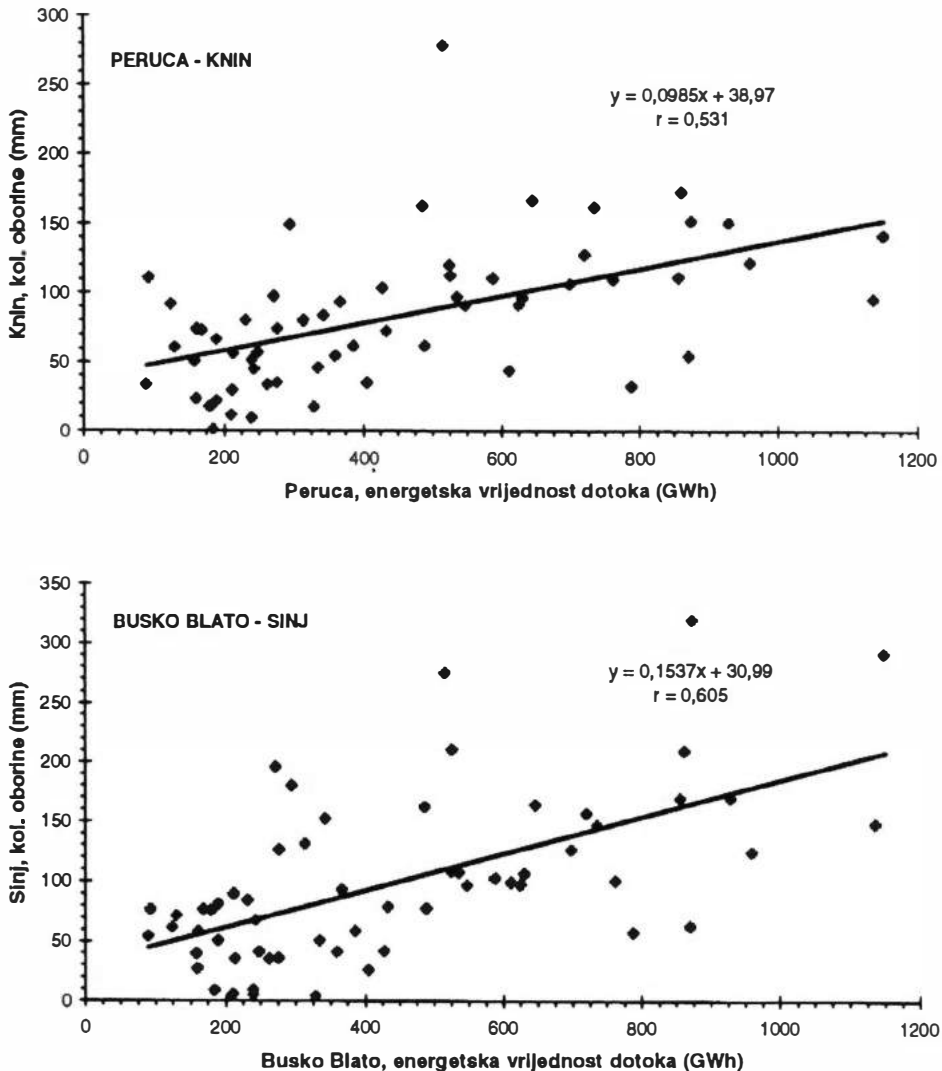
Slika 2.1. Sadržaj akumulacije (GWh) 1. u mjesecu i količine oborine (mm) za prethodni mjesec Peruča i Knin te Buško Blato i Sinj, 1994-97. i 1990. god.

Obzirom da je istodobno voda korištena i za rad hidroelektrana jasno je da veza nije jednoznačna (te je i koeficijent korelacije ova dva niza relativno malen) što se najbolje vidi za akumulaciju Buško Blato i meteorološku postaju Sinj.

Upravo stoga obavljena je i sveza energetske vrijednosti dotoka i mjesečne količine oborine.

2.3. Energetska vrijednost dotoka i mjesečna količina oborine

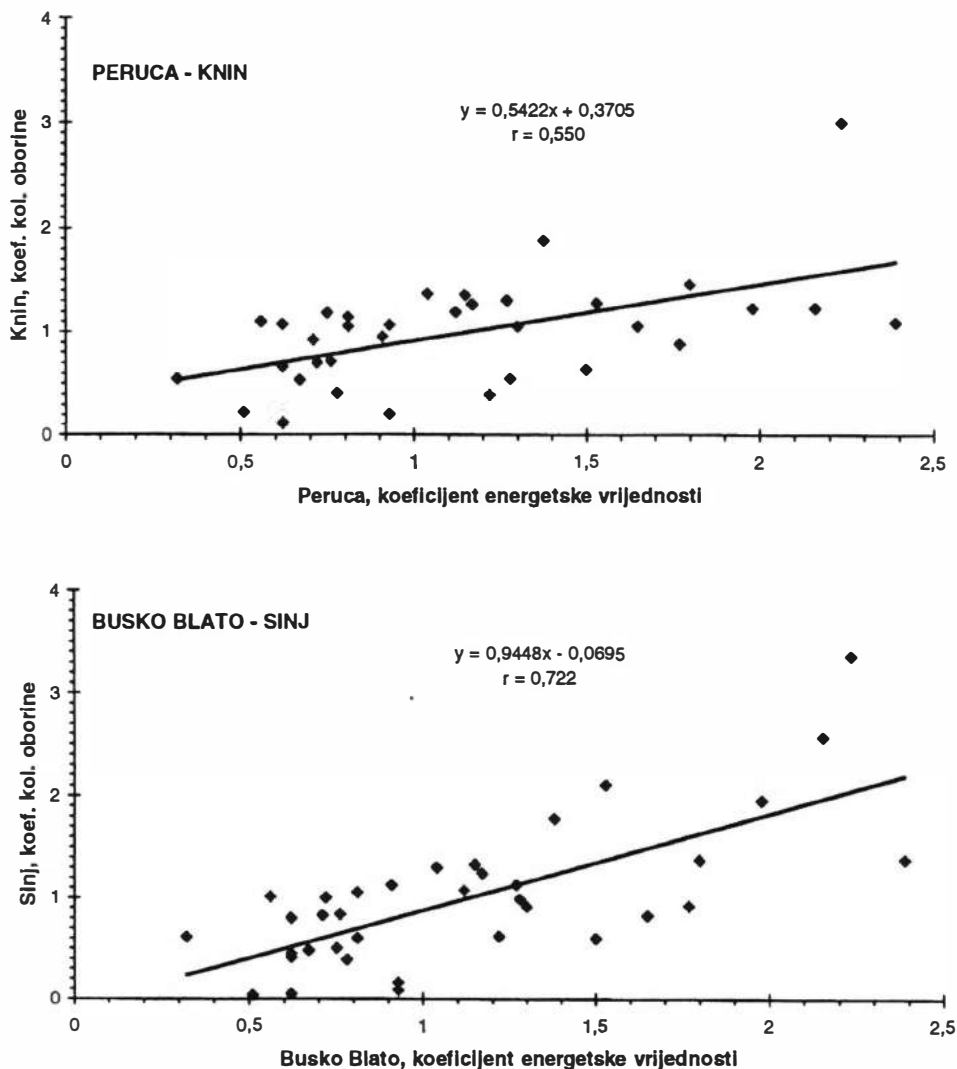
Na raspolaganju su bili podaci energetske vrijednosti ukupnog dotoka (GWh) Hrvatske i to za svaki mjesec posebno. Tijekom 1995. godine maksimalni sadržaj akumulacija Hrvatske iznosio je 1803 GWh a od čega je na Perući bilo 388 GWh i Buškog Blata 1207 GWh (tijekom 1997. godine maksimum Hrvatske iznosio je 1831 GWh a samo Buškog Blata 1207 GWh), to je bilo rezona vezati ukupnu energetska vrijednost dotoka, po mjesecima, s oborinom Sinja odnosno Knina.



Slika 2.2. Energetska vrijednost dotoka u akumulacije (GWh) i mjesečna količine oborine (mm) Peruća i Knin te Buško Blato i Sinj, 1994-97. i 1990. god.

Na slikama 2.2-3. dane su vrijednosti koeficijenta korelacije kao i jednadžbe regresije ova dva parametra postaja Knin i Sinj.

Proučavana je sveza energetske vrijednosti ukupnog dotoka i mjesečne količine oborine promatranog mjeseca. Dobiveno slaganje nešto je bolje nego pri svezi sadržaja akumulacije i količine oborine (Sl.2.2.)



Slika 2.3. Koeficijenti energetske vrijednost (omjer dotoka i bilance) i količine oborine (količina u odnosu na višegodišnji niz) Peruča i Knin te B.Blato i Sinj, 1994-97. i 1990. god.

Promatramo li omjer mjesečne količine oborine i srednjaka dotičnog mjeseca iz višegodišnjeg niza (promatran je niz 1951-90.) u odnosu na omjer energetske vrijednosti dotoka i bilance, koja je određena za taj mjesec, dobivamo znatno bolje slaganje (Sl.2.3.) Sveza je napravljena za oborinske podatke Sinja i Knina. Bolja prilagodba dobivena je za Sinj gdje se 72 % podataka može prikazati linearnom jednadžbom regresije (za Knin je dobiveno slaganje u 55 % vrijednosti).

3. Zaključak

Rezultati dobiveni u ovom radu pokazuju da postoji dobra korelacija između koeficijenata količine oborine (omjer mjesečne količine s srednjakom mjesečne količine iz višegodišnjeg niza za promatrani mjesec) i koeficijenta energetske vrijednosti (omjer dotoka i bilance za promatrani mjesec). Korelacija je slabija za energetska vrijednost dotoka i količinu oborine. Korelacija je najslabija za sadržaj akumulacije 1. u mjesecu i količinu oborine za prethodni mjesec što je i bilo za očekivati iz razloga što se voda iz akumulacija tijekom mjeseca troši za rad hidroelektrana.

Proračune prikazane u ovom radu trebalo bi napraviti i za druge akumulacije, odnosno hidroelektrane.

Dugoročna prognoza oborine omogućila bi na taj način i realnije planiranje akumulacija i proizvodnju električne energije hidroelektrana.

Literatura

- Gajić-Čapka, Marjana, 1995: Klimatološki podaci i upravljanje vodama, I hrvatska konferencija o vodama, Održivi razvoj i upravljanje vodama, 499-511.
- Pandžić. Krešo, Ksenija Cesarec, Branko Grgić, 1995: Analiza oborina i protoka na rijeci Cetini, I hrvatska konferencija o vodama, Održivi razvoj i upravljanje vodama, 545-552.
- Izveštaj o poslovanju za 1995, 1996, 1997, HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos Meteorološka izvješća za postaje Knin i Sinj

Autori:

Ivo Vuković, dipl.inž., Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb Grič 3

Gordana Hrabak-Tumpa, dipl.inž., Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb Grič 3

Stjepan Ivatek-Šahdan, dipl.inž., Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb Grič 3



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.50.

Značajnije armiranobetonske građevine u sklopu kanala Dunav-Sava i luke Vukovar

Zorislav Sorić, Tomislav Kišiček

SAŽETAK: Značajnije armiranobetonske hidrotehničke građevine na kanalu Dunav-Sava jesu: dvije brodske prevodnice sa svojim predlukama, četiri ustave, jedan sifon i dvije crpne stanice. U sklopu nove luke Vukovar izvest će se armiranobetonske obalne konstrukcije. U radu se prikazuju idejna rješenja ovih objekata. Navedene su također osnovne postavke statičkog proračuna, te količina betona i armature za pojedine građevine

KLJUČNE RIJEČI: Kanal Dunav-Sava, građevine, idejna rješenja, armirani beton

Major Reinforced Concrete Structures in Danube-Sava Canal and Port Vukovar

SUMMARY: Major reinforced concrete hydrotech structures in the Danube-Sava canal are: two navigation locks with their avant ports, four weirs, one syphon and two pumping-stations. In new port of Vukovar the new quay will be constructed. In the paper the parts of preliminary project for some of this objects are presented. Basics of design with quantities of concrete and reinforcement for particular structures are given too.

KEYWORDS: Danube-Sava canal, structures, preliminary project, reinforced concrete

1. Uvod

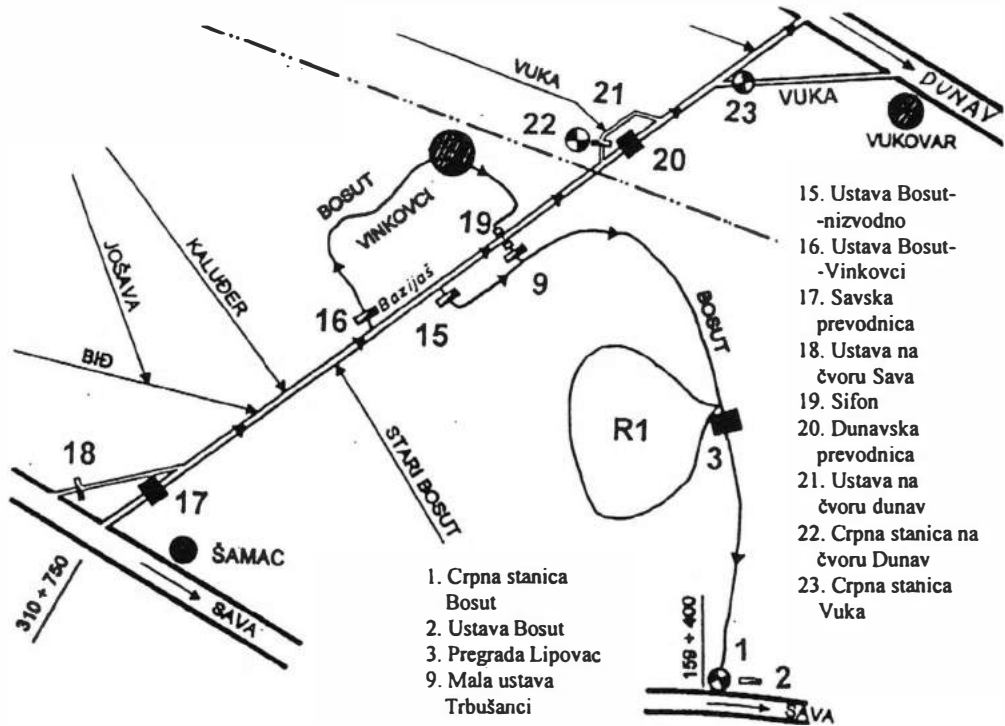
Višenamjenski kanal Dunav-Sava, od Vukovara do Šamca, kada bude dovršen služiti će poljoprivredi, prometu i vodnom gospodarstvu. Njegove su tri glavne funkcije: navodnjavanje, plovidba i odvodnja. Kombinirani prijevoz željeznicom: Rijeka-Zagreb, kanalizirana Sava i kanal čine najkraću vezu Jadranskog mora u smjeru zapadne i istočne Europe. Njime se skraćuje plovni put za 417 km u smjeru zapada i 85 km u smjeru istoka. Većim svojim dijelom kanal prati postojeće vodotoke: Vuku, Bosut, Biđ i kanal Konjsko.

Da bi kanal i luke mogli učinkovito funkcionirati potrebno je izgraditi ove građevine: dvije brodske prevodnice sa predlukama, te novu luku Vukovar.

Spriječavanje poplave na slivu kanala osigurat će se gravitacijskim ili mehaničkim ispuštanjem vode u Savu koritom Bosuta (kao i u sadašnjem stanju), te novom mogućnošću, gravitacijskim ispuštanjem dolinom Vuke u Dunav. Za ostvarivanje navedenih funkcija predviđena je izgradnja četiri ustave, dvije crpne stanice i jednog sifona. Pregled svih hidrotehničkih građevina na kanalu dan je na slici 1. Pretežni dio

vremena vodostaji Save su viši a vodostaji Dunava niži od stalnog vodostaja u kanalu tako da je uglavnom smjer tečenja od Save prema Dunavu.

Za funkcioniranje cestovnog i željezničkog prometa preko kanala potrebno je izgraditi šesnaest cestovnih i četiri željeznička mosta.



Slika 1. Linearna skica kanala Dunav-Sava s označenim mjestima hidrotehničkih građevina

2. Proračuni

Konstruktivne ideje projekta provjerene su proračunima dimenzija zidova i temeljnih ploča građevina, te jednostavnim proračunima armature po metodi graničnih stanja nosivosti. Kompjutorskim programima ROBOT V6 i M-STRUDL računane su unutarnje sile i momenti savijanja kod kompliciranijih slučajeva. Zbog velike debljine zidova i ploča ovih građevina u većini slučajeva potrebna armatura bila je manja od propisima zahtijevane minimalne, pa se rabila minimalna armatura. Zaštitni slojevi betona do armature odabrani su između 5 i 6 cm. Računano je s betonom MB30. Rabit će se rebrasta armatura RA400/500 i mrežasta MAR 500/560.

3. Brodske prevodnice

Kanal će imati dvije brodske prevodnice: dunavsku i savsku. Najveća razlika razina vode koju treba savladati u savskoj prevodnici iznosi 7.0 m a u dunavskoj 4.3 m. Stalni vodostaj u kanalu iznosi +80 m n.m. što odgovara plovnom vodostaju. Visine zidova su za svaku prevodnicu različite: dunavska 11.6 m; savska 13.5 m. Razlog različitih visina

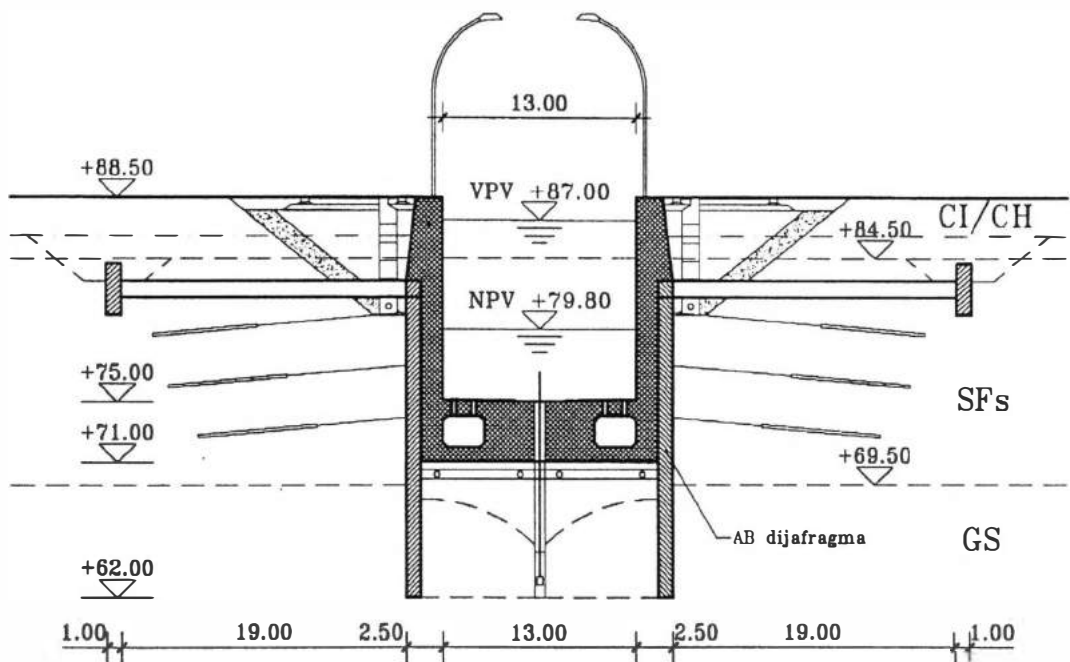
leži u činjenici da je razina vode u kanalu konstantna dok je oscilacija visoke i niske vode u Dunavu manja od one u Savi. Debljine zidova komora obje prevodnice iznosi 2.5 m, dok je debljina temeljne ploče dunavske prevodnice 2.5 m, a debljina temeljne ploče savske prevodnice kroz koju se upušta voda 4.0 m. Zbog tlaka tla na zidove komore oni će biti pridržani armiranobetonskim zategama, na 2/3 svoje visine (vidjeti sliku 2), na svakih 5.0 m, sidrenim 19 m u tlo. Vertikalne dilatacione razdjelnice zidova komore postaviti će se na svakih 15.0 m. U fazi iskopa građevne jame dijafragma će biti pridržane geotehničkim sidrima (vidjeti sliku 2).

3.1 Dunavska prevodnica

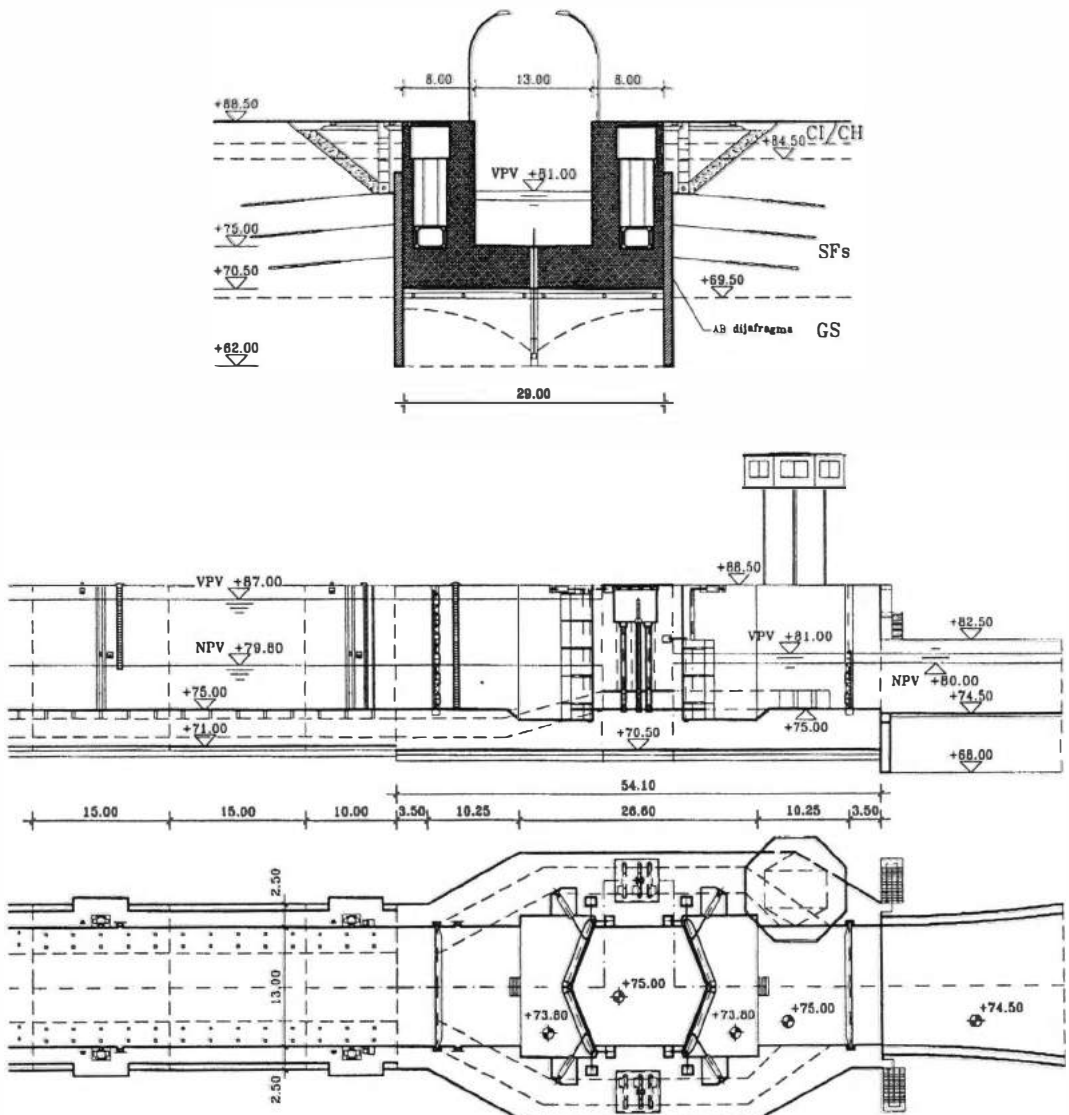
Dunavska prevodnica bit će ukupne duljine 253 m. Kanalska glava prevodnice duljine je 30 m a dunavska 23 m, a komora ima duljinu 200 m. U dunavskoj prevodnici u svakoj glavi biti će po jedna bočno pomična vrata. Količina betona potrebna za Dunavsku prevodnicu jest oko 40 000 m³, a armature oko 2 000 tona.

3.2 Savska prevodnica

Savska prevodnica bit će ukupne duljine 308 m. Na svaku od dvije glave prevodnice otpada po 54 m duljine. U svakoj od dvije glave savske prevodnice postaviti će se po dvoja dvokrilna vrata. Količina betona potrebna za savsku prevodnicu iznosi oko 50 000 m³, a armature oko 2 600 tona. Na slici 2 prikazan je presjek komore, a na slici 3 presjeci i tlocrt kanalske glave savske prevodnice.



Slika 2. Poprečni presjek kroz komoru savske prevodnice.



Slika 3. Tipični poprečni presjek, uzdužni presjek i tlocrt kanalske glave savske prevodnice

4. Predluke

Obalne konstrukcije za pristajanje brodova u predlukama izvest će se kao armiranobetonske konstrukcije, a sastoje se od donje armiranobetonske dijafragme i pilota, gornjeg armiranobetonskog zida, poprečnih rebara, naglavnih greda i ploča. U armiranobetonske građevine sve četiri predluke ugradit će se 77 000 m³ betona i oko 6 100 tona čelične armature.

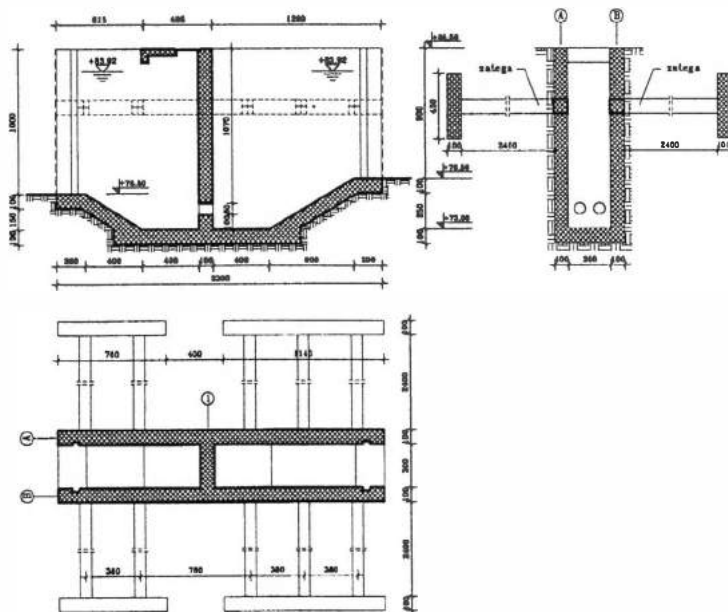
5. Ustave i crpne stanice

Ustave i crpne stanice, kapaciteta su 5 do 60 m³/s, i raznih su dimenzija. Sve imaju po 2 potporna zida i do 4 razdjelna koji odvajaju preljevna (crpna) polja. Debljine potpornih

zidova (uz tlo) su 100 cm, dok su debljine razdjelnih zidova 80 ili 100 cm. Temeljne su ploče debljine 100 cm. Statičkim i goemehaničkim proračunima je pokazano da se potporni zidovi ustava i crpnih stanica, ako su visine preko 7 m moraju sidriti zategama u tlo. Stabilnosti ustava su kontrolirane za fazu remonta, kada su prazne, na uzgon (isplivavljanje), prevrtanje i klizanje. Koeficijent sigurnosti za sve ove slučajeve treba iznositi najmanje 1,5. Radi spriječavanja opasnosti od klizanja temeljnoj ploči većine ustava dodana su poprečna rebra u tlu (vidjeti sliku 5). U nastavku teksta opisana su dva karakteristična objekta.

5.1 Crpna stanica Vuka

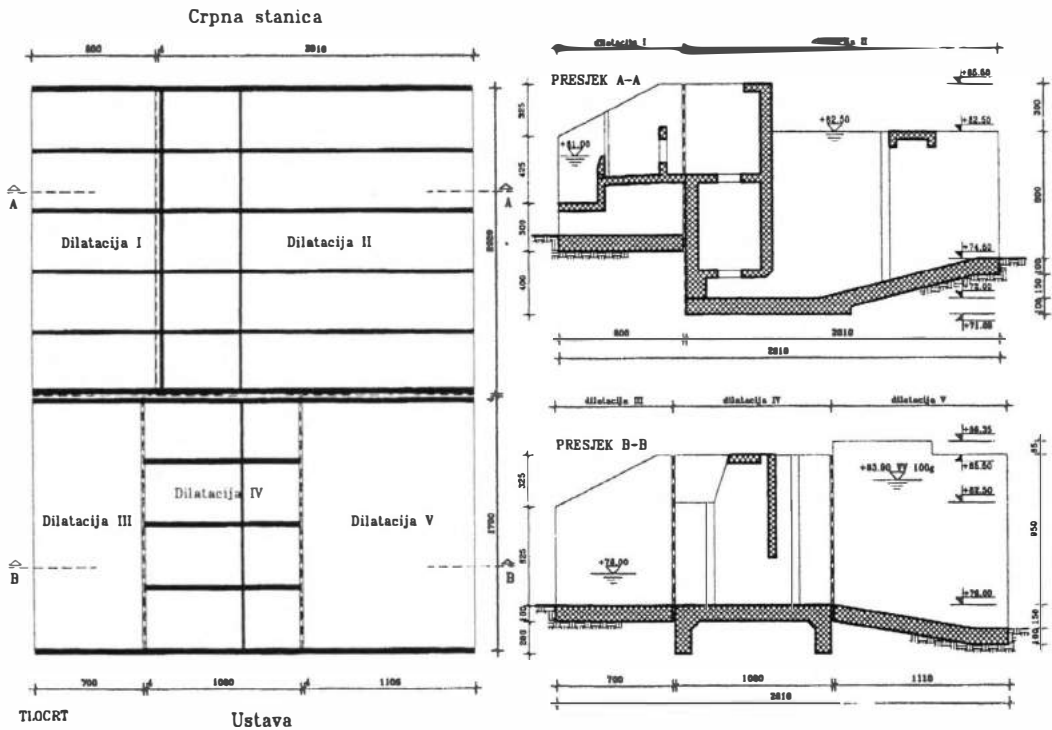
Crpna stanica Vuka služi osiguravanju minimalnog protoka vode u rukavcu Vuke koji prolazi kroz Vukovar. Sastoji se od 1 dilatacije, a ima vanjske dimenzije: duljina 23.0 m, širina 5 m i visine 13.5 m. Zbog visine potpornih zidova bilo je potrebno predvidjeti po pet zatega na svakom zidu. Ukupna količina betona iznosi oko 1000 m³, a armature oko 65 tona. Prikaz uzdužnog i poprečnog presjeka, te tlocrta dan je na slici 4.



Slika 4. Presjeci i tlocrt crpne stanice Vuka

5.2. Ustava i crpna stanica hidrotehničkog čvora Dunav

Ustava i crpna stanica hidrotehničkog čvora Dunav služe ovim namjenama: evakuaciji velikih voda kanalskog sliva u Dunav gravitacijskim putem, obogaćivanju voda kanala iz Dunava gravitacijskim putem i mehaničkom prihranjivanju voda kanala iz Dunava (kada nije moguće gravitacijsko). Građevina je vanjskih dimenzija: duljina 28 m, širina 37 m (ustava 17 m + crpna stanica 20 m), a sastoji se od 5 dilatacija. Visina, tj. dubina ukopa u tlo ustave iznosi od 10.5 m do 12.5 m, dok je crpna stanica ukopana od 10.5 m do 14.5 m. Ukupna količina betona za ovu ustavu i crpnu stanicu iznosi oko 4 900 m³, a armature oko 270 tona. Slika 5 prikazuje tlocrt i presjeke crpne stanice i ustave čvora Dunav.



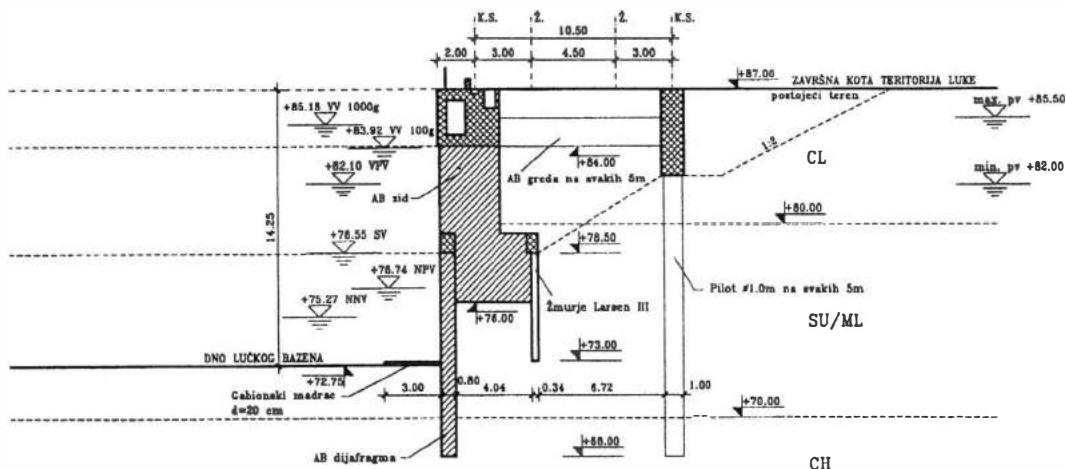
Slika 5. Tlocrt i presjeci crpne stanice i ustave hidrotehničkog čvora Dunav

6. Luka Vukovar

Na prostoru površine 750 ha, koji se nalazi između stacionaže kanala 6+400 km i stacionaže 8+450 km mjereno od Dunava, predviđena je izgradnja Luke Vukovar kapaciteta 4.0 miliona tona godišnje za razdoblje od prvih 30 godina od izgradnje. Luku čine četiri bazena, od čega su tri lučka i jedan remontni bazen i u njima će se nalaziti 21 brodski vez prosječne duljine 100 m.

Operativna obala luke vertikalna je armiranobetonska konstrukcija. Gledano od zapada prema istoku prvi i drugi bazen imaju po 1 072 m vertikalne obalne konstrukcije, treći 782 m, a brodomontni bazen 455 m. Vertikalna obalna konstrukcija, prikazana na slici 6, sastoji se od gravitacijskog zida visine 8.0 m, koji je temeljen na armiranobetonskoj dijafragmi visine 10.5 m i debljine 0.8 m, te na vlastitoj temeljnoj stopi. Iskop temeljne stope zaštićen je čeličnim žmurjem tipa Larsen III koje završava armiranobetonskom naglavnom gredom 0.6×1.0 m. Temeljna stopa zida je širine 4.84 m, a širina zida je 3.2 m. Zid završava armiranobetonskom naglavnom gredom 3.3×3.0 m koja sadrži kanal instalacija, kransku stazu jedne noge lučke dizalice i energetski kanal za lučku dizalicu. U tlu na udaljenosti od 12.5 m od vertikalnog lica obalne konstrukcije nalazi se red armiranobetonskih pilota $\phi=1.0$ m duljine 16.0 m koji se izvode na razmaku 5.0 m. Vrh pilota će u konačnici biti 4.5 m ispod površine obale. Na pilotima se nalazi armiranobetonska naglavna greda 1.2×4.5 m na kojoj će se postaviti kopnena šina druge noge lučke dizalice, te je time i određen položaj pilota u poprečnom presjeku. Dvije naglavne grede poprečno su povezane horizontalnim armiranobetonskim gredama dimenzija 1.0×1.5 m koje se nalaze na osnom razmaku od 5.0 m. Ove grede djeluju tako da doprinose stabilnosti zida.

U vertikalne obalne konstrukcije u operativnim bazenima luke Vukovar bit će ugrađeno oko 235 000 m³ betona te oko 19 000 tona armature.



Slika 6. Konstrukcija vertikalnog keja Luke Vukovar

7. Zaključak

Hidrotehničke građevine na kanalu Dunav-Sava i u luci Vukovar spadaju u netipične armiranobetonske konstrukcije složenih uvjeta izvođenja i posebnih funkcionalnih zahtjeva. Idejnim projektima određene su dimenzije ovih konstrukcija. U navedene objekte ugradit će se oko 400 000 m³ betona i oko 30 000 tona armature.

Literatura

- Pršić, M.: Višenamjenski kanal Dunav-Sava. Hrvatske vode, Zagreb, 1996.
- Sorić, Z.: Građevine višenamjenskog kanala Dunav-Sava, Glasnik Akademije tehničkih znanosti hrvatske, Vol. 5 (1) 1998., str. 3.
- Sorić, Z., Pršić, M., Verić, F., Kišiček, T.: Armiranobetonske građevine za funkcioniranje plovosti na višenamjenskom kanalu Dunav-Sava, Zbornik radova Četvrtog općeg sabora Hrvatskog društva građevinskih konstruktora, Brijunski otoci 11.6.-13.6. 1998.
- Sorić, Z., Kuspilić, N., Kišiček, T., Habajec, M.: Armiranobetonske hidrotehničke građevine za regulaciju vodnog režima višenamjenskog kanala Dunav-Sava, Zbornik radova Četvrtog općeg sabora Hrvatskog društva građevinskih konstruktora, Brijunski otoci 11.6.-13.6. 1998.

Autori:

Prof. dr. sc. Zorislav Sorić dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26

Znanstveni novak, Tomislav Kišiček dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.51.

Model osnivanja nove Vukovarske luke

Vitomir Luketa, Marko Pršić, Goran Šarić

SAŽETAK: Poticajem vlade RH izrađen je Idejni projekti kanala Dunav - Sava, a izrađuje se Idejni projekt luke Vukovar s pratećim elaboratima. Članak u građevinskom smislu prikazuje ovaj posljednji i ograničen je samo na prikaz njegove konačne faze. Osim građevinskog prikaza rad daje modeliranje i rezultate ispitivanja gospodarske opravdanosti gradnje luke. U gospodarskom smislu luka je zamišljena kao velika međunarodna robna, trgovačka i proizvodna zona na kanalu Dunav - Sava 6 km udaljena od rijeke Dunav. U postupku valorizacije mogućih rješenja rađene su: strategijska analiza MOST, analiza okruženja PEST, analiza SWOT, studija prometa i studija izvodljivosti fokusirana na nekoliko scenarija uključujući i faznost gradnje. Pritom je osnovni princip bio da Republika Hrvatska izgradi infrastrukturu, a koncesionari suprastrukturu. Ekonomsko-financijska analiza rečenim modelom pokazala je da scenarij luke veličine 440 ha i 24 veza zadovoljava kriterije investitora, banaka i Republike Hrvatske.

KLJUČNE RIJEČI: luka, unutarnja plovidba, promet, ekonomija, opravdanost gradnje

Model for New Vukovar Port Establishment

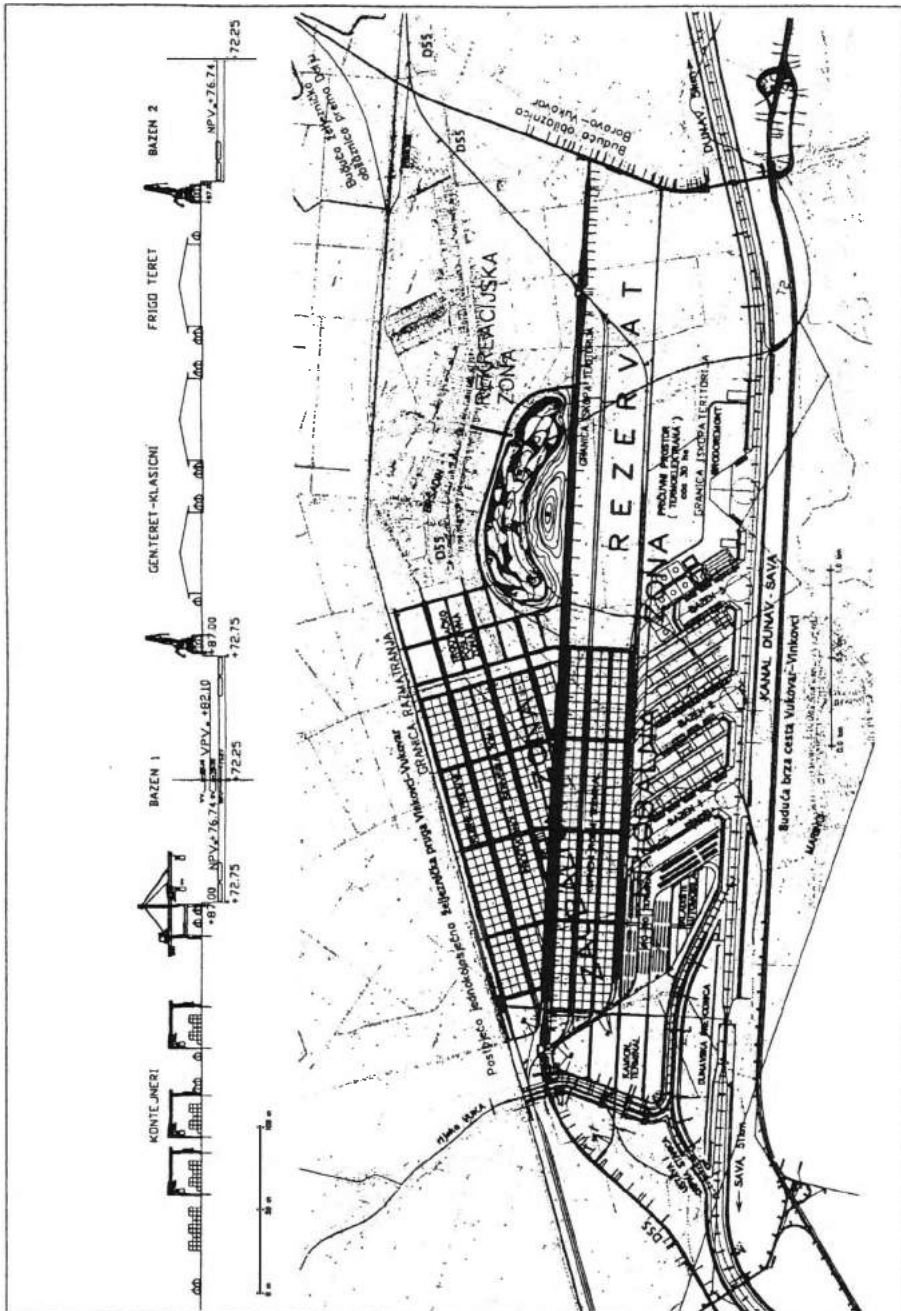
SUMMARY: The government of the Republic of Croatia initiated development of a conceptual design for the Danube-Sava Canal, as well as the Vukovar Port conceptual design and all accompanying documentation. The paper describes the conceptual design for the Vukovar Port and is limited to presentation of the final project stage. In addition to the civil concept, the paper describes the Vukovar Port construction project modelling and results of economic assessment. Economically, the port is conceived as a large international trading and production zone on the Danube-Sava Canal, located 6 km from the Danube. The valorization process of different concepts included: MOST strategic analysis, PEST environmental analysis, SWOT analysis, traffic study and feasibility study focused on several scenarios including phased construction. The basic principle underlying the evaluation was that the Republic of Croatia would build the infrastructure, while the concessionaires would construct the suprastructure. Economic and financial analysis performed by using the said model has shown that the scenario involving a port occupying 440 ha and 24 berths would meet the criteria set up by the Owner, banks and the Republic of Croatia

KEYWORDS: port, inland navigation, traffic, economy, project feasibility

1. Opće značajke buduće vukovarske luke

Hrvatska planira u budućnosti, prema inženjerskoj procjeni kroz 30 godina, razviti snažni kombinirani riječno-željeznički prometni koridor Podumavlje - Jadran dužine 560 km od: 61,5 km višenamjenskog kanala Dunav-Sava (od Vukovara do Šamca), 340 km kanalizirane rijeke Save i 160 km dvokolosiječne željezničke pruge Rijeka - Zagreb. Luka Vukovar bit će priključna točka tog budućeg koridora na RMD plovni put, i zbog toga dobit će na

prometnom značaju. Osim toga budući kanal Dunav - Sava pruža idealan prostor veličine 750 ha za razvitak nove vukovarske luke uz kanal DS kod Bršadina (kanalski km 6+400 do km 8+450). Prema geoprometnim i raspoloživim prostornim značajkama Vukovar u budućnosti može postati glavna hrvatska riječna luka s fizionomijom velike međunarodne robne, trgovačke i proizvodne zone s osnovnom idejom stvaranja uvjeta za zapošljavanje.



Slika 1. Organizacija prostora i prometa na kompleksu Vukovarske luke

Srednja prognoza budućeg prometa kreće se do 5,7 milijuna tona godišnje u 30 godišnjem razdoblju (4,16 mil. t. godišnje vodni promet i 1,56 kopneni Organizacija prostora spaja vodni, željeznički, i cestovni promet, te proizvodnju i trgovinu. Funkcijski prostor se dijeli na: priobalnu (160 ha), zaobalnu (280), športsko-rekreacijsku zonu (60 ha) i rezervat (250 ha). Lučki plato od 440 ha dobit će se iskopom terena na nominalnu kotu +87 m nm. Osim toga treba obaviti i iskop lučkih bazena što zajedno daje količinu iskopa od oko 10 milijuna m³. Priobalna zona za vodni promet imala bi slijedeće funkcije: vodni promet, upravno granična i carinska funkcija, zaštita i opskrba brodova, servis brodova. Taj prostor organiziran je u vidu 3 lučka bazena i bazena za brodomont. Lučki bazeni su široki 150 m. Dva su duga 565 m, a treći 400 m. Sadrže 24 brodska veza dužine po 100 m. Dužina operativne vertikalne obale u bazenima je 3.200 m, a kose obaloutvrde je 1.990 m. Između bazena su molovi sa skladištima. Površina svih lučkih skladišta u priobalnoj zoni iznosi 30 ha (14 ha otvorenih i 16 ha zatvorenih) sa 77 ha RO-RO i kamionskog kolodvora. Lučki bazeni i operativne obale zonirane su prema vrstama tereta tako da su na zapadu najčistiji kontejnerski tereti, a na istoku najmanje čisti (rasuti) tereti. U pogledu radne snage u obalnoj zoni biti će potrebno oko 900 zaposlenih. Zaobalna zona, vezana za čisto kopneni promet, imala bi slijedeće funkcije: kopneni robni terminali, trgovina, proizvodnja, robne pričuve, bescarinska zona, komunalne službe za pogon i održavanje kompleksa luke i eventualno, termoelektranu. Kako nije moguća određena namjena prostora u zaobalnoj zoni su formirane parcele veličine 50?50 m do kojih su dovedene prometnice i instalacije. Vjeruje se da bi u razvijenoj fazi zaobalna zona zapošljavala i preko 5 tisuća ljudi. Lučka željeznica od oko 50 km kolosijeka vezana je na postojeću željezničku prugu Vinkovci - Vukovar i vinkovački kolodvor lučkom primopredajnom stanicom. U luci će se pojaviti i jedan željeznički most. Predviđena su i tri cestovna čvorišta za povezivanje 30 km lučkih cesta na državnu cestovnu mrežu. U cestovnu mrežu uključena su i 4 cestovna nadvožnjaka te 2 mosta preko rijeke Vuke. Radi vodoopskrbe luke predviđen je: sustav pitke vode (8 l/s) i odvojeno sustav protupožarne (100 l/s) i tehnološke vode (10 l/s). Raspodjela protupožarne i tehnološke vode u mrežu obavlja se preko vodotornja volumena 800 m³. Odvodnja oborinskih voda (12 m³/s) predviđena je zatvorenim sistemom kolektora. Odvodnja fekalno-potrošnih voda (5 l/s) predviđena je sustavom vakuumske kanalizacije. Uređaj za pročišćavanje dimenzioniran je i za prihvatanje fekalno-potrošnih voda Bršadina (10 l/s). Opskrba energijom predviđa: sustav za opskrbu toplinom (para i vrela voda), sustav za opskrbu plinom i sustav za opskrbu električnom energijom. Izgradit će se centralna energana u kojoj bi se proizvodila toplinska i elektroenergija na bazi kogeneracije. Imala bi instalirane generatore ukupne snage od 23,55 MW_{el}. Primarna energija za cijeli sustav je zemni plin iz obližnje AMRS Vukovar. Da bi luka profunkcionirala potrebno je izgraditi i dio kanala Dunav - Sava od Dunava do nje. To uključuje trošak gradnje 9 km kanala, regulaciju 2,5 km rijeke Vuke na zapadu luke, regulaciju 4,5 km rijeke Vuke kroz grad Vukovar, ušće Bobotskog kanala, jedan željeznički i jedan cestovni most preko kanala u gradu Vukovaru Isto vrijedi i za gradske i regionalne ceste, te još 3 cestovna mosta preko tih cesta i kanala DS.

2. Strateška evaluacija projekta

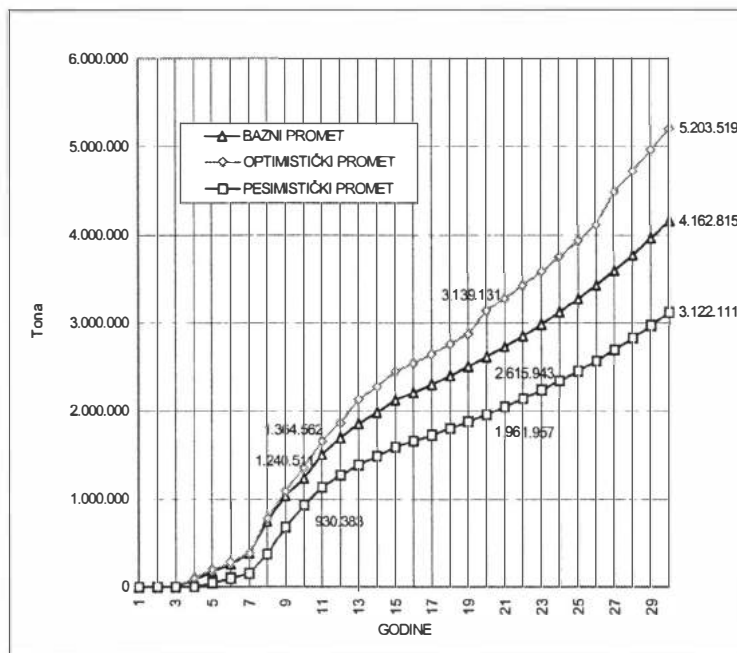
Strateška evaluacija predstavlja uvod u ocjenu opravdanosti poduhvata. Klasičnim oruđima strateške analize ukazuje se na eksterne i interne faktore koji mogu utjecati na budući promet, prihode i troškove. Evaluacija započinje MOST analizom u kojoj su navedeni Misija. Objekti (ciljevi), Strategije i Taktika implementacije projekta. *Misija luke Vukovar*

ogledava se u efektivnom načinu zadovoljenja kupaca lučkih i drugih usluga (brzina, sigurnost, pouzdanost, atraktivne tarife), zadovoljenja vlasnika u pogledu profitabilnosti, i zadovoljenja šireg društvenog okruženja u pogledu otvaranja daljnjih mogućnosti nacionalnog i regionalnog ekonomskog razvitka. Da bi se ovakva misija ostvarila potreban je čitav niz razvojnih strategija koje, osim razvoja postojećih usluga, podrazumijevaju uvođenje novih usluga na postojećim i novim tržištima 'core businessa', t.j. lučkog, kao i diverzifikaciju u čitav niz u zaobalnoj zoni. Najvažnije strategije u tom smislu su: - Tržišna penetracija s postojećim uslugama na postojećim tržištima i osvajanje novih tržišta s postojećim uslugama (prekrcaj rasutih tereta), - Uvođenje novih usluga na postojećim i novim tržištima (prekrcaj generalnih tereta, a posebno kontejnera i RO-RO prometa), - Uvođenje dodatnih usluga teretima (sortiranje, klasiranje, fumigacija, itd.), - Uvođenje usluga remonta i održavanja plovila, - Uvođenje usluga zimskog smještaja plovila, - Osnivanje robnog distribucijskog centra kao generatora budućeg prometa luke Vukovar, - Osnivanje slobodne carinske zone u kojoj će se moći proizvoditi i doradivati robe kao još jednog generatora budućeg prometa luke Vukovar, - Osnivanje trgovinsko-uslužnog centra namjenjenog domaćem veleprodajnom tržištu. Utjecaj mnogobrojnih faktora iz kompleksnog i dinamičnog okruženja projekta prikazan je zatim u PEST analizi koja je obuhvatila slijedeće faktore: - Politički faktori (geostrateški i geopolitički faktori, lokalni, regionalni i globalni); - Ekonomski faktori u širem okruženju (globalna, regionalna i lokalna ekonomska kretanja, analiza pravaca kretanja robe); - Ekonomski faktori u užem okruženju (europski riječni promet, hrvatski promet); - Sociološki i kulturalni faktori u okruženju; - Tehnološki faktori u okruženju (razvoj plovnih puteva, razvoj oblika, plovila, riječnih luka). Na tu se analizu nastavlja analiza prednosti i nedostataka riječnog prometa u odnosu na njegove supstitute kao i predviđanja o razvoju transporta na unutarnjim plovnim putevima. Također, analizirano je i neposredno konkurentsko okruženje luka na dunavskom pravcu. Strateška evaluacija završava SWOT analizom iz koje se iščitavaju osnovne prilike i prijetnje na eksternom planu, kao i osnovne snage i slabosti na internom planu. Iz nje je razvidno da usprkos značajnim slabostima na internom planu postoje i značajne prilike na eksternom planu koje daju razloge za nastavak daljnje evaluacije opravdanosti projekta.

3. Pragmatična procjena prometa

Prema strateškoj evaluaciji načinjena je procjena budućeg prometa nove luke Vukovar. Procjena vodnog prometa u priobalnoj zoni obuhvatila je: - Generalni teret s kontejnerima; - Rasuti teret; - Drvo; - RO-RO teret; - Frigo teret; - Žitarice; - Tekući teret i - Sipki teret. Procjenom prometa obrađene su slijedeće zemlje iz gravitacijskog područja: Mađarska; - Slovačka; - Češka; - Austrija; - Njemačka; - Poljska; - Bosna i Hercegovina; - Jugoslavija; - Rumunjska; - Bugarska; - Ukrajina; - Rusija; - Moldavija. Planiranje podrazumijeva procjenu prometa u baznoj godini plana i procjenu stopa rasta u promatranom planskom razdoblju. To je napravljeno panel diskusijom na temelju svih raspoloživih statističkih podataka, te gore navedenih strateških analiza. Rezultati procjena prometa prikazani su na Slici 2 i to za svaki od scenarija prometa u proma-tranom periodu od 30 godina. Čisto kopneni promet u zaobalju za bazni scenarij u 2028. planiran je s 2,962,000 t. na Slici 2 i to za svaki od scenarija prometa u proma-tranom periodu od 30 godina. Čisto kopneni promet u zaobalju za bazni scenarij u 2028. planiran je s 2,962,000 t. Od toga 1,409,000 tona već je sadržano u vodnom prometu. Kapacitet omogućava međutim daleko veći promet (cca. 8,000,000 tona), no pitanje je kako će se razvijati proizvodna zona, kao što je neizvjestan i status termoelektrane, koja se može graditi na alternativnom gorivu (plin).

Od navedenih 8 milijuna tona oko 20 % prometa moglo bi povećati planirani vodni promet luke Vukovar. Uz pretpostavku termoelektrane na plin, dodatna količina tereta za luku Vukovar zamijenit će tu izgubljeni količinu ugljena, i zbog bolje strukture očekivanog tereta poboljšati sliku opravdanosti izgradnje luke.



Slika 2. Očekivani promet Luke Vukovar po scenarijima

4. Investicijska ulaganja

Istraživanja investicijskih ulaganja pokazala su da je obzirom na projekt infrastrukture, neophodno visoko učešće RH u financiranju (vidi tablicu 1), ali i primjereno učešće Lučke uprave u sufinanciranju infrastrukture, dok je udio Koncesionara na financiranje suprastrukture u priobalju visokih 34% i svih 100% na financiranje izgradnje objekata u zaobalju. Na tablici 2 prikazana je ukupna vrijednost investicije, koja se kreće od 679,4 mil. US\$ za scenarij S-2 pa do 635,2 mil. US\$ za scenarij S-7. Navedena ulaganja ne obuhvaćaju izgradnju višenamjenskog kanala DS kao ni infrastrukturu u okruženju luke.

Tablica 1. Udjeli RH, Lučke uprave vukovar i Koncesionara u financiranje projekta

Predmet investiranja	Udio RH		Udio Lučke uprave		Udio Koncesionara	
	Terminali	Zone	Terminali	Zone	Terminali	Zone
Zemljište	100%	100%				
Infrastruktura	95%	80%	5%	20%		
Suprastruktura	66%	0%			34%	100%

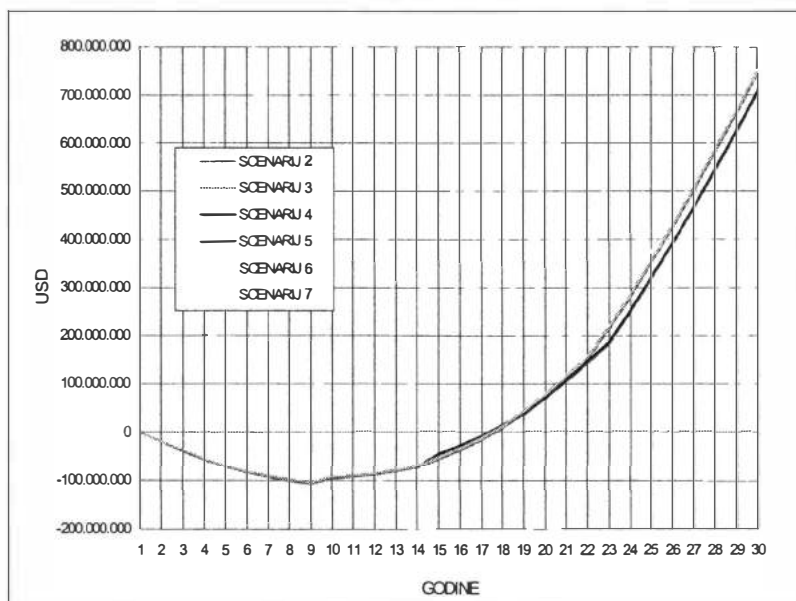
Tablica 2. Prikaz vrijednosti investicijskih ulaganja po scenarijima u US\$ (Č-42 = varijanta češalj s 24 veza, L-24 = varijanta linijska s 24 veza)

Naziv scenarija	Vrijednost investicije	Od toga u izvedbi		
		RH	Lučke uprave	Koncesionara
S-2 "Č-24"	679.438.827	343.412.763	37.550.410	298.475.655
S-3 "Č-21"	667.274.295	333.955.306	37.326.524	295.992.465
S-4 "Č-19"	653.663.329	323.504.609	36.457.259	293.701.460
S-5 "L-24"	657.160.630	325.573.914	33.111.060	298.475.655
S-6 "L-21"	646.533.200	317.593.361	32.947.375	295.992.465
S-7 "L-19"	635.176.405	308.990.086	32.484.859	293.701.460

Iz tablice je vidljivo da najveći teret investicijskih ulaganja nose RH i Koncesionar, s time da su ulaganja Hrvatske preduvjet ulaganjima Koncesionara. Dinamika investicijskih ulaganja primjerena je dinamici gospodarskog oživljavanja projekta.

5. Ekonomsko-financijske analize

Banke zainteresirane za financijsko praćenje projekta posebnu pažnju posvećuju financijskim analizama koje sastoje od sljedećih analiza: struktura i dinamika prihoda i operativnih troškova, ekonomski tok i period povrata, netto sadašnje vrijednosti NPV i proračun internih stopa rentabilnosti IRR, vlasničko-dužnički odnosi i kreditni aranžmani, račun dobiti i gubitka i proračun stope povrata na uložena sredstva ROE, financijski tok. Primitke ekonomskog toka čini ukupni prihod projekta, a izdatke



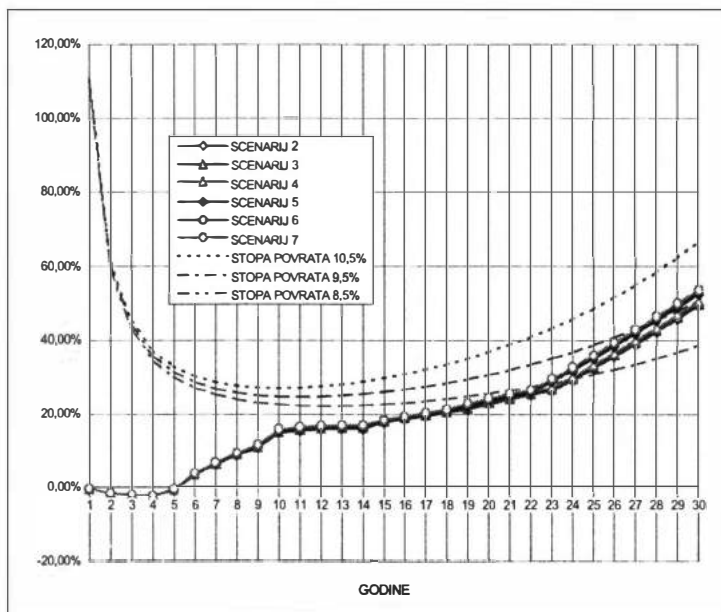
Slika 3. Ekonomski tok za analizirane scenarije

predstavljaju investicijska ulaganja i ukupni direktni operativni i indirektni troškovi. Periodi povrata investicije, koje definira godina prelaska kumulativne razlike primitaka i izdataka iz negativnog u pozitivno područje, za sve je scenarije prikazana grafički na slici 3 i iznose oko 17,5 godina. Neto sadašnja vrijednost NPV računa se na bazi godišnjih iznosa diskontiranjem vrijednosti ekonomskog toka na sadašnju vrijednost. Interna stopa rentabilnosti IRR za neku godinu, predstavlja diskontnu stopu koja na nulu svodi vrijednost svih neto sadašnjih vrijednosti do te godine.

Tablica 3. Pregled vrijednosti IRR-a

Naziv scenarija	Nakon 10 godina	Nakon 15 godina	Nakon 20 godina	Nakon 25 godina	Nakon 30 godina
S-2 "Č-24"	-43,82%	-6,72%	4,17%	9,29%	11,65%
S-3 "Č-21"	-43,37%	-6,49%	4,33%	9,41%	11,75%
S-4 "Č-19"	-42,84%	-6,22%	4,52%	9,55%	11,86%
S-5 "L-24"	-43,05%	-8,42%	4,52%	9,81%	12,02%
S-6 "L-21"	-42,61%	-8,17%	4,67%	9,93%	12,12%
S-7 "L-19"	-42,15%	-7,91%	4,83%	10,05%	12,22%

Pregled internih stopa rentabilnosti (vidi tablicu 3) govori o kreditnoj sposobnosti (maksimalna zaduženja po kamatama) svakog od scenarija u periodu prvih 10, 15, 20 i 25 godina i konačno o kreditnoj sposobnosti u cijelom promatranom periodu od 30 godina. Račun dobiti i gubitaka definira razine operativnog profita, profita prije такси i neto profita nakon plaćanja poreza na dobit. U analizama je planirano oslobađanje plaćanja poreza na dobit lučke uprave i koncesionara u prvih 10 godina. Iz slike 4 vidljivo je da ostvarene

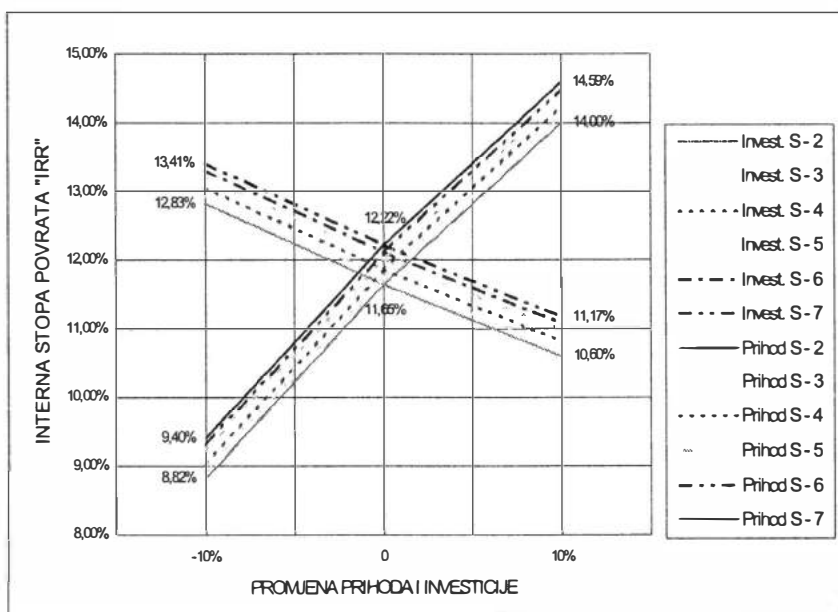


Slika 4. Povrat na uloženi kapital ROE i ciljne stope povrata (za equity 10%)

kumulativne stope povrata tijekom promatranog perioda ne dostižu ciljnu godišnju stopu povrata na uloženi kapital od 10,5%, u periodu iza 27. godine dostižu ciljnu godišnju stopu od 9,5%, a u periodu iza 22. godine dostižu ciljnu godišnju stopu od 8,5%.

6. Analiza osjetljivosti

Provedena je na razini interne stope rentabilnosti IRR, i to s ciljem utvrđivanja osjetljivosti projekta na promjene ključnih ulaznih parametara. Pri tome se analizira utjecaj povećanja ili smanjenja ukupnog prihoda za 10%, na promjenu interne stope rentabilnosti, te utjecaj povećanja ili smanjenja vrijednosti investicijskih ulaganja za 10% na promjene IRR-a. Rezultati analize osjetljivosti dani su na slici 5. Analizom rezultata osjetljivosti može se konstatirati veća osjetljivost projekta na pretpostavljene poremećaje ukupnog prihoda.



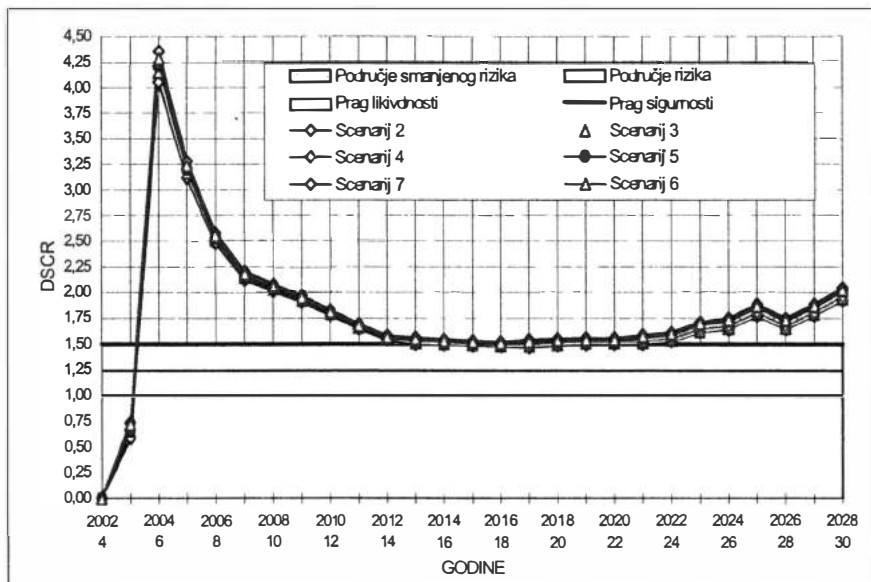
Slika 5. Prikaz analize osjetljivosti

7. Pokriće kreditnih obveza likvidnim sredstvima

Analiza rizika rađena je za potrebe poslovnih banaka koje trebaju financijski pratiti projekt, a sastoji se u proračunu stupnja pokrivenosti kreditnih obveza s likvidnim sredstvima. Ovaj pokazatelj izračunat 10/90% odnos equity/ debt. Na slici 6 vidljivo je da su vrijednosti za svih šest scenarija u svakoj godini iznad praga sigurnosti od, po banci koja prati investiciju, minimalno traženih 1,50 (scenarij S2 minimalno probija prag u periodu 16-20. godine '1,47', a scenarij S3 u 18. i 19. godini '1,48' što je za banku prihvatljivo).

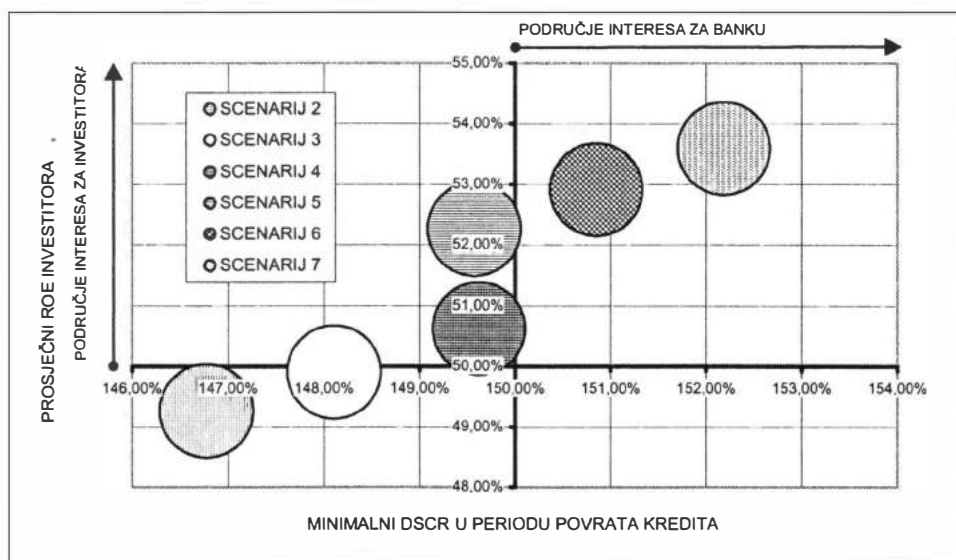
8. Umjesto zaključka - izbor scenarija za realizaciju

Provedena istraživanja sažeta su u osnovnim kategorijama koje u sebi obuhvaćaju ključne odrednice interesa triju strana – Banke koja prati projekt, Republike Hrvatske i Investitora



Slika 6. Stupanj pokrića kreditnih obveza DSCR (Debt service coverage ratio)

(Lučka uprava i Koncesionar zajedno). Hrvatska ima dugoročni interes za realizaciju projekta sa što većom izgrađenosti odnosno uvrijednosti investicije. Banka je zainteresirana za ulaganja bez rizika, odnosno ulaganja koja se nalaze iznad DSCR praga od 1,50. Investitor ima interes da na projektu u promatranom periodu osigura povrat na uloženi kapital kumulativno od 50%. Pozicija svih scenarija u odnosu na navedene interese prikazana je na slici 7.



Slika 7. Grafički prikaz rezultata istraživanja

Scenarij S 2 ima najveći stupanj izgrađenosti (interes RH), pa iako minimalno i to u samo četiri godine probija od Banke propisani DSCR, te minimalno podbacuje očekivani ROE za Investitora, opravdava naziv “pobjedničkog scenarija”, te ga predlaže se za realizaciju.

Literatura

Luketa, V.; Šarić, G: Idejni projekt luke vukovar - Strateška analiza i pragmatična procjena vrsta i opsega djelatnosti luke Vukovar, CM Expert 1998.

Pršić, M.; i drugi: Idejni projekt luke vukovar - Lučke gradnje, Vodoprivredno-projekttni biro, 1999.

Luketa, V.; Šarić, G: Idejni projekt luke vukovar - Studija izvodljivosti, CM Expert, 1998.

Brkić, B.; Pršić, M; Kuspilić, N. i drugi: Dopuna idejnog projekta višenamjenskog kanala Dunav - Sava -

Građevinski projekt kanala, Vodoprivredno-projekttni biro Zagreb, 1997.

Cupec, S.; Sudar, V. i drugi: Prostorni plan koridora kanala Dunav - Sava, Zavod za prostorno planiranje Osijek, 1998

Autori:

mr. sc. Vitomir Luketa, dipl. ing. građ. i Goran Šarić dipl. ecc, CM-Expert d.o.o.,
Trg b. Jelačića 3, Zagreb, e-mail: cm-expert@zg.tel.hr

prof. dr. sc. Marko Pršić, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet, Zagreb, Kačićeva 26,
e-mail: mprsic@master.grad.hr



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.52.

Mogućnosti korištenja geotermalnih voda u Republici Hrvatskoj

Miron Kovačić, Krešimir Jelić

SAŽETAK: Geotermalne vode na ozemlju Republike Hrvatske koriste se od početka naseljavanja ovih prostora pa sve do danas. O tome svjedoče tragovi na mjestima izvora geotermalnih voda kao i brojni pisani dokumenti. Potencijal geotermalnih voda u R. Hrvatskoj nije jednoliko raspoređen. U dinaridskom dijelu ima malo pojava izvora geotermalne vode, a vrijednosti geotermijskih gradijenata i gustoća toplinskog toka su male. Nasuprot tome, u panonskom dijelu Hrvatske ima relativno mnogo izvora geotermalne vode, a vrijednosti geotermijskih gradijenata i gustoća toplinskog toka su relativno velike. Koji je ukupan potencijal geotermalnih voda u Hrvatskoj, do danas još nije u potpunosti istraženo. Stupanj korištenja geotermalnih voda u Hrvatskoj tijekom vremena se mijenjao, a na temelju poznavanja današnjeg stanja može se konstatirati da se koristi tek dio poznatog potencijala geotermalnih voda. Temperatura geotermalnih voda na različitim izvorima je različita. Zastupljene su sve kategorije geotermalnih voda: subtermalne vode (13 - 20 °C), hipotermalne vode (20 - 34 °C), homeotermalne vode (34 - 38 °C) i hipertermalne vode (više od 38 °C). Temperatura geotermalnih voda koje su otkrivene dubokim bušenjem je u rasponu od 23 do 170 °C. Kemijski sastav geotermalnih voda je različit. Neke od njih su slabo mineralizirane, a neke možemo smatrati mineralnim vodama. S obzirom na različite temperature i kemizam geotermalnih voda one bi se u Hrvatskoj mogle koristiti na mnogo različitih načina: za proizvodnju električne energije, za proizvodnju toplinske energije za zagrijavanje i hlađenje, u sportu, turizmu i rekreaciji, te u medicini i različitim industrijskim procesima.

KLJUČNE RIJEČI: geotermalne vode, korištenje, potencijal, Hrvatska

Possibilities of Geothermal Water Exploitation in the Republic of Croatia

SUMMARY: In the Republic of Croatia, geothermal water has been used since the first inhabitants populated this territory. There are traces confirming this at the geothermal springs, which are accompanied by numerous written documents. However, the geothermal potential is not evenly distributed. In Dinarics, the geothermal springs are rare and value of geothermal gradients and thermal flow density are low. However, the Pannonian part of Croatia is relatively rich in such springs, and value of geothermal gradients and thermal flow density are relatively high. Total Croatian geothermal water potential has never been fully investigated. The degree of exploitation changed with time, and it presently indicates that only part of confirmed geothermal water potential is used. Geothermal water temperature varies for different springs. All categories of geothermal water are present: subthermal (13-20°C), hypothermal (20-34°C), homothermal (34-38°C) and hyperthermal water (above 38°C). Temperature of geothermal water prospected by deep drilling ranges from 23 to 170°C. Geothermal water chemistry differs. Some is poorly mineralized, and some can be classified as mineral water. Considering different temperature and chemistry of geothermal water, it could find various applications in Croatia - power generation, heating/cooling energy, sports, tourism and recreation, medicine and different industrial processes.

KEYWORDS: geothermal water, exploitation, potential, Croatia

1. Uvod

Geotermalne vode su jedan od prirodnih izvora topline, a kada su obogaćene određenim kemijskim supstancama mogu imati korisne balneološke učinke ili mogu prilikom konzumiranja povoljno djelovati na ljudski metabolizam. Tijekom povijesti geotermalne vode na ozemlju Hrvatske koristile su se za kupanje i konzumiranje, a tek u posljednjih desetak godina ima primjera da se koriste i na drugi način. Prema do sada provedenim istraživanjima o korištenju geotermalnih voda u RH, koristi se tek manji dio poznatog potencijala (Kovačić i Perica 1998). U budućnosti treba očekivati veći interes za korištenje geotermalnih voda pa ovim radom stručnjake i znanstvenike koji se bave vodama želimo upoznati s trenutno poznatim potencijalom, te stanjem i mogućnostima korištenja geotermalnih voda u Hrvatskoj.

2. Potencijali geotermalnih voda u Hrvatskoj

Prema dosadašnjim spoznajama Hrvatsku s obzirom na geotermijski potencijal možemo podijeliti na dva različita prostora. Granica koja odvaja te dvije cjeline je južni rub savske potoline. Sjeverno od navedene granice je Panonski a na južno Dinarski prostor. U sjevernom, panonskom prostoru, temperaturni gradijent iznosi od 0,03 do 0,07 °C/m što je više od svjetskog prosjeka koji iznosi oko 0,03 °C/m. U tom dijelu Hrvatske vrijednosti gustoća toplinskog toka koji iz zemljine unutrašnjosti dolazi na površinu iznose od 60 do 100 mWm² i također su više od svjetskog prosjeka koji iznosi oko 60 mWm². U tom području se nalazi većina izvora geotermalne vode, a također i bušotina koje su nabušile geotermalne vodonosnike.

U južnom Dinarskom dijelu Hrvatske prosječni temperaturni gradijent iznosi od 0,01 do 0,02 °C/m, a gustoća toplinskog toka je u rasponu od 20 do 55 mWm², što je manje od svjetskog prosjeka (Jelić i dr. 1995).

Prema istraživanjima u Sloveniji (Ravnik, 1991), Italiji (Cataldi et al., 1995) i Slovačkoj (Kutas, 1973), kao i prema karti površinske GTT Europe (Čermak & Rybach, 1979) i Geotermijskom atlasu Europe (Hurtig et al., 1992), vrijednosti veće od 80 mW/m² u nama bliskom dijelu Europe predstavljaju pozitivnu anomaliju površinske gustoće toplinskog toka (Kovačić, 1995, 1998). Prema tom kriteriju, u sjevernom dijelu Hrvatske postoje veliki prostori koji se mogu okarakterizirati kao pozitivne geotermijske anomalije. Koliki je točno energetski potencijal geotermalnih voda na teritoriju R Hrvatske teško je utvrditi bez istraživanja koje bi se provelo s ciljem da se taj potencijal utvrdi. Prema nekim procjenama ukupan geotermijski potencijal iz do sada izbušenih, pogodnih, dubokih bušotina iznosi 812 MW (Bošnjak 1998). Ukupan geotermijski potencijal u RH zasigurno je znatno veći, jer kod ove procjene nisu uzeti u obzir izvori geotermalne vode koji se već uveliko koriste, kao niti sve bušotine. Također, s obzirom na nepotpunu geotermijsku istraženost prostora Hrvatske, mogu se očekivati pronalasci novih kapaciteta.

3. Korištenje geotermalnih voda u Hrvatskoj

Prema zadnjim istraživanjima o korištenju geotermalnih voda u Hrvatskoj (Kovačić i Perica, 1998) utvrđeno je sljedeće stanje.

U području Panona poznati su izvori geotermalne vode na 25 lokacija. Izvori subtermalne vode (13-20 °C) su Doktaji, Dubočanka, Đakovačka Bržnica, Podevčevo, Sutinska vrela, Šimunićev izvor i Topličica kraj Borčeca. Od navedenih izvora geotermalna voda koristi se

samo na jednom lokalitetu i to za uzgoj riba. Hipotermalna voda (20-34 °C) izvire u Duzluku, Harinoj Zlaki, Sv. Heleni, Sv. Ivanu Zelini, Šemničkim toplicama, Sv. Jani, Topličici kod Gotalovca, Topličici kod Mađareva, Tuheljskim toplicama i u Velikoj kraj Slavonske Požege. Na sedam od navedenih lokacija geotermalna voda se koristi za rekreaciju, a na tri se ne koristi. Homeotermalna voda (34-38 °C) koristi se za rekreaciju i terapiju, a poznata je na dvije lokacije: Jezerčici kod D. Stubice i Sutinskim toplicama. U Daruvarskim toplicama, Krapinskim toplicama, Lipiku, Stubičkim toplicama i Varaždinskim toplicama su izvori hipertermalne vode (temperatura viša od 38 °C). Voda sa tih izvora koristi se za rekreaciju, terapiju, kao sanitarna voda, kao mineralna voda, te za zagrijavanje vode i prostora.

U području Dinarida, geotermalne vode poznate su na osam lokacija. Na polovini od tog broja lokacija nalaze se izvori subtermalne vode (13-20 °C) koji se, prema zadnjim informacijama, ne koriste. To su izvori Blizanac kraj Obrovca, izvori kod Mokošice i Zakučca te Splitske toplice. Hipotermalne vode (20-34 °C) se koriste za rekreaciju, a izviri u Toplicama Lešće i u Istarskim toplicama (Sv. Stjepan). U Topuskom su izvori hipertermalne vode (više od 38 °C) koja se koristi za rekreaciju, terapiju, te za zagrijavanje vode i prostora. Nedavno je prilikom izvođenja građevinskih radova na autocesti "Istarski ipsilon" u području Kanfanara u Istri otkrivena pojava toplih para (cca 31 °C). Može se očekivati da će se uskoro istražnim radovima na tom lokalitetu utvrditi kapaciteti geotermalne vode povoljni za korištenje.

Tijekom dugogodišnjeg istraživanja nafte i plina na ozemlju Republike Hrvatske izbušeno je više od 4000 dubokih bušotina. Mnoge od njih nabušile su geotermalne vodonosnike. S obzirom na geotermijski potencijal, za daljnja istraživanja i eksploataciju geotermalne vode zanimljiv je panonski prostor Hrvatske. Od 58 bušotina koje su u tom prostoru nabušile vodonosnike geotermalne vode, 12 ih je nabušilo hipotermalnu vodu, 3 homeotermalnu, a 43 hipertermalnu vodu. Za rekreaciju se koristi geotermalna voda iz 11 bušotina, a iz 5 bušotina koristi se i za terapiju. Za zagrijavanje prostorija i vode koristi se voda iz 8 bušotina. Čak iz 41 bušotine geotermalna voda se ne koristi.

4. Mogući načini korištenja geotermalnih voda u Hrvatskoj

Temperatura geotermalnih voda na različitim izvorima je različita. Zastupljene su sve kategorije geotermalnih voda: subtermalne vode (13 - 20 °C), hipotermalne vode (20 - 34 °C), homeotermalne vode (34 - 38 °C) i hipertermalne vode (više od 38 °C). Temperatura geotermalnih voda koje su otkrivene dubokim bušenjem je u rasponu od 23 do 170 °C. S obzirom na velik raspon temperatura geotermalnih voda, one bi se u Hrvatskoj mogle koristiti na mnogo različitih načina i u različitim djelatnostima (djelomice prema Ungemach, P. 1987):

1. Medicina (20-40 °C)
Fizikalna terapija i konzumiranje
2. Turizam, rekreacija i sport (25-40 °C)
Turistički, rekreacijski i sportski centri
3. Grijanje i hlađenje (30-90 °C)
Zagrijavanje tla, staklenika te industrijskih, poslovnih, javnih i stambenih objekata.
5. Proizvodnja električne energije (80-170 °C)
Postoji nekoliko različitih tehnologija koje omogućavaju korištenje geotermalne vode različitih temperatura za proizvodnju električne energije.
6. Industrijski procesi (30-170 °C)
Fermentacija, odleđivanje, zamrzavanje, sušenje organskih i građevinskih materijala, destilacija, isparavanje, kristalizacija, konzerviranje hrane, proizvodnja aluminija Bayerovim procesom, proizvodnja teške vode procesom vodik-sulfid itd.

Treba napomenuti da se geotermalna voda dogrijavanjem ili ohlađivanjem može dovesti na stupanj temperature koji nam je potreban za željeno korištenje, tako da temperatura vode na izorištima odnosno ušću bušotina nije ograničavajući činbenik njenog korištenja. Kemijski sastav geotermalnih voda je jako različit po sastavu i po količini kemijskih komponenti. Neke od njih su slabo mineralizirane, a neke možemo smatrati mineralnim vodama. S obzirom na to one se mogu koristiti kao pitka, "tehnička", sanitarna, ili mineralna voda ili kao voda s balneološkim svojstvima.

5. Zaključak

Iz iznesenog može se zaključiti:

- Potencijal geotermalnih voda u Hrvatskoj je samo djelomice istražen.
- Koristi se samo dio poznatog potencijala geotermalnih voda.
- Temperatura geotermalnih voda u Hrvatskoj na izvorima iznosi od 13,5 do 65 °C, a u nabušnim vodonosnicima i do 170 °C.
- S obzirom na različite temperature i kemizam geotermalnih voda one bi se u Hrvatskoj mogle koristiti na mnogo različitih načina: za proizvodnju električne energije, za zagrijavanje i hlađenje, u sportu, turizmu i rekreaciji te u medicini i različitim industrijskim procesima.
- S obzirom na različitost značajki geotermalnih voda iz pojedinih izvorišta ili nabušnih vodonosnika potrebno je mogućnosti njihova korištenja razmotriti za svaki pojedini lokalitet zasebno. Samo na taj način moći će se geotermalne vode u Hrvatskoj koristiti optimalno.

Literatura

- BOŠNJAK, R. (1998): Geoen - program korištenja geotermalne energije, prethodni rezultati i buduće aktivnosti.- Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb.
- CATALDI, R., MONGELLI, F., SQUARCI, P., TAFFI, L., ZITO, G. & CALORE, C. (1995): Geothermal Ranking of Italian Territory.- *Geothermics*, 24/1, 115-129., Pisa.
- ČERMAK, V. & RYBACH, L. (1979): *Terrestrial Heat Flow in Europe*.- Springer Verlag, Berlin.
- ECONOMIDES, M. & UNGEMACH, P. (1987): *Applied Geothermics*.- pp 238, John Wiley Sons, Chichester.
- HURTIG, E., ČERMAK, V., HAENEL, R. & ZUI, V., EDS. (1992): *Geothermal Atlas of Europe*.- GeoForschungsZentrum, Potsdam.
- JELIĆ, K., KEVRIĆ, I. I KRASIĆ, O. (1995): Temperature i toplinski tok u tlu Hrvatske.- 1. Hrvatski geološki kongres, Opatija, Zbornik radova 1, 245-249, Zagreb.
- KOVAČIĆ M. I PERICA R. (1998): Stupanj korištenja geotermalnih voda u Republici Hrvatskoj.- *Hrvatske vode*, 25, str. 355-361, Zagreb.
- KOVAČIĆ, M. (1995): Prilog poznavanju gustoće površinskog toplinskog toka u širem području Zagreba.- 1. Hrvatski geološki kongres, Opatija. Zbornik radova, knjiga 1, 303-306, Zagreb.
- KOVAČIĆ, M. (1998): Kondukcija i konvekcija topline u području Zagrebačke geotermijske anomalije.- Magistarski rad. Sveučilište u Zagrebu, 70+34 p., Zagreb.
- KUTAS, R. I. (1973): Characteristic of the Thermal Field in the Eastern Carpathians.- *Carpathian-Balkan Geological Association. Proceedings of the Xth Congress, Section VIII, Geophysics*, 41-47, Bratislava.

Autori:

Mr.sc. Miron Kovačić dipl.ing.geol.- Institut za geološka istraživanja - Sachsova 2, Zagreb
Prof.dr.sc. Krešimir Jelić dipl.ing.rud.- Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.53.

Mjerenje vode iz magle i njeno korištenje u svijetu

Marina Mileta

SAŽETAK: Pomanjkanje vode u nekim područjima svijeta pokrenulo je znanstvenike na korištenje još jednog vodnog resursa a to je magla. Prvi takav uspješan projekt započeli su Kanadski stručnjaci u Čileu, na El Tofu sakupljajući vodu iz magle velikim kolektorima magle za potrebe sela Chungungo sa 330 stanovnika. Od 1992 godine to naselje redovito se opskrbljuje vodom sakupljenom iz magle. Na našim planinama nad morem količine oborine od magle su znatne prema našim mjerenjima Grunovim kolektorom magle (ili kišomjerom sa mrežicom). Na Zavižanu (1594m) na Velebitu taj kolektor sakupi (u 30 godišnjem razdoblju) 106% oborine više nego standardni kišomjer, a na Učki 1371m (u 10 god. razdoblju) ta razlika iznosi 74%. U kontinentalnim predjelima razlika je manja i na Sljemenu (1007m) iznosi 12% (u 17 godišnjem razdoblju mjerenja). U radu su dani rezultati mjerenja i sakupljanja vode iz magle u svijetu i u Hrvatskoj.

KLJUČNE RIJEČI: voda iz magle, vodni resurs, kolektor magle

Water-from-Fog Measurement and its Worldwide Use

SUMMARY: Lack of water in some parts of the world stimulated scientists to attempt to exploit yet another resource - fog. The first such project in El Tof, Chile was initiated by Canadian experts. Large fog collectors were used to collect water for the Chungungo with population of 330 villagers. Since 1992, this village has had regular water supply from fog collectors. According to the measurements by Grun's fog collector (or rain collector) conducted at our mountains rising above the sea, the fog precipitations are considerable. In 10-years period, the collector placed in Zavižan (1594 m a.s.l.) on Mt. Velebit collected by 106% and on Učka Mt. (1371 m a.s.l.) by 74% precipitation more than the standard fog collector (SFC). The difference for the continental part is smaller, thus for Sljeme Mt. (1007 m a.s.l.) it is 12% for a 17-year period. The paper presents results of measurement and collecting of water from fog in Croatia and worldwide.

KEYWORDS: water from fog, water resource, fog collector

Uvod

U posljednjoj dekadi ovog stoljeća započelo je u svijetu intenzivnije zanimanje za korištenje još jednog vodnog resursa a to je magla. Za mogućnost tog korištenja što je prvenstveno interesantno u sušnim predjelima, potrebni su određeni klimatski i geografski uvjeti za stvaranje magle izdašne vodom. Dobivanje vode iz magle poznato je od davnina ali su u ovom stoljeću započela mjerenja (na mnogim lokacijama) u mnogim zemljama. Mjerenja su se obavljala raznim kolektorima magle koji su svi

imali određenih nedostataka a podaci nisu bili međusobno potpuno usporedivi, stoga je danas tendencija da se za mjerenje vode od magle upotrebljava tako zv. standardni kolektor magle (SFC standard fog collector), koji je jednostavan i ekonomičan. Mjerenja vode od magle u Hrvatskoj započela su početkom druge polovice stoljeća Grunowim kolektorom magle koji se onda postavljao za mjerenje vode iz magle.

Općenito o magli

Magla sa meteorološkog stajališta je skupina vrlo sitnih vodenih kapljice koje lebde u zraku nad tlom i smanjuju horizontalnu vidljivost ispod 1km. Oblak se razlikuje od magle jedino u tome što ne dodiruje tlo. Pa se magla može definirati i kao oblak koji je u dodiru sa tlom.

Magla se sastoji od vodenih kapljica promjera od 1 do 40 mikrona a brzina padanja je oko 1 do 5cm/sek(kod kišnih kapi promjeri su od 0.5 mm do 5 mm a brzina padanja od 2 do 9 m/sek, dok kod rosulje promjer je 40 mikrona do 0.5 mm, a brzina padanja od 5 cm do 2 metra u sekundi). Kapljice magle zbog svojih osobina praktički lebde u zraku ili su horizontalno nošene i najmanjim strujanjem. To je razlog što kolektor vode od magle treba imati vertikalnu površinu.

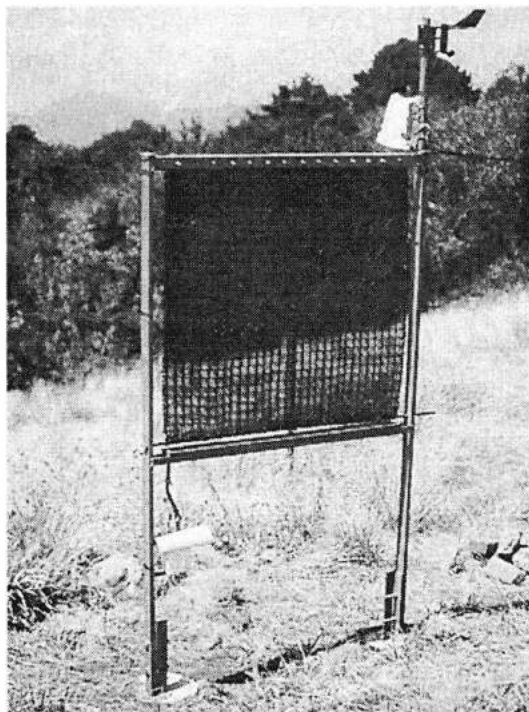
Način mjerenja vode iz magle

Danas u svijetu preporuča se i koristi se za mjerenje oborine od magle t zv. standardni kolektor magle (SFC) Schemenauer i Cereceda(1994) prikazan na Sl.1. Radi se o relativno jednostavnom i jeftinom, kolektoru površine 1 kvadratnog metra u metalnom okviru napravljenog od mreće od polipropilena. Materijal mora biti takav da ne djeluje na kvalitetu vode. O gustoći mreže ovisi sakupljena količina vode. Površina nad tlom je 2m. Magla sadrži stotine miliona mikroskopskih vodenih kapljica u kubnom metru zraka koje nošene vjetrom akumuliraju se na mrežici i kad postignu dovoljnu veličinu padaju sa mrežice u donji dio okvira koji ima oblik žljeba gdje se voda sakuplja i dalje otiče u spremnik. Količine vode ovise o vjetru te o izdažnosti magle ili oblaka vodom.

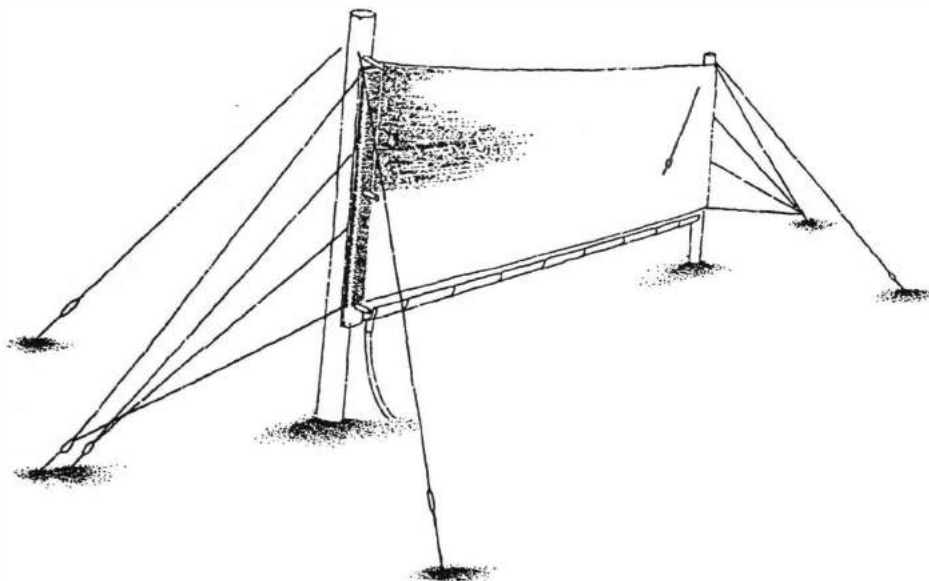
Za potrebe sakupljanja vode od magle za domaćinstva ili poljoprivredu kolektor ima površinu 48 kvadratnih metara. Za sada se u Hrvatskoj za mjerenje oborine od magle i oblaka koristi Grunow kolektor magle (ili sakupljač magle) poznat i kao kišomjer sa mrežicom radi svoje konstrukcije (Mileta 1995). Radi se o standardnim Hellmann-ovom kišomjeru koji ima dodatnu žičanu mrežicu u obliku cilindra površine 200 cm². Mjerenja se odvijaju paralelno sa standardnim Hellmannovim kišomjerom. Za potrebe ispitivanja onečišćenja magle (na pr. kisele magle) postoje razni drugi tipovi instrumenata koji automatski vrše kemijsku analizu magle.

Korištenje vode iz magle u sušnim predjelima

Istraživački projekt za korištenje vode iz magle započeo je u Čileu na visini od 780m iznad mora poznat kao Camanchaca Project (1987-1989) gdje je pedesetak kolektora (svaki 48 kvadratnih metara) uspjevalo sakupiti u prosjeku 7200 litara vode u danu za potrebe obližnjeg sela Chungungo sa oko 330 stanovnika (Schemenauer and Cereceda 1992). Za vrijeme trajanja projekta(3 godine) godišnje količine oborine (od kiše) iznosila je 10mm, 50mm i 10mm, što je manje od prosjeka koji iznosi 70mm. Od 1992 to malo



Slika 1. Standardni kolektor magle



Slika 2. Model velikog kolektora magle

mjesto opskrbljuje se redovito kvalitetnom vodom dobivene iz magle sa 75 kolektora koji u prosjeku sakupe više od 10.000 litara vode na dan za potrebe domaćinstava i poljoprivrede (Cereceda and Schemenauer 1998).

Povoljni rezultati navedenog projekta pokrenuli su sakupljanje vode iz magle i na mnogim drugim planinskim predjelima nad morem. Tako je sa korištenjem vode iz magle započelo i u Peru, Ekvadoru, Mexicu, Južnoj Africi (Cereceda and Schemenauer 1998).

U Peru- u na eksperimentalnim plantažama (850m) koristi se vrlo uspješno voda iz magle sa obnovu vegetacije i pođumljivanja. Pomoću 20 velikih kolektora (48 m²) godišnje se prikupi 2.000 kubnih metara vode, koja se sprema u za to sagrađene rezervoare te koristi za zalijevanje oko 1200 biljaka. Jednom kad biljke dostignu određenu veličinu same su sposobne za korištenje vode iz magle i čitav sistem se seli na drugu lokaciju (Cereceda i suradnici 1998)

Oborina od magle u planinskim predjelima Hrvatske

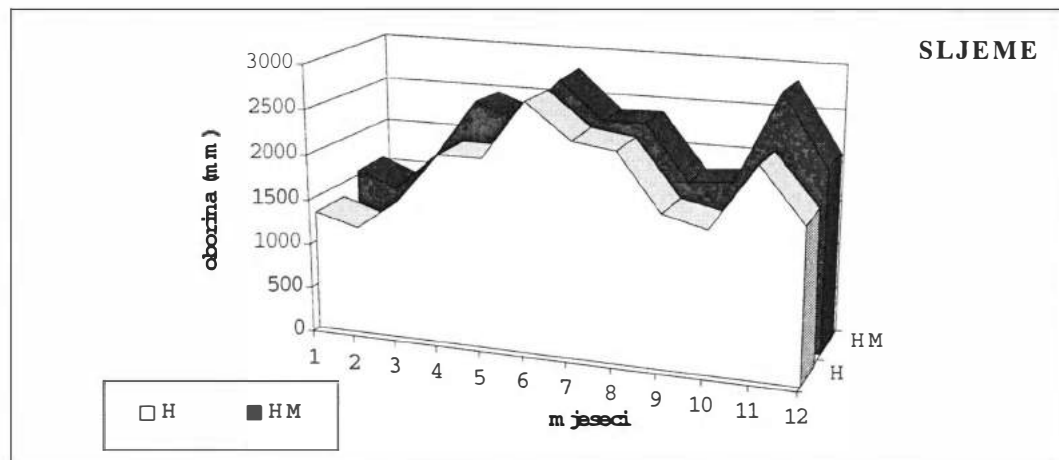
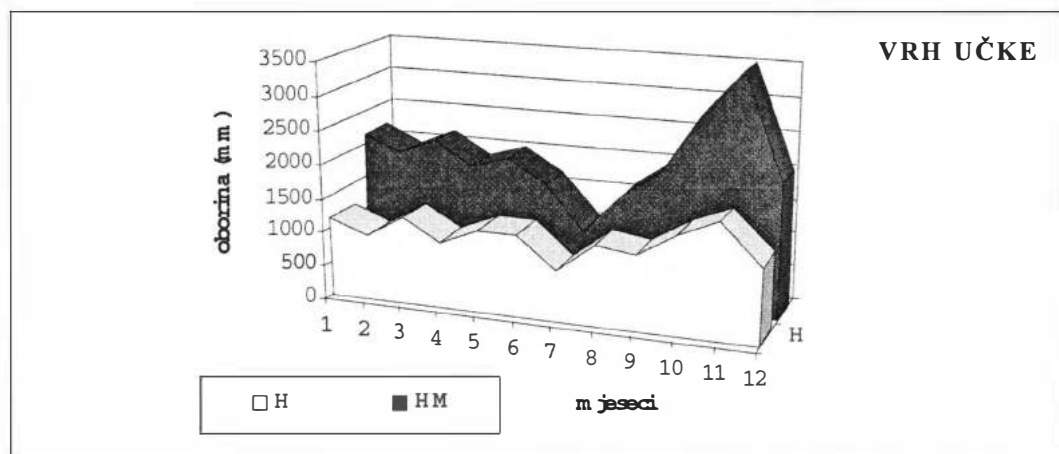
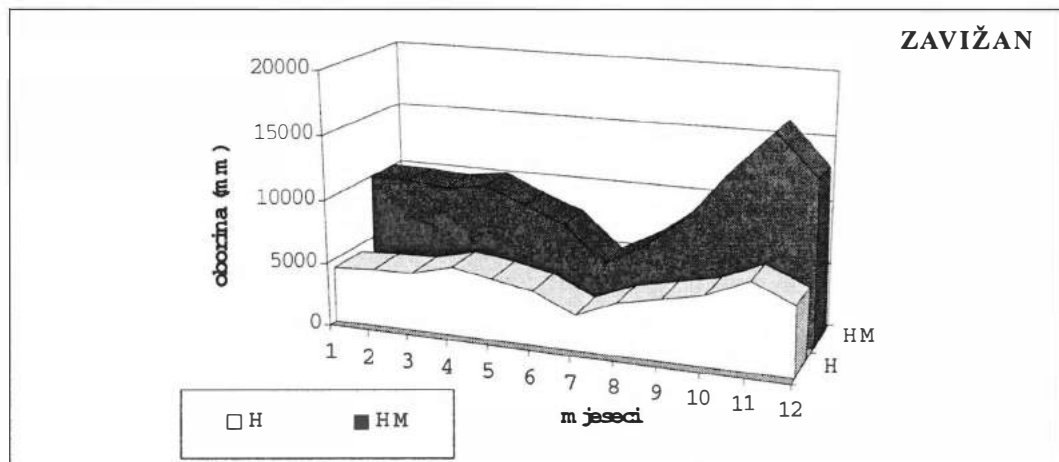
Na sl. 3. prikazane su količine oborine izmjerene standardnim Hellmannovim kišomjerom (H) i Grunovim kišomjerom (HM) na tri lokacije u Hrvatskoj. Njihova razlika tamni dio na slikama odnosi se na dio oborine od magle.

Na najgornjoj slici prikazane su količine oborine na Zavižanu (1594 m) na Velebitu u 30 god. razdoblju (1962-1990). Količina oborina od magle iznosi u prosjeku godišnje 2040 mm dok je prosječna godišnja oborina 1919mm. Na srednjoj slici prikazane su količine oborine izmjerene navedenim kišomjerima na Vrhcu Učke (1372 m) u 10 godišnjem periodu (1969-1982, bez 1973, 1976, 1977i 1978 godine). Razlika u količini oborine tako izmjerena iznosi u prosjeku godišnje 1042 mm, a godišnja količina oborine 1408 mm.

Najdonja slika odnosi se na postaju Sljeme (1007 m) gdje razlika u količini oborine između dva kišomjera u prosjeku godišnje iznosi 115 mm, a godišnja količina oborine iznosi 1345 mm. Razdoblje mjerenja je 17 godina (1955-1971) .

Zaključak

Voda iz magle našla je višestruku primjenu. Selo u Chileu, Chungungo je prva zajednica ljudi koja vodu za svoje potrebe dobiva iz tog vodnog resursa. Mjerenje oborine od magle u Hrvatskoj započelo je vrlo rano, početkom pedesetih godina ovog stoljeća i to Grunovim kišomjerom koji se tada upotrebljavao. Količine vode iz magle ovise o godišnjem dobu, najveće su u jesen sa maksimumom u studenom, kada je i ciklonalna aktivnost nad Sredozemljem i Jadranom najveća te je povećana advekcija vlažnog zraka. Danas u svijetu oborina od magle se mjeri novim kolektorom magle preporučenog od Schemenauera. Hrvatskoj predstoji što prije postavljanje tog novog standardnog instrumenta na naše planinske postaje da bi mogli uspoređivati i analizirati naše podatke i uvrstiti ih u budući svjetski atlas magle. Prema potrebi oborina od magle i u Hrvatskoj na određenim lokacijama mogla bi služiti i za dobivanje vode kao na primjer za mlade nasade, đume na ogorjelim površinama na otocima i priobalju, a i za praćenje onečišćenja.



Slika 3. Ukupne količine oborine po mjesecima mjerene standardnim Hellmannovim kišomjerom i kišomjerom sa mrežicom (HM) na Zavižanu, Vrh Učke i Sljemenju, za 30 god. razdoblje

Literatura

- Cereceda, P. Villegas S.I. Osses.P. Schemenauer .R.S. 1998:Evaluation of the Use of Fog Water for Regeneration of Arid Ecosystem, 1st International Conference on Fog and Fog collection, Vancouver July 1998 461-463
- Mileta, M. 1995: Oborina od magle na Velebitu, 1. Konferencija o vodama, Dubrovnik 24-27 svibnja 1995 ,512-520
- Mileta, M. 1996: On the comparison of results of the precipitation measurements by normal Hellmann raingauge and fog collector near the Adriatic sea, 24 th International Conference on Alpine Meteorology 1996, Bled, Slovenia 9-13 Septembar 1996 ,80-83
- Mileta, M. 1998 : Fog Precipitation on the mountains in Croatia, 1st International Conference on Fog and Fog collection, Vancouver 20-24 July 1998, 413-416
- Schemenauer, R. S. and P. Cereceda., 1992: The quality of fog water collected, for domestic and agricultural use in Chile .Journal of Applied, Meteorology .Vol3. 275-290
- Schemenauer, R.S. and P. Cereceda 1994: A Proposed standard fog collector, for use in high elevation regions. Journal of Applied Meteorology, 33,1313-1322

Autorica:

Marina Mileta, dipl.ing, Državni hidrometeorološki zavod, 10000 Zagreb, Grič 3



Rad 4.54.

Hidrogeokemijska obilježja izvora Bulaž u Istri

Tatjana Vlahović, Sanja Kapelj

SAŽETAK: Za promatranje utjecaja okoliša na krške vodonosnike, uz geološka, hidrološka i hidrogeološka istraživanja, te trasiranja podzemnih voda postaje posebno važno proučavanje i detaljno snimanje kakvoće podzemnih voda. Podaci o kakvoći podzemne vode u sebi sadrže dvije vrste informacija od kojih se jedna odnosi na njen prirodni kemijski sastav, a druga na njenu promjenu uslijed antropogenog utjecaja. Način prikazivanja rezultata i značaj snimanja kakvoće vode, i to posebice onih pokazatelja koji izražavaju njen prirodni kemijski sastav prikazan je na primjeru izvora Bulaž u Istri. Prirodni kemijski sastav podzemne vode posljedica je hidrogeokemijskog facijesa, te se na osnovu njega interpretiraju uvjeti pojavljivanja izvora i porijeklo vode. Hidrogeokemijska obilježja izvora prikazana su tablično i grafički, i to u vidu korelacije osnovnih parametara u podzemnoj vodi, uvjeta zasićenosti, te kretanja određenih parametara u funkciji vremena.

KLJUČNE RIJEČI: hidrogeokemija, krš, podzemna voda

Hydrogeochemical Characteristics of the Bulaž Spring in Istria

SUMMARY: In addition to geological, hydrological and hydrogeological investigations and groundwater routing, detailed surveying of the groundwater quality is becoming particularly important for monitoring of environmental impact on karst aquifers. Groundwater quality data contain two types of information - one regarding water natural chemistry and the other its modifications caused by anthropogenic impacts. The method of results presentation and documenting of importance of water quality surveying, particularly with respect to the indicators showing its natural chemistry, is shown on an example of the Bulaž spring in Istria. Natural chemistry of the groundwater is a consequence of hydrogeochemical facies, and it is used for interpretation of conditions under which the springs are formed and what is the origin of water. Hydrogeochemical characteristics of the spring are both tabulated and presented graphically in the form of a correlation of essential groundwater parameters, saturation conditions and trends of particular parameters as the function of time.

KEYWORDS: hydrogeochemistry, karst, groundwater

Uvod

Izvor Bulaž nalazi se na desnoj obali rijeke Mirne uz sam rub doline, kraj Istarskih toplica. Izvor je tipično krško vrelo, uzlaznog tipa, istražene dubine oko 20 m. Na površini je to jezerce promjera većeg od 50 m što ovisi o vodostaju na izvoru. Pojava izvora predisponirana je kontaktom fliša i krednih vapnenaca, no voda se pojavljuje na kontaktu krednih vapnenaca i aluvijalnih naplavina rijeke Mirne, koje se sastoje od prašinaste gline s lećama zaglinjenog pijeska.

Izvor Bulaž drenira vode iz karbonatnog zaleđa, koje se proteže sjeverno i sjeverozapadno od izvora i iz fliškog područja sjeverno od vapnenačke visoravni. Površina i granice slijeva izvora određene su na osnovi geoloških i strukturnih odnosa u terenu, hidrogeološke funkcije stijena, hidrogeoloških pojava, te rezultata trasiranja podzemnih voda, a potvrđena je na osnovu hidroloških veličina, tj. odnosa padalina koje padnu i otječu (Magdalenić i dr. 1987). Takva površina slijevnog područja izvora iznosi 105 km², od čega na krško područje otpada oko 43 km², a fliško 62 km². Novija istraživanja povezana s problemima povećanja korištenja podzemnih voda i problemima ugroženosti podzemnih voda u uvjetima prometnog i općega gospodarskog razvitka kraja pokazala su da je to područje koje zahvaća predjele pretežitog dreniranja prema izvoru, odnosno da dio voda pri visokim vodostajima otječe površinski, a dio podzemnih voda otječe i prema drugim izvorima, pa prema tome razvođe ima zonarni karakter (Urumović i dr., 1995, 1996, 1997). Stoga i slijevno područje izvora može znatno premašiti površinu ustanovljenu trasiranjima ponora (Vazdar & Urumović, 1995), a ta okolnost upućuje na proučavanje i detaljno snimanje kakvoće podzemnih voda, ali ne samo onih pokazatelja koji izražavaju njenu promjenu uslijed antropogenog utjecaja, već i onih koji izražavaju njen prirodni kemijski sastav.

Prikaz hidrogeokemijskih obilježja izvora

Hidrogeokemijska obilježja izvora bit će u daljnjem tekstu prikazana grafički i to u vidu korelacije osnovnih parametara u podzemnoj vodi i kretanja određenih parametara tijekom godine. U korelacijskim odnosima, koncentracije otopljenih tvari u vodi prikazane su u *mgekv/l*, a koeficijenti korelacije (*r*) izračunati su prema Spearman - *u*, pri čemu $r \hat{=} 0,5 < 0,99$ predstavlja jasnu korelacijsku vezu, $r \hat{=} 0,5 < 0,75$ slabu ovisnost, a $r < 0,5$ predstavlja naznačenu korelacijsku vezu (Lecher, 1982). Električna vodljivost, zbog nedostatka podataka, dobivena je računskim putem prema relaciji *l mgekv/l kationa* = 100 *μS/cm*. Indeksi zasićenosti kalcitom (*SI_{kalcit}*) i dolomitom (*SI_{dolomit}*), te *log pCO₂* izračunati su pomoću geokemijskog modela NETPATH (Plummer i dr., 1994). Pri tome za *SI=0* postoji termodinamička ravnoteža između vodene otopine i krute faze; *SI<0* ukazuje na nezasićenost određenom mineralnom fazom i *SI>0* ukazuje na zasićenost vodene otopine određenom mineralnom fazom, pri čemu *SI<0,3* predstavlja slabu zasićenost, a *SI=0,3-0,7* jaku zasićenost (Appelo & Postma, 1994).

Opće hidrogeokemijske značajke izvora

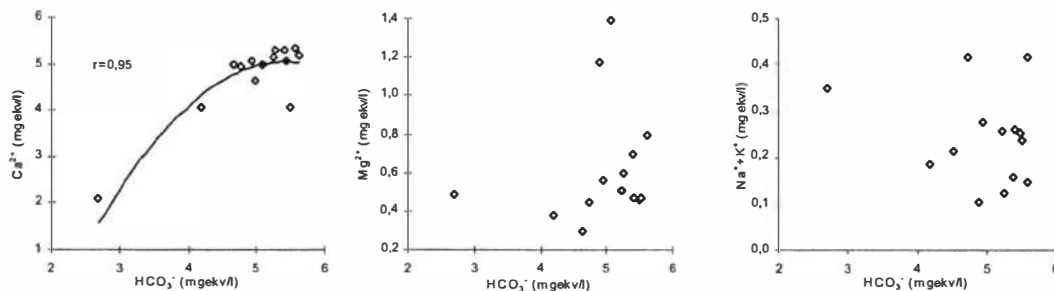
U kišnom razdoblju voda na izvoru se zamućuje i tada je koncentracija suspendiranih čestica veća od dopuštene, a može biti čak i 1300 mg SiO₂/l. Koncentracija vodikovih iona, pH kreće se od 7,0 do 8,4. Isparni ostatak je u širokim granicama od 115 do 833 mg/l, kao i suspendirane tvari, od 2,8 do 238 mg/l. Potrošnja KMnO₄ je također dosta promijenljiva, od 0,6 do 8,22 mg O₂/l. Biološka potrošnja kisika je u granicama od 0,21 do 6,86 mg/l. Sadržaj otopljenog O₂ u vodi je od 7,08 do 15,43 mg/l, a otopljenog CO₂ od 2,0 do 34,0 mg/l. Silicij se u vodi nalazi u koncentraciji od 0,8 do 13,1 mg/l SiO₂. Kako na kemijski sastav voda u krškim vodonosnicima najviše utječu parcijalni pritisak CO₂ u tlu i nezasićenoj zoni i otapanje karbonatnih minerala (kalcita, dolomita), pretežiti anioni u vodi izvora Bulaž su hidrogenkarbonati, i kreću se u koncentracijama od 164,7 do 366,7 mg/l, a pretežiti kation je kalcij, a nalazi se u rasponu od 41,7 do 109 mg/l, dok sadržaj magnezija varira od 2,15 do 16,94 mg/l. Sadržaj hidrogenkarbonata u vodenoj

otopini predstavlja dio karbonatne tvrdoće koja u rasponu od 6,5 do 8,5 pH predstavlja dominantan pokazatelj tvrdoće, a ona se kreće od 8,17 do 20,72 °nj. Sadržaj klorida iznosi od 5,33 do 53 mg/l, a sulfata od 5,3 do 34 mg/l. Vrijednosti električne vodljivosti nalaze se u rasponu od 273 do 882 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Ionski odnosi

Provedenom korelacijskom analizom osnovnih kationa i aniona u podzemnoj vodi dobiveni su slijedeći rezultati:

- Ioni hidrogenkarbonata i kalcija pokazuju jasnu međusobnu ovisnost ($r=0,95$) gdje povećanjem jednog raste i koncentracija drugog parametra u vodi (sl.1.). Stoga se nameće zaključak da je porijeklo Ca^{2+} vezano za otapanje karbonatnih minerala, i to najvećim dijelom kalcita u vapnencima, a manjim dijelom i kalcita u karbonatnoj frakciji fliša. Veza i Mg^{2+} nije jednoznačna, te između ova dva parametra nije dobivena korelacijska veza. Naime, povećanjem sadržaja Mg^{2+} do vrijednosti od 0,8 mg/ekv/l raste i sadržaj HCO_3^- , nakon čega daljnje povećanje Mg^{2+} nema utjecaja na koncentraciju HCO_3^- (sl.1.) Povećana koncentracija Mg^{2+} zabilježena je u hidrološkom minimumu, i to kako ljetnom, tako i zimskom, a dijelom je odraz uvjeta u dubljim dijelovima vodonosnika koji omogućavaju alteraciju Mg - alumosilikata koji čine sastavnu komponentu fliških naslaga, a dijelom se može dovesti u svezu s utjecajem termomineralnog izvora u Istarskim toplicama. Između HCO_3^- i Na^+ i K^+ također nije dobivena korelacijska veza, ali povećane koncentracije Na^+ i K^+ povezane su s većim koncentracijama HCO_3^- i karakteristične su za kišno razdoblje (sl.1.). To upućuje na izluživanje natrija i kalija iz fliškog pokrova koji u svom sastavu ima Na i K alumosilikate.

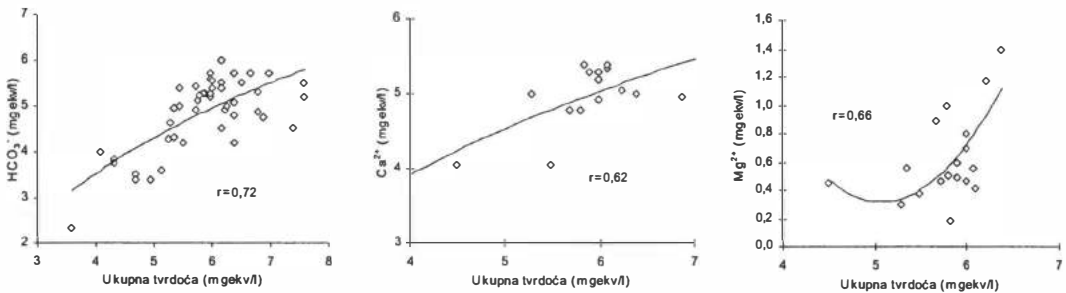


Slika 1. Dijagrami korelacije hidrogenkarbonata i osnovnih kationa u vodi izvora Bulaž

- Između Cl^- i Ca^{2+} , te Cl^- i Na^+ i K^+ dobivena je slaba korelacijska veza ($r=0,56$, odnosno $r=0,54$), dok između Cl^- i Mg^{2+} veza je tek naznačena, ali je u ljetnom minimumu naglašen trend porasta Mg^{2+} sa povećanjem Cl^- , što ide u prilog mogućnosti utjecaja Istarskih toplica čija voda prema svom sastavu odgovara $\text{NaCaMg} - \text{ClSO}_4\text{HCO}_3$ tipu vode. Odnos $(\text{Na}^++\text{K}^+)/\text{Cl}^-$ je uglavnom veći od 0,55, a kako ima slučaja kada smanjenjem sadržaja klorida raste sadržaj natrija i kalija to upućuje na porijeklo ovih kationa za neki drugi izvor, npr. hidrolizu Na i K alumosilikata (Hem, 1985).
- SO_4^{2-} pokazuju slabu korelacijsku vezu s Ca^{2+} ($r=0,51$), dok između SO_4^{2-} i Mg^{2+} , te Na^+ i K^+ nema korelacijske veze. Dok s jedne strane postoji tendencija porasta sadržaja

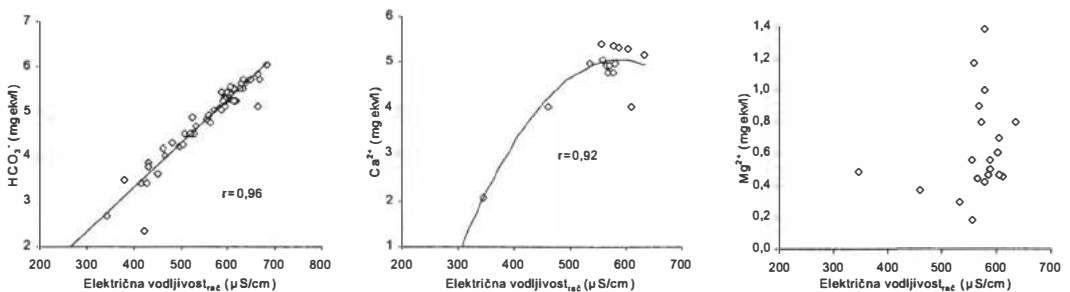
Mg^{2+} s porastom koncentracije SO_4^{2-} , to s druge strane povećan sadržaj Mg^{2+} u hidrološkom minimumu nije povezan s povećanom koncentracijom SO_4^{2-} .

4. Između glavnih aniona u vodi nije dobivena korelacijska veza. Zamijećeno je da znatnim povećanjem Cl^- u ljetnom razdoblju sadržaj HCO_3^- se smanjuje, ali ne utječe bitnije na smanjenje koncentracije SO_4^{2-} u vodi.
5. Ukupna tvrdoća vode i HCO_3^- pokazuju slabu ovisnost ($r=0,72$), dok između SO_4^{2-} i ukupne tvrdoće, te Cl^- i ukupne tvrdoće ne postoji korelacijska veza. Između ukupne tvrdoće vode i Ca^{2+} i Mg^{2+} dobivena je slaba korelacijska veza ($r=0,62$ i $r=0,66$), dok s Na^+ i K^+ , ukupna tvrdoća ne pokazuju nikakvu ovisnost (sl. 2.).



Slika 2. Dijagrami korelacije ukupne tvrdoće i iona hidrogenkarbonata, te ukupne tvrdoće i iona kalcija i magnezija u vodi izvora Bulaž

6. Električna vodljivost i HCO_3^- pokazuju jasnu ovisnost ($r=0,96$), dok sa SO_4^{2-} i Cl^- električna vodljivost nije dovedena u nikakvu svezu što je pokazatelj pretežito hidrogenkarbonatnog sastava vode. Između električne vodljivosti i Ca^{2+} dobivena je jasna korelacijska veza ($r=0,92$), dok s Mg^{2+} i Na^+ i K^+ nije dobivena korelacijska veza, izuzev što postoji tendencija porasta električne vodljivosti s porastom Mg^{2+} (sl.3.).



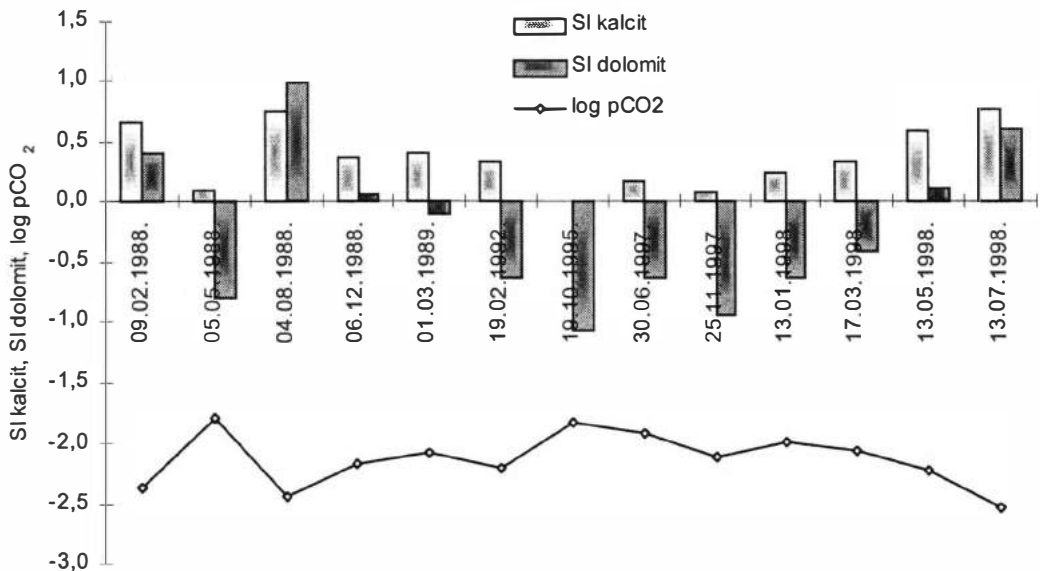
Slika 3. Dijagrami korelacije električne vodljivosti i iona hidrogenkarbonata, te ukupne tvrdoće i iona kalcija i magnezija u vodi izvora Bulaž

7. Korelacijska veza između dva glavna kationa u vodi (Ca^{2+} i Mg^{2+}) ne postoji. Ca^{2+} se pretežito kreće u granicama od 5,0 do 5,5 mgekv/l, dok Mg^{2+} varira od 0,1 do 1,4 mgekv/l, što je odraz pretežito vapnenačkog sastava primarnog vodonosnika. Zamijećuje se značajnije smanjenje sadržaja Ca^{2+} , ali ono nije imalo utjecaja na koncentraciju Mg^{2+} u vodi, budući da je do smanjenja koncentracije Ca^{2+} došlo zbog taloženja kalcita ($CaCO_3$).

Uvjeti zasićenosti

Na osnovu provedenog proračuna geokemijskim modelom o uvjetima zasićenosti i promjenama parcijalnog pritiska CO₂ dobiveni su slijedeći rezultati (sl. 4.):

1. Podzemna voda pokazuje porast parcijalnog pritiska CO₂ tijekom hidrološkog maksimuma kada se prolaskom kroz tlo voda obogaćuje s CO₂ nastalim raspadom organske materije i respiracijom bilja.
2. Podzemna voda je slabo zasićena do zasićena kalcitom. Do smanjenja zasićenosti dolazi tijekom hidrološkog maksimuma zbog razrijeđenja sa svježim infiltriranim padalinama. Za vrijeme hidrološkog minimuma izvor Bulaž, ukoliko nema crpljenja, ponaša se poput otvorenog vodotoka tipa jezera, gdje u površinskim dijelovima uslijed povišene temperature vode dolazi do gubitka CO₂, što dovodi do porasta zasićenja kalcitom, te taloženja i smanjenja koncentracije Ca²⁺ i HCO₃⁻ u vodi. Dio HCO₃⁻ vjerojatno koristi i fitoplankton za izgradnju svog skeleta. U razdoblju recesije ustanovljeno je ravnotežno stanje s kalcitom mineralnom fazom što upućuje na duže zadržavanje vode u vodonosniku i da voda koja istječe na izvoru pripada tzv. temeljnom toku ("base flow").
3. Podzemne vode su uglavnom nezasićene dolomitom, izuzev tijekom hidrološkog minimuma, i to kako ljetnog, tako i zimskog, kada postaju zasićene dolomitom, te se u vodi javlja i značajnija koncentracija Mg²⁺.



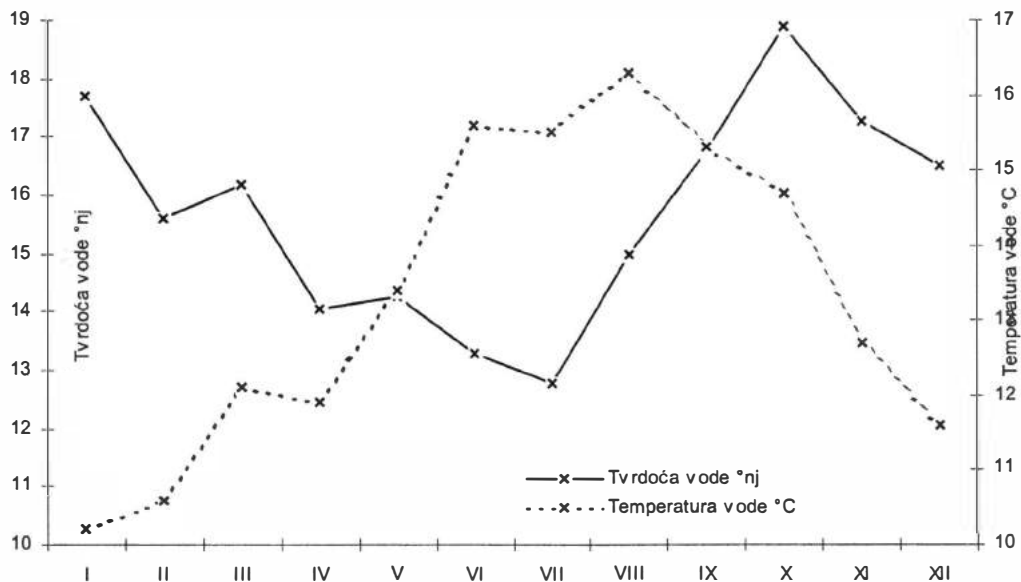
Slika 4. Promjenljivost log CO₂, zasićenosti kalcitom i dolomitom u uzorcima vode izvora Bulaž

Sezonske promjene

Temperatura vode značajan je pokazatelj područja napajanja izvorišta, budući da u krškim područjima prosječna temperatura vode odgovara prosječnoj temperaturi zraka. Izvor Bulaž pokazuje veliku promjenljivost u temperaturi vode tijekom godine (sl. 5.) što je posljedica miješanja podzemne vode s površinskim i infiltriranim padalinskim vodama.

Temperatura vode najviša je u ljetnim mjesecima, a najniža u zimskim mjesecima. Tijekom ljetnog hidrološkog minimuma izvor Bulaž ponaša se poput mase ujezerene vode, gdje se površinski sloj zagrijava na temperature i do 20°C. Tijekom vlažnijih sezona kada intenzivnije počinje dotjecati podzemna voda, temperatura se smanjuje uz popratno hlađenje zbog niže temperature zraka.

Ukupna tvrdoća vode, koja je uglavnom karbonatna, često pokazuje sezonske promjene, u skladu s vegetacijskim razdobljem i hidrološkim uvjetima (sl. 5.). Najmanja ukupna tvrdoća vode je tijekom ljetnih sušnih mjeseci, a najveća u listopadu. Naime, tijekom vegetacijskog razdoblja dolazi do postupnog akumuliranja CO₂ u tlu koji uzrokuje i porast parcijalnog pritiska CO₂ što u konačnici ima za posljedicu intenziviranje otapanja karbonatnih minerala u tlu i gornjem dijelu nezasićene zone, te alteraciju i hidrolizu alumosilikata u fliškim naslagama. Tijekom ljetnih mjeseci, u razdoblju suše, nema procijeđivanja do podzemnih voda, a pojavom prvih znatnih padalina počinje izluživanje otopljenih tvari iz tla i gornjeg dijela nezasićene zone i podzemna voda se obogaćuje s otopljenim tvarima, posebice HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, dakle raste karbonatna tvrdoća, a paralelno s tim i ukupna tvrdoća.



Slika 5. Kretanje prosječne temperature i ukupne tvrdoće vode izvora Bulaž tijekom godine

Kloridi i sulfati javljaju se u vodi u relativno niskim koncentracijama. Sadržaj klorida tijekom godine prema prosječnim mjesečnim vrijednostima vrlo je ujednačen, gotovo unutar pogreške mjerenja, a pojedini ekstremi (srpanj i rujana) mogu biti posljedica analitičke greške, antropogenog utjecaja ili najvjerojatnije utjecanja zaslanjenja iz vodonosnika Istarskih toplica. Sulfati prema prosječnim vrijednostima ne pokazuju značajnije varijacije tijekom godine. Povećane koncentracije sulfata, praćene su uglavnom i prisustvom sulfida u podzemnoj vodi, što navodi na zaključak o povremenom utjecaju Istarskih toplica na izvor Bulaž.

Zaključak

Provedene analize hidrogeokemijskih značajki izvora potvrdile su da prije određeno slijevno područje izvora Bulaž zahvaća samo područje pretežitog dreniranja vode prema izvoru, te dovele do zaključka da se radi o širem području napajanja izvora, ovisno o hidrološkim uvjetima.

Naime, tijekom kišnog razdoblja i povišenog vodostaja voda koja istječe na izvoru je uglavnom hidrogenkarbonatno – kalcijaska s relativno malim učešćem magnezija, ali s povišenim koncentracijama natrija i kalija. Kako se radi o karbonatnom vodonosniku i fliškim naslagama ovo je potpuno očekivano, budući da je porijeklo kalcija vezano za otapanje karbonatnih minerala, a porijeklo natrija i kalija veže se za hidrolizu Na i K alumosilikata iz fliških naslaga. Međutim, u hidrološkom minimumu povećan je sadržaj magnezija, te sulfata i klorida, što se dovodi u svezu s termomineralnim izvorom u Istarskim toplicama, a čemu u prilog ide i povremeno povećan sadržaj H₂S, te slaba korelacijska veza između ukupne tvrdoće i iona hidrogenkarbonata. Pojava termalnih voda vezana je za dotoke iz veće dubine, a glede sadržaja sumpora i visoke radioaktivnosti smatra se da vode pritječu s juga, odnosno iz područja Pazinskog paleogenskog bazena (Kuhta, 1996), pa se nameće zaključak da dio vode u određenim hidrološkim uvjetima i izvor Bulaž dobiva iz središnjeg dijela Istre.

Doda li se k tome, da je akcidentno prodiranje nafte u slovenskom Krasu uzrokovalo trajniju i relativno široku regionalnu degradaciju kakvoće podzemne vode (Urumović & Vlahović, 1999), zaključuje se da izvor Bulaž dio vode dobiva i s visokih planinskih predjela, odnosno s područja Čičarije.

Iz svega navedenoga, zaključno se može istaknuti da se izvor Bulaž napaja na užem slijevnom području tijekom kišnog razdoblja i pri povišenim vodostajima, budući da su tokovi podzemne vode brzi i orijentirani na okršenu gornju zonu vodonosnika, dok u sušnom razdoblju slijev izvora se postupno širi prema dijelovima vodonosnika u kojima je otjecanje smanjeno relativno nižom regionalnom propusnošću naslaga, te voda koja tada istječe na izvoru pripada tzv. temeljnom toku ("base flow") i obilježena je relativno dužim vremenom zadržavanja u vodonosniku.

Literatura

- Appelo, C.A.J. & Postma, D.*: Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema, 536 pp., Rotterdam.
- Hem, J.D.*: Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of natural Water. U.S. Geological Survey Water – Supply Paper 2254 (3th ed.), 263, Washington, 1985.
- Kuhta, M.*: Analiza utjecaja razine izvora Bulaž na temperaturu termalnih voda Istarskih toplica. Arh. IGI, Zagreb, 1996.
- Lecher, K.*: Stochastik in der Hydrologie. Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Paul Parey Verlag, Hamburg/Berlin, 241-266, 1982.
- Magdalenić, A., Bonacci, O. & Jurak, V.*: Sliv izvora Bulaž u središnjoj Istri. Krš Jugoslavije, 12/1, 1 - 26, Zagreb, 1987.
- Plummer, L.N., Prestemon, E.C. & Parkhurst, D.L.*: An interactive code (NETPATH) for modelling net geochemical reactions along a flow path, Version 2.0. USGS, Water – Resources Investigation Report, 96-4169, Reston, Virginia, 1994.

- Urumović, K., Vazdar, T., Dragičević, I. & Hlevnjak, B.:* Hidrogeološka studija o ugroženosti izvora Sv. Ivan, Bulaž i Mlini. Preliminarno izvješće. Arh. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 1995.
- Urumović, K., Vazdar, T., Dragičević, I. & Hlevnjak, B.:* Hidrogeološka studija o ugroženosti izvora Sv. Ivan, Bulaž, Mlini i Gradole. Konačno izvješće. Arh. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 1996.
- Urumović, K., Vazdar, T., Dragičević, I. & Tomljenović, B.:* Environmental Impact on Karstic Aquifers in Istria in Western Croatia. Proceedings 5th International Symposium and Field Seminar on Karst Waters and Environmental Impacts, Beldibi - Antalya, Turkey, 10-20. September 1995, 45-53, Balkema, Rotterdam, 1997.
- Urumović, K. & Vlahović, T.:* Hidrogeološka studija. Interpretacija učinka zagađenja na Obrovu na izvore u središnjoj Istri. Arh. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 1999.
- Vazdar, T. & Urumović, K.:* Hidrogeološka interpretacija utjecaja okoliša na krške vodonosnike središnje Istre. Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa s međunarodnim sudjelovanjem, Opatija, knj. 2, 635-640, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 1995.

Autori:

Mr.sc. Tatjana Vlahović, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu

Dr.sc. Sanja Kapelj, Institut za geološka istraživanja, Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.55.

Pristup istraživanju utjecaja poljoprivrede na krški izvor

Janislav Kapelj, Sanja Kapelj, Slobodan Miko

SAŽETAK: Na krškom izvoru Turanjsko jezero kod Biograda na moru, izveden je vodozahvat. Crpilište se nalazi u Vranskom polju, a gotovo 40% površine sliva izgrađuju naslage s međuzrnskom poroznošću, na kojima se odvija intenzivna poljoprivredna djelatnost, što je značajni aktivni izvor onečišćenja tla, a potencijalno i podzemne vode. Smatramo da pristup problematici zaštite ovog crpilišta treba biti znatno složeniji, nego što je to uobičajeno kod sličnih istraživanja u krškim terenima. Opseg i metodologiju potrebno je prilagoditi situaciji i realnim uvjetima na terenu. Cilj ovog rada je naglasiti potrebu korištenja i geokemijskih metoda i rezultata, na temelju kojih je, uz ostalo, moguće ostvariti naizgled suprotstavljene ciljeve: optimalnu i dugoročnu zaštitu crpilišta pitke vode, uz istovremeni kontrolirani razvitak poljoprivredne djelatnosti.

KLJUČNE RIJEČI: hidrogeologija, krš, poljoprivreda, zaštita voda, geokemija

Impact of Agriculture on Karst Springs - An Approach

SUMMARY: An intake structure was built at the Turanjsko Jezero karst spring near the town of Biograd na Moru. The well field is located in the Vranjsko Jezero Lake, and almost 40% of the catchment area is built of deposits with intergranular porosity used for high-input agriculture which poses a significant active source of soil and potentially groundwater contamination. In our opinion, the protection issues related to this well field should be approached in a more complex way than it is usually done for similar investigations conducted in karst. The scope and methodology should be tailored to the actual field conditions. The present paper is aimed and underscoring the need for use of geochemical methods and results which, among other, enable fulfillment of apparently opposed objectives: optimum and long-term protection of potable water well field and controlled development of agricultural sector.

KEY WORDS: hydrogeology, karst, agriculture, water protection, geochemistry

1. Uvod i dosadašnja istraživanja

Posljednjih se godina u zaleđu Biograda na moru ulažu značajni naponi na poboljšanju vodoopskrbe. Nakon i pored izgradnje regionalnog vodovoda sjeverne Dalmacije, nastoji se iskoristiti i lokalne izvore podzemnih voda na području Vranskog polja. To su izvori Turanjsko jezero, Begovača, Biba i Kutijin stan (bušeni zdenac). U ovom ćemo se radu koncentrirati na problematiku krškog izvora Turanjsko jezero, koja je donekle specifična budući da se u većem dijelu neposrednog sliva odvija poljoprivredna djelatnost. Problematiku utjecaja poljoprivrede na podzemne vode u kršu podstaknuo je Fritz (1993). Potom su slijedila hidrogeološka istraživanja na području Biograda (Biondić, et al., 1995; Kapelj et al, 1995,1998) u sklopu kojih su izvršena mjerenja hidrokemijskih pokazatelja, na izvorima i izvedenim bušotinama.

2. Hidrogeološki odnosi

Na crpilištu Turanjsko jezero istjeću podzemne vode podsliva Kotarka, koji je u širem smislu dio sliva Vranskog jezera i polja. Sliv je za sada izdvojen prema litološkim, kao i dijelom strukturno-tektonskim elementima. Prostorno zauzima područje Vranskog polja i prostire se na sjeverozapad do Zemunika, Galovca i Škabrnje.

Hidrogeološka svojstva stijena

Stijene naizmjeničnih svojstava - Područje sliva dijelom je prekriveno aluvijalnim, jezerskim kvartarnim naslagama promjenjive, a u najvećoj mjeri za sada nepoznate debljine. Debljina kvartarnih, pretežito prašinsto glinovitih taložina u području crpilišta iznosi maksimalno oko 8.0 m (Benac, 1983). Prema dosadašnjim spoznajama ove kvartarne naslage su, u uvjetima krških područja, izdvajane općenito kao stijene *naizmjeničnih hidrogeoloških svojstava*. To su tipična hidromeliolirana tla, na rubovima polja eutrična smeđa tla. Do sada nema podataka o njihovom granulometrijskom i mineraloško-petrografskom sastavu, a niti drugih elemenata, na temelju kojih bi se mogla odrediti sorpcijska svojstava sedimenta u smislu zadržavanja ili usporavanja kretanja pojedinih onečišćivača.

Propusne stijene - Podlogu gore opisanih naslaga izgrađuju dobro uslojeni i okršeni vapnenci gornjokredne (K_2^3), i eocenske starosti ($E_{1,2}$). Ove stijene su *kolektori podzemnih voda*. Nalazimo ih u obodnim dijelovima polja, a lokalno i u samom Vranskom polju, gdje izgrađuju nizove više ili manje sekundarno razlomljenih antiklinala. U hidrogeološkom smislu spomenuti vapnenci imaju funkciju propusnih stijena.

Nepropusne stijene - Osim vodopropusnih vapnenaca, dijelove terena izgrađuju *nepropusne naslage fliša*. ($E_{2,3}$). One izgrađuju krajnji sjeverni dio sliva, područje između Zemunika i Škabrnje. Postoje indicije da su nepropusni lapori fliškog kompleksa djelom zastupljeni i ispod opisanih kvartarnih naslaga. Prostorni raspored ovih naslaga u polju za sada nije poznato na zadovoljavajućoj razini. U istraživanom području opisane fliške naslage imaju funkciju barijere kretanju podzemnih voda.

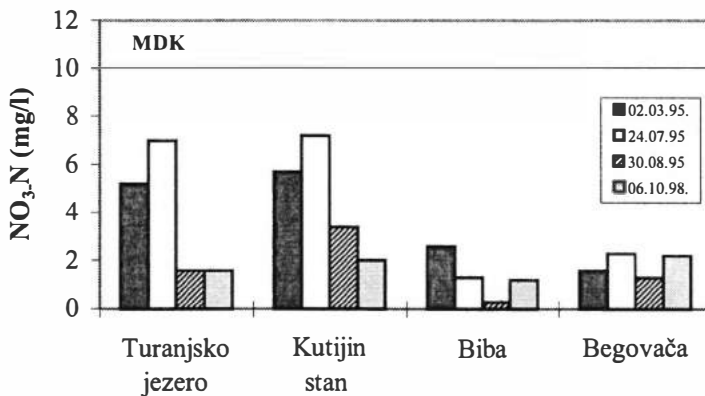
Opis crpilišta

Izvor Turanjsko jezero je krški preljevni izvor, koji istječe iz lokalne depresije kružnog oblika, promjera oko 20 m, dubine 5-6 m, u oko 8.0 m debelom aluvijalnom nanosu Vranskog polja. Ispod ovih naslaga nabušeni su dobro okršeni vapnenci gornjokredne starosti. Izvor se koristio za natapanje poljoprivrednih površina, dok je veći dio godine višak vode slobodno istjecao u glavni kanal Kotarke i u kanal Vrbiča. Tijekom 1996.god. projektiran je i započelo se sa izvedbom vodozahvata. Depresija samog "jezera" je temeljito očišćena do okršene karbonatne podloge, što je dodatno povećalo izdašnost, koja je iznosila oko 100 l/s u sušnom, dok je u kišnom dijelu godine bila i višestruko veća. Pokušaji iscrpljivanja vode iz depresije u rujnu 1996. godine, (kako bi se zahvat produbio i započelo sa izvedbom šahta), zbog velikog dotoka nije uspio, i pored korištenja više crpki ukupnog kapaciteta nekoliko stotina l/s.

3. Metodološki pristup

U tom smislu u krškim se područjima provode odgovarajuća istraživanja, i to: hidrogeološko kartiranje sliva, u cilju upoznavanja litološkog sastava stijena, strukturno-

tektonskih elemenata, zatim aktivnih i potencijalnih onečišćivača, kao što su najčešće odlagališta otpada, prometnice, i naselja bez komunalne infrastrukture. Na izdvojenom prostoru, a budući da je crpilište smješteno u sredini prostranog krškog polja, poljoprivredna se djelatnost nameće kao izraziti potencijalni izvor zagađenja ovog crpilišta, kako u neposrednom okolišu vodozahvata, tako i šire. Stanje kakvoće podzemnih voda u ovom slivu nije poznato na zadovoljavajućoj razini, jer su postojeći podaci nedovoljni za donošenje prosudbe o stvarnoj osjetljivosti vodonosnika na utjecaj poljoprivrede, kao i ostalih ljudskih djelatnosti. Dosadašnjim praćenjem pokazatelja kakvoće voda na ovom području (ZJZ, 1992-1995; Kapelj, et al, 1995) postoje mjerenja nitrata, fosfata i teških kovina, karakterističnih za kemijska sredstva koja se koriste u poljoprivredi (prirodna i mineralna gnojiva, pesticidi) (Vrba & Romijn, 1986). Prirodna razina nitrata u vodama iz krških vodonosnika izvan antropogenog utjecaja je niža od 1 mg N/l. Izuzeci su rijetki u krškom okolišu i odnose se na slučajeve povremenih i stalnih zamočvarenja krških polja i depresija u nepropusnim naslagama. Tako na primjer, izmjerene razine nitrata s izvora u Vranskom polju, Kutijin stan i Turanjsko jezero, povremeno su više od vrijednosti izmjerenih u uzorcima izvorskih voda čiji vodonosnik nije prekriven obradivim površinama - izvori Biba i Begovača (Slika 1).

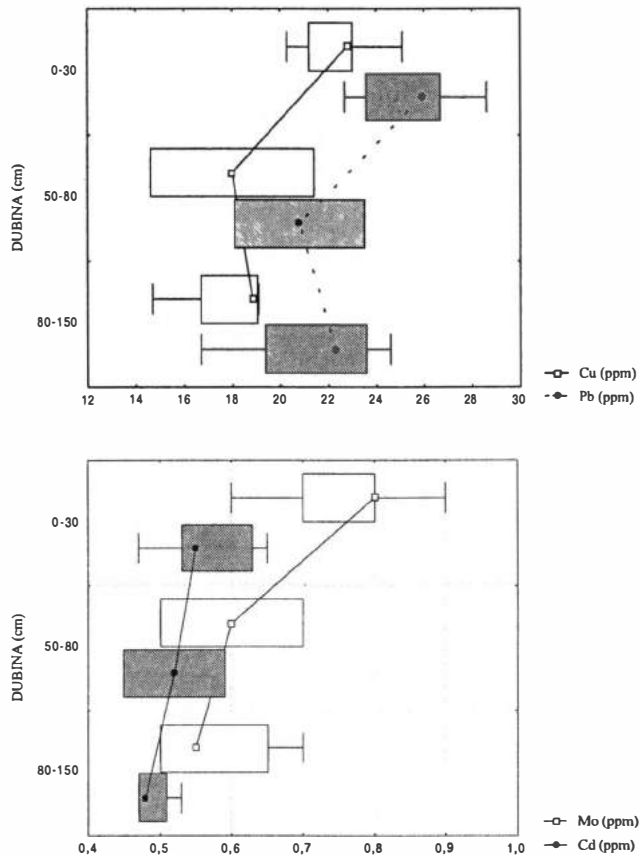


Slika 1. Sadržaj nitrata u podzemnim vodama

Tijekom razdoblja kontinuiranog praćenja sadržaja nitrata u podzemnoj vodi crpilišta Kutijin stan, primijećena je ovisnost sadržaja nitrata o općim hidrološkim uvjetima. Kroz hidrološki sušnije razdoblje, sadržaj nitrata bio je gotovo dvostruko viši nego tijekom hidrološki vlažnijih godina. Pokretljivost nitrata u krškim vodonosnicima je velika zbog vrlo male mogućnosti njihove transformacije procesima denitrifikacije u volatilne forme u uvijek dobro aeriranom okolišu. Ukoliko se onečišćenje nitratima pojavi u podzemnoj vodi krša, jedino razrijeđenje vodom (koja sadrži nisku koncentraciju nitrata) može smanjiti njihov sadržaj. Druga mogućnost za smanjenje sadržaja nitrata u podzemnim vodama u kršu nalazi se u optimalizaciji količine mineralnih gnojiva kojima se tretira određena površina i prihvatnog kapaciteta pokrova vodonosnika. U tlu i sedimentima pokrova može doći do procesa transformacije nitrata u volatilne forme i njihovog izlaska iz vodene otopine, ili do usporavanja kretanja nitrata do vodonosnika procesom sorpcije na pojedine minerale glina. Transformaciju nitrata u volatilne forme može se očekivati samo u tlu i sedimentima pokrova gdje se mogu pojaviti tzv. reduktivne mikrozone pogodne za proces denitrifikacije. Takve uvjete nije jednostavno pronaći u

pokrovima naših krških vodonosnika jer bakterije koje kataliziraju proces denitrifikacije zahtijevaju okoliš u kojem treba vladati istovremeno nekoliko uvjeta od kojih su najbitniji (Reddy & Patric, 1981; Canter, 1996): odgovarajuća temperatura, potpuno anoksična sredina, nazočnost organske materije, sitnoznost sedimenta, zasićenost vodom.

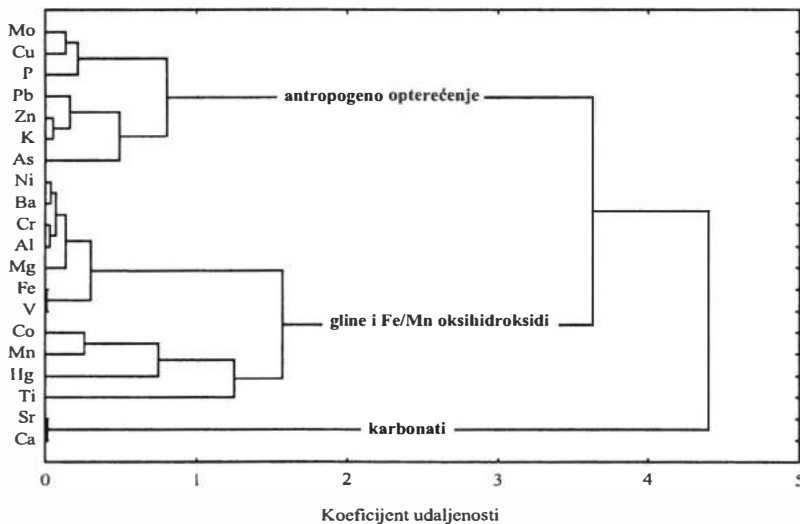
Dugotrajno korištenje mineralnih gnojiva, sredstava za zaštitu bilja i poljoprivredne mehanizacije može uzrokovati opterećenje podzemnih voda i drugim onečišćivačima, teškim kovinama, pesticidima, mineralnim uljima, fenolima i dr. Stoga je potrebno poznavati geokemijske procese koji utječu na njihovo ponašanje i transport u tlu, sedimentima pokrova vodonosnika i samom krškom vodonosniku.



Slika 2. Raspodjela Cu, Pb, Cd i Mo u tlu i aluvijalnim sedimentima pokrova krškog vodonosnika

Oko 40% površine sliva crpilišta Turanjsko jezero prekriveno je kvartarnim aluvijalnim naslagama promjenljivog prašinasto-glinovitog sastava, pa prema tome i promjenljivih hidrogeoloških svojstava, na kojima se obavlja poljoprivredna djelatnost. Istraživanja za potrebe određivanja zona sanitarne zaštite trebalo je svakako nadopuniti ispitivanjima pokrova s obzirom na njegovu sposobnost zadržavanja ili usporavanja kretanja spomenutih onečišćivača. Zbog toga je razrađen program ispitivanja doseg i prostorne

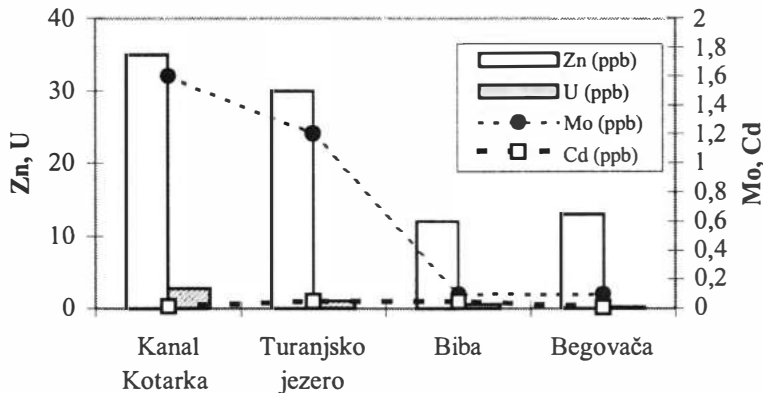
raspodjele onečišćenja u tlu, odnosno nesaturiranoj i saturiranoj zoni kvartarnog pokrova vodonosnika. U okviru toga programa za sada su ispitani: tekstura pokrova (granulometrijski sastav, mineraloško petrografski sastav, CEC) u toku je ispitivanje sadržaja organske materije u tlu, ispitivanje raspodjele N i P u sedimentu, te određivanje pokretljivosti pojedinih elemenata kemijskim ekstrakcijama, po dubini profila tla i sedimenta nesaturirane zone. Rezultati mjerenja koristit će se u konačnici kao ulazni podaci kod izrade geokemijskog modela, kao i modela njihovog transporta. Dobiveni rezultati određivanja kapaciteta kationske zamjene (CEC), pokazuju da je najveći kapacitet u najplićim dijelovima tla (38 meq/l), a s dubinom se smanjuje (15 meq/l). Zbog toga i raspodjela elemenata antropogenog porijekla po dubini profila ukazuje na njihovo najveće zadržavanje u najplićim dijelovima, dok se prema dubini njihov sadržaj smanjuje (Cd, Mo, Cu, Pb). Poznato je da male promjene npr. u kiselosti tla, stupanj aeriranosti i salinitet mogu uzrokovati remobilizaciju nekih teških kovina i njihov prodor do dubljih dijelova vadozne zone, i tako do podzemne vode (Förstner & Wittmann, 1981; Evans, 1989). Kako bi se utvrdile asocijacije elemenata koji ukazuju na opterećenje tla i aluvijalnog pokrova vodonosnika provedena je R-modalna klaster analiza. Provedena analiza omogućila je izdvajanje elemenata u tri osnovne skupine prema svom geokemijskom afinitetu i pokretljivosti: skupina elemenata koji upućuju na antropogeno opterećenje najplićeg dijela tla (Mo, Cu, P, Pb, Zn, K, As), skupina elemenata koji su odraz afiniteta pojedinih elemenata za vezanje na glinovitu frakciju sedimenta, te željezne i manganske oksihidrokside (Ni, Ba, Cr, Al, Mg, Fe, V, Co, Mn, Hg, Ti), te skupina elemenata vezana za karbonatnu frakciju sedimenta (Ca, Sr).



Slika 3. Dendrogram geokemijske sličnosti elemenata u tlu i aluvijalnim sedimentima pokrova krškog vodonosnika

Izmjereni sadržaj pojedinih teških kovina pokazuje razliku između podzemnih voda iz vodonosnika prekrivenog kvartarnim naslagama čija površina se koristi u poljoprivredne svrhe i krških vodonosnika bez pokrova. Tako su koncentracije cinka, urana i molibdena najviše u kanalu Kotarka koji prikuplja sve procjedne vode sa poljoprivrednih površina

koje prolaze kroz tlo i vadoznu zonu, te u podzemnoj vodi Turanjskog jezera. Sadržaj kadmija bez obzira na hidrogeološke i geokemijske odnose vrlo je ujednačen što se može tumačiti njegovom slabom pokretljivošću u tlu i nesaturiranoj zoni uzrokovanom njegovim afinitetom prema gotovo svim sastojcima tla i vadozne zone (organska materija, gline, oksihidroksidi, karbonati) (Kushizaki 1977; Rothbaum et al, 1986; Davis & Fuller, 1987).



Slika 4. Sadržaj Zn, U, Mo i Cd u površinskoj i podzemnoj vodi

4. Zaključci i prijedlozi

Zaključno je potrebno naglasiti da određivanje zona sanitarne zaštite u slivu (koji je geološki i hidrogeološki vrlo složen), kao što je to sliv Kotarke (kojem pripada crpilište Turanjsko jezero), ne može biti korektno izvedeno bez cjelovitog poznavanja hidrogeoloških odnosa i funkcija stijena koje izgrađuju podinu aluvijalnih kvartarnih naslaga. Nakon iznesenih podataka o hidrogeološkim odnosima, kako u širem slivu, tako i u neposrednom okolišu crpilišta Turanjsko jezero, može se zaključiti da postojeća poljoprivredna djelatnost u slivu, kojeg u znatnoj mjeri izgrađuju kvartarne naslage, otvara niz problema i nepoznanica. Predlaže se stoga i inače složenu problematiku zaštite ovog crpilišta konceptijski i metodološki postaviti i rješavati na dvije razine. Potrebno je, pored uobičajenih metoda koje se koriste prilikom izrade prijedloga sanitarne zaštite izvorišta u krškim područjima (hidrogeološko kartiranje, geofizička istraživanja, trasiranja), provesti odgovarajuća geokemijska i hidrogeokemijska istraživanja tla i aluvijalnog pokrova vodonosnika te samog vodonosnika, a dobivene rezultate koristiti pri izradi modela ponašanja i kretanja pojedinih onečišćivača. Za potrebe budućih istraživanja onečišćenja krških vodonosnika, predlaže se predvidjeti praćenje raspodjele stabilnih izotopa dušika, kisika i ugljika u tlu, vadoznoj zoni i podzemnoj vodi, zbog kvantitativne verifikacije postavljenih modela.

Ovako prikupljeni podaci o vrsti i prostornom rasporedu zagađivača u tlu, također mogu poslužiti prilikom donošenja odluka o korištenju prostora. Praćenjem geokemijskih i hidrokemijskih pokazatelja onečišćenja, te kontroliranim i stručnim korištenjem agrotehničkih sredstava, moguće je ostvariti takav razvoj poljoprivrede, koji će paralelno uvažavati i promicati zaštitu tla i izvora vode. Spomenute pokazatelje opterećenja tla i

vode uzrokovane poljoprivrednom djelatnošću potrebno je nadopuniti i praćenjem ponašanja sredstava za zaštitu bilja, čija raspodjela je ovisna o mnogim biogeokemijskim svojstvima okoliša, što zahtijeva interdisciplinarna istraživanja. Smatramo da bi ovakav pristup, omogućio bolje sagledavanje problematike, a time bi na duži vremenski rok osigurao kakvoću podzemnih voda, uz kontrolirani razvitak poljoprivredne djelatnosti.

Literatura

- Benac, Č. (1983): Crpna stanica na Turanjskom jezeru - geomehanički izvještaj. Fond Rijekaprojekta, br.10278, Rijeka.
- Biondić, B., Kapelj, J. & Kapelj, S. (1995): Preliminarni izvještaj o obilasku crpilišta pitke vode grada Biograda. Fond IGI, br.81/95, Zagreb.
- Canter, L.W. (1997): Nitrates in Groundwater, Lewis Publishers, 263 str.
- Davis, J.A. & Fuller, C.C. (1987): A model for trace metal sorption processes by calcareous aquifer sand. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 1491-1502.
- Evans, L.J. (1989): Chemistry of metal retention by soils. *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 23, No.9, 1046-1056.
- Förstner, U. & Wittmann, G.T.W. (1981): *Metal Pollution in the Aquatic Environment* Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Fritz, F. (1993): Poljoprivreda u krškim terenima u zaštitnom području izvorišta vode za piće. Zbornik radova "Savjetovanje o strategiji zaštite voda"
- Kapelj, J., Kapelj, S. & Biondić, B. (1995): Hidrogeološka istraživanja za izgradnju zamjenskih crpilišta na području Biograda. Fond IGI, br.123/95 Zagreb.
- Kapelj, J., Kapelj, S. (1997): Crpilište Turanjsko jezero kod Biograda na moru - Hidrogeološki istražni radovi za prijedlog I zone sanitarne zaštite. Fond IGI 74/97.
- Kushizaki, M. (1977): Studies on Soil Pollution by Cadmium, a Heavy Metal. *JARQ*, Vol. 11, 2, 89-94.
- Reddy, K.R. & Patric, W.H. (1981): Nitrogen Transformation and Loss in Flooded Soils and Sediments. - *CRC Critical Reviews In Environmental Control*, Vol. 13, No.4, 273-303.
- Rothbaum, H.P., Goguel, R.L., Johnston, A.E. & Mattingly, G.E.G. (1986): Cadmium accumulation in soils from long-continued application of superphosphate. *Journal of Soil Science*, 37, 99-107.
- Vrba, J. & Romijn, E. (1986): Impact of Agricultural Activities on Ground Water. *International Contributions to Hydrogeology*, Vol. 5, UNESCO, IAH- Hannover, Heise, 332 str.
- ZJZ- Zavod za javno zdravstvo županije Zadarske: Fizikalne, kemijske i bakteriološke analize voda sa crpilišta grada Biograda u razdoblju od 1992-1995.
- Nacr prijedloga dopune Pravilnika o zaštitnim mjerama i uvjetima za određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta vode za piće. NN br. 22/86.

Autori:

Mr. sci. Janislav Kapelj, dipl.ing.geol.

Dr. sci. Sanja Kapelj, dipl.ing.geol.

Mr. sci. Slobodan Miko, dipl.ing.geol.

Institut za geološka istraživanja - Zagreb, Sachsova 2

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*



Rad 4.56.

Ugroženost kakvoće podzemne vode na crpilištu Šibice

Željka Brkić, Ozren Larva

SAŽETAK: Crpilište Šibice smješteno je jugozapadno od Zaprešića, na lijevoj obali rijeke Save. Nalazi se u okruženju poljoprivrednih površina, naselja bez rješene odvodnje otpadnih voda, te nizvodno od značajnih idustrijskih pogona. Iako postoje zone sanitarne zaštite crpilišta, zakonodavne norme koje su propisane Pravilnikom teško su primjenljive. Zbog rubnih uvjeta vodonosnika, njegovih hidrogeoloških svojstava i brojnih izvora onečišćenja, ugroženost kakvoće podzemne vode iznimno je velika. Kao posljedica toga u podzemnoj vodi se nalaze visoke koncentracije ukupnih i mineralnih ulja, željeza i mangana, te nitrata. U radu su prikazani njihovi trendovi tijekom posljednjih osam godina. Provedena istraživanja omogućila su ocjenu utjecaja pojedinih onečišćivača na kakvoću vode, a na osnovi toga i prioritet njihove sanacije. Budući da se zapaža trend smanjenja sadržaja navedenih kemijskih sastojaka u vodi, treba voditi računa da se on nastavi i u budućnosti. Jer ako se to ne dogodi, voda će se morati prerađivati, kako bi se postigla kakvoća vode koja zadovoljava propise za pitku vodu.

KLJUČNE RIJEČI: aluvijalni vodonosnik, rubni uvjeti, onečišćivači podzemne vode

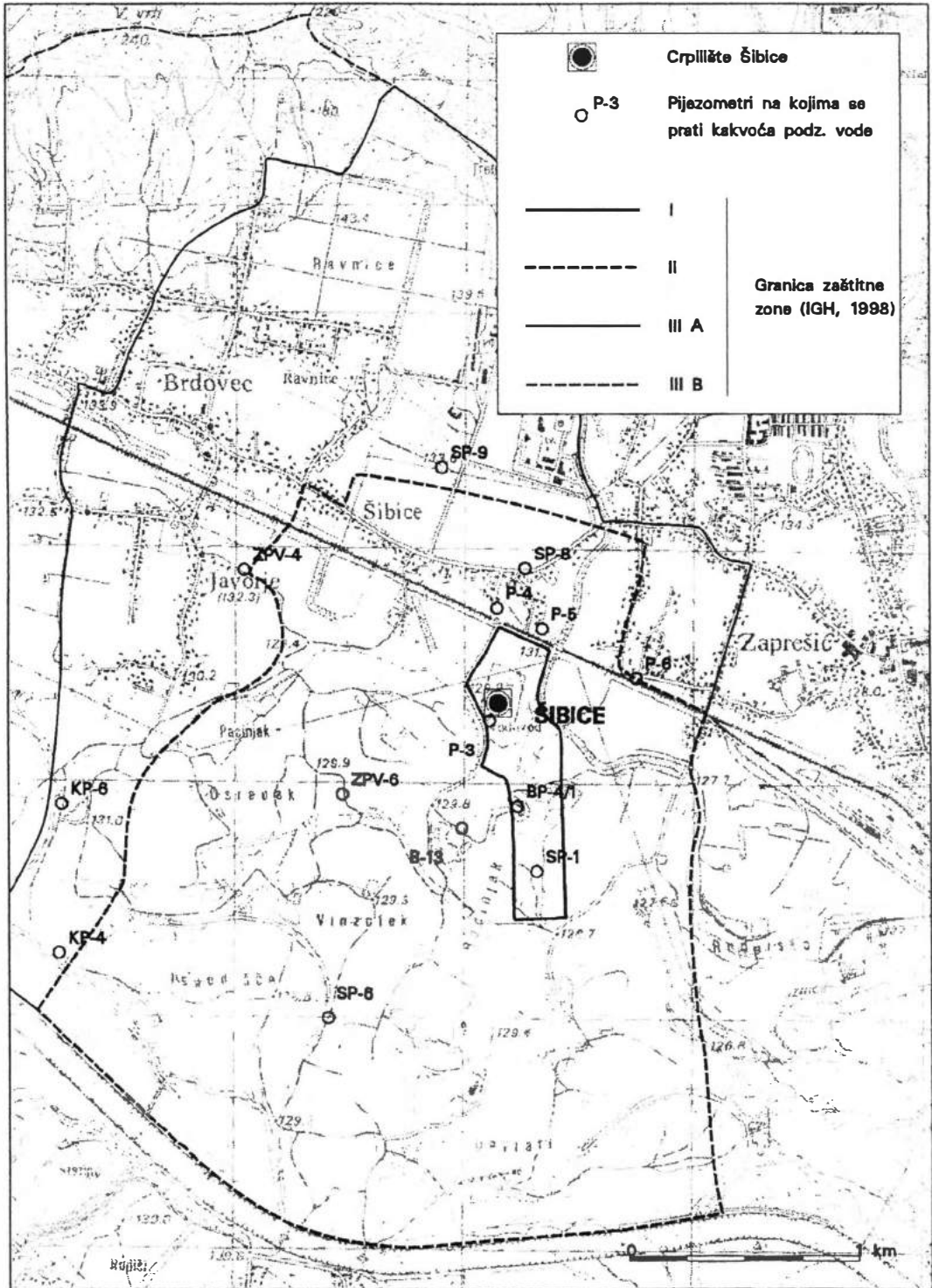
Endangered Groundwater Quality at the Šibice Well Field

SUMMARY: The Šibice Well Field is located north of Zaprešić, on the left bank of the Sava River. It is surrounded by agricultural land and settlements with unresolved waste water discharge, positioned downstream the significant industrial facilities. Although the well field sanitary protection zones have been determined, the legal requirements of the governing Code are not easy for application. Due to marginal conditions in the aquifer, its hydrogeological characteristics and numerous pollution sources, the quality of ground water is seriously imperilled. High concentrations of total and mineral oil, iron and manganese, as well as nitrates have been recorded in the groundwater. The paper shows their trends during the last eight years. The performed research has enabled an evaluation of impact of individual pollutants on water quality, using these data as the basis for prioritization of their remediation. Since a trend has been noticed of reduction in the said chemicals content in water, steps should be undertaken to see to its continuance in the future. If this does not happen, the water shall have to be treated in order to obtain the quality requested by the regulations applying to the potable water.

KEYWORDS: alluvial aquifer, marginal conditions, groundwater pollutants

1. Uvod

Istraživanja kvartarnog aluvijalnog vodonosnika u Samoborskom bazenu započinje sedamdesetih godina na osnovi kojih je izvedeno i crpilište Šibice na lijevoj obali rijeke Save, jugozapadno od Zaprešića. Iako se crpilište sastoji od osam zdenaca, crpi se samo



Slika 1. Pregledna karta crpilišta "Šibice"

iz njih pet s ukupnom količinom od oko 450 l/s. Polovica te količine koristi se za potrebe Zagorskog vodovoda, a polovica za potrebe vodoopskrbe šireg područja Zaprešića.

Crpilište ima definirane zone sanitarne zaštite (Poduzeće za projektiranje u građevinarstvu, 1988) po kojima je za II. zaštitnu zonu kriterij od 50 dana strujanja vode u podzemlju zadovoljen na zapadnoj, istočnoj i južnoj granici, ali ne i na sjevernoj. III.a zaštitna zona udaljena je 2 km od crpilišta i poklapa se s vanjskom granicom druge zone, dok III.b zaštitna zona obuhvaća cijelu lijevu obalu Save. Nakon izgradnje novih zdenaca 1991. godine, bilo je nužno odrediti i nove zaštitne zone. U tu svrhu, a ovisno o crpnim količinama i broju uključenih zdenaca, izrađen je matematički model crpilišta na osnovi kojega su analizirani uvjeti rada crpilišta za različite izdašnosti crpilišta u različitim hidrološkim uvjetima (Elektroprojekt, 1992). Temeljem rezultata matematičkog modeliranja crpilišta, načinjeno je idejno rješenje novih zona sanitarne zaštite crpilišta (Institut građevinarstva Hrvatske, 1998) za koje je u tijeku iznalaženje dozvole (slika 1). U odnosu na postojeće zaštitne zone, prema novom idejnom rješenju, druga zaštitna zona crpilišta proširena je sjeverno od željezničke pruge, te zahvaća veći dio naselja Šibice čime se unutar granica druge zone našlo znatno više izvora onečišćenja podzemne vode.

2. Geološki i hidrogeološki uvjeti aluvijalnog vodonosnika

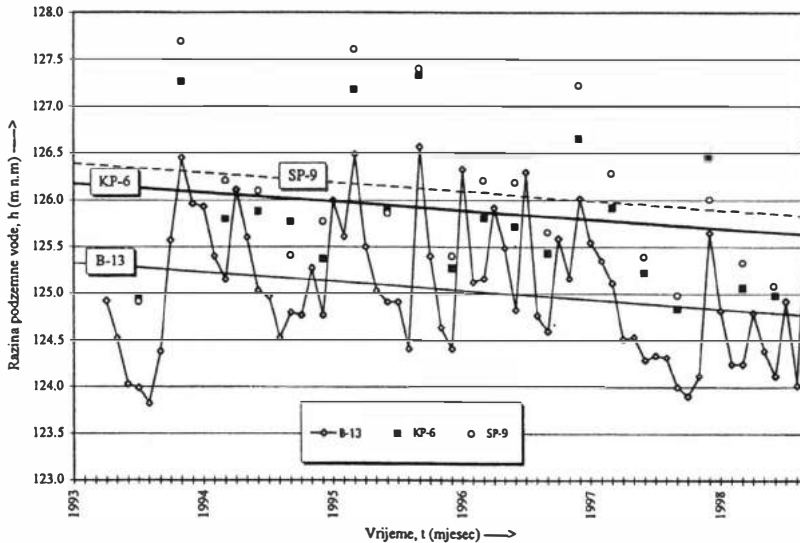
Crpilište Šibice nalazi se na sjevernom rubu lokalne spuštene strukture koja je nastala kao posljedica izdizanja strukturne jedinice Žumberačka gora-Medvednica. Izdizanje je izazvalo povećanu eroziju što je uzrokovalo nastanak žljebaste uleknine orijentirane približno sjeveroistok-jugozapad u kojoj je omogućena sedimentacija srednjopleistocenskih naslaga, koje su uzvodno, a dijelom i nizvodno od nje erodirane, zbog čega najmlađi, holocenski savski šljunak leži neposredno na miocenskim naslagama (Velić & Saftić, 1991).

Maksimalna debljina kvartarnih naslaga u uleknini doseže 54 m i to na području Strmca, na desnoj obali rijeke Save, dok na području crpilišta Šibice doseže debljinu između 15 i 20 m. Unutar kvartarnih naslaga formiran je aluvijalni vodonosnik sastavljen od šljunka i pijeska. Pojedine valutice šljunka dosežu promjer i do 300 mm, a njihova veličina, kao i veličina zrna pijeska s dubinom se smanjuje. Unutar šljunka i pijeska nalaze se primjese praha i nešto gline. Udaljavajući se od crpilišta prema zapadu debljina vodonosnika se smanjuje, pa kod Drenja iznosi oko 10 m. Prosječna hidraulička vodljivost vodonosnika doseže oko 3000 m/dan, a specifična izdašnost zdenaca prelazi 10 l/s/m². No, i pored iznimno dobrih hidrogeoloških svojstava vodonosnika, na crpnu količinu podzemne vode na crpilištu utječe relativno mala debljina šljunkovitog vodonosnika.

Iznad vodonosnika leže polupropusne naslage sastavljene od gline i praha, te prašinstog i zaglinjenog pijeska. Debljina pokrovnih naslaga uz južni rub Marijagoričkih brda iznosi do 4 m. Idući prema Savi uočava se postupno smanjenje debljine pokrovnih naslaga, a na većem dijelu područja pokrov je predstavljen samo humusom. U podini vodonosnika su gline i lapori miocena.

Napajanje vodonosnika odvija se procjeđivanjem iz rijeke Save i infiltracijom padalina. Zbog male debljine pokrovnih naslaga, Sava je svoje korito usjekla duboko u šljunkoviti vodonosnik, čime je ostvarena neposredna hidraulička veza podzemne vode i rijeke. U gotovo svim hidrološkim uvjetima Sava i njena desna pritoka Sutla napajaju vodonosnik, dok ga Krapina drenira. Jedan od važnijih čimbenika koji utječu na napajanje vodonosnika iz rijeke Save je njen vodostaj. Temeljem provedenih hidroloških analiza,

zapaženo je sniženje vodostaja Save koje je izazvalo regionalno sniženje razina podzemne vode za gotovo 2 m (Trninić & Slamar, 1994). Pad vodostaja najvećim je dijelom rezultat građevinskih zahvata na Savi i eksploatacije šljunka, a manjim dijelom klimatskih čimbenika. Sniženje razina podzemne vode zapaža se i na priljevnom području crpilišta Šibice (slika 2).

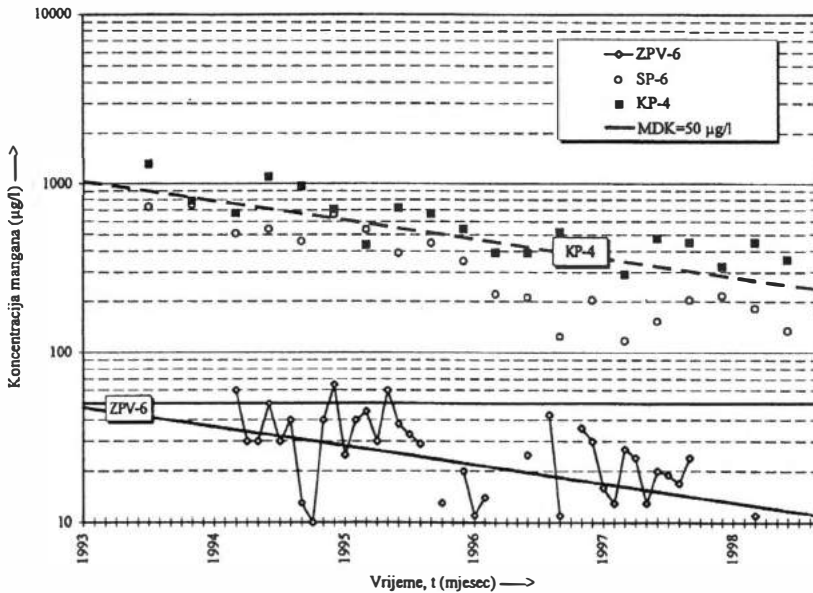


Slika 2. Razina podzemne vode na priljevnom području crpilišta Šibice

3. Kakvoća podzemne vode na priljevnom području crpilišta Šibice

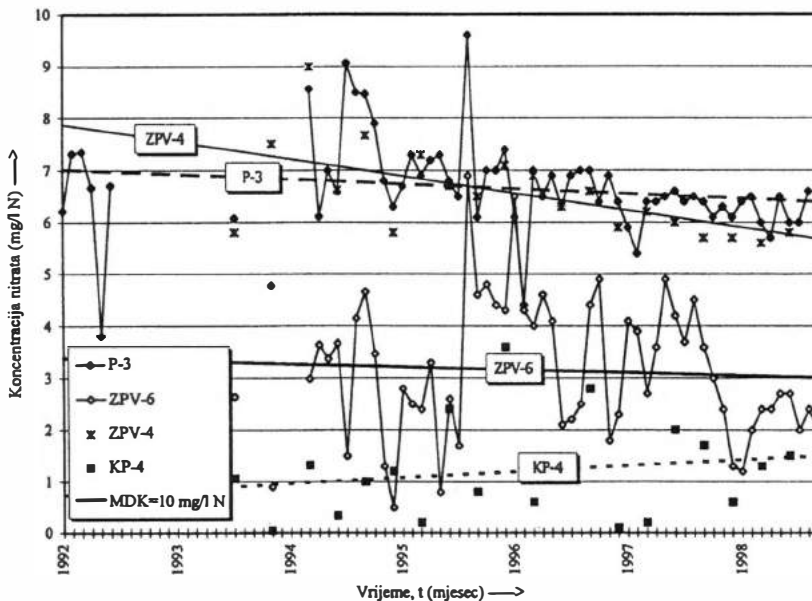
Praćenje prirodne kakvoće podzemne vode na priljevnom području crpilišta Šibice provodi se na 11 piezometara, koji su podijeljeni u dvije grupe (slika 1). U prvoj grupi nalaze se piezometri koji su locirani na približno vanjskoj granici prve zone sanitarne zaštite: P-3, P-4, P-5, P-6, B-13, ZPV-6, BP-4/1, SP-1 i SP-8 i na njima se praćenje kakvoće vode provodi jednom mjesečno. Drugoj grupi pripadaju piezometri smješteni na približno vanjskoj granici uže (druge) zone sanitarne zaštite: SP-6, KP-6, ZPV-4, KP-4 i SP-9, a uzokrovanje vode na njima provodi se četiri puta godišnje. Praćenje prirodne kakvoće podzemne vode provodi se i na crpnim zdencima, te na zbirnom hidrantu. Kemijske analize vode rade se u Zavodu za javno zdravstvo grada Zagreba.

Temeljem provedene analize kakvoće podzemne vode na piezometrima, u razdoblju od siječnja 1993. do rujna 1998. godine (Brkić & Larva, 1999), zapažene su povišene koncentracije nekoliko sastojaka koji su izdvojeni za prikaz kakvoće podzemne vode, a to su: željezo, mangan, nitrati, ukupna i mineralna ulja. Povećane koncentracije željeza, pa i iznad MDK (300 mg/l), zapažaju su na lokacijama piezometara bliže Smrdljivki i na piezometru SP-9 u Šibicama, dok se na lokacijama ostalih piezometara željezo u koncentracijama iznad 30 mg/l pojavljuje tek povremeno. U neposrednoj blizini crpilišta koncentracije mangana u podzemnoj vodi uglavnom su ispod maksimalno dozvoljenih u pitkoj vodi. Udaljavajući se od crpilišta prema jugu i jugoistoku, odnosno prema Smrdljivki, sadržaj mangana u podzemnoj vodi raste, a u razmatranom razdoblju pokazuje trend smanjenja koncentracija (slika 3).



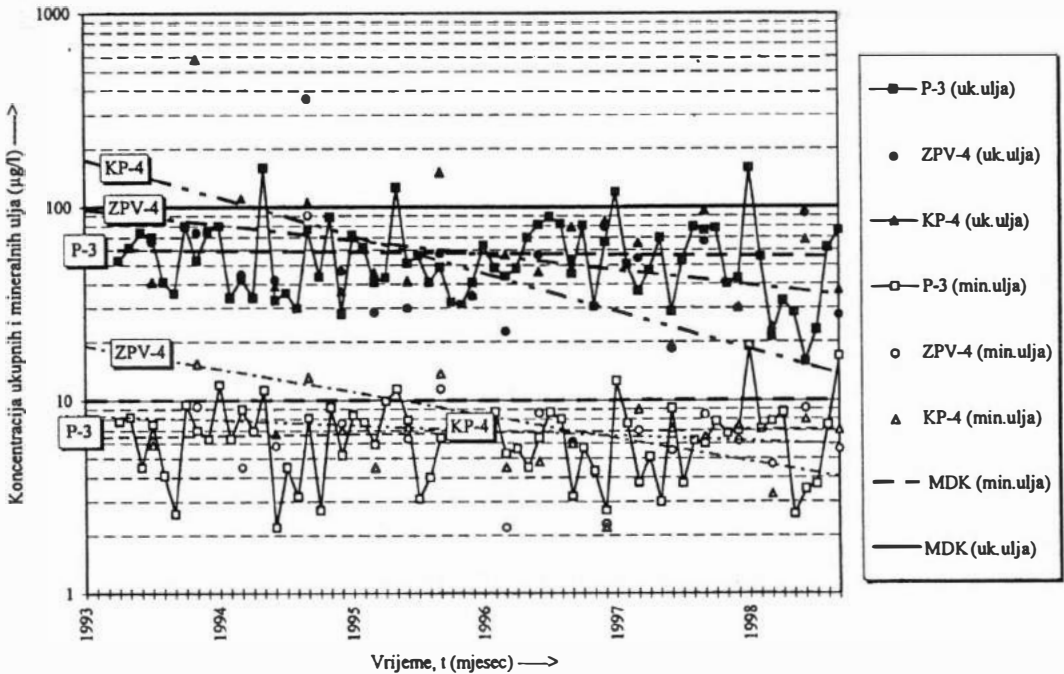
Slika 3. Koncentracija mangana u podzemnoj vodi

Sadržaj nitrata u podzemnoj vodi nije prelazio MDK niti na jednom opažaćkom mjestu tijekom razdoblja 1992-1998. godine (slika 4). Najveće koncentracije zabilježene su na piezometrima u blizini naselja, a znatno manje na piezometrima udaljenijim od naselja. Unatoč tome, na svim piezometrima zapaža se trend postupnog smanjenja koncentracija nitrata u podzemnoj vodi što je vjerojatno posljedica i smanjene uporabe agrotehničkih sredstava u poljoprivrednoj praksi.



Slika 4. Koncentracija nitrata u podzemnoj vodi

Podzemna voda priljevnog područja crpilišta Šibice sadrži i znatne koncentracije mineralnih i ukupnih ulja. Koncentracije i jednih i drugih variraju u širokom rasponu, a povremeno prelazi MDK (slika 5). Ipak, kroz cijelo vrijeme opažanja zamjetan je trend smanjenja koncentracija na lokacijama svih piezometara što upućuje na postupno poboljšanje stanja.



Slika 5. Koncentracija ukupnih i mineralnih ulja u podzemnoj vodi

Uz navedene sastojke u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Šibice zabilježen je i povećan utrošak KMnO_4 , iako postoji trend smanjenja potrošnje kisika u uzorcima vode svih piezometara. Osim povećane potrošnje kisika, u podzemnoj vodi su zapažene i povećane koncentracije fosfata, posebice u vrijeme najlošijeg stanja kakvoće podzemne vode s obzirom na ostale opažane sastojke. U vodi su također zabilježeni i organoklorni pesticidi, te atrazin. Podzemna voda također ima i lošu bakteriološku sliku zbog velikog broja ukupnih i fekalnih koliforma.

4. Zaključak

Visoki stupanj ugroženosti aluvijalnog vodonosnika crpilišta Šibice uzrokovan je hidrogeološkim uvjetima vodonosnika. Zbog male debljine pokrovnih naslaga i iznimno visoke propusnosti vodonosnika sva onečišćenja s površine vrlo brzo se infiltriraju u vodonosnik narušavajući kakvoću podzemne vode. Budući da se radi o naseljenom području, postoji veliki broj aktivnih i potencijalnih onečišćivača podzemne vode od kojih se posebno izdvajaju otpadne vode naselja, potok Smrdljivka u koju Pliva godinama ispušta svoje otpadne vode, prometnica i željeznička pruga, benzinske crpke, poljoprivredne djelatnosti, te brojna "divlja" odlagališta kućnog organskog i anorganskog otpada.

Kao posljedica njihovog utjecaja, u podzemnoj vodi priljevnog područja crpilišta Šibice zapažene su visoke koncentracije željeza, mangana, nitrata, te mineralnih i ukupnih ulja. Međutim, unatoč činjenici da niti na jednom od navedenih onečišćivača nije izveden građevinski zahvat sanacije, većina zapaženih sastojaka pokazuje trend postupnog smanjenje sadržaja u podzemnoj vodi. Jedan od uzroka je vjerojatno i sniženje razina podzemne vode zbog čega se onečišćenje zadržava u nezasićenom dijelu vodonosnika. Rezultati geokemijskih ispitivanja u blizini Smrdljivke pokazala su da se najveća koncentracija onečišćenja nalazi u gornjem dijelu naslaga (Vertačnik et al., 1995). Osim toga, i djelomično pročišćavanje otpadnih voda Plive do razine kakvoće vode koja se može upustiti u otvoreni kolektor vjerojatno je pridonijelo poboljšanju stanja. Također je znakovito i to da se na gotovo svim piezometrima zapaža trend smanjenja koncentracija nitrata što je vjerojatno posljedica smanjene uporabe umjetnih gnojiva posljednjih godina. Međutim, svakako najveći problem predstavlja neriješena odvodnja otpadnih voda.

No, što učiniti da se i u budućnosti održi trend poboljšanja kakvoće podzemne vode na priljevnom području crpilišta Šibice? U poljoprivrednoj praksi treba voditi računa o količinama agrotehničkih sredstava. Po konceptu održive poljoprivrede dozvoljena količina tih sredstava trebala bi odgovarati stvarnim potrebama biljke s ciljem sprečavanja procjeđivanja "viška" do podzemne vode. Osim toga, mogućnost biljne proizvodnje može se tretirati i za svaku zaštitnu zonu posebno, jer su zahtjevi za svako područje drugačiji (Bašić et al., 1994). Nadalje, nužno je što prije riješiti odvodnju otpadnih voda. Budući da je pripremna faza izgradnje centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda već u tijeku, bilo bi potrebno potaknuti stanovništvo na priključenje na sustav javne odvodnje. Rješavanje odvodnje padalinskih voda, koje ugrožavaju crpilište iz zaleđa, već je u tijeku. Otpad s postojećih "divljih" odlagališta treba što prije zbrinuti na za to određena područja, a mjesta odlaganja, prema potrebi, treba dekontaminirati.

Na koncu treba istaknuti da je na područjima gdje se radi o vodonosnicima s opisanim rubnim uvjetima kao na priljevnom području crpilišta Šibice, zaštita kakvoće podzemne vode vrlo složen proces koji prvenstveno treba rješavati na mjestu potencijalnog onečišćivača. Prije definiranja uvjeta gradnje nužno je odrediti vrstu onečišćenja koje može ispustiti potencijalni onečišćivač i njegovo ponašanje u vodonosniku. Za to su potrebni složeni istražni radovi kojim bi se odredili hidrogeološki i geokemijski uvjeti vodonosnika, koji utječu na proces retardacije i mobilizacije mogućih pokazatelja antropogenog utjecaja i njihov pronos vodonosnikom. Nakon izgradnje nužno je nastaviti s kontrolom provedbe predviđenih mjera i praćenjem kakvoće podzemne vode s ciljem pravovremenog djelovanja u slučaju onečišćenja i u svezi s tim svođenja onečišćenja na minimum.

Literatura

- Bašić, F., Mišetić, S & Bašić, I. (1994): Posebnost uzgoja bilja na vodozaštitnom području crpilišta Črnkovec. Priopćenja, Znan.skup: "Poljopr. i gospod. vodama", Bizovačke toplice, 233-249.
- Brkić, Ž. & Larva, O. (1999): Analiza ugroženosti kakvoće podzemne vode na priljevnom području crpilišta Šibice. Konačno izvješće. Inst. geol. istraž., Zagreb.
- Elektroprojekt (1992): Crpilište Šibice. Detaljni matematički model. Fond grada Zagreba za vodoprivredu, stambeno i komunalno gospodarstvo, Zagreb.

- Institut građevinarstva Hrvatske (1998): Crpilište Šibice. Zone sanitarne zaštite. Zagreb.
- Poduzeće za projektiranje u građevinarstvu (1988): Vodocrpilište Šibice. Studija utjecaja na okolinu, Zagreb.
- Trninić, D. i Slamar, T. (1994): Hidrometeorološka analiza šireg područja Zagreba u funkciji vodoopskrbe. Zbornik radova Savjet. o vodoop. Zagreba, Zagreb.
- Velić, J. & Saftić, B. (1991): Potpovršinska rasprostranjenost i facijesne značajke srednjopleistocenskih taložina u području između Zaprešića i Samobora. Geol. vjesnik, 44, 78-82.
- Vertačnik, A., Prohić, E., Kozar, S. & Juračić, M. (1995): Behaviour of some trace elements in alluvial sediments, Zagreb water-well field area, Croatia. Water Resources, 29/1, 237-246.

Autori:

Dr.sc. Željka Brkić, dipl.inž.geol.,

Ozren Larva, dipl.inž.geol.

Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb

E-mail: brkic@magi.igi.hr

E-mail: zeljka_brkic@hotmail.com



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.57.

Utjecaj opskrbnih voda na kakvoću voda Visovačkog jezera i Čikole

Felicita Briški, Laszlo Sipos, Nataša Zuber, Tamara Štembal, Marija Vuković

SAŽETAK: Rijeke Krka i Čikola od svog izvorišta teku kroz brojna naseljena mjesta te u svom donjem toku ulaze u područje nacionalnog parka "Krka" bogatog bučnim slapovima, ujezerenim vodama ulijevajući se na kraju u Jadransko more. Nakon jednogodišnjeg istraživanja, a na osnovi provedenih fizikalnih, kemijskih i bioloških analiza, utvrđena je podobnost jezerske vode za vodoopskrbu na tri lokacije u ujezerenim dijelovima Krke i Čikole. Međutim, lokacije odabrane za uzorkovanje vode u gornjim tokovima ovih rijeka bile su nedostupne zbog agresije na Hrvatsku. Zato je druga faza istraživanja provedena tek nakon oslobođenja ovog područja. Cilj ovog rada bio je istražiti kakvoću opskrbnih voda i njihov utjecaj na vode Visovačkog jezera i Čikole, te identificirati potencijalne onečišćivače u slivnom području kao doprinos planu prostornog uređenja i vodozaštite u Nacionalnom parku Krka. U tu svrhu je odabrano sedam lokacija za uzorkovanje vode i to od izvorišta, odnosno gornjih tokova rijeka Krke i Čikole do Visovačkog jezera i Čikole. U uzorcima vode ispitani su fizikalno-kemijski i bakteriološki pokazatelji kakvoće vode. Rezultati ispitivanja kemijskih pokazatelja u uzorcima vode pokazuju da se radi o vodi izvrsne kakvoće i da se dobivene vrijednosti značajnije ne razlikuju od rezultata istraživanja ranijih godina. Isto vrijedi i za rezultate bakterioloških analiza vode na području Nacionalnog parka Krka, izuzev lokacija u gornjim tokovima rijeka Krke i Čikole neposredno ispod naseljenih mjesta, gdje je sporadično registrirano bakteriološko onečišćenje manjeg intenziteta.

KLJUČNE RIJEČI: opskrbne vode, kakvoća prirodne vode, Krka, Čikola

Impact of Supply Water on the Visovačko Jezero Lake and Čikola River Water Quality

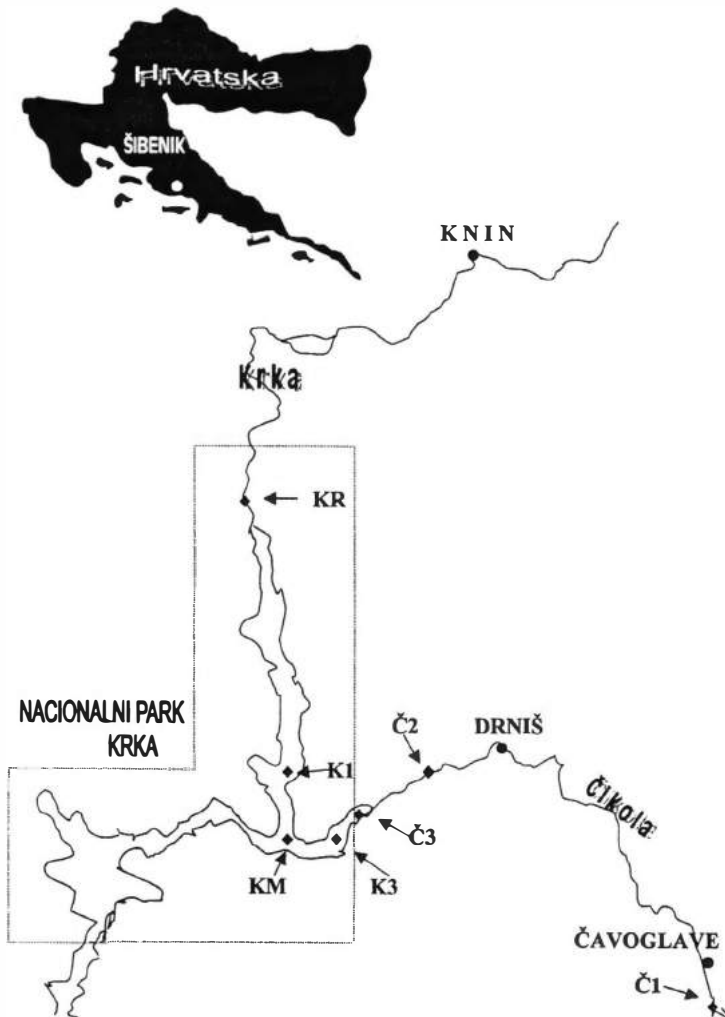
SUMMARY: Krka and Čikola Rivers run from their springs through numerous settlements and towns. In their lower stretch they enter into the Krka National Park territory with abundant waterfalls and impounded waters, and finally they flow into the Adriatic sea. One-year investigations conducted on the impounded parts of the Krka and Čikola have proven, on the basis of the results of physical, chemical and biological analyses, that the impounded water is suitable for water supply in three locations. However, locations selected for water sampling in the upper stretches of these waters had been inaccessible because of the aggression Croatia was subject to. Consequently, the second stage of the investigation was not conducted until this region was liberated. The present paper is intended to describe examination of supply water quality and its effect on water of the Visovačko Jezero Lake and the Čikola River, and to identify potential polluters within the catchment area as a contribution to the land use planning and water protection measures undertaken in the Krka National Park. To that end, seven spots were selected for sampling of water, from its spring (upper stretches of the Krka and Čikola) to the Visovačko Jezero Lake and Čikola. The water samples were tested for physico-chemical and bacteriological indicators of water quality. The results of chemical testing indicate that the water is of excellent quality and there is no change compared to

the results obtained in earlier years. The same is valid for the results of the water bacteriological analyses conducted within the area of the Krka National Park, but for the spots in the upper stretches of the Krka and Čikola Rivers, immediately downstream the populated areas where bacteriological pollution of lower intensities was detected in some spots.

KEYWORDS: supply water, natural water quality, Krka, Čikola

Uvod

Temeljne vrijednosti Nacionalnog parka "Krka" su združena obilježja prirodnih, humaniziranih i kulturnih vrijednosti. Od prirodnih obilježja su najznačajniji geološki, geomorfološki, hidrološki, biološki i pejzažni elementi. Krka predstavlja objekt znanstvenog interesa, ali ima i veliku turističku vrijednost. Zato je potrebno sačuvati izvornost ovog područja. Rijeke Krka i Čikola od svog izvorišta teku kroz brojna naseljena mjesta, pri čemu se u njih uljevaju otpadne vode, te u svom donjem toku ulaze u područje Nacionalnog parka.



Slika 1. Shematski prikaz toka rijeka Krke i Čikole i mjesta uzorkovanja vode

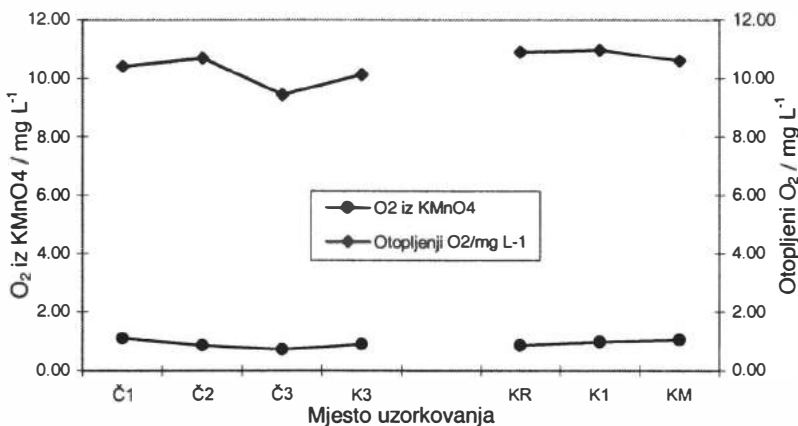
Zato se utjecaj otpadnih voda na kakvoću vode u akvatoriju NP "Krke" može procijeniti na osnovi fizikalno-kemijskih i bakterioloških pokazatelja (1, 2). Pri tome je potrebno pratiti i preživljavanje enterobakterija u prirodnim vodotocima, kao i odnos indikatora fekalnog onečišćenja (3, 4). U tu svrhu su odgovarajući pokazatelji kakvoće vode praćeni na različitim lokacijama od izvora rijeka do utoka u Nacionalni park.

Materijali i metode

U ovom istraživanju obuhvaćena su izvorišna područja i gornji tokovi rijeka Krke i Čikole do njihovih ujezerenih dijelova u NP "Krka". U Slici 1. su označena mjesta gdje su uzimani uzorci vode. Podvodna crpka (IRCEM, Italija) je upotrebljena za uzorkovanje, a maksimalna dubina na odabranim lokacijama određivana je eho-sounderom (Apelco 560, Italija). Pri tome je odmah u uzorcima vode određena vodljivost, pH-vrijednost, temperatura i otopljeni kisik (METREL, Ecolab MA 9700, Slovenija). Također su standardnom metodom (2) u uzorcima vode određeni sljedeći pokazatelji kakvoće vode: suspendirane tvari, ukupni dušik, amonijak, nitriti, nitrati, ukupni fosfor, fosfati, kloridi, sulfati i utrošak KMnO_4 . Za bakteriološku analizu vode, uzorci su sakupljeni u sterilnim staklenim bocama i čuvani na $+4\text{ }^\circ\text{C}$ do dopreme u laboratorij. Broj ukupnih i fekalnih bakterija, fekalnih streptokoka, bakterije iz roda *Pseudomonas* i *Salmonella* određeni su membranskom filtracijom (2), a ukupni broj bakterija u 1 mL vode pri $22\text{ }^\circ\text{C}$ i $37\text{ }^\circ\text{C}$ metodom razmaza na čvrstoj podlozi. Bakterije su uzgajane na hranjivim podlogama, odnosno selektivnim za određivanje enterobakterija (Biolife, Milano, Italija).

Rezultati

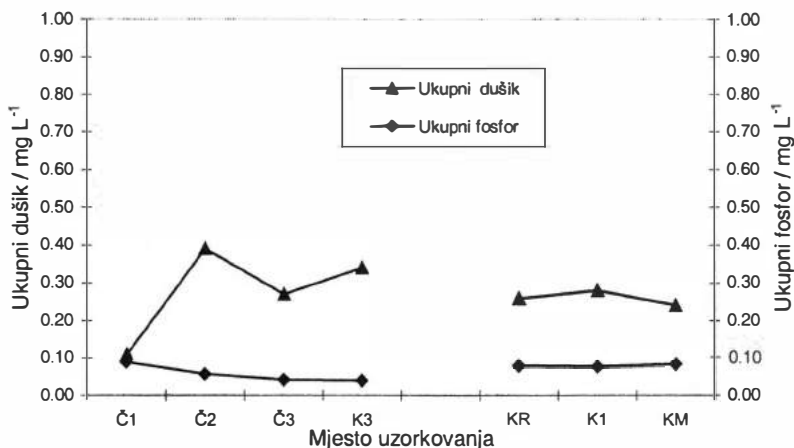
Prije svakog uzorkovanja provjerena je dubina rijeke na odabranim lokacijama Krke i Čikole, koje su iznosile od 5 m do 28 m. Uzorci vode uzimani su na dubinama 1, 5, 10, 15, 20 i 25 m. Rezultati analiza su prikazani kao srednja vrijednost vertikalnog profila rijeke. Prosječna pH-vrijednost vode bila je od 7,45 do 7,98 ovisno o lokaciji.. Neki značajniji pokazatelji kakvoće vode rijeka prikazani su u slikama 2. i 3. Tako je koncentracija otopljenog kisika u vodi bila između $9,45\text{ mg L}^{-1}$ i $11,70\text{ mg L}^{-1}$, dok je organsko opterećenje izmjereno kao utrošak KMnO_4 iznosilo od $0,71\text{ O}_2\text{ mg L}^{-1}$ do $1,1\text{ O}_2\text{ mg L}^{-1}$ (slika 2).



Slika 2. Koncentracija otopljenog O_2 u vodi i utrošak KMnO_4 na lokacijama Č1, Č2, Č3 i K3 na Čikoli i KR, K1 i KM na Krki

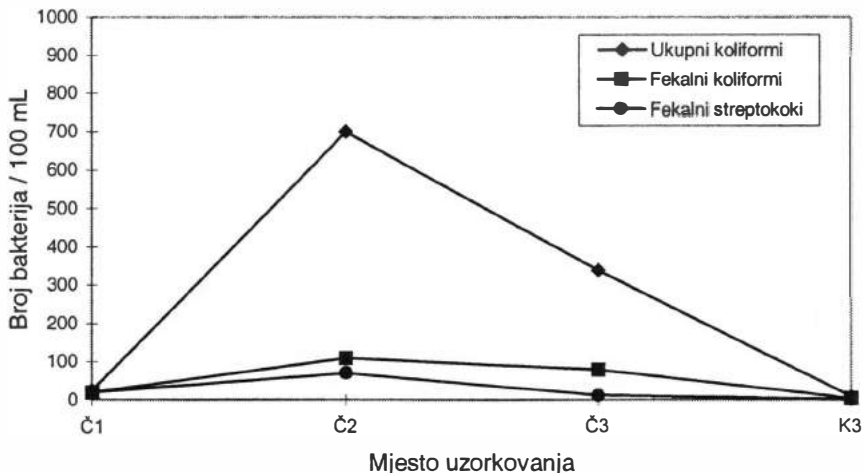
Koncentracija ukupnog dušika u vodi bila je između $0,11 \text{ mg L}^{-1}$ i $0,34 \text{ mg L}^{-1}$, a koncentracija ukupnog fosfora $0,040 - 0,087 \text{ mg L}^{-1}$ kako je prikazano u slici 3. Također su izmjerene vrlo niske koncentracije ostalih hranjivih soli dušika u vodi kao što su amonijak, nitriti i nitrati (5).

Prisutnost bakterija indikatora fekalnog onečišćenja i njihovo preživljavanje u gornjem toku rijeke, kao i u donjem dijelu u području Nacionalnog parka, prikazani su u slikama 4. i 5.



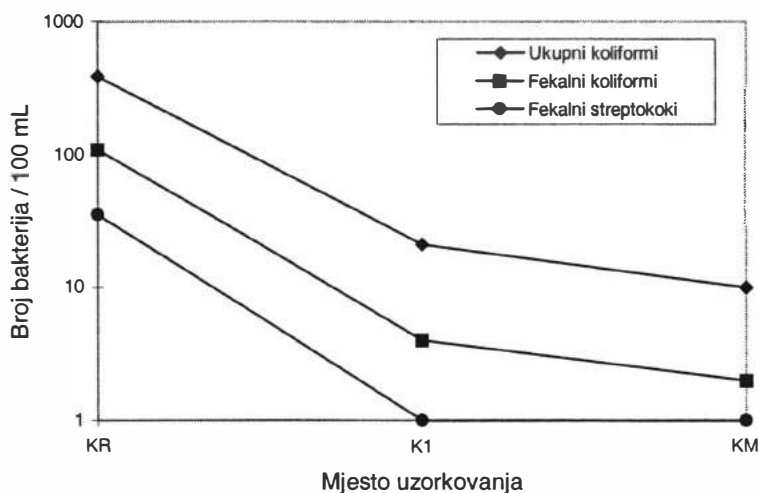
Slika 3. Koncentracija ukupnog dušika i ukupnog fosfora na lokacijama Č1, Č2, Č3 i K3 na Čikoli i KR, K1 i KM na Krki

Koncentracija ukupnih koliformnih bakterija u vodi, ovisno o lokaciji, bila je od 1×10^1 do $7 \times 10^2 / 100 \text{ mL}$. Znatno je manje bilo fekalnih koliforma u vodi, a njihova koncentracija iznosila je od samo nekoliko bakterija do najviše $1,1 \times 10^2 / 100 \text{ mL}$.



Slika 4. Broj enterobakterija u vodotoku od izvora rijeke Čikole do utoka u NP Krka

Slični su rezultati dobiveni i pri određivanju fekalnih streptokoka ($1-7 \times 10^1/100$ mL) u vodi. Koncentracija sulfitoreducirajućih anaerobnih klostridija uglavnom je bila zanemarivo niska, što podrazumijeva prisutnost samo jedne odnosno niti jedne bakterijske kolonije. Samo je na lokaciji Č3 bilo 5 sulfitoreduatora u 20 mL vode. Bakterije iz rodova *Pseudomonas* i *Samonela* nisu uopće izolirane. Broj aerobnih bakterija pri 37 ° C i 22 °C iznosio je od $1 \times 10^1/1$ mL do $1 \times 10^3/1$ mL, odnosno od 0 do $5,9 \times 10^3$.



Slika 5. Broj enterobakterija u vodi nizvodno od naseljenog mjesta do utoka Krke u NP Krka

Rasprava

Rezultati fizikalno-kemijskih analiza uzoraka vode duž cijelog toka rijeka Krke i Čikole ukazuju na dobru opskrbljenost otopljenim kisikom u vodi. Istovremeno je koncentracija organskih tvari u vodi niska, što ne ukazuje na znatnije onečišćenje vode. To potvrđuju i analize hranjivih soli u vodi. Shodno tome, proces samopročišćavanja u rijekama dobro funkcionira i nije prisutan proces eutrofikacije.

Nasuprot tome jedino bakteriološke analize, zbog svoje visoke osjetljivosti, upućuju na mogući utjecaj otpadnih voda naseljenih mjesta na vode rijeka Krke i Čikole (Č2 i KR). Antropogeni utjecaj na onečišćenje rijeke vidi se iz slike 4., jer je u vodi blizu izvorišta rijeke Čikole (Č1) broj bakterija indikatora fekalnog onečišćenja višestruko manji nego na lokaciji Č2. Ipak u svom toku do Nacionalnog parka dolazi do smanjivanja njihovog broja, pa je u uzorcima vode uzetih na lokacijama (K1, K3 i KM) taj broj mali. Na uklanjanje bakterija iz gornjih slojeva vode uglavnom najvjerojatnije utječe proces sedimentacije, pa se one talože pri dnu rijeke (3, 6). Osim toga bakterije uobičajeno ne mogu dulje vrijeme preživljavati u prirodnim vodama (7), osim ako vode nisu bogate organskim tvarima, što im služi kao dobar supstrat za rast i razmnožavanje. Vidljivo je (slika 2) da je koncentracija organskih tvari u vodi niska, pa shodno tome niti bakterije ne opstaju dugo u takvim uvjetima. I na kraju, može se zaključiti da za sada naseljena mjesta u gornjim tokovima rijeke značajnije ne utječu na kakvoću vode u Visovačkom jezeru (K1) i Čikoli (K3). Sadašnji rezultati istraživanja ukazuju da je voda u ovom akvatoriju odlične kakvoće čak i u usporedbi sa zakonskim propisima koji vrijede za vode za piće (8).

Literatura

1. DIXON W, CHISWELL B 1996 Review of aquatic monitoring program design. *Wat Res* 30: 1935-1948
2. APHA 1992 Standard Methods for the examination of water and wastewater. 18th American Public Health Association (18thed), Washington.
3. BERGSTEIN-BEN DAN T, WYNNE D, MANOR Y 1997 Survival of enteric bacteria and viruses in lake Kinneret. *Wat Res* 31: 2755-2760
4. BARCINA I, GONZALEZ J M, IRIBERRI I, EGEA L 1989 Effect of visible light on progressive dormancy of *Escherichia* cells during the survival process in natural fresh water. *Appl Environ Microbiol* 55: 246-251
5. SIPOS L i suradnici 1998 Ekološka valorizacija opskrbnih voda Krke i Čikole na osnovu fizičkih, kemijskih i bioloških analiza, *Izvešće o rezultatima istraživanja*, Zagreb, prosinac 1998
6. FERGUSON C M, COOTE B G, ASHBOLT N J, STEVENSON I M 1996 Relationships between indicators, pathogens and water quality in an estuarine system. *Wat Res* 30: 2045-2054
7. WORLD HEALTH ORGANISATION 1998 Guidelines for drinking-water quality. Geneva, p3-181
8. Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće 1994, *Narodne novine* 46/94, 1569-1575

Autori:

Dr.sc. Felicita Briški,

Dr.sc. Laszlo Sipos,

Nataša Zuber, dipl.inž.,

Tamara Štembal, dipl.inž.,

Marija Vuković, dipl.inž.

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19,
10000 Zagreb, Hrvatska



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.58.

Strujanja vode u Visovačkom jezeru i Čikoli u NP “Krka”

Laszlo Sipos i Marinko Markić

SAŽETAK: Poznavanje strujanja vode Visovačkog jezera i Čikole u NP “Krka” značajno je zbog procjene mogućih utjecaja onečišćenja, koja dotječu opskrbnim vodama, na kakvoću vode planiranog vodozahvata u tom akvatoriju. Preliminarna mjerenja strujanja vode primjenom konvencionalnih strujomjera pokazuju da u ljetnom razdoblju u površinskom sloju, gdje se očekuju najveće brzine strujanja, samo je do 10% mjerenja imalo mjerljivu brzinu (veću od 2 cm/s), dok u dubljim slojevima praktično nije registrirano nikakvo gibanje vode. Na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije razvijen je sustav za mjerenje strujanja vode koji omogućava detekciju strujanja do najmanjih brzina od 0.1 cm/s. Primjenom tih strujomjera izvedena su sustavna istraživanja strujanja vode u NP “Krka” na karakterističnim lokacijama pri različitim hidrološkim uvjetima. Rezultati mjerenja pokazuju da u površinskom sloju vode Visovačkog jezera i Čikole prevladava strujanje u smjeru jugozapada, tj. u smjerovima korita. Najveće se brzine registriraju u površinskom sloju, a nastaju pod utjecajem vjetra. Pridneni sloj vode u Visovačkom jezeru slijedi glavni tok, dok u ujezerenom dijelu Čikole praktički većinom miruje (brzine su manje od 0.1 cm/s). Prema smjeru kretanja srednjeg sloja vode u Čikoli, nasuprot otvoru na Mostini koji spaja akvatorij Visovačkog jezera s Čikolom, može se zaključiti da vode Visovačkog jezera prihranjuju pretežno srednji sloj Čikole. To je posebno važno imajući u vidu da se upravo u tom sloju planira i postavljanje budućeg vodozahvata u Čikoli. Brzine strujanja u srednjem i najdonjem sloju najčešće dostižu svega 0.5 cm/s.

KLJUČNE RIJEČI: NP “Krka”, profil strujanja, strujomjer

Water Flow in Visovac Lake and Čikola River in the Krka National Park

SUMMARY: Knowledge of water flow in Visovac Lake and Čikola River in the Krka National Park is important for evaluation of possible effects of pollution brought in with inflow water on quality of water planned for tapping. Preliminary measurements of water flow using conventional flowmeter indicate that during the summer season, only 10% of flow rates (> 2 cm/sec) are measurable in the surface layer where the highest flow rates are expected. In deeper layers, there has actually been no water movement recorded. The College of Chemical Engineering and Technology developed a system for measurement of water flow which enables detection of flow even at minimum rate of 0.1 cm/sec. Systematic research of water flows at the Krka National Park was conducted by use of these flowmeters in characteristic locations and under different hydrological conditions. The measurement results indicate that the surface layer water in the Visovac Lake and the Čikola River flow predominantly in NW direction, i.e. in the direction of the riverbed. The highest rates are those recorded in the surface layer, and they are caused by wind. The water flow at the bottom of the

Visovac Lake follows the main stream, while water in impounded section of the Čikola is actually stagnant (rates < 0.1 cm/sec). The flow direction of the central water layer in the Čikola leads to the conclusion that the Visovac Lake replenishes mainly the central layer of the Čikola. This is particularly important considering that this layer is planned to receive the future water intake. The flow rates in the central and bottom layer are often do not exceed 0.5 cm/sec.

KEYWORDS: Krka National Park, flow profile, flowmeter

1. Uvod

Pri odabiru lokacije vodozahvata u akvatoriju Visovačkog jezera i Čikole na području Nacionalnog parka "Krka" postavljeno je pitanje mogućeg utjecaja vodozahvata na akvatorij kao i na mogući utjecaj onečišćenja, koja dotječu opskrbnim vodama u taj akvatorij, na kakvoću vode planiranog vodozahvata (1).

Poznavanje strujanja vode Visovačkog jezera i Čikole jedan je od temeljnih preduvjeta za procjenu mogućeg utjecaja vodozahvata na akvatorij kao i za procjenu kakvoće zahvaćene vode.

Pristupilo se zbog toga terenskim istraživanjima strujanje vodenih masa u akvatoriju Nacionalnog parka "Krka" pri različitim meteorološkim i hidrološkim uvjetima. Rezultati prikazani u ovom radu dio su rezultata istraživanja provedenih 1995/96. godine uz financijsku potporu Hrvatskih voda (2).

2. Eksperimentalni dio

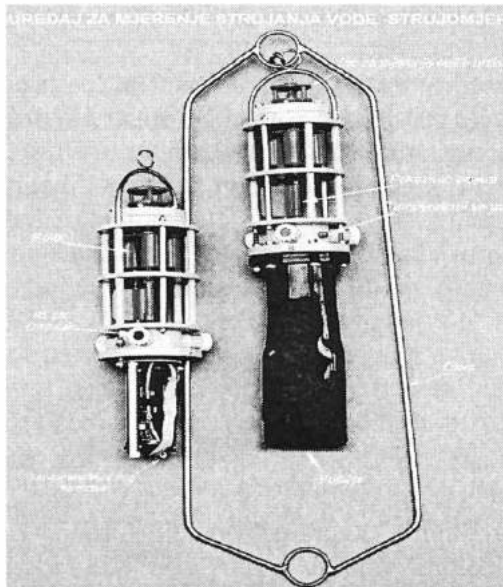
Mjerenja strujanja vode u NP "Krka" su izvedena na tri lokacije u pet različitim vremenskih razdoblja tijekom 1995. i 1996. godine. Lokacije mjerenja odabrane su u blizini planiranog vodozahvata. Na svakoj lokaciji postavljana su po tri (ili iznimno dva) uređaja na dubine 1, 10 i 20m (slika 1.).



Slika 1. Lokacije postavljanja strujomjera u Visovačkom jezeru i Čikoli

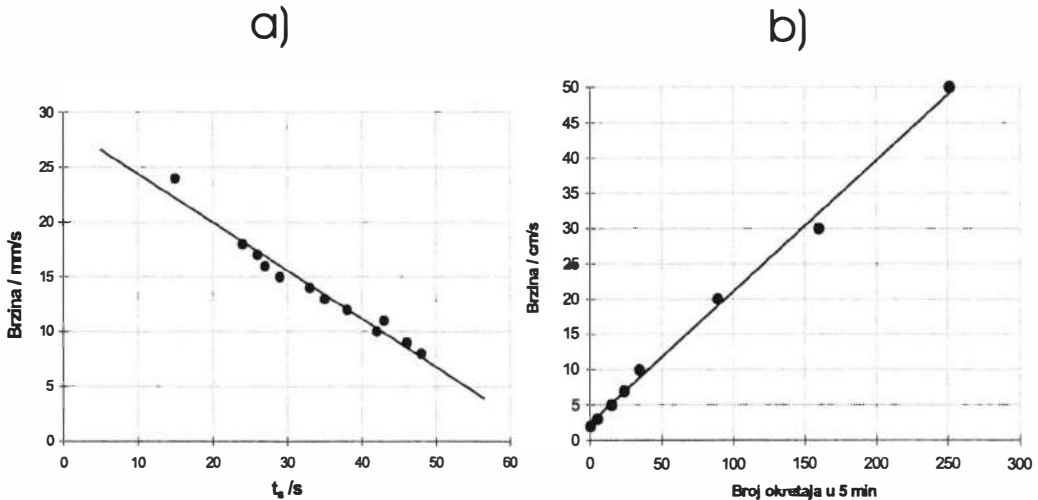
Mjerenja u prva dva razdoblja (u 1995. godini) izveo je Državni hidrografski institut iz Splita koristeći standardne oceanografske uređaje za mjerenje strujanja vode tipa "Aanderaa". Analiza dobivenih podataka pokazala je da su korišteni instrumenti nedovoljno osjetljivi za praćenje kretanja vodenih masa u akvatoriju Visovačkog jezera i Čikole. Brzine su, naime, u pravilu manje od 2 cm/s tj. praga osjetljivosti konvencionalnih mjernih instrumenta (3). Na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije pristupilo se zbog toga razvoju i izradi niza od 17 uređaja s približno dvadesetorostruko većom osjetljivošću od prethodno primijenjenih. Novi uređaji - strujomjeri (slika 2.), u petominutnim intervalima mjere i spremaju u svoju memoriju podatke o brzini i smjeru toka, temperaturi i vremenu mjerenja. Svaki uređaj opremljen je akumulatorskim napajanjem tako da može autonomno raditi do 45 dana. Za mjerenje brzina od 2 cm/s do 1 m/s koristi se klasični rotorski način mjerenja (mjerenjem broja okretaja rotora s lopaticama), dok je za male brzine od 0.1 cm/s do 2.5 cm/s razvijen poseban sustav zasnovan na praćenju temperature vode nakon generiranog temperaturnog impulsa. Smjer kretanja vodenih masa određuje se iz informacije o trenutnom položaju uređaja (ugrađen elektronički kompas) i položaja krilca koje se okreće u smjeru toka ili za male brzine praćenjem temperature vode nakon temperaturnog impulsa. Uređaj se po završetku mjerenja spaja preko standardnog RS232 priključka na računalo, te se mjereni podaci mogu očitati. Razvoj, izrada i testiranje uređaja trajala je nepunih 6 mjeseci tako da su dodatna mjerenja u tri mjerna razdoblja, s novim strujomjerima, provedena tijekom ljetnih mjeseci 1996. godine.

Baždarenje rotorskog mjerača brzine struje izvedeno je u Brodarskom institutu u Zagrebu, dok je baždarenje sustava za mjerenje malih brzina izvedeno je na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije u posebno izrađenom bazenu. Baždarni dijagram za područje brzina od 0.8 cm/s do 2.5 cm/s, određen na temelju karakterističnog vremena detekcije porasta temperature na jednom od temperaturnih senzora, prikazan je na slici 3. Brzine



Slika 2. Uređaj za mjerenje strujanja vode

kretanja vode u području od 0.1 cm/s do 0.8 cm/s određivani su posebnim algoritmom na temelju oblika odziva temperaturnih senzora. Baždarni dijagrami prikazani su na slici 3. Uz svako mjerenje paralelno su prikupljeni podaci o meteorološkoj situaciji u Šibeniku.



Slika 3. Baždarni dijagrami: a) za male brzine 0,8 - 2,5 cm/s b) za veće brzine 2,5 - 50 cm/s

3. Rezultati i rasprava

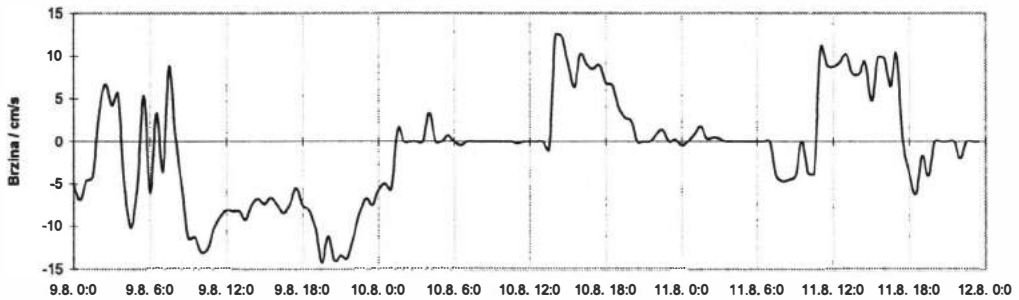
Preliminarna mjerenja strujanja vode u Visovačkom jezeru i Čikoli primjenom konvencionalnih strujomjera pokazuju da u ljetnom razdoblju u površinskom sloju, gdje se očekuju najveće brzine strujanja, samo je do 10% mjerenja imalo mjerljivu brzinu (veću od 2 cm/s), dok u dubljim slojevima praktično nije registrirano nikakvo gibanje vode.

Kasnija mjerenja preciznijim instrumentima pokazuju da u površinskom sloju vode Visovačkog jezera i Čikole prevladava strujanje u smjeru jugozapada, tj. u smjerovima korita. Najveće se brzine registriraju u površinskom sloju, a nastaju pod utjecajem vjetra. Ako se pogledaju podaci o meteorološkim prilikama u Šibeniku za vrijeme mjerenja vidi se gotovo stalna prisutnost vjetra. Taj vjetar djeluje na praktično mirnu površinu (brzine oko 0.5 cm/s) s prosječnom brzinom oko 5 m/s, te nužno uzrokuje gibanje vode. Utjecaj vjetra jasno je vidljiv na slici 4., gdje su na usporednim grafikonima prikazane komponente strujanja vode i vjetra za razdoblje od 9. do 12. 8. 1996. Na tim grafikonima jasno je vidljiv utjecaj vjetra na gornji i donji sloj. Jači vjetrovi dovode do pojačanog strujanja na površini, ali isto tako mogu dovesti do značajnih promjena strujanja i temperature nižih slojeva, odnosno uzrokuju miješanje među slojevima.

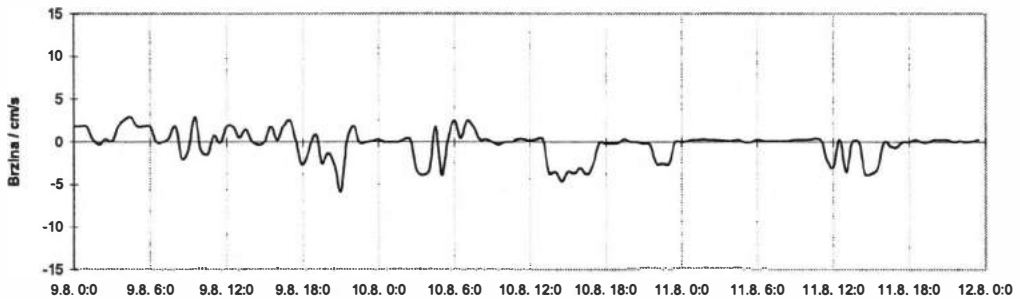
Pridneni sloj vode u Visovačkom jezeru slijedi glavni tok, dok u ujezerenom dijelu Čikole praktički većinom miruje (brzine su manje od 0.1 cm/s).

Mjerenjem na lokaciji nasuprot otvora na Mostini (lokacija Č3), koji spaja akvatorij Visovačkog jezera s Čikolom vidljivo je da ulazak Krke u Čikolu najviše dolazi do izražaja u srednjem sloju, dok površinski i pridneni sloj slijede tok Čikole. Brzine na toj lokaciji su ujednačene i iznose za površinski sloj prosječno 6.5 cm/s, a na dubini od

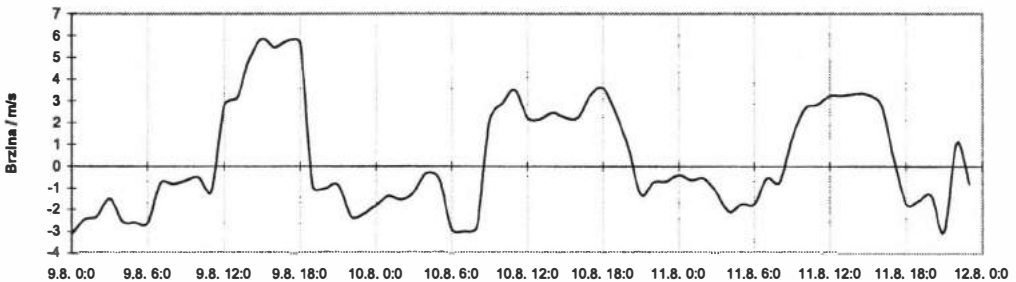
Komponenta brzine struje u smjeru istok, K1-Istok 1m, 9.8-12.8.96.



Komponenta brzine struje u smjeru istok, K1-Istok 10m, 9.8-12.8.96.

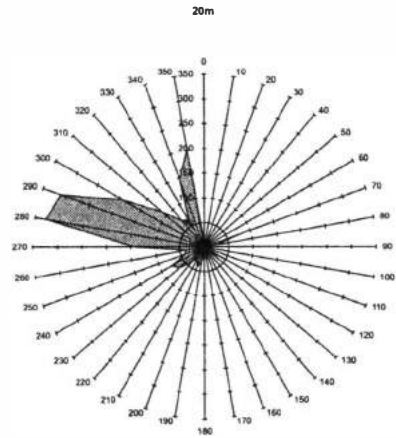
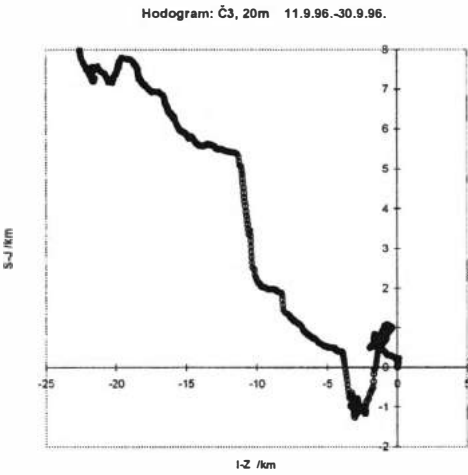
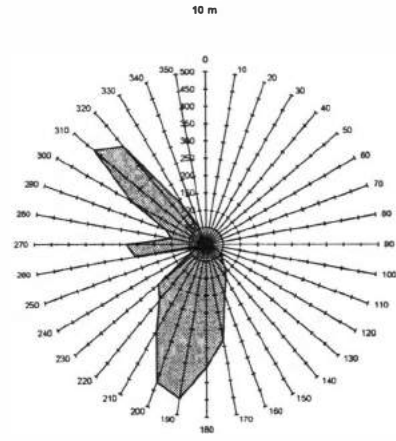
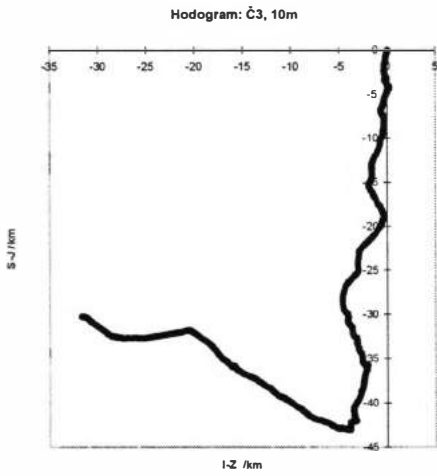
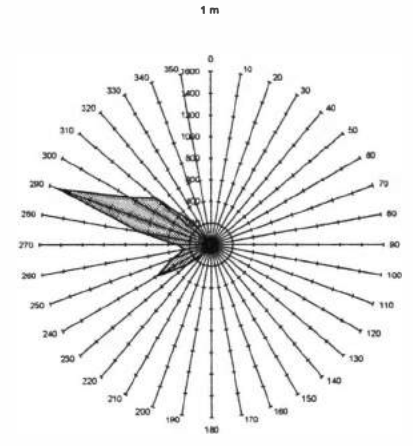
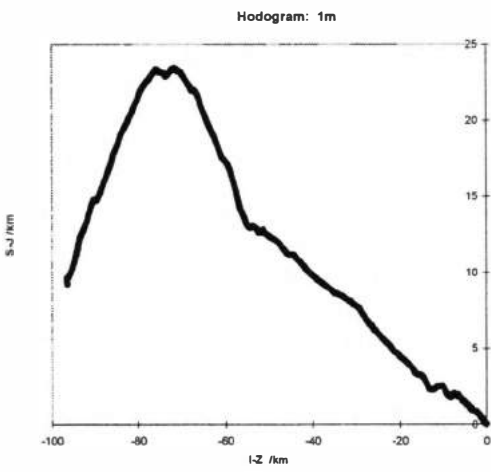


Komponenta brzine vjetra u smjeru istok, 9.8.-12.8.96.



Slika 4. Komponente brzine strujanja vode i brzine vjetra u smjeru istok od 9.8. do 12.8.1996.

10 m 5 cm/s. Na slici 5. dani su grafički prikazi učestalosti smjera i brzine strujanja vode na toj lokaciji. Može se zaključiti da vode Visovačkog jezera prihranjuju pretežno srednji sloj Čikole. To je posebno važno imajući u vidu da se upravo u tom sloju planira i postavljanje budućeg vodozahvata u Čikoli. Prema tome, procjenjuje se da će kakvoća vode vodozahvata pretežno ovisiti o kakvoći površinskog sloja vode Visovačkog jezera.



Slika 5. Hodogrami i razdioba učestalosti brzine i smjera strujanja vode na lokaciji Č3-Mostine

4. Zaključak

Mjerenjima strujanja vode u Visovačkom jezeru i u ujezerenom dijelu Čikole dokazano je da u ljetnom razdoblju vode Visovačkog jezera prihranjuju pretežno srednji sloj ujezerenog dijela Čikole na lokaciji planiranog vodozahvata. Prema tome, procjenjuje se da će kakvoća vode planiranog vodozahvata pretežno ovisiti o kakvoći površinskog sloja vode Visovačkog jezera. To je od posebne važnosti jer se rijeka Čikola u ljetnom razdoblju presuši za razliku od rijeke Krke kojim se Visovačko jezero opskrbljuje vodom.

Literatura

1. F. Briški, I. Habdija, N. Limić, M. Meštrov, M. Orlić i L. Sipos, "Ocjena kvalitete vode i ekološkog stanja u akvatoriju rijeke Krke", Preliminarna studija, Hrvatske vode, Zagreb, 1995.
2. M. Markić i L. Sipos, "Istraživanje kvalitete vode rijeke Krke i Čikole na osnovu fizikalnih, kemijskih i bakterioloških karakteristika vode i biocenološko-ekoloških odnosa u funkcionalnoj strukturi zajednice bentosa i planktona, 3. dio, Mjerenje brzine kretanja vodenih masa i u Krki i Čikoli", Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 1996.
3. UNEP/WHO, "Waste Discharge into the Marine Environment- Principles and Guidelines for the Mediterranean Action Plan, Appendix II, Measurements of marine currents", Pergamon Press, Oxford 1982.

Autori:

Dr. sc. Laszlo Sipos, prof., Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zavod za opću i anorgansku kemiju, Marulićev trg 19, tel./fax.: 01 4829 064,
e-mail: Laszlo.Sipos@zg.tel.hr

Marinko Markic, dipl. inž., Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zavod za opću i anorgansku kemiju, Marulićev trg 19, tel.: 01 4597 291,
e-mail: mmarkic@public.srce.hr

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.59.

Kakvoća vode donjeg toka rijeke Drave

Tatjana Mijušković-Svetinović, Davor Haničar

SAŽETAK: U radu je dana ocjena kakvoće vode za četiri mjerne stanice donjeg toka rijeke Drave - Donji Miholjac, Bistrinci, Višnjevac i Nemetin - za devetnaestogodišnje razdoblje (1980.-1998.). Kakvoća vode rijeke Drave ocjenjena je u odnosu na jedanaest odabranih parametara kakvoće vode (pH vrijednost, električna vodljivost, otopljeni kisik, BPK₅, KPK, zasićenje kisikom, nitrati, nitriti, amonij, broj koliformnih bakterija, indeks saprobnosti), a s obzirom na novu Uredbu o klasifikaciji voda iz 1998. godine, i prema kriteriju - broj uzoraka unutar određene vrste. Također je u radu dana usporedba dobivenih rezultata kakvoće vode s obzirom na stare propise iz tog područja.

KLJUČNE RIJEČI: donja Drava, kakvoća vode, ocjena kakvoće vode

Water Quality in the Lower Stretch of the Drava River

SUMMARY: The paper includes water quality evaluation for four monitoring stations in the lower stretch of the Drava River, i.e. Donji Miholjac, Bistrinci, Višnjevac and Nemetin, during the nineteen-years period (1980-1998). The Drava River water quality has been evaluated with respect to eleven selected water quality parameters (pH value, electrical conductivity, DOC, BOD₅, COD, oxygen saturation, nitrates, nitrites, ammonium, coliform bacteria count, saporbic activity index), in compliance with the new Directive on Water Classification from 1998, and according to the criterion involving number of particular samples. The paper also offers a comparison of obtained water quality results with respect to earlier regulations for this field.

KEYWORDS: the Lower Drava, water quality, water quality evaluation

1. Uvod

Rijeka Drava izvire u Italiji (Dobiac), a u Republiku Hrvatsku ulazi kod Ormoža na slovenskoj granici, odnosno na 325. kilometru od izvora. U Dravu se 75 kilometara nizvodno ulijeva rijeka Mura (Legrad, 236 rkm), a od toga mjesta do iza Donjeg Miholjca tvori i mađarsko-hrvatsku granicu. Nakon 305 km toka kroz Hrvatsku rijeka Drava se kod Aljmaša ulijeva u Dunav. Potez od Legrada do Aljmaša čini četvrtu karakterističnu dionicu rijeke Drave koju nazivamo "donja Drava". Na tom dijelu rijeka protječe Panonskom nizinom i poprima osobine nizinske rijeke, ali za razliku od okolnih nizinskih rijeka ima nešto izraženiji uzdužni pad korita. Odlikuje se blagim nivalnim (pluvio-glacijalnim) hidrološkim režimom (ujednačenost protoka tijekom godine, ali maximum proljeće-ljeto, minimum zimi – siječanj, veljača).

Povijest ukazuje da je donja Drava značajan faktor društvenog razvoja. Uz nju je vezan nastanak i razvoj naselja. Drava predstavlja izvor voda za različite namjene, ali ona je i

prirodni prijamnik otpadnih voda. Na granicu s Republikom Hrvatskom rijeka Drava dolazi znatno lošije kakvoće od propisane II. vrste, zbog znatnih zagađenja koja se ispuštaju u Republici Sloveniji i uzvodnim razvijenim industrijskim zemljama. Veliki utjecaj na kakvoću vode rijeke Drave ima i rijeka Mura, koja na područje Republike Hrvatske dotječe kao vodotok po kakvoći svrstan u III. vrstu.[1] Donji tok rijeke Drave je prijamnik otpadnih voda gradova Čakovca, Koprivnice, Barča, Virovitice, Slatine, Donjeg Miholjca, Pečuha, Belišća, Valpova i Osijeka kao i drugih naselja smještenih u njezinom slivu, koji većinom nemaju riješeno čišćenje otpadnih voda. U donju Dravu se ulijevaju i mnogi pritoci, koji također služe kao prijammnici komunalnih i industrijskih otpadnih voda gradova smještenih uz tokove tih rijeka. U pojedinim gadovima izgrađeni su uređaji za čišćenje otpadne vode, ali često s nedovoljnim stupnjem čišćenja. Također na svom putu Drava i njeni pritoci prihvaćaju i veće količine voda s poljoprivrednih površina.

U radu je dana ocjena kakvoće vode donjeg toka rijeke Drave za četiri nizvodne mjerne stanice donje Drave na kojima se prati kakvoća vode, i to na temelju niza devetnaestogodišnjih ispitivanja kakvoće vode na mjernim postajama Donji Miholjac, Bistrinci, Višnjevac i Nemetin (1980. – 1998.). Ocjena je dana s obziron na 11 odabranih pokazatelja kakvoće vode u skladu s Državnim planom za zaštitu voda i Uredbom o klasifikaciji voda. Također ocjena kakvoće vode na pojedinom profilu dana ne i prema broju uzorka u određenoj vrsti.

2. Kakvoća vode donjeg toka rijeke Drave

2.1. Postojeći propisi u Republici Hrvatskoj

O prirodnoj kakvoći vode ovisi i mogućnost njenog korištenja kao i potreban stupanj prethodnog čišćenja u svrhu poboljšanja kakvoće i obveze pročišćavanja upotrebljenih voda prije ispuštanja u vodni sustav. Procjena mogućnosti primjene vode u različite svrhe kao i način ispuštanja upotrebljenih voda temelje se na kriterijima, odnosno standardima kakvoće vode.

Zaštita voda u Republici Hrvatskoj od zagađivanja kao i cijela problematika oko rješavanja problema zaštite voda regulirana je Zakonom o vodama (NN 107/95), Uredbom o klasifikaciji voda (NN 77/98) i Državnim planom za zaštitu voda (NN 8/99). U skladu s Uredbom o klasifikaciji voda, površinske vode (vodotoci, prirodna jezera i akumulacije), podzemne vode i vode mora su prema njihovoj namjeni i stupnju čistoće raspoređeni u pet vrsta. Klasifikacijom voda se ocjenjuje kakvoća voda i obavlja svrstavanje voda u vrste na temelju dopuštenih graničnih vrijednosti pojedinih skupina pokazatelja, koji obilježavaju izvore i uzročnike onečišćenja voda. Svrtavanje u vrste se obavlja na temelju uspoređivanja izračunate mjerodavne vrijednosti u skladu s člankom 8. Uredbe i dopuštene granične vrijednosti pojedinog pokazatelja.

Prema Državnom planu za zaštitu voda, te Uredbi o klasifikaciji voda, rijeka Drava bi u Republici Hrvatskoj cijelom dužinom trebala biti II. vrste, što znači da se njene vode u prirodnom stanju mogu upotrebljavati za kupanje i rekreaciju građana, za sportove na vodi, za uzgoj riba (osim plemenitih i ciprinida), ili da se nakon određenog pročišćavanja mogu koristiti za piće i druge namjene u industriji i sl., te mora kao voda II. vrste zadovoljavati granične vrijednosti odabranih pokazatelja kakvoće vode dane u Tablici 1.

Tablica 1. Granične vrijednosti odabranih pokazatelja kakvoće vode za pojedine vrste površinskih voda prema Uredbi o klasifikaciji voda i Državnom planom za zaštitu voda [2,3]

N ^o	POKAZATELJ	I. VRSTA	II. VRSTA	III. VRSTA	IV. VRSTA	V. VRSTA
1	pH vrijednost	8,5-6,5	6,5-6,3 8,5-9,0	6,3-6,0 9,0-9,3	6,0-5,3 9,3-9,5	<5,3 >9,5
2	Električna vodljivost μScm^{-1}	<500	500-700	700-1000	1000-2000	>2000
3	Otopljeni kisik u mg/L O ₂	>7	7-6	6-4	4-3	<3
4	Zasićenost kisikom u %	80-110	70-80 110-120	50-70 120-140	20-50 140-150	<20 >150
5	BPK ₅ u mg/L O ₂	<2	2-4	4-8	8-15	>15
6	KPK - Mn u mg/L O ₂	<4	4-8	8-15	15-30	>30
7	Nitrati u mg/L N	<0,5	0,5-1,5	1,5-4,0	4,0-10,0	>10,0
8	Nitriti u mg/L N	<0,01	0,01-0,03	0,03-0,10	0,10-0,20	>0,20
9	Amonij u mg/L N	<0,10	0,10-0,25	0,25-0,60	0,60-1,5	>1,5
10	Broj koliformnih bakterija UK/L	<5x10 ²	5x10 ² -5x10 ³	5x10 ³ -10 ⁵	10 ⁵ -10 ⁶	>10 ⁶
11	P-B indeks saprobnosti (S)	1,0-1,8	1,8-2,3	2,3-2,7	2,7-3,2	3,2-4,0

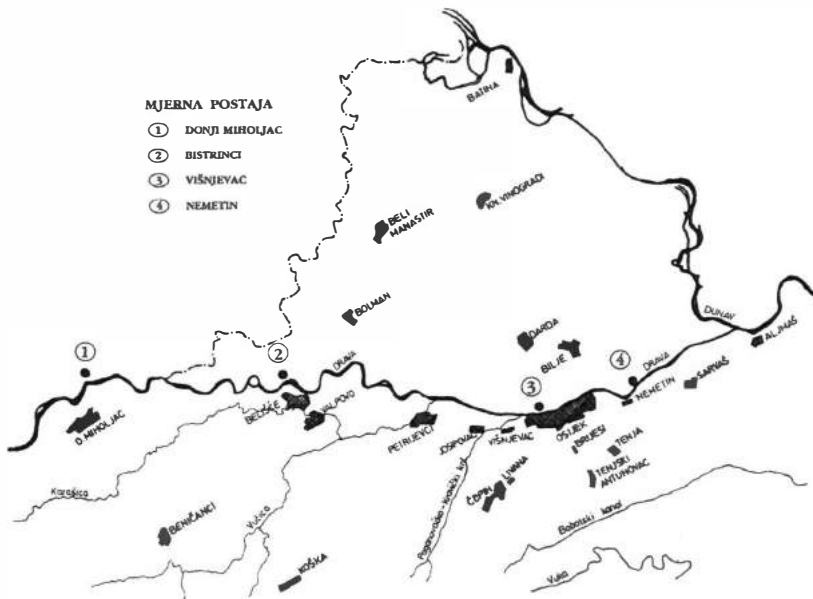
2.2. Kakvoća vode donje Drave

Prva organizirana ispitivanja kakvoće rijeke Drave provode se od 1963. godine na temelju zajedničkog dogovora i zaključaka tadašnje međudržavne komisije za vodoprivredu s Republikom Mađarskom. Godine 1971. počinje neprekidno ispitivanje i praćenje kakvoće vode rijeke Drave prema utvrđenom programu i metodologiji, na stalnoj mreži mreži osam mjernih profila (Ormož, Varaždin, Botovo, Terezino Polje, Donji Miholjac, Bistrinci, Višnjevac i Nemetin).

Ocjena kakvoće vode donjeg toka rijeke Drave dat će se na temelju niza devetnaestogodišnjih opažanja za odabrane fizikalno-kemijske, mikrobiološke i biološke pokazatelje kakvoće vode, za razdoblje od 1980.-1998. godine za mjerne postaje Donji Miholjac (77+725 rkm rijeke Drave), Bistrinci (54+000 rkm), Višnjevac (23+600 rkm) i Nemetin (10+900 rkm), a na temelju banke podataka o kakvoći vode Hrvatskih voda, VGO Osijek” (Slika 1.)[4]

Ocjena je dana s obzirom na 11 odabranih pokazatelja kakvoće vode (pH vrijednost, električna vodljivost, otopljeni kisik, BPK₅, KPK, zasićenje kisikom, nitrati, nitriti, amonij, broj koliformnih bakterija, indeks saprobnosti) u skladu s Državnom planom za zaštitu voda i Uredbom o klasifikaciji voda. Rezultati su prikazani u Tablici 2.

Također ocjena kakvoće vode na pojedinom profilu izvršena je i podjela prema broju uzorka u određenoj vrsti. Rezultati su prikazani u Tablici 3. U Tablici 4. dane su jednadžbe trendova minimalnih, srednjih i maksimalnih vrijednosti odabranih pokazatelja kakvoće vode za pripadajuće mjerne stanice.



Slika 1. Raspored mjernih postaja na nizvodnom dijelu rijeke Drave

3. Diskusija rezultata i zaključak

Iz tablica je vidljivo da pH vrijednost, električna vodljivost, otopljeni kisik te nitriti ne predstavljaju problem u odnosu na kakvoću vode rijeke Drave na četiri mjerne stanice donjeg dijela rijeke Drave. Oni udovoljavaju propisane vrijednosti za II. odnosno I. vrstu vodotoka. Nitrati, amonij, broj koliformnih bakterija, te BPK_5 predstavljaju najveći problem za kakvoću vode rijeke Drave. Nitrati ni za jednu od 16 godina osmatranja nisu udovoljavali kriterijima za II. vrstu vodotoka. Slično je i s amonijem koji je tom kriteriju udovoljavao samo 4, odnosno 5 godina. Broj koliformnih bakterija također taj kriterij nije udovoljavao u velikom postotku, pogotovu za mjernu stanicu Nemetin, gdje je propisanoj vrsti vodotoka udovoljavao samo dvije godine. Slično je i s BPK_5 , a pogotovu na mjernoj stanici Nemetin (čak 14 godina je svrstano bilo u III., IV., odnosno V. vrstu vodotoka. Pokazatelji kakvoće vode – zasićenje kisikom (supersaturacija), $KPK-Mn$ i indeks saprobnosti su također, mada u manjoj mjeri kritični pokazatelji kakvoće vode. Najlošija kakvoća vode bila je 1984. i 1985. godine, a najbolja 1988., 1990. i 1997. godine.

Uspoređujući rezultate s do sada važećim propisima za kakvoću vode (Prema Uredbi o klasifikaciji vodotoka iz 1981. godine) primjećujemo dosta različitosti. Prema tim propisima pH vrijednost, otopljeni kisik, $KPK-Mn$, nitrati i amonijak nisu predstavljali problem u odnosu na kakvoću vode rijeke Drave; suspendirane tvari i fosfati predstavljali su najveći problem; a pokazatelji kakvoće vode – nitriti, zasićenje kisikom, NBK te BPK_5 su u manjoj mjeri bili kritični pokazatelj kakvoće vode rijeke Drave. [5]

Također iz analize kakvoće vode rijeke Drave u razdoblju od 1980.-1998. godine može se zaključiti da postoji trend poboljšanja kakvoće vode. Zabrinjavajuće je da neki pokazatelji koji predstavljaju najveći problem za kakvoću vode rijeke Drave, a to su BPK_5 i nitrati bilježe trend porasta za sve mjerne stanice. Također trend porasta bilježi i zasićenje kisikom

Tablica 2. Ocjena kakvoća vode rijeke Drava za odabrane pokazatelje kakvoće vode po broju godina u određenoj vrsti u devetnaestogodišnjem razdoblju 1980.-1998.g.

POKAZATELJ KAKVOĆE	DONI MIHOLJAC					BISTRINCI				
	VRSTA					VRSTA				
	I.	II.	III.	IV.	V.	I.	II.	III.	IV.	V.
pH VRIJEDNOST	17	2	0	0	0	18	1	0	0	0
ELEKTRIČNA VODLJIVOST	19	0	0	0	0	19	0	0	0	0
OTOPLJENI KISIK	15	4	0	0	0	15	4	0	0	0
ZASIĆENOST KISIKOM	5	7	7	0	0	4	9	5	1	0
BPK ₅	0	9	9	1	0	0	11	7	1	0
KPK-Mn	1	11	7	0	0	2	10	7	0	0
BROJ KOLIFORMNIH BAKTER.	0	8	6	0	5	0	8	7	0	4
INDEKS SAPROBNOSTI	0	11	7	1	0	0	12	7	0	0
NITRITI	2	17	0	0	0	2	17	0	0	0
NITRATI	0	0	14	2	0	0	0	16	0	0
AMONIJ	0	5	14	0	0	0	5	14	0	0
POKAZATELJ KAKVOĆE	VIŠNJEVAC					NEMETIN				
	VRSTA					VRSTA				
	I.	II.	III.	IV.	V.	I.	II.	III.	IV.	V.
pH VRIJEDNOST	17	2	0	0	0	17	2	0	0	0
ELEKTRIČNA VODLJIVOST	19	0	0	0	0	19	0	0	0	0
OTOPLJENI KISIK	16	2	1	0	0	14	4	1	0	0
ZASIĆENOST KISIKOM	4	9	5	1	0	5	8	5	1	0
BPK ₅	0	9	9	1	0	0	5	12	1	1
KPK-Mn	1	11	7	0	0	1	11	7	0	0
BROJ KOLIFORMNIH BAKTER.	0	6	6	0	7	0	2	10	0	7
INDEKS SAPROBNOSTI	0	9	10	0	0	0	13	6	0	0
NITRITI	1	18	0	0	0	1	18	0	0	0
NITRATI	0	0	15	1	0	0	0	15	1	0
AMONIJ	0	4	15	0	0	0	4	15	0	0

(sve vrijednosti pa i maksimalne) za sve mjerne stanice, a stupanj saprobnosti za mjerne stanice Višnjevac i Nemetin. Pokazatelji amonij, broj koliformnih bakterija i KPK-Mn imaju tren pada. Poboljšanje kakvoće vode Drave je posljedica izgradnje uređaja za čišćenje otpadnih voda posljednjih godina na slivnom području Drave, a ujedno i korištenja novih tehnoloških procesa u industriji. Također moramo reći i da je ovakvo stanje kakvoće vode rijeke Drave uvjetovano bitnim smanjenjem negativnog utjecaja industrije. Naime, uslijed rata i recesije u privredi znatno je smanjeno zagađivanje vodotoka od industrije.

Literatura

1. Vode Hrvatske, Monografija o vodama i vodoprivredi Hrvatske, Zagreb, 1991;
2. Uredba o klasifikaciji voda (NN 2/98);

Tablica 3. Broj uzoraka (u postotcima) odabranih pokazatelja kakvoće vode u određenoj vrsti vode u devetnaestogodišnjem razdoblju 1980.-1998.g.

DONJI MIHOLJAC						
	BROJ UZORAKA U ODREĐENOJ VRSTI U %					BROJ
POKAZATELJ KAKVOĆE	I	II	III	IV	V	UZORAKA
pH VRIJEDNOST	98,59	1,41	-	-	-	922
ELEKTRIČNA VODLJIVOST	100,00	-	-	-	-	920
OTOPLJENI KISIK	96,64	3,15	0,22	-	-	922
ZASIĆENJE KISIKOM	60,50	24,18	12,80	0,88	1,64	914
KPK – Mn	40,00	34,89	22,07	2,83	0,22	920
BPK ₅	41,76	38,94	18,87	0,43	-	922
AMONIJ	24,65	43,62	31,19	0,55	-	917
NITRITI	45,28	54,51	0,22	-	-	921
NITRATI	0,41	24,21	72,78	2,46	0,14	731
BROJ KOLIFORMNIH BAKTERIJA	8,60	67,42	23,53	0,45	-	221
P-B STUPANJ SAPROBNOSTI	-	69,44	22,22	8,33	-	36
BISTRINCI						
	BROJ UZORAKA U ODREĐENOJ VRSTI U %					BROJ
POKAZATELJ KAKVOĆE	I	II	III	IV	V	UZORAKA
pH VRIJEDNOST	98,01	1,77	0,11	0,11	-	904
ELEKTRIČNA VODLJIVOST	99,89	0,11	-	-	-	905
OTOPLJENI KISIK	94,48	4,97	0,55	-	-	906
ZASIĆENJE KISIKOM	60,18	23,71	12,42	2,01	1,68	894
KPK – Mn	40,79	40,02	19,07	0,11	-	907
BPK ₅	41,10	35,58	20,88	2,10	0,33	905
AMONIJ	22,98	43,43	32,93	0,66	-	905
NITRITI	44,54	55,02	0,33	0,11	-	907
NITRATI	0,56	25,59	71,77	2,09	-	719
BROJ KOLIFORMNIH BAKTERIJA	13,18	58,64	28,18	-	-	220
P-B STUPANJ SAPROBNOSTI	-	68,57	28,57	-	2,86	35
VIŠNJEVAC						
	BROJ UZORAKA U ODREĐENOJ VRSTI U %					BROJ
POKAZATELJ KAKVOĆE	I	II	III	IV	V	UZORAKA
pH VRIJEDNOST	98,01	1,88	-	-	0,11	906
ELEKTRIČNA VODLJIVOST	99,78	0,22	-	-	-	907
OTOPLJENI KISIK	93,94	5,07	0,99	-	-	907
ZASIĆENJE KISIKOM	59,11	24,11	12,44	2,33	2,00	900
KPK – Mn	36,60	43,00	20,07	0,22	0,11	907
BPK ₅	36,27	37,05	24,48	1,76	0,44	907
AMONIJ	22,28	43,02	34,15	0,55	-	902
NITRITI	43,99	55,35	0,55	-	0,11	907
NITRATI	0,41	24,55	72,55	2,48	-	725
BROJ KOLIFORMNIH BAKTERIJA	7,01	63,08	29,91	-	-	214
P-B STUPANJ SAPROBNOSTI	-	66,67	30,56	2,78	-	36
NEMETIN						
	BROJ UZORAKA U ODREĐENOJ VRSTI U %					BROJ
POKAZATELJ KAKVOĆE	I	II	III	IV	V	UZORAKA
pH VRIJEDNOST	97,57	2,21	0,11	-	0,11	905
ELEKTRIČNA VODLJIVOST	99,45	0,55	-	-	-	901
OTOPLJENI KISIK	93,81	5,20	1,00	-	-	904
ZASIĆENJE KISIKOM	59,73	25,84	10,18	2,68	1,57	894
KPK – Mn	35,18	43,92	20,46	0,33	0,11	904
BPK ₅	33,78	36,66	26,14	2,55	0,89	903
AMONIJ	22,23	43,14	33,96	0,55	0,11	904
NITRITI	43,92	55,75	0,33	-	-	904
NITRATI	0,14	22,95	73,57	3,34	-	719
BROJ KOLIFORMNIH BAKTERIJA	4,21	51,40	43,93	0,47	-	214
P-B STUPANJ SAPROBNOSTI	-	75,68	21,62	2,70	-	37

Tablica 4. Jednadžbe trendova minimalnih, srednjih i maksimalnih vrijednosti odabranih pokazatelja kakvoće vode za devetnaestogodišnje razdoblje 1980.-1998.g.

DONJI MIHOLJAC	JEDNADŽBA TRENDVA		
	min vrijednosti	sred vrijednosti	maks vrijednosti
POKAZATELJ KAKVOĆE			
pH vrijednost	$y = 0,0032x + 0,9611$	$y = 0,03x - 51,9$	$y = 0,0386x - 68,695$
Električna vodljivost	$y = -2,1877x + 4592$	$y = 1,3281x - 2322,2$	$y = 4,9719x - 9483,7$
Otopljeni kisik	$y = -0,0211x + 48,938$	$y = 0,0786x - 146,51$	$y = 0,4497x - 879,57$
Zasićenje kisikom	$y = 0,5188x - 969,57$	$y = 0,7177x - 1338,1$	$y = 2,6112x - 5061,6$
KPK-Mn	$y = -0,2634x + 526,59$	$y = -0,3797x + 760,54$	$y = -0,3861x + 777,93$
BPK ₅	$y = 0,0266x - 52,587$	$y = 0,0573x - 111,07$	$y = 0,4242x - 834,63$
Amonij	$y = -0,0039x + 7,8013$	$y = -0,0084x + 16,821$	$y = -0,015x + 30,363$
Nitriti	$y = 0,0002x - 0,3353$	$y = 0,0006x - 1,0883$	$y = 0,0009x - 1,864$
Nitrati	$y = 0,0171x - 33,387$	$y = 0,1103x - 217,66$	$y = 0,3021x - 597,14$
Broj koliformnih bakterij	$y = -804,75x + 2E+06$	$y = -706,99x + 1E+06$	$y = 2049,3x - 4E+06$
P-B stupanj saprobnosti	$y = -0,0051x + 12,391$	$y = -0,0068x + 15,934$	$y = -0,0086x + 19,476$
BISTRINCI			
pH vrijednost	$y = -0,0002x + 7,5332$	$y = 0,03x - 52,033$	$y = 0,0581x - 107,35$
Električna vodljivost	$y = 1,1053x - 1953,9$	$y = 1,3053x - 2278$	$y = 4,5351x - 8612,3$
Otopljeni kisik	$y = 0,0194x - 31,747$	$y = 0,0828x - 154,89$	$y = 0,3575x - 696,53$
Zasićenje kisikom	$y = 0,867x - 1303,6$	$y = 0,7877x - 1476,9$	$y = 2,4016x - 4647,5$
KPK-Mn	$y = -0,2473x + 494,73$	$y = -0,3826x + 766,22$	$y = -0,3885x + 781,23$
BPK ₅	$y = 0,0257x - 50,863$	$y = 0,0685x - 133,32$	$y = 0,4879x - 961,92$
Amonij	$y = -0,0043x + 8,6178$	$y = -0,0092x + 18,569$	$y = -0,013x + 26,419$
Nitriti	$y = 0,0002x - 0,4674$	$y = 0,0005x - 1,0637$	$y = 0,0001x - 0,2247$
Nitrati	$y = -0,0364x + 73,304$	$y = 0,0379x - 73,345$	$y = 0,1757x - 345,57$
Broj koliformnih bakterij	$y = -0,0043x + 8,6178$	$y = -0,0092x + 18,569$	$y = -0,013x + 26,419$
P-B stupanj saprobnosti	$y = 0,0083x - 14,213$	$y = -0,0053x + 12,96$	$y = -0,0192x + 40,725$
VIŠNJEVAC			
pH vrijednost	$y = 0,0045x - 1,6626$	$y = 0,0255x - 43,035$	$y = 0,0369x - 65,156$
Električna vodljivost	$y = -0,414x + 1075,7$	$y = 1,3281x - 2317,6$	$y = 8,4842x - 16446$
Otopljeni kisik	$y = 0,0056x - 4,2503$	$y = 0,0706x - 130,58$	$y = 0,3731x - 727,44$
Zasićenje kisikom	$y = 0,3763x - 686,18$	$y = 0,65x - 1203,3$	$y = 2,4687x - 4779,8$
KPK-Mn	$y = -0,2424x + 484,92$	$y = -0,3669x + 735,32$	$y = -0,3619x + 729,37$
BPK ₅	$y = 0,0389x - 76,822$	$y = 0,0541x - 104,6$	$y = 0,1943x - 377,69$
Amonij	$y = -0,0038x + 7,5459$	$y = -0,0086x + 17,359$	$y = -0,0104x + 21,2$
Nitriti	$y = 0,0003x - 0,5685$	$y = 0,0006x - 1,0848$	$y = 0,0008x - 1,6583$
Nitrati	$y = 0,0133x + 25,621$	$y = 0,0976x - 192,36$	$y = 0,2622x - 517,8$
Broj koliformnih bakterij	$y = -886,09x + 2E+06$	$y = -880,14x + 2E+06$	$y = -503,71x + 1E+06$
P-B stupanj saprobnosti	$y = 0,0049x - 7,428$	$y = 0,0016x - 0,9047$	$y = -0,0018x + 5,8967$
NEMETIN			
pH vrijednost	$y = 0,0102x - 12,981$	$y = 0,0242x - 40,437$	$y = 0,0307x - 52,85$
Električna vodljivost	$y = -0,0912x + 431,08$	$y = 1,514x - 2687,1$	$y = 8,0035x - 15482$
Otopljeni kisik	$y = 0,0323x - 57,309$	$y = 0,0852x - 159,79$	$y = 0,3449x - 671,65$
Zasićenje kisikom	$y = 0,5867x - 1103,7$	$y = 0,6638x - 1230,9$	$y = 2,0271x - 3902,6$
KPK-Mn	$y = -0,1955x + 391,6$	$y = -0,3555x + 712,7$	$y = -0,2206x + 448,51$
BPK ₅	$y = 0,0289x - 57,01$	$y = 0,0706x - 137,19$	$y = 0,1434x - 276,58$
Amonij	$y = -0,0034x + 6,8337$	$y = -0,0078x + 15,771$	$y = -0,0077x + 15,744$
Nitriti	$y = 0,0002x - 0,4537$	$y = 0,0005x - 1,0673$	$y = 0,0009x - 1,7702$
Nitrati	$y = 0,0258x - 50,631$	$y = 0,1207x - 238,38$	$y = 0,3322x - 657,19$
Broj koliformnih bakterij	$y = -818,45x + 2E+06$	$y = -1002,6x + 2E+06$	$y = 728,96x - 1E+06$

3. Državni plan za zaštitu voda (NN8/99)
4. Podaci o kakvoći vode Hrvatske vode VGO Osijek;
5. Mijušković-Svetinović, T.: Zaštita voda rijeke Drave, Magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1996;

Autori:

mr. sc. Tatjana Mijušković-Svetinović, dipl.inž.građ., Građevinski fakultet Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku, 31000 OSIJEK, Drinska 16 a

Davor Haničar, dipl.inž.građ.,Hrvatske vode Zagreb, VGO Osijek, 31000 OSIJEK, Splavarska 2a



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.60.

Organske tvari u rijeci Savi kod Jesenica (1979-1998)

Božena Čosović, Ružica Marušić, Vjeročka Vojvodić

SAŽETAK: Zaštita voda od zagađivanja i gospodarenje vodom imaju strateško značenje za razvoj zemlje. Rijeka Sava i podzemne vode koje ona napaja predstavljaju izvorište pitke vode za šire područje grada Zagreba. Kako su zagađenja organskim tvarima dominantna zagađenja naših vodotoka, pratili smo kakvoću vode rijeke Save na pograničnom profilu Jesenice na Dolenskom mjerenjima biološke i kemijske potrošnje kisika, koncentracije otopljenog organskog ugljika i površinski aktivnih tvari. Razmatrajući podatke o kakvoći vode rijeke Save kod Jesenica s obzirom na prisutnost organskih tvari kroz duže vremensko razdoblje, mogu se uočiti tri karakteristična vremenska perioda: (a) prije puštanja u pogon NE Krško, kada se izmjerene vrijednosti mogu uglavnom pripisati utjecaju tvornice papira i celuloze u Krško, (b) 1982.-1990. kada se može uočiti složeni utjecaj i tvornice papira i NE Krško, te (c) od 1990.-1996. kada se opadanje koncentracije organskih tvari u Jesenicama može najvjerojatnije objasniti poboljšanjem kvalitete vode rijeke Save na ulazu u NEK. U 1997. i 1998. godini zabilježen je ponovno blagi ali jasno vidljiv trend porasta koncentracije organskih tvari u Savi kod Jesenica.

Ključne riječi: organske tvari, rijeka Sava, toplinsko zagađenje

Organics in the Sava River near Jesenice (1979-1998)

SUMMARY: Water pollution control and water resources management have a strategic role in development of the country. The Sava River and groundwater replenished from it are potable water resource for the greater area of the City of Zagreb. Since presence of organic pollution is predominant in the Croatian water courses, quality of the Sava River was monitored at the Jesenice na Dolenjskem profile (state border). Measurements were carried out of BOD and COD, DOC concentration, and surfactants. When the data on the Sava River water quality at Jesenice is considered regarding presence of organics for a longer period of time, three characteristic periods of time are singled out: (a) prior to the Krško Nuclear Power Plant (NPP) commissioning, when the measured values could have been attributed to the Paper and Cellulose Mill in Krško, (b) period 1982-1990, when the impacts of Paper and Cellulose Mill and Krško NPP were combined and complex, and (c) period 1990-1996, when decrease in organic substance concentrations at Jesenice could probably be attributed to increased quality of the Sava River water supplied to the Krško NPP. In 1997 and 1998, a slight but clearly distinguished trend of increase in organics concentrations was recorded for the Sava at Jesenice.

KEYWORDS: organics, the Sava River, thermal pollution

Uvod

Prema podacima o kvaliteti vode rijeke Save, u razdoblju od 19980. do 1990. dio vodotoka rijeke save nizvodno od Krškog karakterizirala je visoka razina organskih tvari^(1,2). Takvom stanju u znatnoj mjeri doprinosili su otpadne vode tvornice papira koje se ulijevaju u Savu neposredno ispred NE Krško. Ako se ukupna organska tvar opiše vrijednostima KPK (kemijska potrošnja kisika) i BPK₅ (biokemijska potrošnja kisika) tada su prosječne KPK vrijednosti uzvodno od Krškog bile približno 20, a na ulazu i izlazu NE Krško 50-60, a vrijednosti BPK₅ približno 3 uzvodno, odnosno oko 10 na ulazu i izlazu iz elektrane⁽³⁾.

Radom nuklearne elektrane dolazi do otpuštanja u okolinu određene količine radioaktivnosti, kao i do zagrijavanja vodotoka, zbog pritjecanja rashladnih voda elektrane. Termalno zagađenje ima neposredni utjecaj na kvalitetu prihvatnih voda i to naročito s obzirom na sadržaj kisika u vodi i fizičko-kemijsko stanje i procese anorganskih i organskih tvari, kao i utjecaj na život u rijeci.

Organska tvar se dijelom razgrađuje u vodotoku uz trošenje kisika u procesu razgradnje. Zbog djelovanja rashladnih voda dolazi do povišenja temperature vode u rijeci, topljivost kisika se smanjuje, te time dolazi do daljnjeg osiromašenja vodotoka kisikom. Kako se i kemijski i biološki procesi odvijaju kod povišene temperature većom brzinom, u vodama s visokim sadržajem organskih tvari može doći zbog toga do značajnog osiromašenja kisika.

Nakon puštanja u rad NE Krško od 1982. godine u okviru programa neradiološkog monitoringa praćeni su odgovarajući pokazatelji kvalitete vode rijeke save na raznim lokacijama nizvodno od Krškog do Zagreba. Program neradiološkog monitoringa mijenjao se (uglavnom smanjivao) tijekom godine, tako da je nakon 1992. godine ostala samo lokacija Jesenice na Dolenskom na pograničnom profilu Save gdje se sustavno prati kvaliteta vode rijeke save na ulazu iz Republike Slovenije u našu zemlju.

U ovom radu razmotrili smo podatke o pokazateljima opterećenja rijeke save organskim tvarima na lokaciji Jesenice u vremenskom razdoblju od 1979. do 1998. godine, kako bi se utvrdile promjene kvalitete vode rijeke Save od vremena prije puštanja u pogon NE Krško, te kroz duži vremenski period rada elektrane do današnjih dana.

Metodologija

Razmatrali smo slijedeće pokazatelje organskih tvari u vodi rijeke Save:

- Kemijska potrošnja kisika iz bikromatnog broja, KPK_b, mg O₂/l,
- Kemijska potrošnja kisika iz permanganatnog broja, KPK_p, mg O₂/l.
- Biokemijska potrošnja kisika, BPK₅, mg O₂/l,
- Otopljeni organski ugljik (DOC), mg/l,
- Površinski aktivne tvari (PAT), ukupne (PAT_A) i hidrofobne (PAT_B), izraženo kao ekvivalent Tritona-X-100, mg/l^(4,5).

Napominjemo da su u dugom vremenskom periodu od 20 godina analize KPK i BPK obavljali različiti laboratoriji (Hidrometeorološki zavod, Zavod za zaštitu zdravlja grada Zagreba, Građevinski fakultet Zagreb, te Glavni vodnogospodarstveni laboratorij Hrvatskih voda), dok su sve analize površinski aktivnih tvari obavljene u istom laboratoriju Zavoda za istraživanje mora i okoliša, Instituta "Ruđer Bošković". U istom laboratoriju od 1992. godine određuje se i sadržaj otopljenog organskog ugljika (DOC) metodom katalitičke oksidacije kod visoke temperature.

Rezultati i rasprava

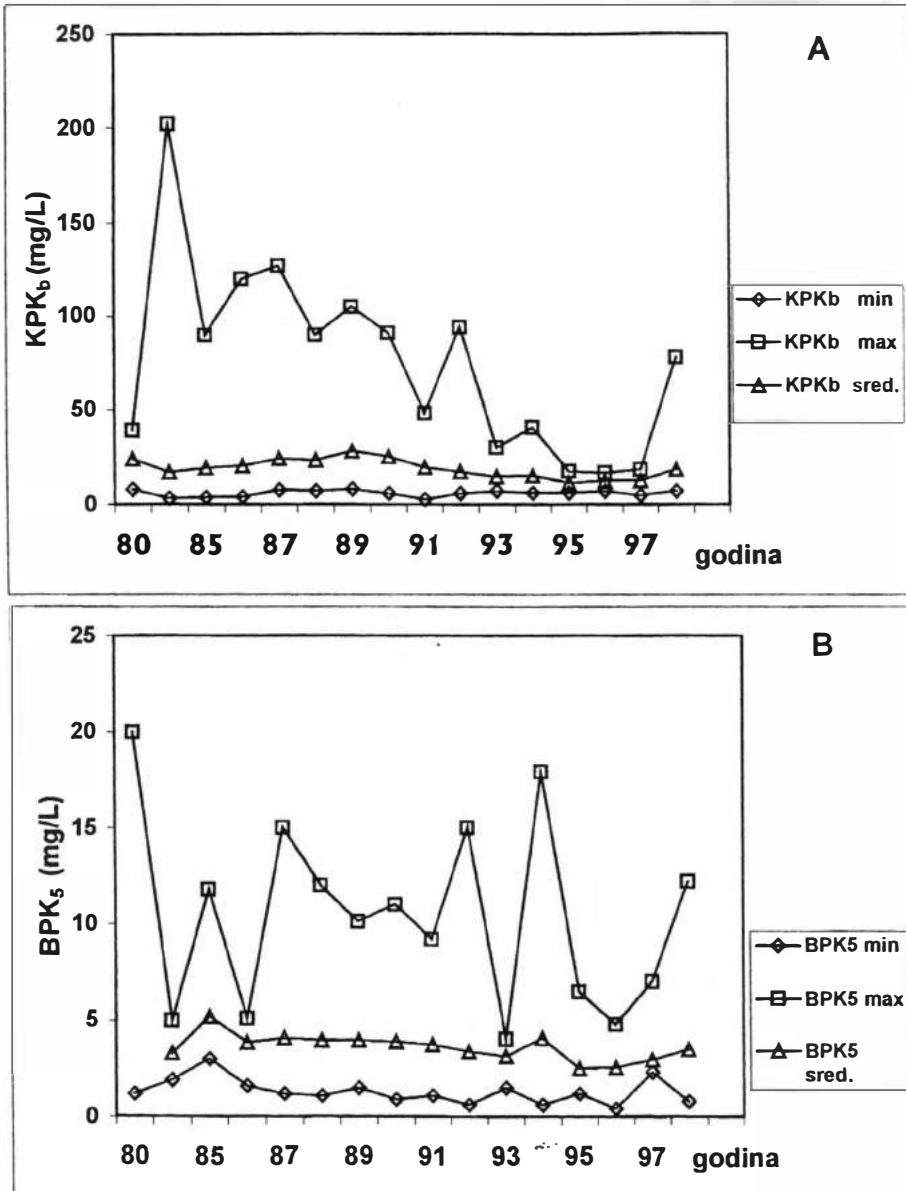
Na Slici 1A prikazane su srednje vrijednosti i rasponi vrijednosti za KPK_p na lokaciji Jesenice u vremenskom razdoblju od 1980. do 1998. godine. Jasno je vidljiv porast vrijednosti od 1984. do 1992. godine, zatim relativno niže vrijednosti nakon 1992. godine, te ponovno porast u 1998. godini. Kako se program praćenja kakvoće vode rijeke Save mijenjao tijekom vremena za kemijsku potrošnju kisika iz permanganata (KPK_p), nedostaju podaci za razdoblje 1987.-1991., te se ne mogu pratiti promjene ovog pokazatelja u cijelom vremenskom periodu. Srednje vrijednosti KPK_p za period 1984.-1986. bile su od 9-13, zatim su vrijednosti pale na 6,2 u 1992., odnosno do 3,5 za daljnje godine, da bi u 1998. ponovno porasle do 6,2. Isti trend promjena pokazuju i vrijednosti sadržaja ukupnih površinski aktivnih tvari (PAT_A), kao što je prikazano na Slici 2A. Porast koncentracije organskih tvari u rijeci Savi u razdoblju od 1982. do 1990. godine pratilo je često i sniženje koncentracije otopljenog kisika. Program neradiološkog monitoringa obuhvaćao je i dodatni ekološki monitoring kad koncentracija otopljenog kisika u Brežicama padne ispod 5 mg O_2/l . U Tablici 1 navedeni su podaci o broju dana u periodu od 1983. do 1990. kada je na lokaciji Brežice koncentracija otopljenog kisika bila ispod 5 mg O_2/l . Ističu se godine 1985. sa 101 dan i 1989. sa 113 dana u kojima se obavljao dodatni ekološki monitoring zbog značajnog sniženja koncentracije otopljenog kisika u rijeci Savi. Na Slici 2B prikazan je trend promjena koncentracije hidrofobnih površinski aktivnih tvari u rijeci Savi kod Jesenica, gdje je jasno vidljivo da su najveće vrijednosti ovog pokazatelja određene upravo u 1985. i 1989. godini.

Tablica 1. Broj dana kada je koncentracija kisika u rijeci Savi kod Brežica bila manja od 5 mg/l.

Godina	Broj dana
1983	74
1984	21
1985	101
1986	24
1987	20
1988	48
1989	113
1990	82

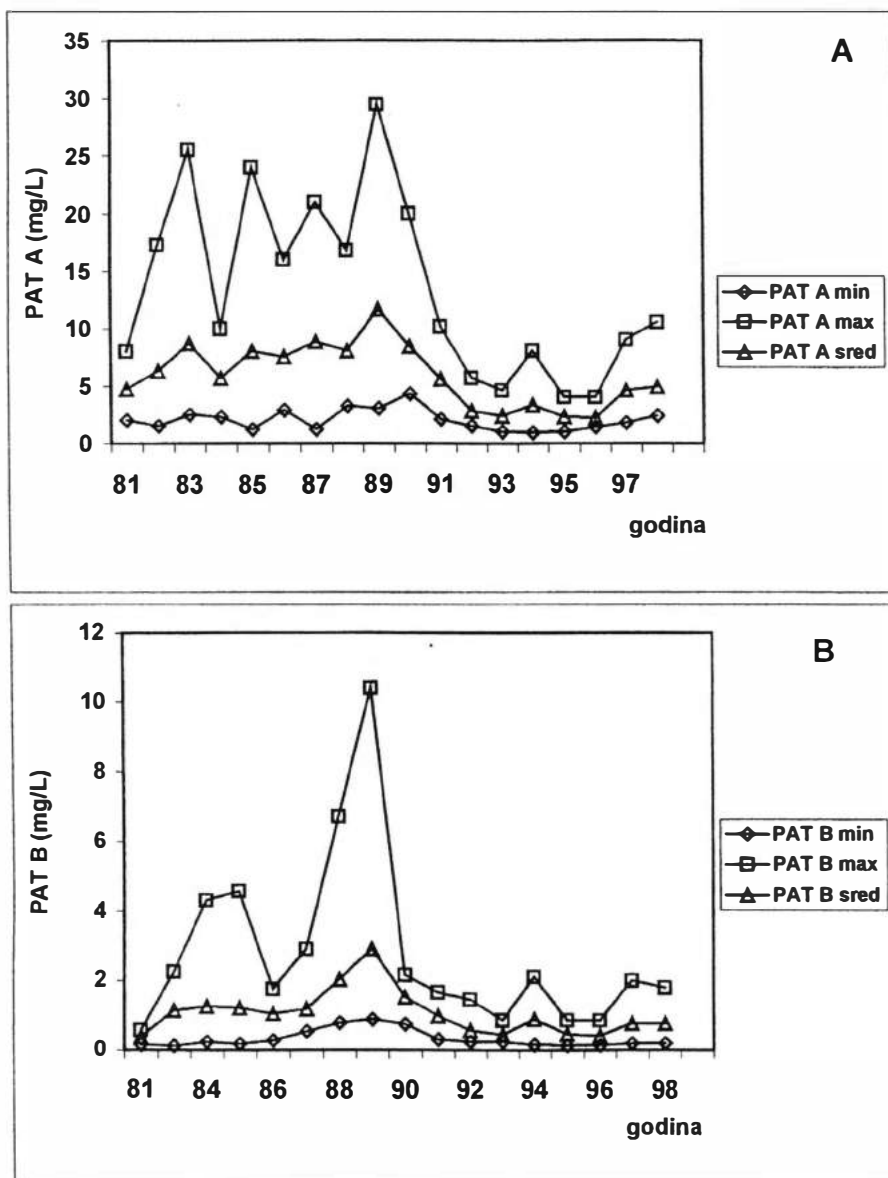
Ovakva opažanja se u potpunosti slažu sa našim laboratorijskim ispitivanjima koja su pokazala da kod izlaganja organskih tvari utjecaju povišene temperature dolazi do povećanja hidrofobnosti organskih tvari⁽⁶⁾. Hidrofobna svojstva organskih tvari utječu na njihovu topljivost u vodi i otapalima, adsorpcijska svojstva na raznim površinama te procese njihovog uklanjanja iz vodenog sustava⁽⁷⁾. U rijeci Savi kod Jesenica povećanje hidrofobnosti organskih tvari može se pripisati složenom utjecaju rashladnih voda NE Krško.

Za razdoblje od 1991. do 1998. godine postoje podaci o broju dana u godini kada je zagrijavanje Save u točki miješanja bilo $Dt > 2\text{ }^\circ\text{C}$. U pravilu se radi o više od 100 dana sa Dt do $3\text{ }^\circ\text{C}$. Kako je u tom vremenskom razdoblju koncentracija organske tvari u Savi bila znatno manja nego u razdoblju 1982-1991 (vidi Slike 1 i 2) utjecaj povišene



Slika 1. Srednje vrijednosti i rasponi vrijednosti (minimalne i maksimalne) KPKb (A) i BPK5 (B) na lokaciji Jesenice. Srednje vrijednosti za razdoblje 1977-1988. prije rada NE Krško predstavljena je u 1980. godini.

temperature bio je također znatno manji, što je u skladu sa načelima zakonskih propisa u raznim zemljama da veći stupanj kvalitete vode dozvoljava i veće toplinsko opterećenje⁽⁸⁾. Na Slici 1B prikazane su srednje vrijednosti i rasponi vrijednosti za biokemijsku potrošnju kisika (BPK₅) u Savi kod Jesenica u cijelom vremenskom periodu. Srednje vrijednosti BPK₅ bile su u rasponu od 2,5 do 5,2 bez izrazitog trenda te odgovaraju prema Uredbi o klasifikaciji voda (NN 77/98) vodama između II i III vrste.



Slika 2. Srednje vrijednosti i rasponi koncentracija (maksimalne i minimalne) ukupnih površinskih aktivnih tvari PAT A (A) i hidrofobnih površinskih aktivnih tvari PAT B (B) na lokaciji Jesenice. Prosječne vrijednosti za razdoblje 1979-1981. prikazane su u 1981. godini.

Najviše godišnje vrijednosti BPK₅ u Savi kod Jesenica pokazuju vrlo velike oscilacije koje mogu biti i iz metodoloških razloga.

Srednje vrijednosti koncentracije otopljenog organskog ugljika (DOC) u rijeci Savi bile su u rasponu od 2 do 2,9 mg/l za razdoblje od 1992. do 1998. godine. Ako se pretpostavi da se kemijska potrošnja kisika uglavnom odnosi na oksidaciju otopljene organske tvari, tada se iz odnosa KPK i DOC može odrediti prosječni oksidacijski broj

organske tvari⁽⁹⁾, koji za Savu kod Jesenica u periodu 1992-1998 iznosi približno -2,5 što znači da je još velik dio organskih tvari u Savi u nižem oksidacijskom stanju te će trošiti kisik u procesu oksidacije.

Razmatrajući podatke o sadržaju organskih tvari u vodi rijeke Save kroz duži vremenski period može se zaključiti da je organsko opterećenje Save povezano sa radom NE Krško i tvornice papira uzvodno od elektrane. Poboljšanje kakvoće vode rijeke Save nakon 1991. godine može se objasniti najvjerojatnije poboljšanjem kvalitete vode na ulazu u NEK. Napominjemo međutim da je u 1997. i 1998. godini uočen jasno vidljiv trend pogoršanja kakvoće vode rijeke Save kod Jesenica, o čemu bi trebalo voditi brigu kako u mjerenjima tako i u otkrivanju uzroka i načinu njegovog kontroliranja.

Literatura

1. B. Ćosović, V. Vojvodić, Ž. Stipić, Određivanje i karakterizacija organskih tvari u rijeci Savi i podzemnim vodama nizvodno od NE Krško, Konferencija "Zaštita voda '88", Dojran, 1998, str. 230-239.
2. B. Ćosović, V. Vojvodić, D. Krznarić, Ž. Stipić, Utjecaj rijeke Save na kvalitetu podzemnih voda s obzirom na udio površinski aktivnih tvari, Rijeka Sava, zaštita i korištenje vode, Zbornik radova sa savjetovanja JAZU, Zagreb, 1989, str. 362-368.
3. Izvještaji "Monitoring kvalitete vode, zraka i tla vezanog uz rad NE Krško", IRB, Zagreb 1983, 1984, 1985, 1986; Vodoprivredna radna organizacija Zagreb, 1987, 1988, 1989, 1990.
4. B. Ćosović, V. Vojvodić, T. Pleše, Electrochemical determination and characterization of surface active substances in freshwaters, *Water Research* 19 (1985) 175-183.
5. B. Ćosović, Primjena polarografije i voltametrije izmjenične struje u određivanju površinski aktivnih tvari, *Kem. Ind.* 43 (1994) 497-503.
6. B. Ćosović, Z. Kozarac, Temperature and pressure effects upon hydrophobic interactions in natural waters, *Marine Chemistry* 42 (1993) 1-10.
7. B. Ćosović, V. Vojvodić, Adsorption behaviour of the hydrophobic fraction of organic matter in natural waters, *Marine Chemistry* 28 (1989) 183-198.
8. Thermal Discharges of Nuclear Power Stations, Standards of water protection, IAEA 1974, 147-149.
9. W. Stumm, J.J. Morgan, *Aquatic Chemistry*, 2. izdanje, Wiley, New York, 1981, str. 510.

Autori:

Dr. sc. Božena ĆOSOVIĆ, Dr. sc. Vjeročka VOJVODIĆ, Institut "Ruđer Bošković",
Zavod za istraživanje mora i okoliša Bijenička 54, 10001 Zagreb

Mr. sc. Ružica MARUŠIĆ, Hrvatske vode, Glavni vodno-gospodarstveno laboratorij,
Većeslava Holjevca 15, 10000 Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.61.

Utjecaj NE Krško i grada Zagreba na radioaktivnost rijeke Save

Stipe Lulić, Katarina Košutić, Željko Grahek, Astrea Vertačnik i Josip Črnugelj

SAŽETAK: Redovita radiološka kontrola Nuklearne elektrane Krško obuhvaća nadzor inventara tekućih i plinovitih emisija na izvoru i nezavisan nadzor unosa radionuklida u širu okolinu (imisije)⁽¹⁾. Kontrolirano područje okoline u prvom redu čini 12-kilometarski pojas oko objekta gdje se očekuju najviše vrijednosti emisije i gdje je moguće potencijalno najranije uočiti promjene kod rijeke Save i u podzemnim vodama. Pojas je proširen i na područje Republike Hrvatske (od Jesenica na Dolenjskem do Podsuseda (zračna udaljenost 30 km.)). Pored redovite radiološke kontrole NE Krško na gore navedenim lokacijama, istovremeno su uzimani uzorci vode rijeke Save na lokaciji Oborovo, koja se nalazi nizvodno od grada Zagreba, lokacija koja je bila planirana kao druga hrvatsko-slovenska nuklearna elektrana. U ovom radu prikazati će se rezultati mjerenja radioaktivnosti rijeke Save na lokaciji Jesenice na Dolenjskem (utjecaj NE Krško) i lokaciji Oborovo (utjecaj NE Krško i grada Zagreba). Posebno će se dati osvrt na rezultate mjerenje aktivnosti radionuklida ^3H (aktivacioni produkt rada NE Krško), ^{40}K (prirodni radionuklid), ^{90}Sr , ^{131}I i ^{137}Cs (fisioni produkti) za vremenski period od 1985. do 1997. godine. Navedeni radionuklidi izabrani iz razloga jer se iz njihove mjerene aktivnosti može ustanoviti i doprinos grada Zagreba na mjerenu aktivnost. Poznato je da je grad Zagreb veliki korisnik radionuklida ^3H i ^{131}I koji se koriste u medicinske i znanstvene svrhe i putem kanalizacije dopijevaju u rijeku Savu.

KLJUČNE RIJEČI: NE Krško, grad Zagreb, medicinske ustanove, radioaktivnost

Impact of Krško NPP and the City of Zagreb on the Sava River Radioactivity Level

SUMMARY: Regular radiological control conducted at the Krško Nuclear Power Plant (NPP) includes on-site control of liquid and gaseous emissions cadastre and independent control of radionuclide input into the greater surroundings (imission)⁽¹⁾. The controlled neighboring area consists primarily of a 12 km belt around the power plant, where the highest imission levels are expected and where potentially the earliest detection of changes in the Sava river and ground waters is possible. The belt is expanded to the territory of the Republic of Croatia (from Jesenice na Dolenjskem to Podsused (air distance 30 km)). In addition to regular radiological control of the Krško NPP at the above locations, the samples were taken from the Sava river at Oborovo location downstream the City of Zagreb (location which once had been planned for the second Croatian-Slovenian nuclear power plant). The present paper presents the activity measurement results for the Sava River at Jesenice na Dolenjskem (Krško NPP impact) and Oborovo (combined Krško and the City of Zagreb impact). Particular review is given of activity measurement results for radionuclides ^3H (Krško NPP actuation product), ^{40}K (natural radionuclide), ^{90}Sr , ^{131}I and ^{137}Cs (fission products) for the period between 1985 and 1997. The mentioned radionuclides have been selected because their measured

activity enables us to determine contribution of the City of Zagreb to the measured activity. It is well known that the City of Zagreb is a major user of radionuclides ^3H and ^{131}I , which are used for medical and health care purposes; they reach the Sava River through sewage.

KEYWORDS: Krško NPP, City of Zagreb, medical institutions, radioactivity

Uvod

Rijeka Sava je u svom toku recipijent za mnoge otpadne tvari s obzirom da su na njezinoj obali smještena velika naseljena mjesta, energetska objekti i industrijska postrojenja kojima rijeka služi kao izvor tehnološke vode koja se nakon završenog tehnološkog ciklusa zagađenja ispušta ponovo u rijeku. Obzirom da je Sava povezana s podzemnim vodama u okolici Zagreba a podzemni vodonosni horizonti služe za opskrbu grada pitkom vodom postoji mogućnost prodara zagađivala u te horizonte. Stoga je nužna stalna kontrola vode rijeke Save. U sklopu te kontrole podrazumijeva se i kontrola prisutnosti radioaktivnih izotopa. Radioaktivno zagađenje rijeke Save potječe od NE Krško i grada Zagreba.

Praćenjem nivoa radioaktivnosti na lokacijama Jesenice na Dolenskem i Oborovo ukazuje na moguću izvor radioaktivnog zagađenja. Lokacije su odabrane tako da iz rezultata mjerenja možemo zaključiti što se u rijeku Savu ispušta iz NE Krško, a što grad Zagreb ispušta svojim otpadnim vodama. U razmatranje su uzeti slijedeći radionuklidi: ^3H (aktivacioni produkt) i ^{90}Sr , ^{131}I , ^{137}Cs (fisioni produkt), a njihova koncentracija, praćena od 1985 godine, bit će prikazana u ovom radu. Poznato je da se ^3H i ^{131}I koriste u znanstvene i medicinske svrhe, pa njihove eventualno povećane koncentracije na lokaciji nizvodno od grada Zagreba ukazuju na neželjeni utjecaj velikog grada na okoliš. Medicinske ustanove redovito koriste radionuklide u dijagnostičke i terapijske svrhe na različitim odjelima i laboratorijima. Uglavnom se upotrebljavaju kratkoživući radionuklidi, najčešće ^{131}I odnosno $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Jedan dio korištenih radionuklida dopijeva u otpadne vode, u kojima je potrebno kontrolirati sadržaj radioaktivnih tvari prije nego se ispuste u javnu kanalizaciju. Zakonodavac propisuje u Pravilniku o sastavu otpadnih voda koje se ispuštaju u javnu kanalizaciju (Službeni glasnik grada Zagreba br 24/77)⁽²⁾ najviše dopuštene koncentracije pojedinih tvari. Za radioaktivne tvari propisano je najviše 148 Bq/m³ ukupne beta radioaktivnosti.

Materijali i metode

Uzorci vode rijeke Save sakupljani su prema godišnjem programu radiološkog monitoringa za NE Krško. Tako su uzorkovanja do 1985. godine vršena četiri puta godišnje, dok su od 1986. godine. uzorkovanja vršena mjesečno. Uzorci vode rijeke Save na lokaciji Jesenice na Dolenjskem se uzimanju kontinuirano i to dnevni uzorak uzet kroz 24 sata, dok na lokaciji Oborovo uzorkovanje se vrši također dnevno ali jednokratno. Uzorci se otparavaju na automatskim otparivačima i pripremaju se mjesečni kompozitni uzorci. Za gama spektrometriju uzorci se pakiraju u plastične kutije određene geometrije (125 grama) i broje se na HPGe-poluvodičkom detektoru spojenom s PC računalom koji sadrži ADC-kartu od 4096 kanala. Relativna efikasnost detektora je cca 25%. Energetska rezolucija kod 1332 keV-a iznosi 1,75 keV-a, a odnos "peak to Compton" je 57,2:1. Dobiveni gama spektri obrađeni su na PC računalu pomoću programa GENIE PC software V 2.0 4/95 CANBERRA. Da bi rezultat bio pouzdan vrijeme brojenja uzorka je od 100000-200000 sekundi. Od svakog spektra oduzeto je osnovno zračenje koje je brojano 400000 sekundi. Nakon gama spektrometrijskih

mjerenja, uzorak je korišten za određivanje radioaktivnog stroncija. Uzorci su obrađivani raznim analitičkim postupcima^(3,4), kako bi se izolirao čisti radioaktivni stroncij, koji se onda mjeri na a/b plinskom proporcionalnom brojaču CANBERRA 2400. Efikasnost brojača za datu energiju iznosi 35%, a vrijeme brojenja uzorka je 100 minuta. Osnovno zračenje je manje od 1 impulsa na minutu.

Otpadne vode u kojima se određuje radioaktivnost uzorkovao je Odsjek za ispitivanje voda Zavoda za javno zdravstvo grada Zagreba i dostavljao ih Laboratoriju za radioekologiju Instituta "Ruder Bošković"⁽⁷⁾. Dostavljano je po 10 litara otpadne vode uz poznati datum i sat uzorkovanja, te broj (šifru) pod kojim se vodi u Zavodu za javno zdravstvo grada Zagreba. Cijeli uzorak otpadne vode otparen je do suha, a otparni ostatak prenesen u plastične kutije. Za mjerenje beta radioaktivnosti odvagano je točno 1 g otparnog ostatka u planšetnu i mjereno na a/b plinskom proporcionalnom brojaču CANBERRA 2400. Uzorak je mjereno tri puta po 30 minuta, zajedno s K_2SO_4 standardom i praznom planšetom kao mjerom osnovnog zračenja ($<1,0$ imp/min). Iz omjera broja impulsa standarda i uzorka, a poznavajući sadržaj otparnog ostatka ispitivane vode, izračuna se b aktivnost u Bq/m^3 . Obzirom da velika većina otpadnih voda ima aktivnost veću od najviše dozvoljene, svi uzorci su prošli gama-spektrometrijsku analizu. Mjerenje gama-aktivnosti u prirednim uzorcima provedeno je na sustavu Ge(Li) detektor-4096 kanalni analizator tijekom najmanje 80 000 sekundi. Iz karakterističnih fotovrhova, njihovog intenziteta, vremena poluraspada, poznate efikasnosti brojača te osnovnog zračenja izračunavana je specifična aktivnost svih prisutnih umjetnih gama-emitera na dan uzorkovanja otpadne vode.

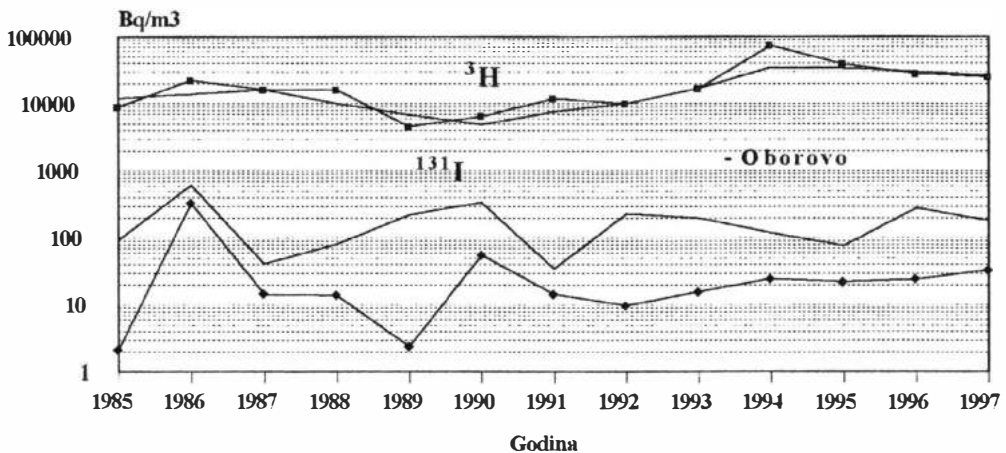
Rezultati i diskusija

Rezultati mjerenja aktivnosti 3H , ^{90}Sr , ^{131}I i ^{137}Cs dani su Tablicama 1,2 i 3. Tablica 1. prikazuje mjerenu aktivnost ^{131}I u uzorku otpadne vode i u vodi rijeke Save na lokacijama Jesenice na Dolenjskem i Oborovo. Rezultati aktivnosti ^{131}I u otpadnoj vodi dani su ukupno za sve mjerene uzorke otpadne u tijeku jedne godine. Iz Tablice 1. vidljivo je da mjerena aktivnost ^{131}I na lokaciji Oborovo je znatno viša od one mjerene na lokaciji Jesenice na Dolenjskem. Na osnovu toga možemo zaključiti da povećana aktivnost ^{131}I nije uzrokom rada NE Krško, već ispuštanja iz medicinskih ustanova koja u rijeku Savu dolazi putem kanalizacije. Ovu tvrdnju možemo poduprijeti podacima o pregledu uvoza radioaktivnih izotopa s kojima raspolaže Ministarstvo zdravstva Republike Hrvatske. Tako u tijeku 1998. godine samo jedna uvozna organizacija koja se bavi uvozom radioaktivnih izotopa, a ima ih više, je uvezla za jednu medicinsku ustanovu iz Zagreba oko 270 GBq ^{131}I , a u Zagrebu ih ima više. Sve te uvozne organizacije uvoze radioaktivne izotope za sve medicinske ustanove u Republici Hrvatskoj. Pravilnik o sastavu otpadnih voda koje se ispuštaju u javnu kanalizaciju za radioaktivne tvari predviđa samo ukupnu aktivnost i to 148 Bq/m^3 vode⁽²⁾. Ova odrednica ništa ne govori o vrsti prisutnih radionuklida, a i daleko je prenisko postavljena. Visoke aktivnosti b mogu potjecati od prisutnih prirodnih radionuklida, naročito u tvrdim vodama. Pitke vode koje smo isptivali, poglavito sa zagrebačkog područja, imaju veću b aktivnost. Pravilnik o higijenskoj ispravnosti pitke vode, a i preuzeti propis dopušta 1000 Bq/m^3 b-radioaktivnosti⁽⁵⁾. Pošto većina rezultata aktivnosti prelazi Pravilnikom zadanu granicu, za odluku o dozvoli ispuštanja u javnu kanalizaciju koristili smo odredbe Pravilnika o maksimalnim granicama radioaktivne kontaminacije čovjekove okoline i o obavljanju dekontaminacije, odnosno preuzeti propis⁽⁶⁾.

Tablica 1. Broj analiziranih uzoraka i ukupno izmjerena godišnja aktivnost ^{131}I u kanalizacijskoj vodi i mjerena aktivnost ^{131}I na lokacijama Jesenice na Dolenjskem i Oborovo

Godina	Broj uzoraka	Aktivnost ^{131}I (Bq/m^3)		
		otpadna voda	Jesenice	Oborovo
1985.			2,1	92
1986.	3	13000	330	620
1987.	4	20900	15	41
1988.	3	118600	14	82
1989.	3	81030	2,4	220
1990.	2	4900	55	340
1991.	10	69240	15	35
1992.	3	19800	9,8	230
1993.	2	1840	16	200
1994.	5	772900	25	120
1995.	4	213800	22	76
1996.	3	108600	24	280
1997.	3	19000	33	182

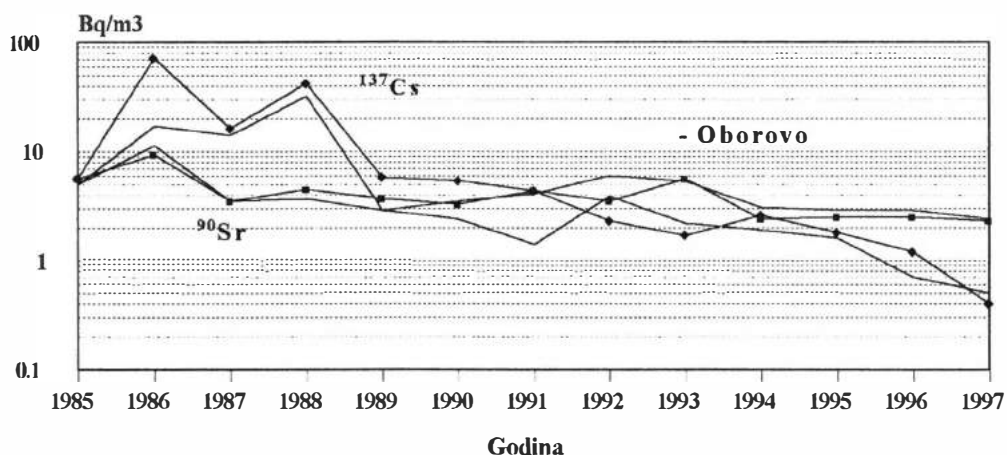
Tablica 2. prikazuje rezultate mjerenja aktivnosti ^3H , ^{90}Sr i ^{137}Cs na lokacijama Jesenice na Dolenjskem i Oborovo. Iz Tablice 2. vidljivo je da nema gotovo nikakve razlike u mjerenim aktivnostima za navedene radionuklide, odnosno da mjerena aktivnost potječe od rada NE Krškog, odnosno od njenog ispuštanja tekuće radioaktivnosti iz Waste monitor tankova u vodu rijeke Save. Na Slici 1. i Slici 2. prikazane su mjerene aktivnosti ^3H i ^{131}I , odnosno ^{90}Sr i ^{137}Cs na na lokaciji Jesenice na Dolenjskem i lokaciji Oborovo. Na slikama je vidljivo da nema gotovo nikakve razlike u mjerenoj aktivnosti bez obzira na lokaciju za radionuklide ^3H , ^{90}Sr i ^{137}Cs , dok za mjerenu aktivnost ^{131}I vidimo da je mjerena aktivnost veća za lokaciju Oborovo, odnosno vidljiv je utjecaj otpadnih voda grada Zagreba.



Slika 1. Mjerene aktivnosti radionuklida ^3H i ^{131}I na lokacijama Jesenice na Dolenjskem i Oborovo

Tablica 2. Mjerena aktivnost ^3H , ^{90}Sr i ^{137}Cs na lokacijama Jesenice na Dolenjskem i Oborovo

Godina	Aktivnost (Bq/m ³)					
	^3H		^{90}Sr		^{137}Cs	
	Jesenice	Oborovo	Jesenice	Oborovo	Jesenice	Oborovo
1985.	8900	12000	5,5	5,0	5,7	5,0
1986.	22000	14000	9,4	11	72	17
1987.	16000	16000	3,5	3,5	16	14
1988.	16000	10000	4,5	3,7	42	32
1989.	4600	6800	3,7	2,9	5,8	2,9
1990.	6500	4900	3,3	3,5	5,4	2,4
1991.	12000	76000	4,4	4,1	4,4	1,4
1992.	10000	10000	3,5	6,0	2,3	3,9
1993.	16700	17000	5,6	5,3	1,7	2,2
1994.	73100	35000	2,4	3,1	2,6	1,9
1995.	39000	34000	2,5	2,9	1,8	1,6
1996.	28000	30000	2,5	2,9	1,2	0,7
1997.	25000	25000	2,3	2,4	0,4	0,5

**Slika 2.** Mjerene aktivnosti radionuklida ^{90}Sr i ^{137}Cs na lokacijama Jesenice na Dolenjskem i Oborovo

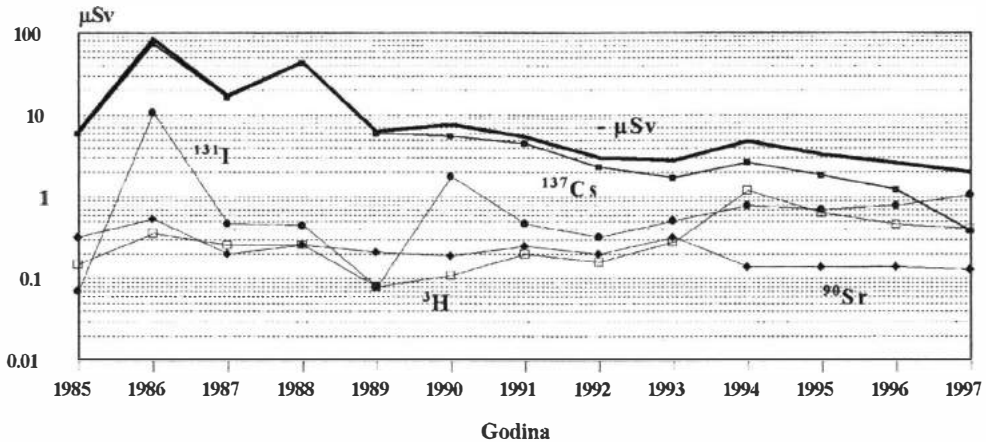
Tablica 3. pokazuje dozu ozračenja koju bi primio pojedinac tzv. “najizloženiji pojedinac” (praktički nepostojeći, koji bi tijekom godine trebao popiti 730 litara vode iz Save i pojesti 16 kilograma ribe ulovljene u toj rijeci). “Najizloženiji pojedinac” smije primiti u godinu dana, prema ograničenju (1000 mikrosiverta) iz propisa o dopuštenom ozračivanju stanovništva. U istoj tablici dajemo i prikaz doprinos onog radionuklida koji ima najveći doprinos u ukupnoj dozi ozračenja na navedenoj lokaciji. Tako vidimo da za lokaciju Jesenice na Dolenjskem najveći doprinos potječe od radionuklida ^{137}Cs , a na lokaciji Oborovo od radionuklida ^{131}I . Doze ozračenja najveće su u vrijeme i neposredno iza Černobilske nesreće, a iza tog vremena doza ozračenja se smanjuje, i veća je na lokaciji Oborovo zbog doprinosa grada Zagreba, ali gotovo

zanemariva za godišnju dopustivu dozu ozračenja propisanu zakonom (1000 μSv). Doprinos pojedinog radionuklida i ukupna doza ozračenja na lokaciji Jesenice na Dolenjskem prikazan je na Slici 3, a doprinos pojedinog radionuklida i ukupna doza ozračenja na lokaciji Oborovo na Slici 4.

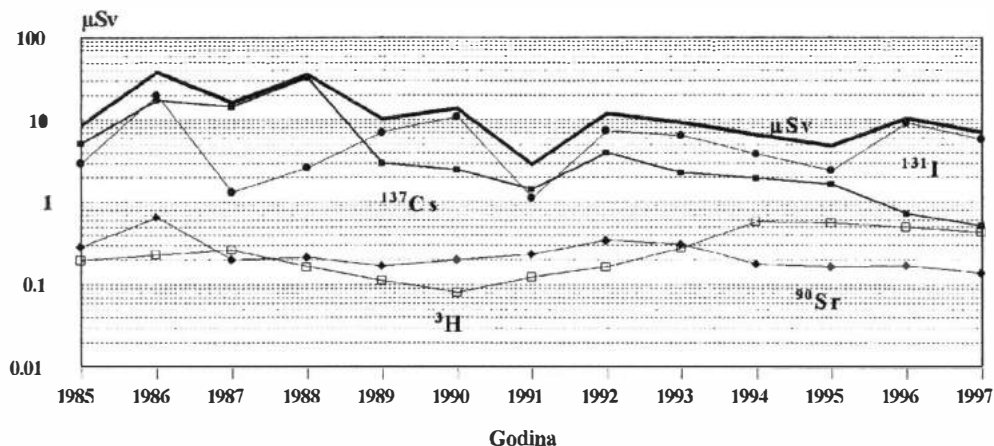
Tablica 3. Doza ozračenja ($\mu\text{Sv}/\text{godinu}$) i najveći doprinos od radionuklida na lokaciji Jesenice na Dolenjskem i Oborovo

Godina	Doza ozračenja		Doprinos (%)	
	μSv		^{137}Cs	^{131}I
	Jesenice	Oborovo	Jesenice	Oborovo
1985.	6,4	8,6	92	35
1986.	85	38	86	52
1987.	17	16	95	8,2
1988.	44	36	98	7,4
1989.	6,3	10	94	69
1990.	7,6	14	73	80
1991.	5,4	2,9	83	39
1992.	3,0	12	77	62
1993.	2,8	9,3	61	69
1994.	4,8	6,6	55	59
1995.	3,3	4,8	56	51
1996.	2,6	10	47	87
1997.	2,0	7,0	19	84

Konačno treba reći da samo Zavod za javno zdravstvo grada Zagreba kontrolira otpadne vode zagrebačkih medicinskih ustanova, s tim da se sustavno kontrolira otpadna voda na radioaktivnost samo jedne ustanove. Medicinske ustanove iz ostalih gradova Republike Hrvatske nikad nisu kontrolirale svoje otpadne vode na radioaktivnost. Bez obzira što nema navedene kontrole otpadnih voda ostalih medicinskih ustanova na teritoriju Republike Hrvatske gornji zaključak se može odnositi i na njih.



Slika 3. Doprinos pojedinog radionuklida i ukupna doza ozračenja na lokaciji Jesenice na Dolenjskem



Slika 4. Doprinos pojedinog radionuklida i ukupna doza ozračenja na lokaciji Oborovo

Zaključci

Pokazano je da nuklearna postrojenja nisu jedini zagađivači čovjekove okoline.

1997. godina je bila posljednja godina u kojoj je uziman uzorak vode rijeke Save na lokaciji Oborovo, odnosno od te godine neće biti podataka o utjecaju grada Zagreba na razinu radioaktivnosti.

Doprinos grada Zagreba u predstojećim godinama će bit povećan, jer grad Zagreb se povećava, odnosno potreba za korištenim radioizotopima u medicinskim ustanovama raste iz godine u godinu.

Potrebno je nastaviti kontrolu otpadnih voda iz medicinskih ustanova i to sustavno, prema odredbama odgovarajućeg Pravilnika.

Potrebno je kontrolirati otpadne vode, pored zagrebačkih, i ostalih medicinskih ustanova na području Republike Hrvatske.

Potrebno je kreirati novi, odnosno promijeniti postojeći Pravilnik o sastavu otpadnih voda koje se ispuštaju u javnu kanalizaciju (Sl.glasnik grada Zagreba br.24/77), u dijelu koji definira dozvoljene koncentracije radioaktivnih tvari u otpadnoj vodi, pošto je postojeća maksimalno dozvoljena koncentracija prenisko postavljena i nespecifična.

Literatura

1. Mjerenje radioaktivnosti u okolini NE Krško-Godišnji izvještaji za 1985. do 1997. godine.
2. Pravilnik o sastavu otpadnih voda koje se ispuštaju u javnu kanalizaciju. Službeni glasnik grada Zagreba br. 24/1997, 870-872, Zagreb
3. Technical Reports Series No 295, IAEA, Vienna 1989
4. J. of Radioanal. and Nucl.Chem., 189, No. 1 (1995)141-146
5. Pravilnik o higijenskoj ispravnosti pitke vode, Sl.list SFRJ br. 33/1987, 865-874, Beograd
6. Pravilnik o maksimalnim granicama radioaktivne kontaminacije čovjekove okloine i o obavljanju dekontaminacije. Sl. list SFRJ br 8/1987, 226-245, Beograd

7. A. Vertačnik, S. Lulić i D. Barišić: Gama-spektrometrijska kontrola otpadnih voda medicinskih ustanova iz Republike Hrvatske. Zbornik radova Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, Zagreb 1992, 253-257.

Autor:

Dr. Stipe Lulić, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut "Rudjer Bošković", Bijenička 54,
10000 Zagreb, e-mail: lulic@rudjer.irb.hr



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.62.

Sanacija smetišta Jakuševac i zaštita podzemnih voda

Stjepan Nikolić, Boris Švel

SAŽETAK: Izložen je doprinos sanacije smetišta Jakuševac na zaštiti podzemnih voda Savskog aluvija Zagreb - Jugoistok, najvećeg nalazišta podzemne vode Zagreba. Na tom je području predviđena eksploatacija podzemne vode u količini od 6,0 m³/sek za vodoopskrbu Zagreba i šire zone. Izradom vodonepropusnog složenog sustava brtvljenja dna deponija na koji će se presložiti postojeći otpad i osigurati daljnja deponiranja otpada za više godina, spriječiti će se poniranje oborinskih voda kroz otpad u podzemnu vodu za oko 340.000 m³/god. Realizacijom prve faze sanacije 1997. god., smanjeno je poniranje zagađene vode u vodonosne slojeve ispod smetišta za oko 15%. Dok se ulažu i sredstva i naponi za zaštitu podzemnih voda od smetišta Jakuševac, planira se na tom istom području izgradnja novih objekata koji mogu ugroziti kvalitet podzemne vode. Podsjeća se i upozorava da se tu prema ranijim odlukama Grada Zagreba, radi o vodozaštićenom području.

KLJUČNE RIJEČI: smetište Jakuševac, podzemna voda, crpilište Črnkovec, zaštita podzemnih voda, novi objekti na crpilištu.

Jakuševac Dump Site Remediation and Groundwater Protection

SUMMARY: The paper describes contribution of the Jakuševac Dump Site remediation to protection of the groundwater in the Sava alluvium Zagreb-Jugoistok area, the largest groundwater find in the City of Zagreb. This area is planned for the groundwater exploitation (6,0 m³/sec) for water supply of Zagreb and its greater area. Construction of impermeable geomembrane, on which the existing waste shall be removed in order to enable disposal of waste during a longer period in the future, shall prevent penetration of some 340.000 m³/year of rainwater through the waste and into the groundwater. Implementation of the first remediation stage in 1997. resulted in approximately 15% reduction in leachate penetration into the water-bearing layers underlying the dump site. While the financial and human efforts are being exercised to protect the groundwater against the Jakuševac Dump Site impact, the very same area is being planned for construction of new facilities which might jeopardize the groundwater quality. The paper highlights the fact that this area was declared a water-protection zone by the earlier decisions of the City of Zagreb.

KEYWORDS: Jakuševac dump site, groundwater, well field Črnkovec, protection of groundwater, new buildings on, well field.

1. Uvodno

Najveće i najbogatije područje podzemne vode Zagreba nalazi se na jugoistoku Grada, proteže se u desnom zaoblju Save od Novog Zagreba do Rugvice, te sa sjevernim lijevoobalnim rubnim dijelovima, sačinjava geološku cjelinu.

Na tom se području nalaze danas glavna crpilišta vodoopskrbnog sustava Zagreba: Mala Mlaka s kapacitetom do 1200 l/s, Velika Gorica 900 l/s, Petruševac 1250 l/s i Sašnjak do 1100 l/s.

Na tom istom području uz obilaznicu i zračnu luku predviđena je izgradnja najvećeg zagrebačkog crpilišta Črnkovec, kapaciteta do 6,0 m³/s, ali i novi objekti: proširenje zračne luke Zagreb, produžena Radnička cesta do novog terminala zračne luke, te novi glavni odvodni kanal Novog Zagreba.

Kakvoća vode koju daju navedena crpilišta još uvijek odgovara standardima pitke vode izuzev na crpilištu Sašnjak, gdje su već instalirana postrojenja za pročišćavanje.

Kako je općenito poznato, na desnom zaobalju nalazi se od 1965. god. centralno gradsko smetište Jakuševac koje ugrožava kakvoću podzemne vode. No osim smetišta postoje i drugi utvrđeni izvori zagađenja kao Ranžirni kolodvor, vojni objekti, Zračna luka Zagreb, obilaznica, industrija, poljoprivreda i naselja.

Izuzev izgradnje podzemne dijafragme između Ranžirnog kolodvora i crpilišta Male Mlake (prije cca 30 god.), te zaštitnog kanalskog sustava uz obilaznicu i Velikogoričku cestu, drugih zaštitnih objekata podzemne vode nema.

Odluke o zaštitnoj zoni crpilišta Črnkovec iz VOZG 1982., te Službeni glasnik br.38/90, 10/91 i 23/93 podsjećaju nas da je to područje prvenstveno namijenjeno za eksploataciju pitke vode, unatoč planovima izgradnje drugih objekata na tom istom području.

2. Stanje kakvoće podzemnih voda

Dva su osnovna procesa koji djeluju na formiranje kakvoće podzemnih voda:

- prirodni, kod kojeg u određenim fizikalno - kemijsko - bakteriološkim uvjetima dolazi do otapanja prirodnih autohtonih minerala željeza, mangana i drugih minerala. Visoke koncentracije mangana utvrđene su u neposrednoj zoni smetišta, kao vjerojatna posljedica površinskih procesa.
- drugi proces je ljudsko djelovanje na okoliš u negativnom ekološkom kontekstu, i manifestira se bezbrojnim načinima zagađenja tla, te površinskih i podzemnih voda.

2.1. Smetište Jakuševac

Smetište Jakuševac počelo se formirati 1965. god., tako da je na nepripremljeno zemljište s plitkim šljunčarama i rukavcima odlagan svakovrstan otpad grada Zagreba. Tako je formirano na 80 ha neuređeno smetište, koje danas zaprema oko 6,0 milijuna m³ otpada. Dovoz se nastavlja u količini od oko 1000 t/dan, time da se danas vrši selekcija po osnovnim vrstama otpada.

Sanaciji smetišta pristupilo se tako, da se na tom prostoru formira sanitarna deponija, smanji površina smetišta, a izradom vodonepropusne podloge - geomembrane spriječi poniranje oborinskih voda kroz deponirani otpad i tako zaštititi podzemna voda od onečišćenja.

Polazeći od tih stajališta, izrađen je prvi dio sanitarne deponije, nazvan "radna ploha" na površini od 7,0 ha. Kod izrade te prve "radne plohe" korištena je najsuvremenija tehnologija, posebno kod izrade vodonepropusne podloge "geomembrane". Prema bilansu oborinskih voda, smanjeno je već sada poniranje i procjeđivanje oborina kroz deponirani otpad od početnih 341.136 m³/god. na 290.012 m³/god., što iznosi oko 15%.

2.2. Drugi zagađivači podzemne vode

Na području savskog aluvija Zagreb - jugoistok, na desnoj se obali osim Jakuševca, nalaze i druga mjesta zagađenja podzemne vode:

- Ranžirni kolodvor,
- Zračna luka Zagreb,
- Obilazni autoput,
- Velikogorička cesta,
- Industrija “Lomnica”,
- Naselja bez kanalizacije, prometnice, poljoprivreda, skladišta umjetnog gnojiva na otvorenom i dr.

Osim postojećih lokaliteta zagađenja, u tom se području planiraju objekti kojima nije mjesto na zaštićenom vodocrpilišnom području:

- Proširenje Zračne luke Zagreb,
- Izgradnja nove prilazne ceste k terminalu zračne luke, tzv. produžena Radnička cesta s mostom preko Save i petljom na križanju s obilaznicom, upravo na mjestu gdje se treba izgraditi I faza crpilišta Črnkovec,
- Glavni odvodni kanal Novog Zagreba u priljevnoj zoni crpilišta Črnkovec.

Kako će se tu smjestiti glavno zagrebačko crpilište i zaštititi podzemna voda, pitanje je na koje će se teško moći odgovoriti čak i strogim uvjetima gradnje, posebno vodoprivrednim uvjetima, kojima će se pokušati tehnički garantirati zaštita podzemnih voda.

Treba konačno utvrditi: Daljnje korištenje vodozaštitnog područja Črnkovec za planirane objekte, štetno je sa stanovišta osiguranja pitke vode Zagrebu, i suprotno postojećim odlukama zaštite podzemnih voda u toj zoni.

3. Program zaštite podzemnih voda u okviru sanacije smetišta Jakuševac

U pristupnim studijama sanacije smetišta i Idejnom rješenju razmatranja i odabira najpovoljnije varijante (1992.) sustava i tehnologije sanacije, bilo je dominantno pitanje zaštite podzemnih voda, jer se smetište nalazi uzvodno od budućeg centralnog crpilišta pitke vode Črnkovca, s predvidivom eksploatacijom 6,0 m³/s vode. Odabrani sustav sanacije morao je ispunjavati uvjete:

- sprečavanje daljnjeg zagađenja podzemnih voda,
- sprečavanje širenja zagađenja u vodonosniku,
- dekontaminacija dospjelog zagađenja u podzemlje.

Pribavljanje podataka o kakvoći vode izvršeno je s početkom istraživanja 1992. god. i nastavljeno je sve do kraja 1998. god. Pokazalo se nužno određivanje i strujanje podzemne vode kod niskih i visokih vodostaja Save, pa su vršena 1998. god. dnevna mjerenja nivoa Save i podzemne vode, te je konstruirana karta hidro-izohipsa, i određeni pravci kretanja (zagađenja) podzemne vode od smetišta u dva dominantna pravca u zaobalju, kod niskih i visokih voda.

Tako je program zaštite podzemnih voda vremenski podijeljen u dva koraka:

Prvi korak, prikupljanje svih relevantnih podataka o kakvoći i strujanju podzemne vode u užem i širem području smetišta.

Drugi korak, čija realizacija predstoji u okviru odobrenog kredita sanacije smetišta, sastoji se u izradi tehnološkog projekta zaštite podzemne vode. U tu će se svrhu koristiti rezultati izvršenog monitoringa podzemne vode do kraja 1998. god. i dalje, te postojeće i buduće stanje rijeke Save nakon izgradnje HE Drenje.

Iz do sada izloženog, zadaća zaštite podzemnih voda od zagađenja smetišta Jakuševac, mora se sagledati u širem prostoru, tako da se utvrdi doseg zagađenja podzemne vode

od smetišta i izdvoje druga zagađenja u tom prostoru koja nisu generirana postojanjem smetišta.

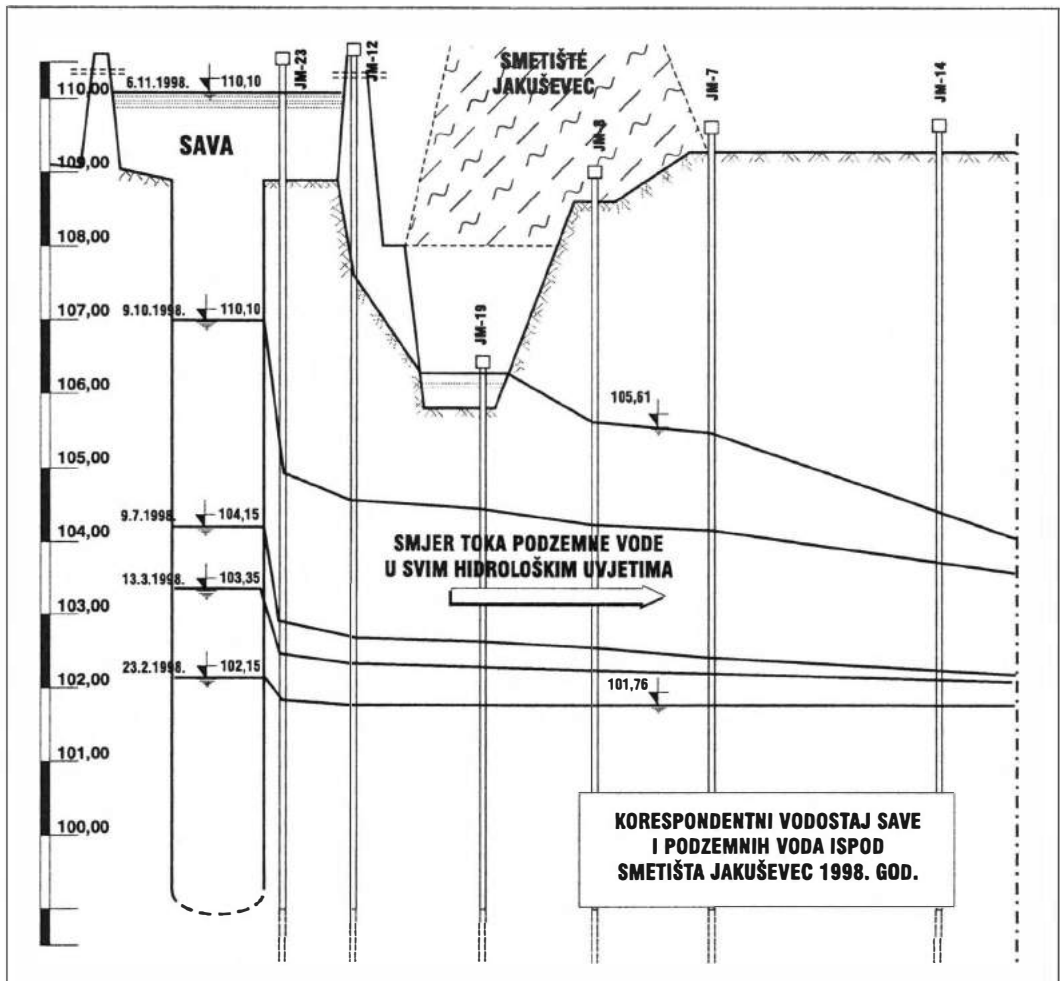
Sa vodosposobarskog gledišta, krajnji cilj zaštite vodonosnika Zagreb - jugoistok, jeste osiguranje pitke vode na postojećim i budućem crpilištu Črnkovec. Već se sada može reći, da će se crpljena voda morati podvrgnuti, prije tlačenja u distributivnu mrežu do potrošača, prvom stupnju kondicioniranja - ozonizaciji i klorinaciji.

4. Monitoring podzemne vode

Monitoring podzemne vode uspostavljen je za praćenje kakvoće i strujanja u vodonosniku, uglavnom u zoni smetišta Jakuševac.

Praćenje kakvoće putem kemijsko - bakterioloških analiza podzemne vode, postavljeno je iz 3 razloga:

- utvrđivanje sastava podzemne vode u zoni smetišta,
- utvrđivanje povećanja zagađenja vode u funkciji vremena, posebno u vrijeme preslagivanja otpada,



- utvrđivanje širenja zagađenja u podzemnoj vodi van zone smetišta, strujanjem i disperzijom.

4.1. Monitoring 1995. - 1997. god.

Za uzorkovanje vode za kemijske analize, u tom je periodu izrađeno 19 pijezometarsko-strukturnih bušotina.

Sintezom rezultata analiza, izrađene su karte koncentracije i širenja zagađivala. Kao specifični indikatori, uzeti su:

- utrošak KMnO_4 (KPK),
- koncentracija amonijaka u vodi.

Na taj način dobiven je generalni smjer kretanja zagađivala u podzemnoj vodi, uglavnom u jugoistočnom smjeru. Utvrđeno je također i povećanje koncentracije zagađivala u funkciji vremena općenito, i lokalno na istočnom rubu smetišta nakon preslagivanja smeća u cilju formiranja prve radne plohe.

4.2. Monitoring 1997. - 1998. god.

Za nastavak monitoringa, izrađeno je 5 novih strukturno pijezometarskih bušotina između smetišta i Save.

Pokazalo se, da je osim kemijskih analiza nužno pratiti i strujanje podzemne vode, te su u tu svrhu na Savi postavljena dva vodokaza, od toga jedan s automatskom registracijom vodostaja Save.

Osim redovnog uzorkovanja podzemne vode, tijekom 1998. god. vršena su dnevna mjerenja nivoa podzemne vode na tri pijezometarska profila okomito na Savu, te dnevno opažanje vodostaja Save (mimo automata na uzvodnom vodokazu).

Uzorkovanje podzemne vode vršeno je na tri dubine, a kemijsko bakteriološke analize izvršene su u laboratorijima Državnog zavoda za javno zdravlje, Zavodu za javno zdravlje Zagreba, te u Institutu Ruđer Bošković. Sinteze rezultata izradio je Elektroprojekt Zagreb.

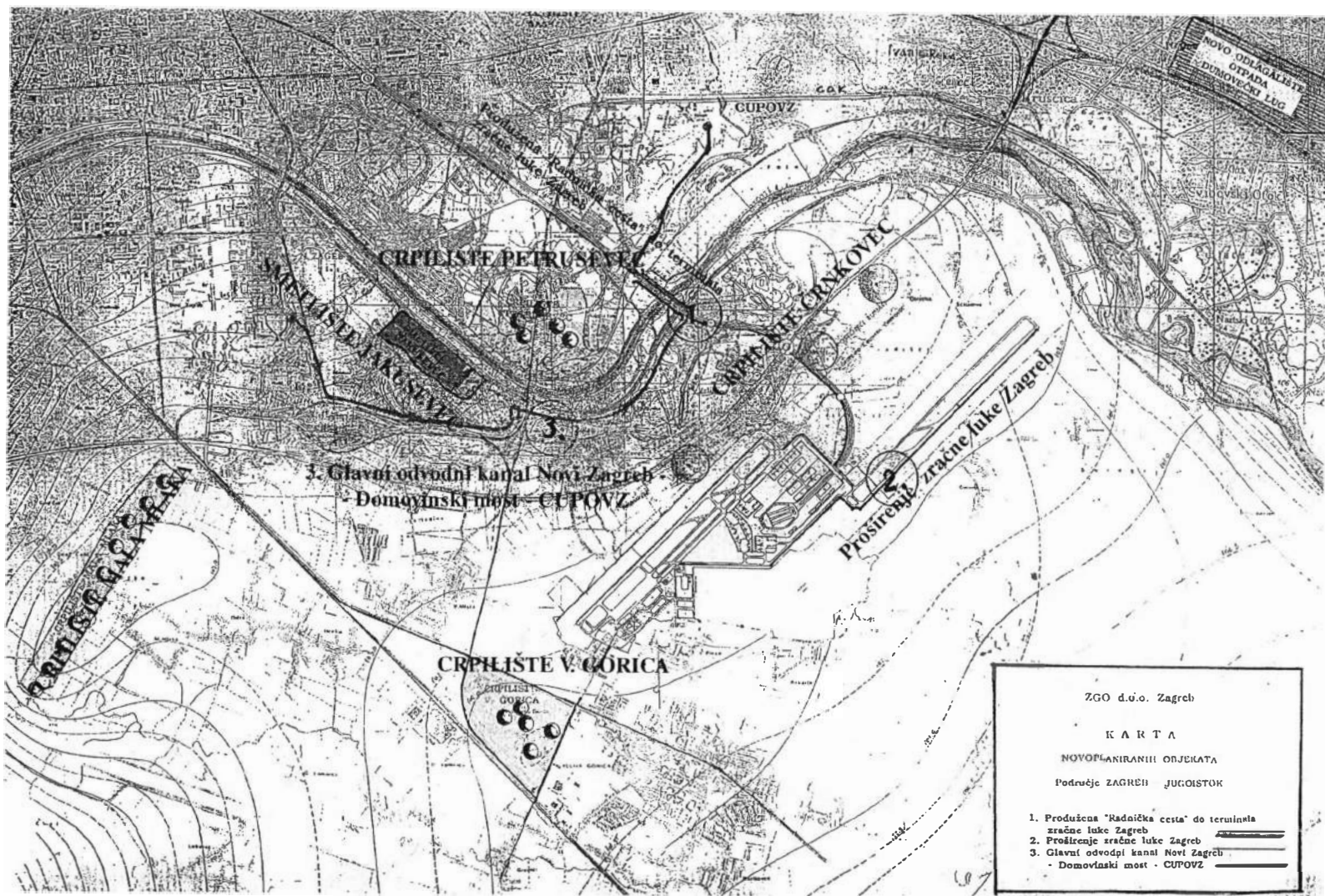
Mimo programa monitoringa (Elektroprijekt), ZGO koji je vodio sve poslove do kraja 1998. god., dao je izraditi karte svih pijezometara i bunara na topografskoj osnovi 1:15000. Pokazalo se da samo u području Zagreb - jugoistok postoji (registrirano) 890 pijezometara i 67 bušenih bunara, kao veliki fond dijelom neiskorištenih mjernih mjesta kakvoće i vodostaja podzemne vode.

Te su karte iskorištene za izradu hidroizohipsa niskih (1998.) i visokih vodostaja (1995.), što je bilo nužno za utvrđivanje strujanja podzemne vode, a time i smjerova širenja onečišćenja u podzemnoj vodi.

5. Rezultati monitoringa i zaključak

Zaključci izvedeni iz rezultata monitoringa podzemne vode 1995.-1998., imaju uporište isključivo u IZMJERENIM VRIJEDNOSTIMA kakvoće i strujanja podzemne vode. Izostavljene su kod toga bilo kakve pretpostavke, kojih je bilo u početnim studijama pa i kasnije.

(1) Kemijskim analizama utvrđen je sastav podzemnih voda ispod i oko smetišta, gdje je utvrđena visoka koncentracija organskih spojeva karakterističnih za komunalni otpad, ali i drugih odloženih tvari industrijskog, farmaceutskog i svakovrskog drugog otpada, nafte i naftnih derivata, teških metala, organskih otapala i dr.



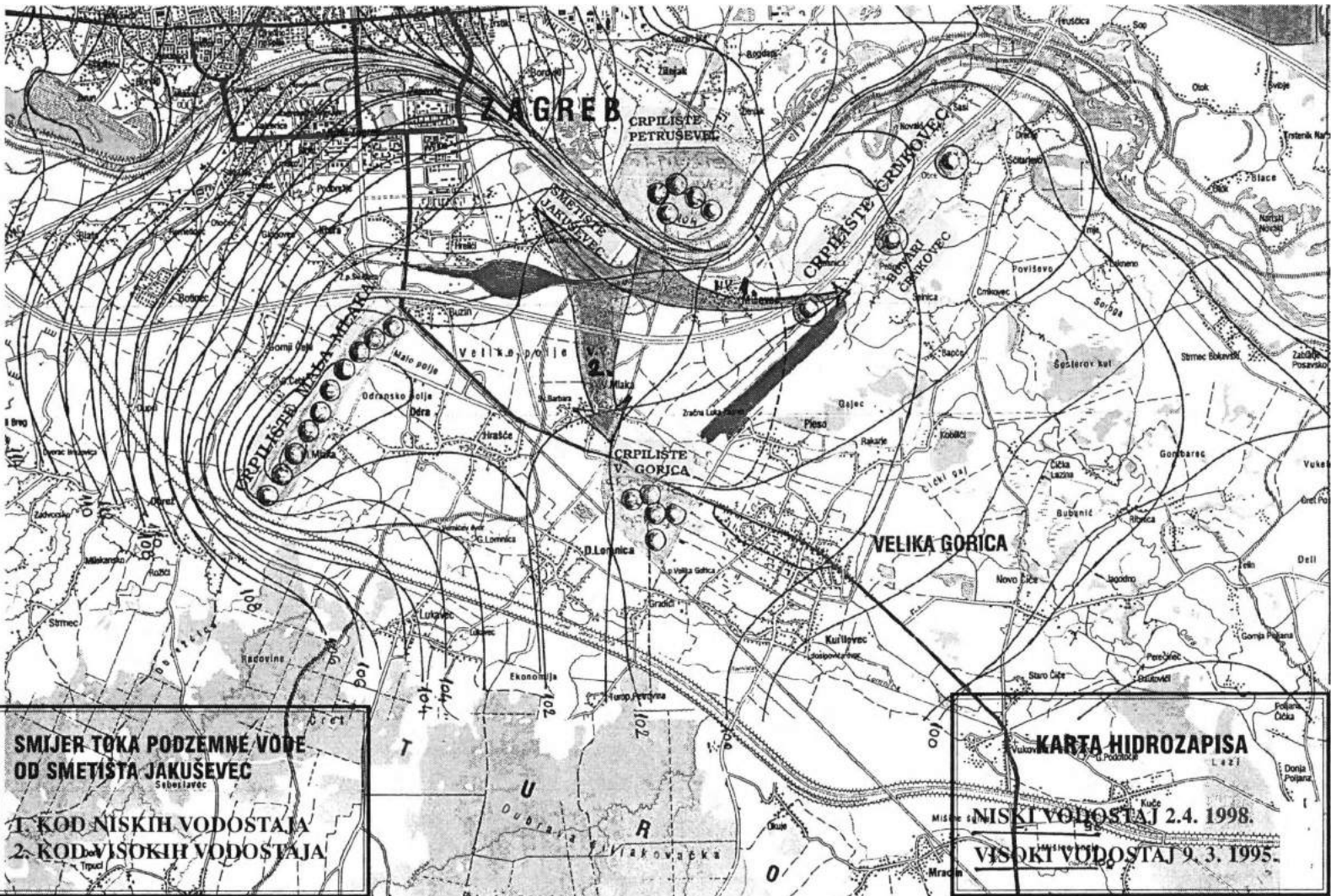
ZGO d.o.o. Zagreb

K A R T A

NOVOPLANIRANIII ODJEKATA

Područje ZAGREB JUGOISTOK

1. Produšćna "Radnička cesta" do teruninla zračne luke Zagreb
2. Proširenje zračne luke Zagreb
3. Glavni odvodni kanal Novi Zagreb - Domovlanski most - CUPOVZ



Utvrđivanjem nekih karakterističnih spojeva za smetište Jakuševac na lijevoj obali Save u zoni crpilišta Petruševac, Institut Ruđer Bošković iznio je tezu o mogućem zagađenju ispod Save od smetišta k crpilištu Petruševac. Detaljnim hidrološkim mjerenjima vodostaja Save i nivoa podzemnih voda, ova će se teza pokazati nedovoljno utemeljena.

(2) Dnevnim mjerenjem vodostaja Save i nivoa podzemnih voda na tri profila okomita na smetište i Savu utvrđeno je da se kod svih vodostaja Save i podzemnih voda, maksimalnih, srednjih, niskih i vrlo niskih, podzemna voda uvijek struji od Save ispod smetišta u zaobalje, i to na svim dubinama vodonosnika, do 80 m dubine (pijezometar JM-24).

Na taj način je utvrđeno, da je rijeka Sava hidraulička barijera, ispod čijeg korita nema toka od desne na lijevu obalu, pa vjerojatno niti prolaza zagađenja od smetišta Jakuševac u zonu crpilišta Petruševac.

(3) Izrađene detaljne karte strujanja podzemne vode na širem području lijevog i desnog zaobalja za visoki vodostaj na dan 9. ožujka 1995. i niski vodostaj na dan 2. veljače 1998. godine, omogućuje praćenje strujanja podzemne vode od smetišta prema zaobalju, te strujanja prema crpilištima Mala Mlaka, Petruševac, Sašnjak i Velika Gorica u postojećem stanju.

Kod niskih vodostaja dominantan je pravac strujanja od smetišta u pravcu jugoistoka - istoka prema južnoj zoni crpilišta Črnkovec. Kod visokih vodostaja, smjer strujanja je od smetišta prema jugu k crpilištu Velika Gorica.

To su ujedno i pravci strujanja onečišćenja u podzemnoj vodi, time da je dominantan smjer od smetišta prema jugoistoku, jer su visoki vodostaji razmjerno rijetki.

(4) Utvrđivanjem kakvoće podzemne vode i smjerova strujanja od smetišta prema zaobalju, ostvarena je osnova s realnim uporištem izmjerenih vrijednosti za nastavak monitoringa podzemne vode u zoni smetišta i širem okolišu.

1999. godine potrebno je detaljno praćenje kakvoće vode u zonama strujanja od smetišta Jakuševac prema području crpilišta Črnkovec, te potvrditi tezu hidrauličke barijere koju predstavlja Sava, kao zapreka širenja zagađenja podzemne vode od desne obale tj. od smetišta Jakuševac ispod riječnog korita u zonu crpilišta Petruševac.

Ovdje iznijeti radovi i rezultati praćenja kakvoće i strujanja podzemnih voda, smatramo doprinos kod definiranja strategije i projektne dokumentacije zaštite podzemnih voda Zagreb - jugoistok.

Literatura

1. Idejno rješenje sanacije smetišta Jakuševac, Elektroprojekt 1992.
2. Karta bušotina i bunara 1:15000, Marcon Zagreb, 1997.
3. Karta hidroizohipsa niskog i visokog vodostaja podzemnih voda, Ing Tadija Grgas, DHMZ 1998.
4. Smetište Jakuševac - Bilans oborinskih voda, Ing Boris Švel, 1997.
5. Izvješća o rezultatima ispitivanja kakvoće vode u zoni smetišta Jakuševac: Elektroprojekt, Institut Ruđer Bošković, Vodoopskrbai odvodnja Zagreba, DZJZ, ZJZZ, ZGO, 1992.-1998. - arhiv ZGO-a.
6. Mjerenja vodostaja Save i nivoa podzemnih voda 1998. god. u režiji ZGO-a, arhiv ZGO-a 1998.

Autori:

Stjepan Nikolić, dipl.ing. "ZGO" d.o.o., Zagreb, Zelene trg 3
Boris Švel, dipl.ing. "ZGO" d.o.o., Zagreb, Zelene trg 3



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.63.

Izbor kanalizacijskog sustava Kaštela/Trogir

Jure Margeta

SAŽETAK: Prikupljanje i dispozicija otpadnih voda šire regije grada Splita i Kaštelanskog zaljeva već dulje vremena je predmet bavljenja šire javnosti, struke i politike. Neriješeni problemi komunalne kanalizacijske infrastrukture doveli su do izuzetno velikih ekoloških poremećaja u obalnom moru područja Splita, a posebno u Kaštelanskom zaljevu. U cilju dugoročnog i cjelovitog rješavanja problema, zadnjih desetak godina poduzete su opsežne aktivnosti koje su rezultirale izradom projekta regionalnih kanalizacijskih sustava zajedno s pripadajućim uređajima za pročišćavanje i podmorskim ispustima. Zbog preustroja općina i nastali promjena zadnjih godina došlo je do promjena u realizaciji kanalizacijskog sustava na području Trogira tako da prihvaćeno rješenje nije bilo više moguće realizirati. Zbog toga su generirana nova rješenja, izvršeno uspoređivanje tih rješenja i izbor trenutno najpovoljnijeg rješenja.

KLJUČNE RIJEČI: kanalizacija, višekriterijalna analiza, zaštita mora, Kaštelanski zaljev

Kaštela/Trogir Sewage System Selection

SUMMARY: General public, professionals and politics have already been involved in collecting and locating waste water in the greater region of the city of Split and Kaštela Bay. Unresolved problems with sewage utility infrastructure caused an exceptionally large environmental disturbances in the territorial sea within the Split region and particularly in the Kaštela Bay. Comprehensive actions undertaken during the last decade were aimed at long-term and integral solution for the problem. The undertaken actions resulted in development of regional sewage systems design which included waste water treatment plants and off-shore outfalls. Due to reorganization of municipality and changes which happened during the last years, the Trogir area sewage system has undergone some modifications and the earlier accepted solution was no more suitable for implementation. New concepts have been developed and compared, and the present stage is one of selecting the most favorable solution.

KEYWORDS: sewage, multicriterial analysis, sea protection, Kaštela Bay

Uvod

Već duže vremena je poznato da je područje Kaštelanskog zaljeva jedno od najzagađenijih područja na Jadranu. Isto tako je poznato da se već cijeli niz godina nastoji ovaj problem uspješno riješiti. Jedan od osnovnih preduvjeta za rješavanje nastalog problema je izgradnja kanalizacijske mreže, uređaja za pročišćavanje i uređaja za dispoziciju pročišćenih voda. Dugoročno rješenje kanalizacijskog sustava područja Splita, Solina, Kaštela i Trogira predviđa izgradnju dvaju zasebnih kanalizacijskih sustava, Split/Solin i Kaštela/Trogir, (Slika 1. varijanta br.1). Ovi sustavi su razdjelnog tipa kanalizacije. Svaki sustav bi imao svoje centralno postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda i podmorski ispust. U sustavu

Split/Solin uređaj je smještenom u Stobreču sjeverno od trgovačkog, transportnog terminala. Pročišćene vode bi se ispuštale u more Bračkog kanala ispred Stobreča. U sustavu Kaštela/Trogir uređaj je smješten na otoku Čiovo u dubokoj udolini u uvali Movaršćica. Pročišćene otpadne vode ispuštale bi se u Splitski kanal.

Odobreni su krediti za izgradnju I etape sustava, osnovana Agencija za realizaciju projekta "EKO-Kaštelanski zaljev", a 1998 započela je realizacija ovog dosad najvećeg komunalnog projekta u Hrvatskoj. Na žalost zadnjih godina su se dogodile promjene na području Kaštela i Trogira koje su utjecaja na usvojeno rješenje. Novoformirana općina Okrug Gornji ne prihvaća lokaciju uređaja na svom području tako da je zaustavljena realizacija projekta na području Kaštela i Trogira. Da bi se riješio nastali problem odlučeno je da se jednom brzom analizom još jednom razmotre alternativna rješenja kanalizacijskih sustava šireg područja Kaštela i Trogira kako bi zainteresirani dobili širi uvid u moguća rješenja.

Osnovne karakteristike problema i moguća rješenja

Maksimalne dnevne količine otpadnih voda i zagađenja na ovom području su:

Godina	Kaštela (l/s)	Trogir (l/s)	Ukupno (l/s)
2010.	206	145	330
2025.	274	194	390

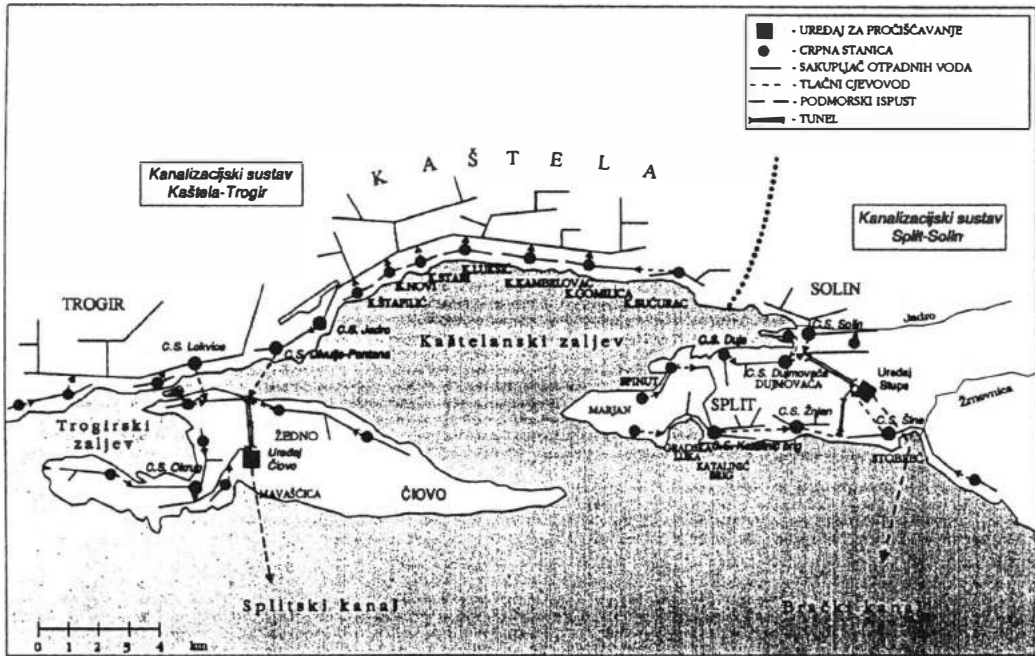
Pokazatelj	2025 godina
BPK ₅ :	7200 kg/dan
Suspendirane tvari:	9000 kg/dan
Amonijak:	900 kg/dan

S obzirom da položaj prijamnika, uređaja i razmještaj korisnika kanalizacijskog sustava bitno utječe na konfiguraciju kanalizacijskog sustava, odnosno troškove izvedbe, održavanja i pogona, u početku rješavanja problema napravljena je analiza utjecaja ovih činilaca na moguće rješenje. Od svih objekata kanalizacijskog sustava najsloženiji, a ujedno za javnost najinteresantniji je uređaj te je stoga izboru lokacije uređaja posvećena najveća pažnja.

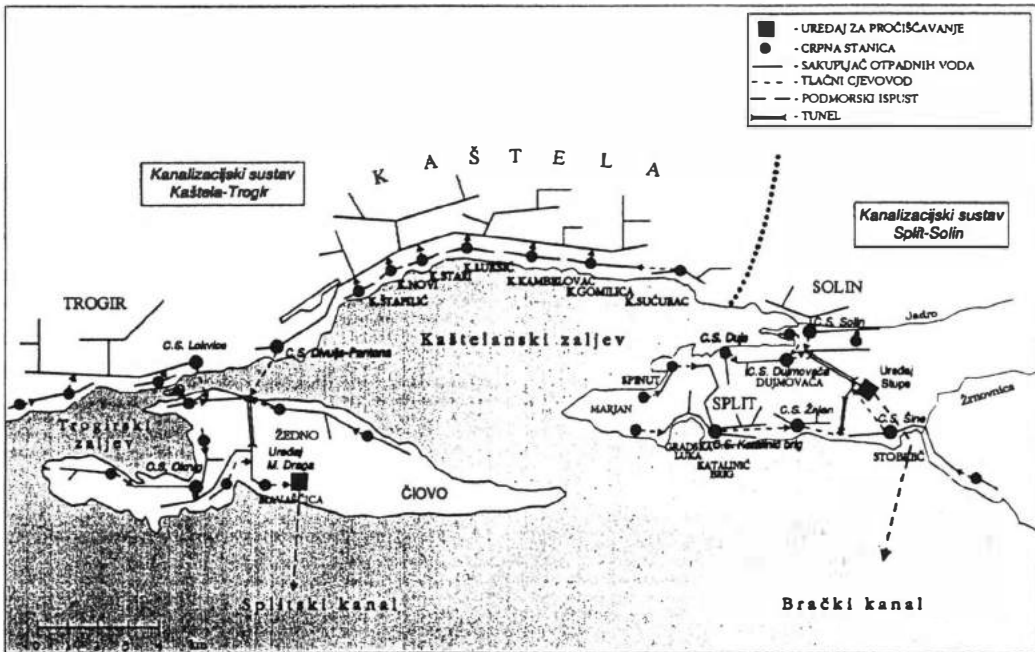
S obzirom na razmještaj korisnika kanalizacijskog sustava i položaj prijamnika na razmatranom području, moguća su tri šira područja za smještaj uređaja: (i) južna strana otoka Čiovo; (ii) sjeverna strana otoka Čiovo; (iii) kopno u području Kaštelanskog zaljeva. Južna strana otoka Čiovo predstavlja rubni prostor kanalizacijskog sustava Kaštela/Trogir i ujedno granični prostor sa prijamnikom. Sjeverna strana Čiova predstavlja prostor koji se nalazi u središnjem dijelu šireg prostora koji obuhvaća kanalizacijski sustav Kaštela/Trogir. Cijeli ovaj prostor je manje više izgrađen pa je zbog toga na ovom području najizglednija podzemna izvedba uređaja. Moguća lokacija uređaja je usko vezana sa izborom lokacije tunela kroz Čiovo, jer je logično i najpovoljnije smjestiti uređaj podzemno na početku tunela. Kopno kao mjesto moguće lokacije uređaja dovodi uređaj u centralni dio područja odvodnje. Moguće lokacije na ovom prostoru su lokacije oko vojarnje Divulje i aerodroma. Naime, cjelokupni obalni prostor Kaštela i Trogira je izgrađen.

Na temelju glavnih utjecajnih čimbenika na kanalizacijski sustav, mogućih lokacija i drugog u analizu je uključeno osam varijantnih rješenja, Slika 1.

Dugoročni koncept rješenja kanalizacijskih sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir; Varijanta br. 1

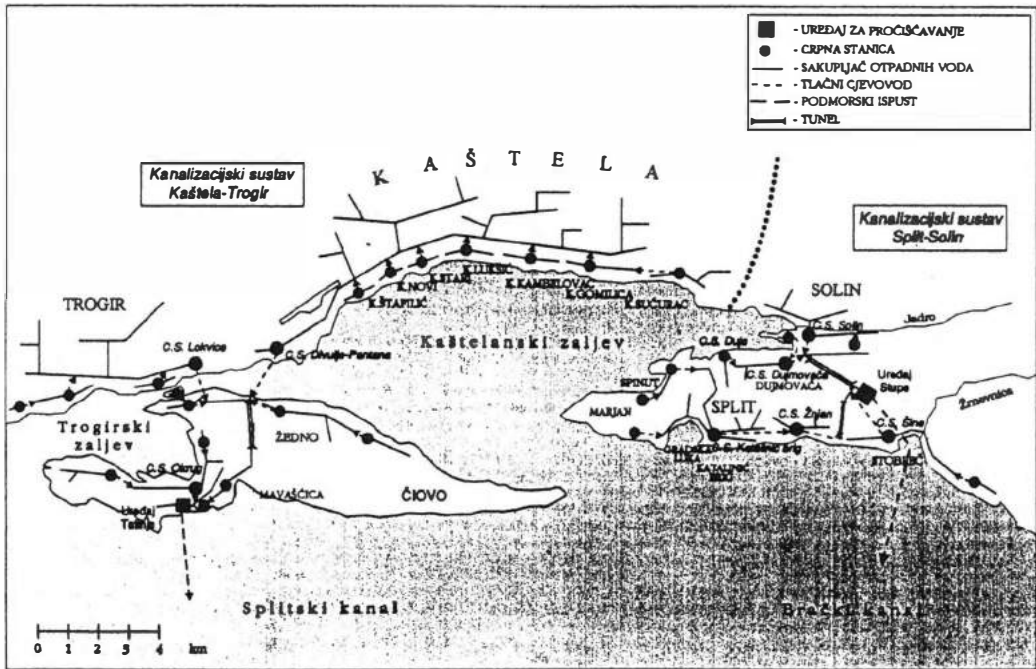


Dugoročni koncept rješenja kanalizacijskih sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir; Varijanta br. 2

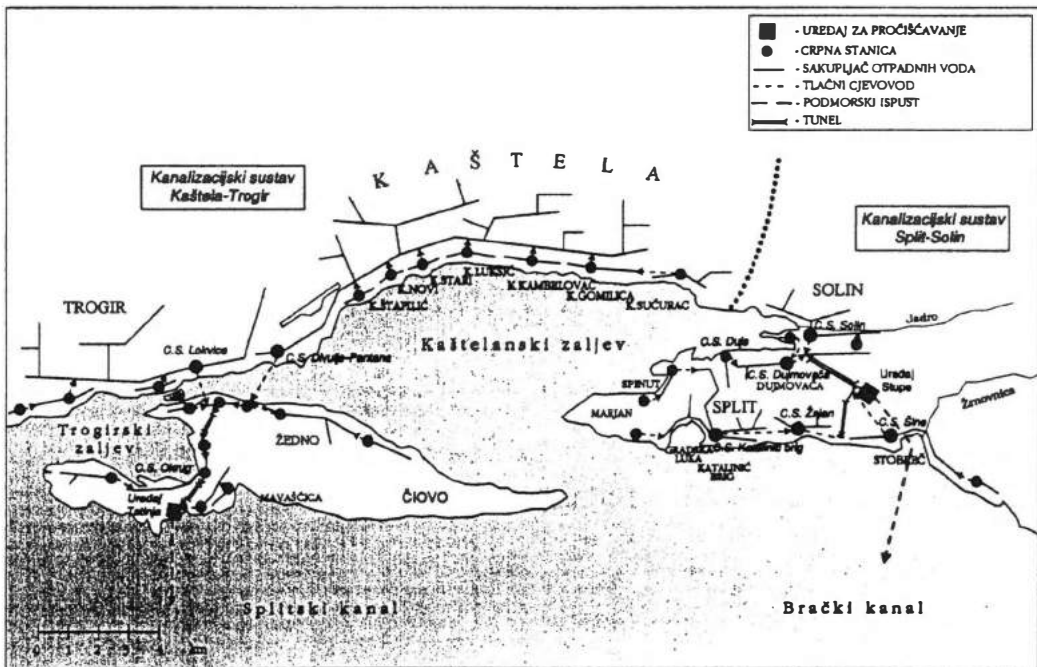


Slika 1/1. Predložena alternativna rješenja kanalizacijskog sustava Kaštela/Trogir - Varijante 1 - 2

Dugoročni koncept rješenja kanalizacijskih sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir; Varijanta br. 3

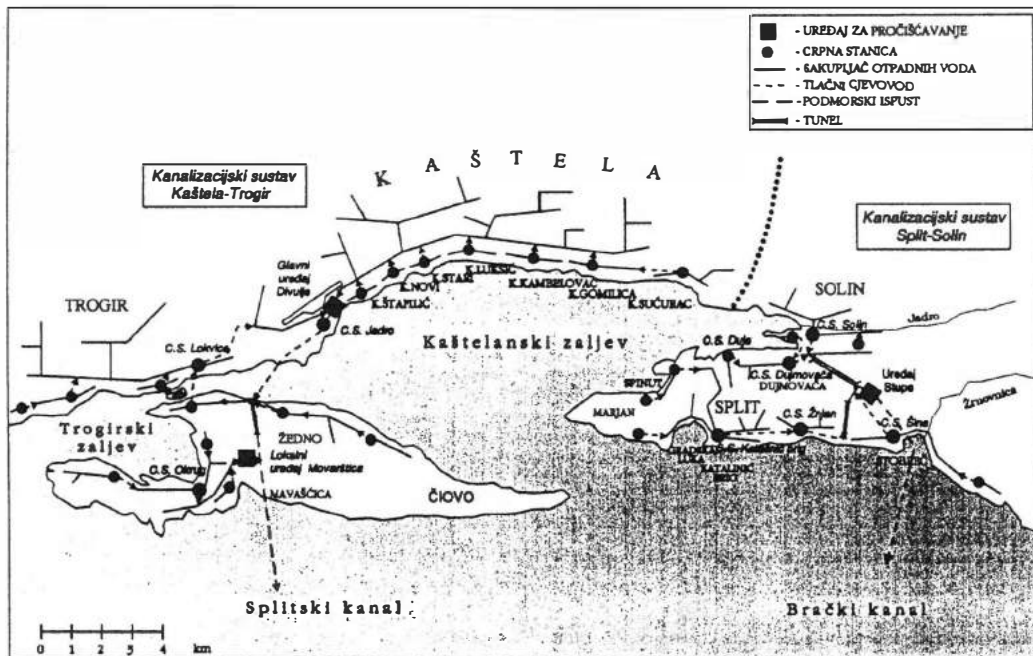


Dugoročni koncept rješenja kanalizacijskih sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir; Varijanta br.4

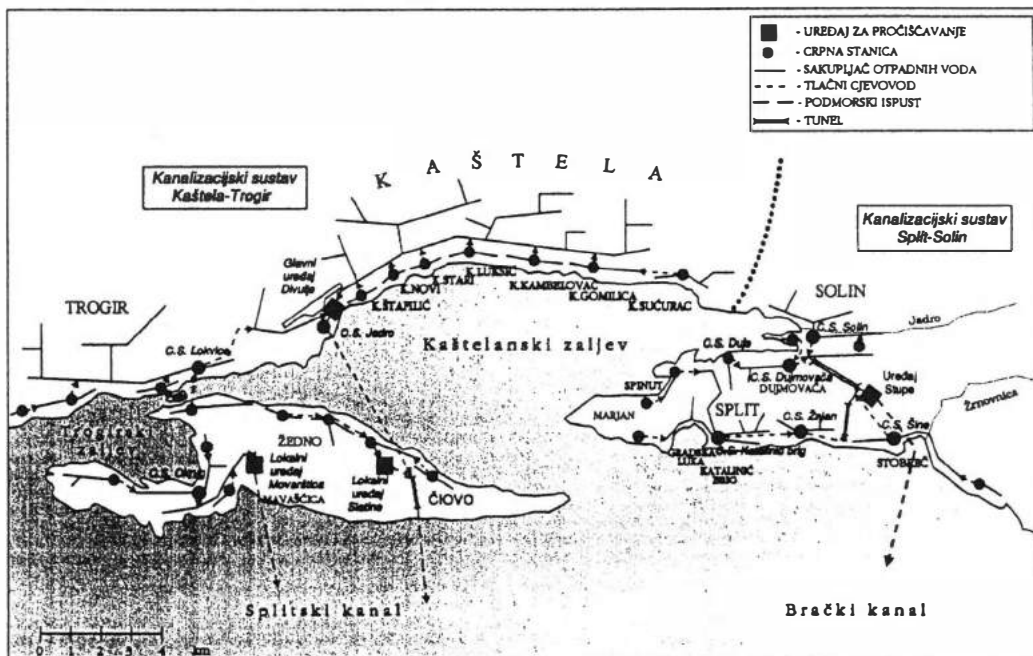


Slika 1/1. Predložena alternativna rješenja kanalizacijskog sustava Kaštela/Trogir - Varijante 3 - 4

Dugoročni koncept rješenja kanalizacijskih sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir; Varijanta br. 5

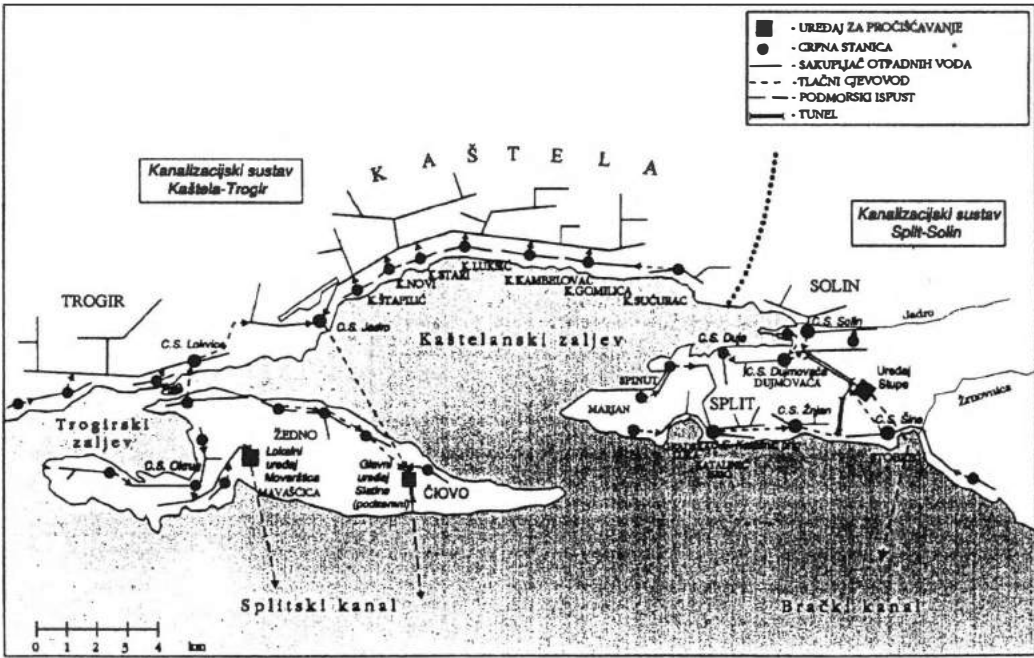


Dugoročni koncept rješenja kanalizacijskih sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir; Varijanta br. 6

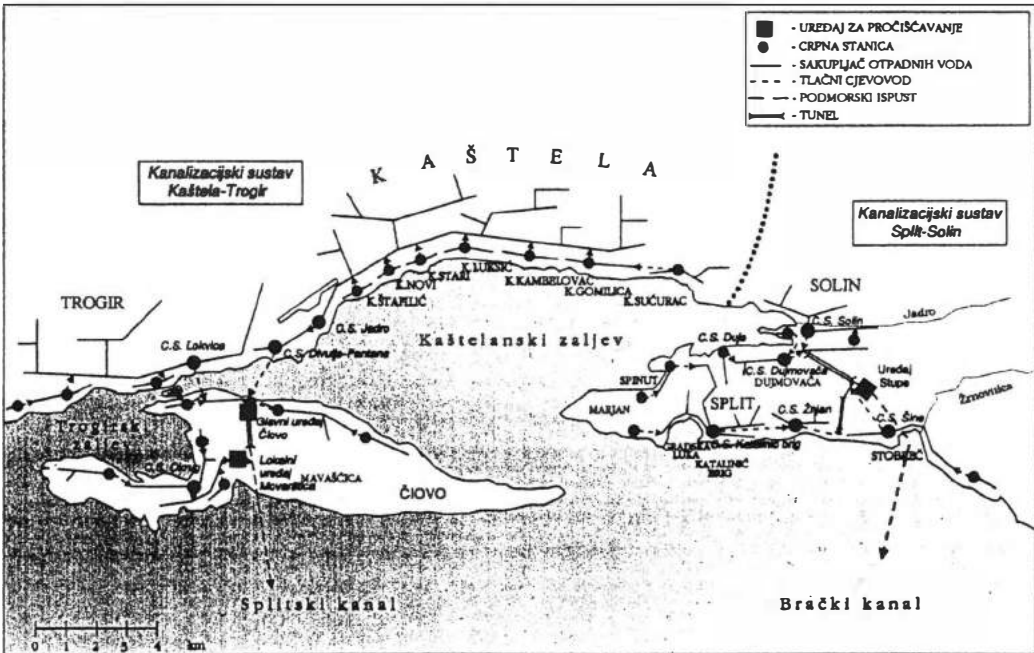


Slika 1/2. Predložena alternativna rješenja kanalizacijskog sustava Kaštela/Trogir - Varijante 5 - 6

Dugoročni koncept rješenja kanalizacijskih sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir; Varijanta br. 7



Dugoročni koncept rješenja kanalizacijskih sustava Split-Solin i Kaštela-Trogir; Varijanta br.8



Slika 1/2. Predložena alternativna rješenja kanalizacijskog sustava Kaštela/Trogir - Varijante 7 - 8

Uređaj smješten na otoku Čiovo – južna strana

Lokacija uređaja u udolini u zaleđu uvale Movarštica - Varijanta br. 1

Ova varijanta je prethodno usvojeno rješenje sa lokacijom uređaja u uvali Movarštica, koje se ne može realizirati zbog neprihvatanja lokacije uređaja od strane općine Okrug Gornji, ali se zadržava u analizi kao mjerilo vrijednosti u odnosu na nove varijante.

Lokacija uređaja u udolini u zaleđu uvale Mala Draga - Varijanta br. 2

U ovoj varijanti položaj uređaja je istočnije od naselja Movarštica, odnosno u uvali Mala Draga. Cijeli sustav se gradi kao jedinstveni kanalizacijski sustav. U skladu s tim sve otpadne vode se putem kanala i crpnih stanica objedinjuju na južnoj strani otoka Čiovo u uvali Mala Draga i to izgradnjom tunela kroz otok Čiovo na području Movarštica.

Lokacija uređaja u udolini u zaleđu uvale Tatinja - Varijanta br. 3

U ovoj varijanti položaj uređaja je zapadno od naselja Movarštica, odnosno u uvali Tatinja. Cijeli sustav se gradi kao jedinstveni kanalizacijski sustav. U skladu s tim sve otpadne vode Kaštela i Trogira se putem kanala i crpnih stanica objedinjuju na južnoj strani otoka Čiovo u uvali Tatinja i to izgradnjom tunela kroz otok Čiovo na području Movarštica.

Lokacija uređaja u udolini u zaleđu uvale Tatinja sa prolazom glavnog kolektora kroz Saldunski zaljev - Varijanta br. 4

Razlika između ove varijante i varijante br.3 je u izvedbi glavnog sabirnog kolektora. Sve otpadne vode Kaštela i Trogira se putem kanala i crpnih stanica objedinjuju na južnoj strani otoka Čiovo u uvali Tatinja i to izgradnjom glavnog sabirnog kolektora kroz područje Saldunskog zaljeva. U skladu s tim grade se dva kraća tunela i to između centra Trogira i Saldunskog zaljeva i Saldunskog zaljeva i uvale Tatinja.

Uređaj smješten na kopnu

Uređaj istočno od baze Divulje; ispust u uvali Movarštica - Varijanta br. 5

U ovoj varijanti su predviđena dva samostalna kanalizacijska sustava i uređaja “Kaštela/Trogir” i “Okrug Gornji”, ali s jedinstvenim ispustom u Splitski kanal u istočnom dijelu uvale Movarštica kao u Varijanti br. 1. Gradi se jedan izrazito veći kanalizacijski sustav za Kaštela i Trogir, te sjeverno područje otoka Čiovo. Položaj uređaja je istočnije uz vojarnu Divulje. Drugi znatno manji kanalizacijski sustav obuhvaća područje općine Okrug Gornji.

Uređaj istočno od baze Divulje; ispust kod Barasovog boka - Varijanta br. 6

U ovoj varijanti su tri samostalna kanalizacijska sustava i uređaja: “Kaštela/Trogir”, “Okrug Gornji”, “Slatine”, ali s jednim ispustom u Splitski kanal za sustave Kaštela/Trogir i Slatine i u istočnom dijelu otoka kod Slatina i samostalnim ispustom i uređajem za sustav Okrug Gornji u uvali Movarštica. Potrebno je izgraditi jedan izrazito veći kanalizacijski sustav koji obuhvaća oko 80 % svih otpadnih voda šireg područja Kaštela i Trogira. Uređaj je smješten istočnije uz vojarnu Divulje. Drugi znatno manji kanalizacijski sustav obuhvaća područje općine Okrug Gornji. Treći manji kanalizacijski sustav obuhvaća sjeverno područje otoka Čiovo od Miševca do Slatina. Uređaj ovog kanalizacijskog sustava smješten je na početku hidrotehničkog tunela zapadno od naselja Slatine.

Uređaj smješten na otoku Čiovo - sjeverna strana

Lokacija uređaja zapadno od Slatina - Varijanta br. 7

U ovoj varijanti predviđena su dva samostalna kanalizacijska sustava, uređaja i ispusta i to: "Kaštela/Trogir" i "Okrug Gornji". Ispust sustava Kaštela/Trogir je u Splitski kanal u istočnom dijelu otoka kod Barasovog boka, a ispušt sustava Okrug Gornji u uvali Movarštica. Gradi se jedan izrazito veći kanalizacijski sustav za područje grada Kaštela i Trogira, općinu Slatine i sjeverni dio otoka Čiovo. U ovom kanalizacijskom sustavu položaj uređaja je zapadnije od naselja Slatine na početku hidrotehničkog tunela, a izvodi se podzemno. Drugi znatno manji kanalizacijski sustav obuhvaća uglavnom područje općine Okrug Gornji.

Lokacija uređaja zapadno od Trogira - Varijanta br. 8

U ovoj varijanti problematika odvodnje pročišćavanja i dispozicije otpadnih voda se rješava sa dva samostalna kanalizacijska sustava i uređaja "Kaštela/Trogir" i "Okrug Gornji", ali s jedinstvenim ispuštom u Splitski kanal u istočnom dijelu uvale Movarštica. Gradi se jedan izrazito veći kanalizacijski sustav za područje grada Kaštela i Trogira, te sjeverno područje otoka Čiovo. U ovom kanalizacijskom sustavu položaj uređaja je istočnije od centra Trogira na otoku Čiovo u predjelu Miševac i to podzemno na ulazu u hidrotehnički tunel. Drugi manji sustav obuhvaća općine Okrug Gornji. Uređaj ovog sustava smješten je u zaleđu uvale Movarštica.

Usporedba varijantnih rješenja

Izbor najpovoljnije varijante rješenja kanalizacijskog sustava spada u zadaće višekriterijskog odlučivanja. Faktori važnosti, odnosno kriteriji na temelju kojih se predlaže ocjenjivanje valjanosti i izbor pojedine varijante rješenja kanalizacijskog sustava navedeni su u Tablici 1. Oni su međusobno različiti po karakteru jer su neki od njih direktno mjerljivi, dok drugi nisu. Zbog toga je bilo vrlo teško odrediti stvarne veličine pojedinih kriterija. Potrebno je odrediti i težinske vrijednosti pojedinih kriterija koje izravno određuje važnost pojedinih kriterija za zadovoljenje dobrobiti. U ovom slučaju težinske vrijednosti kriterija nisu bile uključene u postupku.

Iz rezultata (Tablica 1) proizlazi da postoje tri različite osnovne grupe rješenja: (i) Varijante br. 1 i 5.; (ii) Varijante br. 6, 2 i 8.; (iii) Varijante br. 3, 4 i 7.

Varijante br. 1 i 5 imaju iste karakteristike sustava s tim da su im lokacije uređaja različite. U slučaju varijante br. 1 to je Movarštica, a u slučaju Varijante br. 5 to je Divulje. Varijanta br. 1 je najbolja jer: (i) ima jedan kanalizacijski sustav, uređaj i ispušt; (ii) ima najkraći tunel; (iii) ima najmanje objekata i velikih crpnih stanica, (iv) ima povoljnu lokaciju uređaja i ispusta, ali je neprihvatljiva za općinu Okrug Gornji. Varijanta br. 5 je nešto nepovoljnija jer ima još jedan mali uređaj za Okrug Gornji u Movaršćici.

Varijante br. 6, 2 i 8 se neznatno razlikuju po veličini ranga, iako su karakteristike sustava bitno različite. Recimo, Varijanta br. 2 ima podzemni uređaj na južnoj strani otoka Čiovo, Varijanta br. 6 ima otvoreni uređaj kod Divulja, a Varijanta br. 8 podzemni uređaj na sjevernoj strani otoka Čiovo. Sve ovo ukazuje na to da je potrebno uvesti dodatne kriterije i težinske vrijednosti kriterija za ocjenjivanje ovih varijanti. Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti slijedeće:

- Da je najbolja Varijanta br. 1 koju ne prihvaća lokalna zajednica Okrug Gornji.
- Da je slijedeća Varijanta br. 5 koja također prolazi područjem općine Okrug Gornji i

Tablica 1. Kriteriji, vrijednosti kriterija i rangovi varijantnih rješenja

VRIJEDNOSTI KRITERIJA										
Varijanta	Složenost sustava	Troškovi izgradnje	Troškovi pogona	Prihvatljivost od stanovni.	Utjecaj na okoliš	Etapnost izgradnje sustava	Fleksibilnost uređaja	Promet	Ispust	Tunel
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
1.	1	86380564	6544399	9	1	2	2	4	4	1
2.	3	89671080	7225877	2	3	4	5	7	3	1
3.	4	91995593	7615000	6	6	4	6	5	7	1
4.	6	91881644	7646670	6	6	5	6	5	7	8
5.	5	92598391	7167498	4	3	1	1	1	4	1
6.	8	91599347	7503317	3	4	2	1	1	1	5
7.	9	93462663	6990199	4	4	7	9	6	1	5
8.	7	87521831	6439231	4	3	6	9	3	4	1

REZULTATI RANGIRANJA VARIJANTI									
Varijanta	Bez troškova	Rang	Samo troškovi	Rang	Svi kriteriji bez težinskih vrijednosti	Rang	Stvarni rang	Grupe sličnih vrijed. varijanti	
1.	24,12	2	2,5	1	26,62	1	1	I	Var. 1
2.	29,03	4	9,9	3	38,93	4	3,2	II	Var. 2
3.	40,06	6	14,4	7	54,46	6	6,1	III	Var. 3
4.	50,96	8	14,6	8	65,56	8	8	III	Var. 4
5.	19,95	1	12,4	5	32,35	2	2,1	I	Var. 5
6.	24,62	3	13,4	6	38,02	3	3,0	II	Var. 6
7.	45,14	7	12,1	4	57,24	7	6,6	III	Var. 7
8.	36,97	5	3,2	2	40,17	5	3,66	II	Var. 8

ima ispust u istočnom dijelu uvale Movarštica, a koju također lokalna zajednica ne prihvaća.

- Da je treća po redu Varijanta br. 6 koja nema nikakvih dodira s općinom Okrug Gornji.

U skladu s tim predloženo je slijedeće:

1. Da se nastoji realizirati Varijanta br. 1;
2. Ako se Varijanta br. 1 ne može realizirati zbog otpora lokalne zajednice, da se nastoji realizirati Varijanta br. 5 u kojoj glavni uređaj nije lociran u općini Okrug Gornji, ali jesu ispust i tunel;
3. Ako se ni Varijanta br. 5 ne može realizirati zbog otpora lokalne zajednice, da se realizira Varijanta br. 6, s time da se dobije suglasnost za lokaciju uređaja.

Nadležna tijela su usvojila varijantu br. 6 kao trenutno najpovoljnije rješenje koje se može realizirati. Uređaj je većim dijelom smješten na istočnom području vojarne Divulje. U tijeku je izrada idejnog projekta ovog varijantnog rješenja.

Literatura

1. Margeta J.; Idejno rješenje kanalizacijskog sustava Kaštela, Građevinski fakultet Split, 1989.
2. Margeta J.; Studija kanalizacijskog sustava Trogira, Građevinski fakultet Split, 1992.
3. Margeta J.; Koncept rješenja kanalizacijskog sustav Split-Solin, Građevinski fakultet Split, 1992.
4. Studija: Analiza i usporedba mogućih varijanti rješenja dispozicije otpadnih voda kanalizacijskog sustava Kaštela/Trogir; Građevinski fakultet Split i Projektant Split; Investitor: EKO-Kaštelanski zaljev, 1998.
5. Margeta J. i A. Barić, Studija utjecaja na okoliš kanalizacijskih sustava Split/Solin i Kaštela/Trogir; (World Bank), 1995.

Autor:

Jure Margeta, Građevinski fakultet, Matice Hrvatske 15, 21000 Split

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.64.

Gospodarenje otpadnim vodama naselja na jadranskoj obali

Božena Tušar

SAŽETAK: Veliki broj obalnih ispusta otpadnih voda u more, posebno u zatvorenim i poluzatvorenim uvalama, kroz dugi niz godina izazvao je pogoršanje kakvoće mora. Ovo pogoršanje osim što je vidljivo i estetski neugodno, ima za posljedicu i nemogućnost korištenja mora u turističke svrhe. Jedina mogućnost saniranja takovog neželjenog stanja je gradnja kanalskog sustava za prikupljanje i čišćenje otpadne vode prije ispusta u more na prikladno odabranoj lokaciji samog ispusta. U radu se opisuje viška uvala i ispuštanje otpadnih voda naselja Vis. Opisana su tri predložena rješenja, koja su vrednovana prema kriterijima: tehničkim, gospodarskim i ekološkim. Odabrano je konačno rješenje, koje će se realizirati u fazama a u skladu s razvojnim planovima Visa.

KLJUČNE RIJEČI: obalno more, ispuštanje otpadne tvari, kanalizacijski isustav, podmorski ispušt.

Waste Water Management in the Adriatic Coast Settlements

SUMMARY: A large number of onshore outfalls discharged into the sea, particularly those in closed and semiclosed coves, have for a number of years caused deterioration in the sea water quality. Such a deterioration is visible and aesthetically unpleasant, and it results in availability of sea for tourist purposes. One of possible solutions for such a situation is construction of waste water collectors and treatment facilities for purification of waste water before its discharge into the sea in adequately selected location for the outfall. The paper describes the Vis cove and an outfall for the town of Vis. Three proposed solutions are described which are evaluated according to technical, economic and environmental criteria. The selected solution shall enable phased project implementation respecting the Vis development plans.

KEYWORDS: territorial sea, effluent discharge, sewage system, off-shore outfall

1. Uvod

Složenost odnosa čovjeka i okoliša, te promjene izazvane aktivnostima čovjeka u prirodnim djelovima okoliša su sve izrazitije. Pod utjecajem višestrukih izvora zagađenja s kopna, ispuštima otpadnih voda kućanstva, ispiranjem oborinama poljoprivrednih površina, prometnica, nekontrolirano odloženog otpada dolazi do vidljivih promjena kakvoće morske vode. Ove promjene su najizraženije u poluzatvorenim uvalama, koje su oduvijek bile poseban dio općeg krajolika, pa je već i iz estetskih razloga važno iste očuvati. Nužno je također i zbog zdravstvenih razloga vratiti kakvoću morske vode priobalja u zakonom propisano stanje [1].

Dugogodišnja praksa ispusta otpadne vode najkraćim putem u more, opravdavala se postupcima razrjeđenja. Smatralo se da gradska otpadna voda, koja je u pravilu biološki

razgradiva, razrjeđenjem u masi morske vode neće dovesti do promjene kakvoće morske vode. Prema u našoj Republici prihvaćenim standardima prijemnika, lako se moglo proračunski dokazati da će se uz određenu dužinu podmorskog ispusta moći očuvati čisti obalni pojas propisane širine, koja je obično iznosila 300-400 m. Promjene kakvoće morske vode postaju sve izraženije u zatvorenim, odnosno poluzatvorenim uvalama gdje je vrijeme izmjene mase morske vode dugo.

Ako želimo vratiti turiste, odnosno povećati njihov interes za naša mala primorska mjesta nužno je zadržati kakvoću priobalnog mora, tamo gdje još nije onečišćeno odnosno sanirati područja na kojima je onečišćenje vidljivo. Ovo se postiže gradnjom kanalizacijskih sustava i uređaja za čišćenje otpadne vode prije ispusta.

2. Ispuštanje otpadnih tvari u more

Problemi onečišćenja mora postaju izuzetno aktualni i na međunarodnom području, pa je dakako važno de se i zaštititi Jadranskog mora posveti odgovarajuća pažnja. Poznato je što je more manje i zatvorenije to su i veće opasnosti od zagađenja i degradacije. Nužno je utvrditi vrste onečišćenja, njihove posljedice i pronaći djelotvorne zaštitne mjere za očuvanje najstarije a za cjelokupan život na Zemlji i najvažnije životne sredine. Posljedice ispuštanja otpadne tvari u oblano more jesu:

- povećanje mutnoće ispust suspendirane tvari onemogućava prodor svjetla, time se smanjuje proizvodnja ekosustava i količina kisika u vodi,
- unos vode povećane temperature utječe na značajke ekosustva tako da neke ekološke procese ubrzava što opet povećava potrošnju kisika, dok neke druge procese zaustavlja,
- štetne i opasne tvari (perzistentne) ugrađuju se u hranidbene lance,
- prisustvo bakteriološkog zagađenja iz otpadne vode negativno utječe na zdravlje ljudi,
- unos hranjivih soli prvenstveno dušika i fosfora najveći je problem priobalnih zatvorenih ekosustava jer ubrzava proces eutrofizacije [2].

Hranjive soli (dušik i fosfor) unesene u more ne samo otpadnom vodom već i ispiranjem oborinama poljoprivrednih površina remete prirodne odnose koji se normalno kreću u morskoj vodi u odnosima dušik:fosfor 1:15 - 1:16, dok je isti omjer u otpadnim vodama kanalizacijskih sustava 1:3 - 1:5. Razgradnja unesene organske tvari uglavnom se oslanja na proces samočišćenja. Ovaj proces u morskoj vodi odvija se na slijedeći način. Organska tvar se mineralizira djelovanjem bakterija i ulazi u prehrambeni lanac morskih organizama. Proces je povoljan za proizvodnju fitoplanktona sve dotle dok količina hranjivih soli nije preobilna, jer tada nastaje prevelika produkcija fito i zoo planktonskih vrsta kojima takovo stanje pogoduje. Ova hiperprodukcija rezultira dalje nemogućnošću potpune razgradnje organske tvari pa se stvara višak iste, što znatno smanjuje količinu kisika u moru, nekada dovodi do pojave sumporovodika, a najgora posljedica je nestanak živog svijeta u tom ekosustavu [3].

Da bi se ispust otpadne vode ne kojoj lokaciji odgovarajuće riješio potrebno je prethodno provesti slijedeće istražne radove:

- Oceanografske kojima se utvrđuju promjene meteoroloških uvjeta za godišnja doba, jačina i smjer vjetrova, prozirnost mora, temperatura, salinitet i gustoća i to u vertikalnom presjeku po mogućnosti na planiranoj lokaciji ispusta. Dalje je potrebno utvrditi smjer i brzinu priobalnih morskih struja, a u slučaju zatvorenih i poluzatvorenih uvala još i vrijeme izmjene vodene mase.

- Hidrološko-hidrauličke podatke o kojima ovisi dimenzioniranje kanalizacijskog sustava. Ovi podaci se odnose na potrošnju vode u vodoopskrbnom sustavu, na promjenljivost potrošnje u toku dana. Kako u odvodnji otpadnih voda učestvuju i oborine potrebno je utvrditi njihov intenzitet, trajanje i ponavljanje (i,T,P, krivlja) na osnovu dužeg vremena praćenja. Dalje je nužno analizirati koeficijente otjecanja sa pripadajućeg sliva, topografiju terena i druge podatke nužne za projektiranje i izvedbu odgovarajućeg sustava odvodnje.
- Sanitarno hidrotehnička analiza je ključna pri izboru stupnja pročišćavanja otpadne vode odnosno pri ispustu pročišćene vode u more. Ovim istraživanjima prvenstveno se vrši analiza sastava otpadne vode kod raznih hidroloških uvjeta (sušni ili kišni period) tijekom dana (kompozitni uzorci). Prijedlog postupka čišćenja otpadne vode utvrđuje se pokusima najprije u laboratoriju a kasnije na pilot uređaju. Važno je utvrditi pri tome utjecaj opterećenja oborinskom vodom. U okviru ovih istražnih radova također je važno utvrditi i kakvoću morske vode na mjestu planiranog ispusta.

Na primjeru rješenja sustava odvodnje grada Visa pokazati će se učinjeno u smislu saniranja kakvoće vode viške uvale.

3. Kanalizacijski sustav naselja Vis

Naselje Vis smješteno je duž čitave obalne linije luke Vis. Od rta Svetog Jurja i poznate "Češke vile" na sjeveroistočnom dijelu uvale, proteže se naselje do poluotoka Prirovo na suprotnoj obali. Glavna uzdužna ulica paralelna je s morskom obalom i vodi do poluotoka Prirovo na sjeveru, gdje je smješten postojeći hotel ISSA. Razvojnim planovima se tu predviđa buduća turističko-rekreaciona gradnja. Stanovništvo Visa je koncentrirano u dva podnaselja Luka i Kut, međusobno odjeljena vododijelnicom koja prolazi sredinom uvale. Obje stambene jedinice imaju jednu glavnu ulicu paralelnu s obalom, te niz poprečnih ulica, koje obzirom na reljef sve imaju izraziti nagib prema morskoj obali.

Prostorni plan općine Vis, izrađen je u Urbanističkom zavodu Dalmacije u Splitu 1988 godine. Svi podaci korišteni su iz istog.

3.1. Postojeće stanje odvodnje otpadnih voda

Prijemnik svih otpadnih i oborinskih voda Visa je priobalno more viške luke. Ono se također već dugi niz godina koristi za kupanje, iako više ne zadovoljava propisane standarde za ovaj vid korištenja [1]. Grad Vis javnu vodoopskrbu rješava 1965. godine što ima posljedicu ispuštanje većih količina otpadne vode. Prihvat otpadne vode iz kućanstva vrši se već postojećim drenažnim kanalima koji odvede oborinske vode najkraćim putem do mora, bez ikakve obrade.

Na slici 1. prikazani su veći obalni ispusti otpadne vode bez obrade. Jedino hotel ISSA ima izgrađenu dvokatnu taložnicu i podmorski ispust dužine 250 m

3.2. Istražni radovi

Prva faza projektiranja bila je izrada studije i obrada mogućih varijantnih rješenja. Izvršene su slijedeće analize.

Oceanografska istraživanja za uvalu Vis nažalost nisu provedena, već se koriste podaci sa područja sličnih karakteristika (razlog je vjerojatno u cijeni ovih radova). Ovo nije preporuka pri drugim sličnim zahvatima.

Prema ATV smjernicama u rezdjelnom sustavu kanalizacije kakav se ovdje predviđa potrebno je predvidjeti i dodatak za "tuđe" vode. Pretpostavljen 0,3 l/s · ha.

Higijensko-sanitarna analiza odnosno ispuštanje otpadne vode u more obuhvaća prvenstveno stupanj pročišćavanja otpadne vode prije ispusta, mjesto ispusta, i utjecaj na sanitarno ekološke prilike u moru. Prema tumačenju "odgovarajući stupanj" čišćenja označava primjenu bilo kojeg postupka čišćenja i/ili ispuštanja kojima se u obalnom moru postižu granične vrijednosti pokazatelja otpadnih tvari. "Podmorski ispust" označava objekt za ispuštanje pročišćene otpadne vode na udaljenosti najmanje 800 m od obalne linije (najniže visine plime na obali) i dubini većoj od 20 m.

Temeljem smjernica savjeta EZ od 1991. koje su važile za vrijeme izrade dokumentacije kao i "Prijedloga zahtjeva kojih se treba pridržavati prilikom ispuštanja otpadnih voda domaćinstava i industrije u vodotoke i more" (osnove strategije zaštite voda i mora od zagađenja u Republici Hrvatskoj, Ministarstvo vodoprivrede, Zagreb, 1993.) analizirali su se pojedini dijelovi obalnog mora viške luke.

Prema jednom od kriterija za utvrđivanje osjetljivosti obalnog mora trebalo bi ispitati odnos godišnje mase izmjenjenog mora (uvala Vis) i godišnje mase ispuštene otpadne vode. Za procjenu godišnje izmjene mase vode uvala Vis bila bi potrebna opsežna oceanografska istraživanja. U nedostatku istih koristiti će se podaci o dinamičkim prilikama obalnog mora na sličnim uvalama srednjeg Jadrana.

Obujam mase mora uvala Vis, prema podacima iz podmorske karte isnosi:

$$V = 3.43 \cdot 10^7 \text{ m}^3$$

Masa vode mora izmijeni se kod sličnih uvala tijekom jednog do tri mjeseca. Uz pretpostavku da se izmjena mora obavlja svakih tri mjeseca, bit će masa izmjenjene vode:

$$M_m = 1.372 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{god}$$

Ukupan broj ekvivalent stanovnika uvala Vis iznosi 5000 ES, odnosno 3000 stanovnika i 2000 turista. Godišnji obujam otpadne vode stanovništva biti će:

$$Q_{\text{god}}^s = 3000 \cdot 0.160 \cdot 365 = 1.75 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{god}$$

Godišnji obujam otpadne vode turista uz pretpostavku korištenja turističkih objekata šest mjeseci (180 dana) biti će:

$$Q_{\text{god}}^t = 2000 \cdot 0.240 \cdot 180 = 0.86 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{god}$$

Ukupna godišnja masa otpadne vode biti će:

$$M_0 = 1.75 \cdot 10^5 + 0.86 \cdot 10^5 = 2.61 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{god}$$

Odnos izmjenjene mase vode mora i otpadne vode:

$$\frac{M_m}{M_0} = \frac{1.372 \cdot 10^8}{2.61 \cdot 10^5} = 525$$

Omjer veći od 500 ukazuje na relativno povoljne uvjete izmjene vode mora, ali kako je ova procjena obavljena na temelju pretpostavki, dobila se samo približna vrijednost. Stoga se uvala Vis smatra ipak "osjetljivim područjem".

3.3. Prijedlog varijantnih rješenja

U radu će se kratko opisati tri obrađene varijante.

VARIJANTA 1

Dva odvojena kanalska podsustava za predijele Luka (3200 ES) i Kut (1800 ES), slika 2.

Ovim rješenjem mora se izgraditi:

- cjevovodi u dužini 4880 m
- 13 objekata crpnih stanica (utrošak 112.209 kWh/g)
- 2 uređaja za čišćenje otpadne vode
- 2 podmorska ispusta 2 · 500 m (·F 250 mm)

VARIJANTA 2

Odvodnja predjela Luka preko Kuta sa uređajem i podmorskim ispustom u uvali Grandovac.

Ovom varijantom skraćuju se dužine glavnih kanala otpadne vode za čak 1725 m,

- 13 objekata crpnih stanica (utrošak 146.604 kWh/g)
- 1 uređaj za čišćenje otpadne vode
- 1 ispust 500 m

Nedostatak ove varijante što se čak 64% otpadne vode podsustava Luka provodi glavnim sakupljačem dužine cca 2200 m predjelom Kut..U slučaju bilo kakvog incidenta ovaj sustav je veoma osjetljiv.

VARIJANTA 3

Pretpostavlja odvesti otpadne vode podnaselja Kut prema području luka. Izgraditi uređaj na rtu od Kompa, kako je to predloženo varijantom 1 za podnaselje Luka. Predviđa se gradnja:

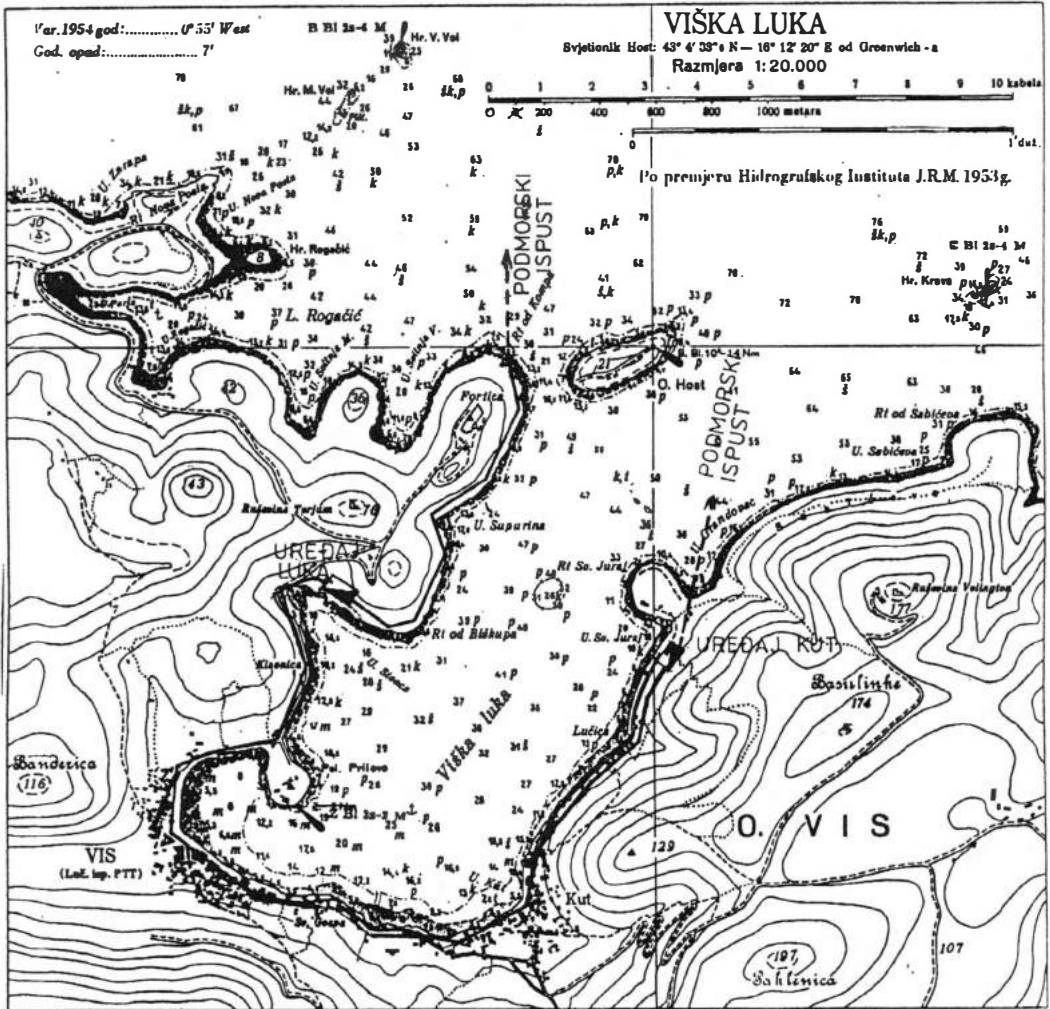
- glavnih sakupljača dužine cca 3250 m
- 14 crpnih stanica (utrošak 138.044 kWh/g)
- 1 uređaj za čišćenje otpadne vode
- podmorski ispust 500 m

Ovom varijantom ostaje predjel Lučica neriješen, te se mora rješavati posebnim sustavom. Ovo područje iznosi 12% količine otpadne vode naselja Kut.

4. Odabrano rješenje

Analizom triju predloženih varijanti izvršiti će se odabir prema mogućnostima:

- tehničkog rješenja
- gospodarskih troškova, kako investicijskih tako i pogonskih
- sanitarno-ekoloških prilika u moru



Slika 2. Rješenje odvodnje prema varijanti 1

Studija je predložila varijantu tri, ali u kasnijim fazama izrade dokumentacije investitor se odlučio za varijantu jedan s dva odvojena kanalska sustava, te s mogućnošću fazne gradnje. Uzimajući u obzir konačne troškove u odnosu na sadašnji broj stanovnika, predloženo rješenje ispuštanja otpadne vode za podnaselje Luka podijeliti će se u dvije faze.

Prva faza izvedbe kanalizacije trajati će neovisno o godinama dok ekvivalentni broj priključenih stanovnika na kanalizacijski sustav bude manji od 2000 ES, kada je potrebno primjeniti prvi stupanj čišćenja. Predviđena dvokatna taložnica.

Druga faza izgradnje kaanalizacijskog sustava, označava razdoblje kada broj priključenih stanovnika prelazi 2000 ES, odnosno približava se konačnoj vrijednosti 3200 ES. Tada će se primjeniti drugi stupanj čišćenja, koji označava primjenu bioloških i/ili drugih postupaka kojima se iz vode uklanja 70-90% BPK₅ koncentracije sirove otpadne vode, odnosno koncentracija ispuštene vode ne veća od 25 mgO₂/l petodnevne biokemijske potrošnje kisika. Prema ovoj varijanti na lokaciji trebalo bi dodati dio uređaja za biološko čišćenje otpadnih voda.

Od lokacije uređaja je predviđeno izgraditi odvodni kanal pročišćene vode do rta od Kompa, gdje bi se izveo podmorski ispust.

Učinkovitost predloženog stupnja čišćenja i načina ispuštanja provjerena je proračunom koncentracija otpadne tvari u blizini ispusta nakon početnog hidrauličkog razrijeđenja. Dobijene vrijednosti neposredno iznad ispusta su znatno niže od standarda mora II vrste, odnosno zadovoljavaju postojeće propise o kakvoći vode mora.

Korišteni podaci

1. Uredba o standardima kakvoće mora na morskim plažama N.N. br. 33/1996, 1269-1271.
2. Tušar B :Otpadna tvar u prirodnoj vodnoj sredini, Zbornik radova IV. Međunarodni simpozij gospodarenje otpadom Zagreb 96, 20-21. 11. 1996, 20-27.
3. Pucher- Petković T; Marasović I : Projekti zaštite mora u užoj regiji Splita, Zbornik radova Konferencije o zaštiti Jadrana, Hvar, 1979, 264.
4. Kanalizacijski sustav Vis, Studija, Građevinski institut, Fakultet građevinskih znanosti Zagreb, prosinac 1988.
5. Izvedbena dokumentacija za kanalski sustav Vis, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb , siječanj 1994.

Autor:

Dr. sc. Božena Tušar, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu , Građevinski fakultet



Rad 4.65.

Pročišćavanje otpadnih voda mljekarske industrije na primjeru “Sirela” Bjelovar

Ivica Plišić, Vincencio Scarlata, Milan Marinac, Matković Damir, Nives Klobučar

SAŽETAK: U Hrvatskoj su rijetka kompletna postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda. Također su rijetka postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda u industriji. Uređaj u mljekarskoj industriji “SIRELA” Bjelovar je jedini takav u Hrvatskoj u toj grani industrije. Zbog toga je neophodno iznijeti rezultate rada na tom postrojenju. Postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda mljekarske industrije “SIRELA” Bjelovar projektiran je i izgrađen tokom 1997. i 1998. godine. Nakon tehničkog pregleda obavljenog 09.11.1998., postrojenje je u pogonu. Postrojenje se sastoji od mehaničkog predtretmana na gruboj rešetki i finom situ, bazena za egalizaciju, fizikalno-kemijskog tretmana na flotaciji, biološkog pročišćavanja, zgušnjavanja mulja, te obrade mulja prešanjem na belt-preši. Nakon pročišćavanja voda se ispušta u gradski kolektor kojim odlazi na gradsko postrojenje za pročišćavanje. Obradeni mulj odvozi se na kompostiranje. U radu se opisuje samo postrojenje i njegova koncepcija te rezultati dosadašnjeg rada i pročišćavanja vode. Rezultati pročišćavanja svakako su veći od zahtjeva postavljenih u uvjetima i lokacijskoj dozvoli, a u skladu sa projektiranim veličinama.

KLJUČNE RIJEČI: otpadne vode, pročišćavanje otpadnih voda.

Diary Waste Water Treatment - Sirela Bjelovar Case Study

SUMMARY: Full-scale waste water treatment plants are rare in Croatia, and they are particularly rare in industrial facilities. The treatment plant installed in Sirela Dairy, Bjelovar, is the only such plant in this industrial sector in Croatia. Thus, the results of its operation need to be presented. The waste water treatment plant in Sirela Dairy was designed and built in 1997 and 1998. The plant was technically inspected on November 9, 1999 and subsequently commissioned. The plant consists of mechanical pretreatment on coarse screen and fine sieve, equalization basin, physico-chemical treatment by flotation, biological treatment, sludge thickening, and sludge treatment on a belt press. Upon treatment, the water is released into the main sewer, and further into the municipal treatment plant. Ultimately, the treated sludge is composted. The paper describes the waste water treatment plant and its concept along with the achieved results. The treatment results exceed the requirements set up in the site permit and project requirements, and complies with the design criteria.

KEYWORDS: waste water, waste water treatment

1. Uvod

Tijekom 1997.g. je započela izgradnja postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda u pogonima mljekarske industrije “Sirela” u Bjelovaru na temelju projektne dokumentacije koju je izradio Institut građevinarstva Hrvatske-Poslovni centar Rijeka u suradnji s firmom

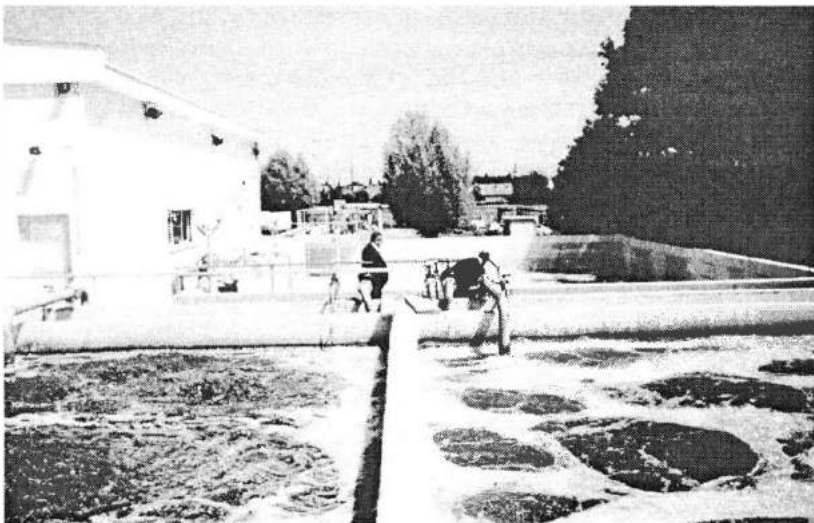
Krofta S.A. Lugano; Switzerland. IGH-Zagreb je sudjelovao i u procesu nadzora pri izvedbi postrojenja. Tehnolozi firme "Krofta" su dali tehnološko rješenje s naglaskom na postupak flotacije pomoću flotacijskog uređaja SPC-12. Ovim postupkom vrši se učinkovito pročišćavanje u području komunalnih i industrijskih otpadnih voda te bilježe pozitivna iskustva na uređajima u mljekarskoj industriji diljem svijeta. Tehnološkom rješenju je prethodilo ispitivanje s Krofta pilot uređajem tijekom 7 dana. Ispitivanjem je provjerena djelotvornost predloženog tehnološkog postupka. Institut građevinarstva Hrvatske-PC Rijeka je izradio kompletan arhitektonsko-građevinski dio glavnog i izvedbenog projekta. Cilj ovog projekta je pročišćavanje jako zagađenih tehnoloških otpadnih voda mljekarske industrije i upuštanje pročišćene vode u gradski kanalizacijski sustav, sve u skladu s odredbama o zaštiti voda i očuvanju okoliša.

2. Tehnički opis

Projektirana građevina je kompleks kojeg čine crpna postaja, kontrolna zgrada, egalizacijski bazen, dva oksidacijska i naknadni flotacijski bazen (SDF-24) sa strojarnicom te pripadajući uređaji za automatizirano vođenje procesa pročišćavanja tehnoloških otpadnih voda do nivoa ispusta u javnu kanalizacijsku mrežu. Postrojenje se sastoji od slijedećih osnovnih uređaja:

1. Crpna postaja
2. Fino sito
3. Egalizacijski bazen $V=1000\text{ m}^3$
4. Neutralizacijski bazen $V=20\text{ m}^3$
5. Flotacijski uređaj Krofta SPC-12 (fizikalno-kemijska primarna obrada)
6. Biološki uređaj za pročišćavanje (dva oksidacijska bazena)
7. Sediflotacijski uređaj Krofta SDF-24
8. Dehidracijska preša za mulj

Osnovni uređaji imaju svoju prateću mjerno-regulacijsku opremu, opremu za doziranje i mješanje kemikalija.



Slika 1. Pogled s bioloških bazena prema egalizaciji

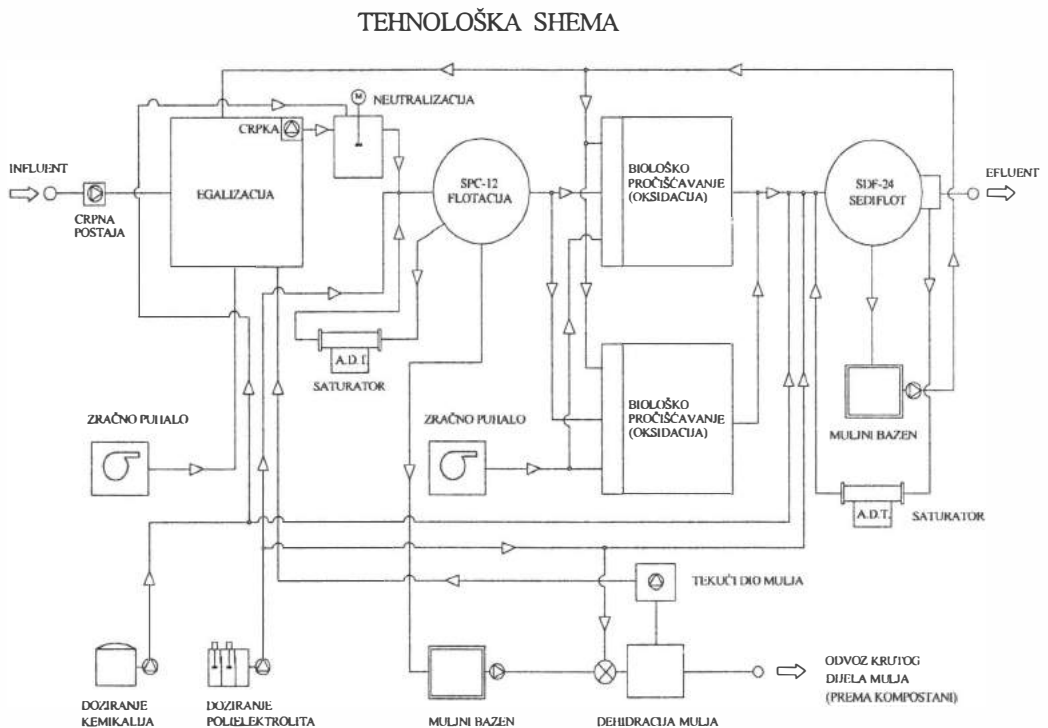
Otpadne vode nastale iz raznih proizvodnih procesa mljekarske industrije "Sirela", nakon što su prošle kroz grubu rešetku i fino rotacijsko sito se skupljaju u egalizacijskom bazenu. Mješanje i predaeracija u egalizacijskom bazenu se postižu upuhavanjem zraka putem puhala i aeracijskih diskova. Tako pripremljena otpadna voda se vodi do neutralizacijskog reaktora gdje se dodaju kemikalije za neutralizaciju.

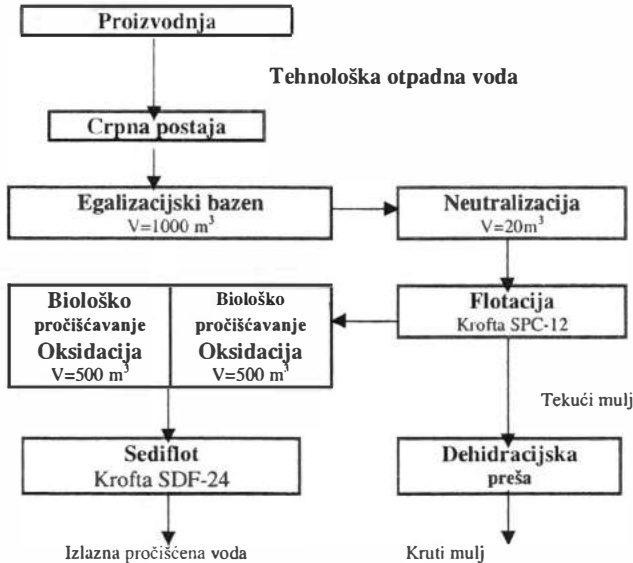
Od tuda se otpadna voda vodi do flotacijskog uređaja Krofta SPC-12, gdje se u vrlo kratkom roku (3 min), uz pomoć sitnih mjehurića zraka generiranih pomoću saturatora vrši flotacija, odnosno isplivavanje flokula s izdvojenim česticama nečistoća na površinu tretirane vode. Rotacijski zgrtač učinkovito kupi nečistoće u obliku primarnog mulja koji se vodi na dehidratorsku prešu te odlaže u vanjske spremnike. Flotacijski uređaj uklanja cca. 50% onečišćenja. Ovako prosušeni mulj se odvozi u kompostanu koja proizvodi gnojivo za određene poljoprivredne kulture. Slijedi druga faza - biološki tretman kojeg čine oksidacija i sediflotacija. Oksidacija se odvija u dva bazena volumena 500 m³ (svaki). U bazenu su smješteni aeracijski diskovi, a zrak se dobavlja rotacijskim puhalima kapaciteta 600 Nm³/h.

Iz oksidacijskih bazena voda gravitacijski otječe u sedimentacijsko-flotacijski uređaj Krofta SDF-24 koji posjeduje pokretni most za kontinuirano skupljanje isflotiranog i istaloženog materijala. Pročišćena voda se ispušta u kanalizacijski sustav, a istaloženi i flotirani mulj se skuplja u muljnom bazenu. Učinak uklanjanja nečistoća nakon cjelovitog tretmana pročišćavanja otpadnih voda iznosi više od 90%.

3. Dijagramom toka i tehnološka shema

U nastavku slijedi tehnološka shema i dijagram toka:





4. Sastav i količina tehnoloških otpadnih voda

Sastav tehnološke otpadne vode na izlazu iz pogona određen je na kompozitnim uzorcima. Uzorke je uzimao i analizu je proveo Zavod za javno zdrastvo Županije Bjelovarsko - Bilogorske, služba za zdravstvenu ekologiju - odjel otpadnih voda. Analizom kompozitnih uzoraka otpadnih voda dobiven je prosječni sastav koji izgleda ovako:

- KPK (prosječni) 7.000 mg/l
- BPK₅ (prosječni) 3.800 mg/l
- ukupne suspendirane tvari 1.500 mg/l
- ukupna ulja i masti 450 mg/l

Srednja protoka izmjerana na mjerачu postavljenom na priključku na gradski kolektor iznosi 900 m³/dan, a maksimalna protoka iznosi 1.000 m³/dan.

5. Sastav otpadne vode koji se dozvoljava upuštati u gradsku kanalizaciju

Komunalno poduzeće Bjelovar izdalo je posebne uvjete za projektiranje postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda "Sirela". Prema tim uvjetima otpadna voda na izlazu iz uređaja mora imati slijedeći sastav:

- KPK 1.000 mg/l
- BPK₅ 500 mg/l

Prema ugovoru s isporučiocem opreme i tehnologije "Krofta" Lugano, predviđen je slijedeća kvaliteta izlazne vode iz postrojenja za pročišćavanje:

- KPK 180 mg/l
- BPK₅ 40 mg/l
- ukupne suspendirane tvari 80 mg/l
- ukupna ulja i masti 8 mg/l
- pH 6,5 - 8,5

6. Rezultati

Tablica 1. Tabelarni prikaz srednjih vrijednosti analiza primarnog tretmana (egalizacija i flotacija SPC)

Vrijeme	KPK Ulaz teh. vode mg/l	KPK Izlaz iz egalizacije mg/l	KPK Izlaz SPC mg/l	KPK Uklanjanje u egalizac. %	KPK Uklanjanje u SPC. %	KPK Uklanjanje u egalizac. Kg/dan	KPK Uklanjanje u SPC. Kg/dan	TSS Izlaz iz egalizacije mg/l	TSS Izlaz SPC mg/l	TSS Uklanjanje u SPC. %
Listopad/98	8895	5336	2701	43,7	44,6	3810	2890	1876	403	75,4
Studeni/98	6646	3405	1115	49	71,4	2777	2659	1828	218	88,3
Prosinac/98	5771	3727	1037	38,4	73	1843	2636	2186	208	90,4
Siječanj/99	8237	6260	2553	25,8	58,3	1977	4250	2311	318	85,6

Tablicu izradio: dr. Vincenzo Scarlata

Tablica 2. Tabelarni prikaz srednjih vrijednosti analiza sekundarnog tretmana (II faza)

Vrijeme	KPK Ulaz biol. mg/l	KPK Izlaz biol. mg/l	Biološ. učinak %	Učinak sustava %	Učinak sustava Kg/dan
Listopad/98	2701	233	91,3	97	8628
Studeni/98	1115	268	76	96	6380
Prosinac/98	1037	170	83	97	5598
Siječanj/99	2553	218	91,3	97	7990

Tablicu izradio: dr. Vincenzo Scarlata

7. Zaključci

Iz gornjih tablica je vidljivo da je biološki dio postrojenja bio pod dodatnim organskim opterećenjem i znatnim variranjem vrijednosti KPK.

Ovo stanje je uzrokovano povećanjem količine sirutke u otpadnim vodama. Dobiveni su visoki ali ne i neočekivani rezultati jer nije došlo do stabilizacije bio-mase te je manjkalo otopljenog kisika.

U analiziranom periodu opterećenja organskom tvari veće su od planiranih veličina po prosječnom sastavu kompozitnih uzoraka.

Vidljivo je iz rezultata probnog rada da se na ovakvim postrojenjima mogu dobiti bolji rezultati nego što je to bio zahtjev iz datih uvjeta.

U ovom kratkom periodu probnog rada rezultati pokazuju da će se ostvariti planirane izlazne veličine.

Literatura

/1/ Plišić, I., i suradnici: "Postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda SIRELE", izvedbeni projekt, Institut građevinarstva Hrvatske P.C. Rijeka, 1997.

Laboratorijske analize, Tehnološki laboratorij Sirela Bjelovar, Bjelovar, 1998. i 1999.

Autori:

Mr.Ivica Plišić dipl.ing.građ., Milan Marinac dipl.ing.građ., Matković Damir dipl.ing.građ., Nives Klobučar dipl.ing.građ., Institut građevinarstva Hrvatske P.C. Rijeka, Vukaovarska 10a, 51 000 Rijeka.

Dr.Vincenzo Scarlata, KROFTA S.A. Lugano, CH,6900 Lugano, Via Baroffio 6, Switzerland.

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*^(R)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.66.

Ionski izmjenjivači u obradi voda industrije gnojiva

Stjepan Leaković, Štefica Cerjan–Stefanović, Emil Hodžić

SAŽETAK: Voda u procesima kemijske industrije ima višestruku uporabu. Ona se koristi kao procesna voda, rashladna voda i kao pomoćna sirovina. Razvojem industrije raste potrošnja vode prije, tijekom i nakon tehnološkog procesa, što rezultira povećanjem količine otpadne vode i koncentracijom zagađivala u njima. Nastale otpadne vode u kemijskim procesima imaju veliki utjecaj na okoliš, jer zagađuju podzemne i površinske vode te biljni i životinjski svijet. U nizu proučenih postupaka, primjenom selektivnih ionskih izmjenjivača može se u pojedinim segmentima industrije riješiti u potpunosti problem otpadnih voda. Nastoji se u istom ciklusu ukloniti i koncentrirati zagađivalo, a pročišćena voda ponovo koristiti u tehnološkom procesu.

Količina reciklirane vode znatno ovisi o vrsti ionskih izmjenjivača, kojih danas ima različitih karakteristika. Moderna karakterizacija ionskih izmjenjivača određena je njihovim konstantama distribucije, efektima bubrenja i njihovom selektivnošću na pojedine ione. Na temelju znanstvenih istraživanja odabrani su optimalni ionski izmjenjivači otporni na povišenu temperaturu i pritisak te veliku agresivnost medija, što je karakteristika otpadnih voda industrije gnojiva. Rezultati odabira ionskih izmjenjivača i njihovo laboratorijsko testiranje su osnova za izradu pilot uređaja i simuliranje procesa pročišćavanja otpadnih voda za pojedine segmente proizvodnih procesa uz primjenu matematičkog modela. Danas je nedopustivo da se voda u tehnološkom procesu koristi samo jedan put. Princip ponovnog korištenja i recikliranja vode treba postati opće prihvaćeno pravilo. Otpadne vode industrije gnojiva ne smiju se smatrati “otpadom” već sekundarnom sirovinom, odnosno ne smije se zaboraviti na oporabu vrijednih tvari iz otpadnih voda, što ionski izmjenjivači omogućavaju.

KLJUČNE RIJEČI: ionski izmjenjivači, dušik, otpadne vode

Fertilizer Industry Waste Water Treatment with Ion Exchangers

SUMMARY: In chemical processes, water has versatile role. Water consumption increases with industrial development which, in return, results in increase of waste water quantity and pollutant concentrations. Waste water from chemical processes has considerable environmental impact because it contaminates surface and ground water, plants and wildlife.

Based on a number of analyzed processes it was concluded that the waste water issue may in some industrial segments be completely resolved by installation of selective ion exchangers. The objective is to remove and concentrate the pollutant and, within the same cycle, recirculate the treated water into the process. Quantity of recycled water depends significantly on type of ion exchanger used. Based on scientific research, optimum ion exchangers were selected resistant to high temperatures and pressure and aggressive media typical for waste water from fertilizer industry. The ion exchanger selection results, and laboratory tests conducted on the exchangers were used as the grounds for construction of a pilot plant and simulation of the waste water treatment process. Presently, there is no justification for avoiding to recycle water from any process. The

principles of water reuse and recycling should become generally accepted rule. Waste water from the fertilizer industry must not be considered “waste”, but rather a secondary raw material taking into account recycling of valuable matter contained in waste water which is an option offered by ion exchangers.

KEYWORDS: ion exchangers, nitrogen, waste water

Uvod

Gradnjom industrijskih procesa zagađenja voda postala su nezaobilazna činjenica. Ipak svijest čovjeka o potrebi očuvanja okoliša u kojem živi dovela je do razvoja niza postupaka za pročišćavanje otpadnih voda i stvorila uvjete održivog razvitka.

Proizvodnja mineralnih gnojiva spada u industrijsku granu u čijim procesima nastaju otpadne vode s visokim stupnjem zagađenja. Procesne otpadne vode tvornice mineralnih gnojiva sadrže povišene količine dušika u amonijakalnom i nitratnom obliku te fluoride, suspendirane tvari i mineralna ulja.

Spoznaja o potrebi pročišćavanja otpadnih voda u Tvornici mineralnih gnojiva u Kutini datira još iz osamdesetih godina, kada su u sklopu povećanja kapaciteta proizvodnje Tvornice mineralnih gnojiva instalirana dva procesa za obradu otpadnih voda. Na jednom od postrojenja se obrađuju fluorne vode neutralizacijom s otopinom vapnenog hidrata, a na drugom se procesne otpadne vode obrađuju metodom ionske izmjene.

Pored toga nije postignuta zadovoljavajuća razina pročišćavanja otpadnih voda, pa se stoga prema Zakonu o vodama i uvjetima propisanim u vodoprivrednoj dozvoli plaća vodoprivredna naknada za zaštitu voda. U 1998. godini ova naknada je iznosila 5,4 mil. kuna. Visoki iznos vodoprivredne naknade i svijest o potrebi zaštite okoliša doveli su do toga da je 1998. godine izrađen Programa gospodarenja vodama koji ima za cilj povezivanje ekoloških i ekonomskih aspekata.¹

Ekološki aspekti su: – smanjenje količine otpadnih voda
– smanjenje zagađenja otpadnih voda

Ekonomski aspekti su: – smanjenje vodoprivrednih naknada za zaštitu i korištenje voda
– smanjenje troškova korištenja voda u proizvodnji gnojiva

Program gospodarenja vodama provodi se u slijedeće četiri faze:

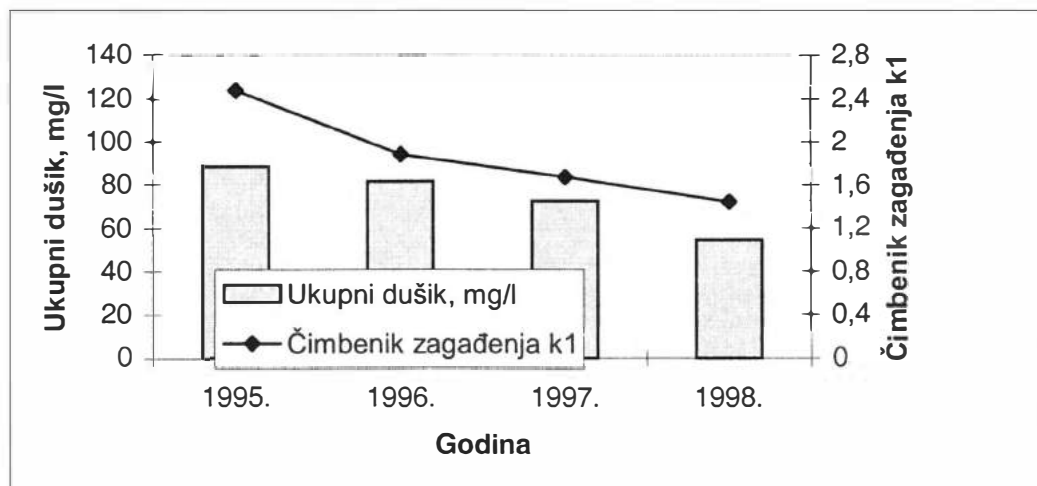
1. Smanjenje zagađenja voda u fazi njihovog nastajanja
2. Poboljšanje rada uređaja za obradu otpadnih voda
3. Predtretman neobrađenih otpadnih voda
4. Ponovna uporaba otpadne vode

1. Smanjenje zagađenja voda u fazi njihovog nastajanja

Smanjenje opterećenja voda u fazi nastajanja ostvaruje se povećanom tehnološkom disciplinom, poboljšanjem održavanja opreme te rekonstrukcijama proizvodnih postrojenja. Najveća takva rekonstrukcija napravljena je na postrojenju za proizvodnu gnojiva KAN. U 1998. godini zamjenjena je proizvodnja priliranog KAN-a metodom granuliranja. Za investiciju je utrošeno 22 mil.kuna. U veljači ove godine počela je probna proizvodnja, a efekti poboljšanja zaštite vode i zraka očekuju se nakon stabiliziranja proizvodnje.

U razdoblju 1995. –1998. godina postignuti su značajni rezultati na smanjenju sadržaja dušika u otpadnim vodama što je rezultiralo značajnim smanjenjem čimbenika zagađenja otpadnih voda k_1 (Slika 1.).

U 1998. godini ukupni dušik je bio 55 mg/l uz ostvareni $k_1 = 1,45$, dok je u 1995. godini ukupni dušik bio 82 mg/l uz ostvareni $k_1 = 2,48$. Dozvoljeni sadržaj dušika prema vodoprivrednoj dozvoli je 40 mg/l, a ciljani čimbenik zagađenja $k_1 = 1$. Čimbenik zagađenja sudjeluje proporcionalno uz količinu otpadne vode u određivanju naknade za zaštitu voda.²



Slika 1. Ukupni dušik i čimbenik zagađenja otpadnih voda u razdoblju 1995. – 1998. g.

2. Poboljšanje rada uređaja za obradu otpadnih voda

Značajnu ulogu u smanjenju opterećenja otpadnih voda Tvornice gnojiva ima rad uređaja za obradu otpadnih voda.

Obrada ovih otpadnih voda provodi se metodom ionske izmjene uz primjenu jako kisele kationske ionske mase i slabo bazične anionsko ionske mase.^{3,4} Obradena voda se koristi kao dodatna voda u rashladnom sustavu. Produkt regeneracije ionskih masa je otopina amonijevog nitrata koji se koristi za proizvodnju gnojiva na postrojenju za proizvodnju NPK gnojiva. Regeneracija ionskih mase se provodi u posebnim reaktorima uz uporabu 56%-tne HNO_3 i 16%-tnog NH_4OH .

Zbog visokog stupnja zagađenja procesnih otpadnih voda, provodi se razrjeđenje s obrađenom otpadnom vodom prije ionske obrade. Obradena otpadna voda sadrži oko 9 mg/l amonijakalnog dušika i 7 mg/l nitratnog dušika pa se koristi kao dodatak za rashladnu vodu.

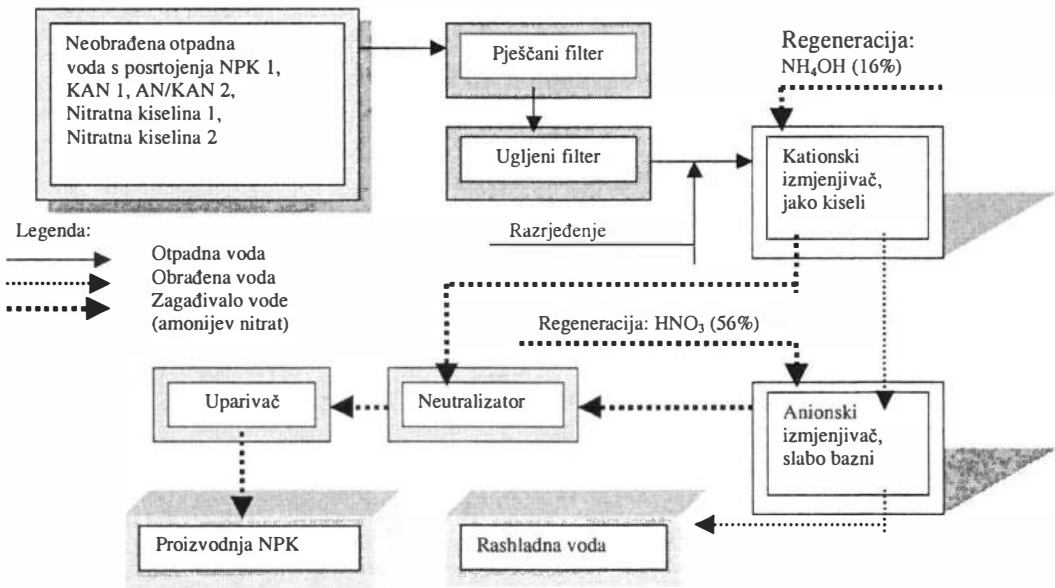
Shema uređaja za obradu otpadnih voda industrije gnojiva u Kutini metodom ionske izmjene prikazana je na slici 2.

Prednosti korištenja ionskih izmjenjivača u obradi otpadnih voda industrije gnojiva sastoje se u slijedećem:

1. Vlastita proizvodnja kemikalija potrebnih za regeneraciju
2. Ponovna uporaba obrađene otpadne vode

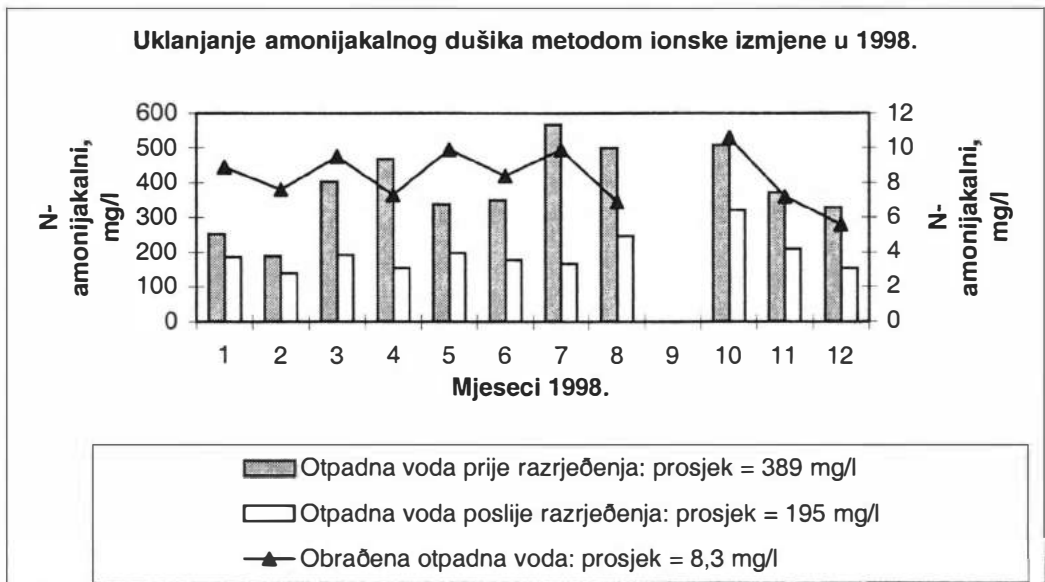
3. Korištenje produkta regeneracije u proizvodnji gnojiva

4. Nema novog zagađenja okoliša



Slika 2. Blok shema obrade otpadnih voda metodom ionske izmjene u Kutini

Efikasnost rada uređaja za obradu otpadnih voda prikazana je na slici 3. Podaci se odnose na uklanjanje amonijakalnog dušika u 1998. godini.



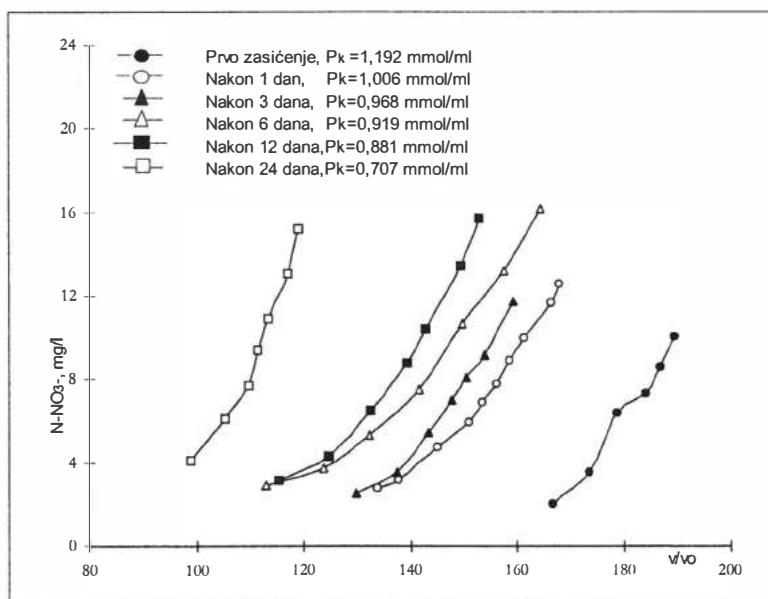
Slika 3. Uklanjanje amonijakalnog dušika metodom ionske izmjene u 1998. godini

U radu uređaja za obradu otpadnih voda javili su se problemi vezani uz pad kapaciteta izmjene ionskih masa. Stoga su provedena opsežna laboratorijska istraživanja kojim se utvrdilo da prisutna nitratna kiselina iz dijela kationske regeneracije štetno djeluje na stabilnost i kapacitet izmjene anionske ionske mase.⁵

Na slici 4 prikazane su krivulje proboja nitratnih iona za anionsku masu Lewatit S 4428 nakon djelovanja 2%-tne HNO_3 u trajanju od 24 dana. Korisni kapacitet izmjene iona s početnih 1,19 mol/l smanjen je na 0,7 mol/l.

Izvršena su laboratorijska istraživanja s ciljem pronalaženja najbolje anionske ionske mase za uvjete rada Tvornice mineralnih gnojiva. Utvrđeno je da anionska masa Lewatit S 4428 ima najbolja svojstva. S ovom masom proces obrade provodi se dvije godine, dok su drugi tipovi anionskih masa zamjenjeni nakon godine dana rada.

Rezultat toga je povećanje količine obrađene otpadne vode na uređaju za 15,1 % u odnosu na 1996. godinu. U 1998. godini obrađeno je 0,91 mil.m³ otpadne vode, a uz to je proizvedeno 4,4 tisuće tona amonijevog nitrata koji je utrošen u proizvodnji gnojiva NPK.



Slika 4. Krivulje proboja nitratnih iona određene u laboratoriju s masom Lewatit S 4428

3. Predtretman neobrađenih otpadnih voda

Budući da se na uređaju za obradu otpadnih voda pročišćavaju otpadne vode s postrojenja za proizvodnju nitratne kiseline te gnojiva KAN i NPK, kao predtretman se koristi metoda egalizacije ili ujednačavanja sastava otpadne vode.

Kako je u prikupljenoj otpadnoj vodi sadržaj amonijakalnog dušika iznad granice rada uređaja za njenu obradu provodi se razrjeđenje otpadne vode s obrađenom otpadnom vodom. U početku se za razrjeđenje koristila dekarbonizirana voda. Nakon istraživanja provedenih u laboratoriju utvrđeno je da se radni kapacitet kationske ionske mase Duolite C 265 povećava za 7,2 % ako se za razrjeđenje koristi obrađena otpadna voda umjesto dekarbonizirane.⁶

Jedan od načina smanjenja štetnog djelovanja kemijskih tvari iz otpadnih voda na biljni i životinjski svijet u prirodnom recipijentu jeste izbor najpovoljnijeg vodotoka za zbrinjavanje otpadnih voda. Potrebno je koristiti prirodne vodotoke s većom količinom vode i većom brzinom protoka. U tjeku 1998. godine otpadne vode Tvornice gnojiva usmjerene su u novi tok potoka Kutinica. Time su zaštićene vode parka prirode Lonjsko polje. U gradnji novog sustava za odvodnju otpadnih voda, koja je trajala četiri godine, utrošeno je oko 1,6 mil. USD.⁷

4. Ponovna uporaba otpadne vode

Ponovna uporaba obrađenih otpadnih voda omogućava smanjenje količine otpadnih voda koje završavaju u prirodnom recipijentu. Pored toga smanjuje se uporaba sirove vode u tehnološkim procesima koju zamjenjuje obrađena otpadna voda.

U tablici 1. prikazan je sastav obrađene otpadne vode metodom ionske izmjene koja se koristi kao dodatna voda u sustavu rashladne vode.

Tablica 1. Sastav otpadne vode prije i nakon obrade metodom ionske izmjene u 1998.

	Voda prije obrade	Voda poslije obrade
pH	8,5	4,5
N-NH ₄ ⁺ , mg/l	195	8,3
N-NO ₃ ⁻ , mg/l	97	5,6
NO ₂ ⁻ , mg/l	5,2	1,0
P ₂ O ₅ , mg/l	2,9	1,0
SiO ₂ , mg/l	8,1	4,0
F, mg/l	7,0	3,5

Osnovni preduvjet za realizaciju ovih programa bila je izmjena načina pripreme rashladne vode. Uveden je takozvani dianodik postupak koji omogućava povrat relativno čistih otpadnih voda u rashladni bazen. Rashladni sustav sada radi uz povišeni stupanj ugušćivanja što znatno smanjuje gubitak rashladne vode isparavanjem. Pored toga ostvaruje se povrat parnih kondenzata koji se, nakon hlađenja i dodatnom obradom na ionskim izmjenjivačima, vraćaju u sustav voda kao demineralizirana voda.

Zahvaljujući povećanom povratu otpadne vode u periodu 1995 – 1998 godina smanjena je količina otpadnih voda za 24,4 %. Količina otpadne vode u 1998. godini bila je 4,4 mil. m³. Ova količina otpadne vode vezana je uz proizvodnju gnojiva od 0,96 mil. tona i potrošnju sirove vode u iznosu 10,6 mil. m³.

Zaključci

1. Iz prikazanih rezultata može se zaključiti da se u tvornici gnojiva u Kutini problemu zaštite voda posvećuje dužna pozornost. Tome značajno doprinosi provođenje Programa gospodarenja vodama.
2. Potvrđeno je da se ionski izmjenjivači mogu uspješno koristiti u pročišćavanju otpadnih voda industrije gnojiva.

Literatura

1. S.Leaković, T.Seletković, E.Hodžić, I.Mijatović and Š.Cerjan-Stefanović, Rational Water Managing and Treatment in Processes of Fertilizer Production, The Kriton Curi International Symposium on Environmental Management in the Mediterranean Region, Antalya 1998.
2. Republic of Croatia legislation, Zakon o vodama, N.N. 107/1995
3. H.Harmsen and H.B.Pols, Ion exchange for treatment of industrial waste water, in J.Joziase and H.B.Pols (eds.), Inventory of treatment techniques for industrial waste water, 1990.
4. N.Arion, J.Jagušt and Ž.Džendžo, Fertilizer plant waste water treatment by ion exchange, Nitrogen No.163 ,September-October 1986.
5. S.Leaković, E.Hodžić, I.Mijatović, Ammonium and Nitrate Removal from Fertilizer Factory Waste Water by Ion Exchange Process, IAWQ 2nd Specialized Conference, Atena 1996.
6. S.Leaković, Magistarski rad, 1996.
7. S.Leaković, The new flow of the stream Kutinica are protected Lonjsko polje, Hrvatska vodoprivreda No.60, September 1997.

Autor:

Mr.sc. S.Leaković, dipl.inž., Petrokemija d.d., Aleja Vukovar 4, 44320 Kutina,
E-mail: razvoj1@petrokemija.tel.hr

Dr.sc. Š.Cerjan-Stefanović, prof., Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 20, 10000 Zagreb.

Dr.sc. E.Hodžić, prof., Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 20, 10000 Zagreb.

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.67.

Fizikalno-kemijska predobrada zauljenih otpadnih materijala

Milli Španović

SAŽETAK: Problemi kod nastajanja, sakupljanja, odvoza, zbrinjavanja i iskorištavanja komunalnih i industrijskih otpadaka su naša stvarnost, činjenica i način života. Njihova pojava je normalna, dakle i ljudska, moramo je uvažiti, priznati je i s njome uspostaviti jedan oblik uzajamnog i razumnog međusobnog uvažavanja. Otpadak je dio životnog procesa, uloženog ljudskog rada, produkcije i proizvodnje, biološke reprodukcije, postojanja, opstanka i općeg razvoja svake društvene zajednice. Takvim pristupom olakšali bismo si naporno razmišljanje o štetnosti, opasnosti, kritičnosti i samouništivosti. Ovakvim bismo pristupom jednostavnije i normalnije uvažavali činjenice, mogli slobodnije razmišljati i bez predrasuda se postaviti pred neodloživu zadaću traženja optimalnih tehničkih, tehnoloških, socioloških i ekoloških rješenja.

KLJUČNE RIJEČI: Predobrada, vakuumsko-plinska inkapsulacija, rafinerijski gudron, hidrofobni solidifikat

Physico-Chemical Pretreatment of Oil-Contaminated Waste Material

SUMMARY: Issues related to collecting, removal, disposal and reuse of municipal and industrial waste are our reality, everyday facts and way of life. Their generation is normal and must be recognized, accepted and carefully considered as such. Waste is an element of a life cycle, a component of invested human work, production and manufacturing, biological reproduction, existence, survival and general development of any social community.

Knowing that, it is easier to comprehend hazardous impacts, risks, criticality and self-destruction and therefore take a simplified approach towards the facts, think more freely and unbiasedly and thus face a pressing tasks of finding optimum technical, process, sociological and environmental solutions.

KEYWORDS: pretreatment, vacuum gas encapsulation, refinery acid tar, hydrophobic solidifying agent

1. Uvod

Svaki otpadak je koristan ukoliko ga transformiramo u nešto što ćemo moći iskoristiti, a nekoristan otpad je onaj, koji je trajno odbačen, tamo, gdje ga se više ne može iskoristiti. U svakom otpadu sakrivena je određena ekonomska vrijednost, kao sekundarna sirovina sa potencijalnim korisnim svojstvima, a koja je tehnički pretvoriva u toplinsku, mehaničku ili električnu energiju, pa također i kao materijala sa tercijarnom iskoristivosti. Zagonetnost otpadaka leži u uskraćenom ljudskom poimanju i percepciji, te njegovom odnosu prema stvarnoj identifikaciji takve vrste, oko nas prisutnog materijalnog resursa. Uvažimo li ove činjenice, prihvatit ćemo i logičnost u rasuđivanju, te se sa otpacima

suočiti kao s uobičajenim okolišnim stanjem u kojem nećemo naći svoju slabost, već potražiti i pronaći vlastitu korist.

Najjednostavniji primjer za razumijevanje rečenog je iskorištavanje otpadaka nastalih u poljoprivredi i stočarstvu, a čime se ljudski rod suočio i započeo baviti gotovo od prvih spoznaja o sebi.

Slično je i sa otpacima koji se sami ili uz ljudsku intervenciju transformiraju u kvalitetan i stabilni kompost, a paralelizam se može pronaći također i kod odvojenog sakupljanja stakla, papira, plastike, metala i dr.

Mogu li se takva pravila uvažiti sa tom ili bilo kojom drugom vrstom otpadnih materijala, npr. opasnim, posebnim, specijalnim, toksičnim i otrovnim, kao što su stara otpadna motorna ulja, rafinerijski, petrokemijski, farmaceutski, pa čak i radioaktivni otpadak?

Važan je pristup i naš odnos prema otpacima i priznavanje činjenica.

Važno je dostojanstvo i ljudski karakter, ljudsko poštenje i odlučnost.

Biti ravnopravan i moći uspostaviti ravnotežno stanje sa pojavljenim događanjima, značilo bi i svakoj vrsti otpada pronaći ime, koji bi tako, odmah nakon toga, prestao biti - problem.

Ispred društvene zajednice su postavljena samo neka relevantna pitanja, pa, dakle, nije problem u otpacima, već je problem u ljudskom odnosu prema sebi samome, odnosu između sebe i u odnosu prema pojavljenom stanju, a kada bismo to priznali, riješili bismo postavljeno pitanje u vezi sa bilo kojim i bilo kakvim otpadnim materijalima.

Čak ih više niti ne bismo nazivali tako pogrdnim imenima, kao što su: smeće, otpadak, smrad, šteta, opasnost, katastrofa, ekološka bomba i slično.

Iz tih razloga, otpadak jeste:

- a) materijal, iskoristiv za dalju industrijsku namjenu,
- b) materijal, koji se skladišti radi transformacije u koristan proizvod i energiju ili
- c) materijal, koji se zbrinjava u posebnim spremnicima radi istraživanja najpovoljnijeg tehničkog, tehnološkog i ekološkog rješenja.

2. Primjer ekološkog rješavanja nekih vrsta otpadnih materijala iz industrijskih izvora nastajanja

Ne udaljavajući se previše daleko od stvarnosti primjećuje se jedna realna vrsta otpadnih materijala koja je svuda oko nas i oko koje se već dugo okupljamo ne polučujući vidljive rezultate, jer nisu postavljeni modeli zbrinjavanja, niti su utvrđeni najbolji načini za njihovo rješavanje.

Iz rafinerijskih izvora nastajanja otpadnih materijala sa kojima se susreće današnja razvijena industrija proizvodnje nafte i njenih derivata jesu razna otpadna ulja, gudroni, neiskoristivi talozi tankova, otpaci nakon proizvodnih procesa dobivanja, iz obrade i prerade nafte, koji su smješteni na odvojena odlagališta, uskladišteni u različite bazene, odloženi u prirodni okoliš ili spaljivani u toplanama, cementarama i sl.

Niti jedan od navedenih načina dosadašnjeg rješavanja zauljenih otpadnih materijala nije poptuno apokaliptičan, ali - priznajmo - nije niti baš najbolji i najpametniji. I to zbog slijedećih razloga:

- Uskladištenje u tankove, bazene i spremnike ne može biti trajno rješenje.
- Odlaganje u prirodni okoliš je štetno i neodrživo.
- Spaljivanje producira nove usputne štetne posljedice.

Što je to, dakle, prihvatljivo ekonomsko i ekološko rješenje za tu vrstu otpadaka?

2.1. Sadašnji način rješavanja problema, osobine i svojstva takvih vrsta otpadaka

Otpadna ulja, rafinerijski gudroni i gline, katransko-mazutni talozi, masti, uljni gač, emulzije, uljevine i muljevi su otpadak na bazi ugljikovodika, koji u sebi mogu sadržavati i mnoge druge spojeve na bazi halogena, dušika, sumpora, teških metala itd. Isti materijali su u takvom stanju da ih nije primjereno odlagati u prirodni okoliš, a što je u nas, ali i u svijetu najčešći i najjednostavniji, međutim ne i ekološki prihvatljiv i odobravajući način.

Niti s ekološkog, moralnog, a niti s tehnološkog i ekonomskog stajališta.

Takav materijal je neugodan, nepodoban za manipulaciju, a zbog raznih negativnih utjecaja štetan je za ljude i okoliš.

Ukoliko isti postoji, a eto, ipak postoji, treba ga prihvatiti kao normalnu industrijsku otpadnu vrstu materijala i tako mu se približiti.

Naime, poradi sablažnjavanja nad njime, isti se sakriva od ljudi i javnosti, baca u škrape, vrtače, zapuštene rudnike, ili u bačvama odbacuje u jezera i mora. Neki su se "poslovni sustavi" već osposobili da iz "crnih jama" sa gudronima, pomoću pumpi, izvlače prvi tekući sloj sa površine, kako bi ga prodavali i spaljivali u gorionicima, npr. za - staklenike.

Likvidni talozi iz rafinerijskih tankova vrlo često završavaju na sagorijevanju u toplanama, pa premda niti naručitelji, niti izvršitelji takvog posla, ne odobravaju takav način rješavanja ovog problema on ipak nastavlja taj svoj put i završava - u našim plućima, plućima šuma i tla, u ozonskom omotaču, konačno i u samim zemaljskim žilama kucavicama - našim vodama.

Česti izgovor proizvođača ovakvih vrsta otpadaka naglašen je tvrdnjom da ne postoji neki poznati i priznati ekološki način rješavanja tih vrsta otpadaka, osim njegovog izvoza radi spaljivanja, npr. u Francusku, a što je kod nas već organizirano i sprovedivo uz uvažavanje tzv. Baselske konvencije.

Ipak, time nije sve rečeno.

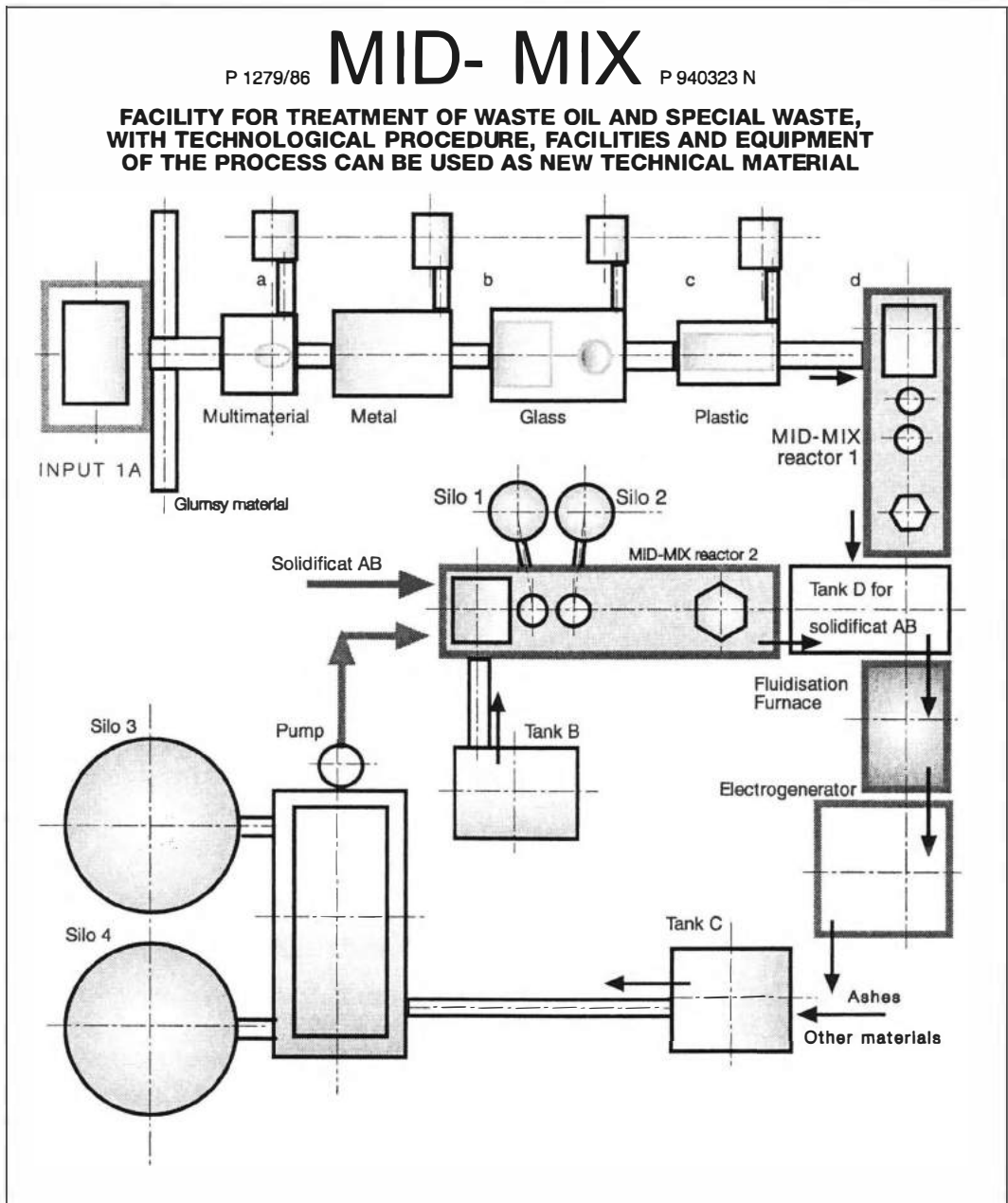
2.2. Fizikalno-kemijska predobrada rafinerijskih vrsta otpadnih materijala

U našoj zemlji postoji proizvođač opreme i postrojenja za provedbu tehnološkog postupka obrade takvih vrsta materijala, njegov preobražaj iz jednog stanja u drugo pomoću fizikalno-kemijske predobrade, pa čak i sa ciljem iskorištavanja produkata nastalih u tom postupku .

Dakle, s jedne strane imamo otpadne mase zauljenih materijala, izmiješane sa mnogim drugim različitim otpadnim vrstama, onečišćenjima iz različitih drugih industrijskih izvora, u metalnim bačvama ispunjenih s raznim otpadnim materijalima, mnogim vrstama odbačenih komunalnih otpadaka, zemljom, glinom, tekućim vrstama otpada i kamenjem.

Takav materijal neprimjeren je za manipulaciju, rerafinaciju i bilo kakvo dalje iskorištavanje. Isti je vrlo teško ili gotovo nemoguće na ekonomičan način izvaditi iz tih jama i odvoziti u toplane, cementare ili na spaljivanje u inozemstvo.

S druge strane, nakon provedenog postupka fizikalno-kemijske predobrade dobiva se suhi hidrofobni prah s kojim se je moguće tehnički odnositi i industrijski ga iskorištavati. Taj postupak u našoj zemlji postoji pod nazivljem "MID-MIX® tehnološki postupak i oprema" za vakuumsko-plinsku inkapsulaciju i solidifikaciju otpadnih ulja i posebnih otpadaka.



Slika 1.

2.3. Ponuda prihvatljivih rješenja

Opis postojećeg stanja nije dovoljan za rješavanje problema zauljenih otpadnih materijala, i potrebno je konkretizirati određena znanja u tom području, izložiti praktična iskustva u obradi takvog materijala i dokazati ispravnost ponuđenih tehnoloških postupaka u smislu imobilizacije, neutralizacije, stabilizacije i sanacije pojavljenih zagađenja.

Ipak, ponajprije, odgovorimo na nekoliko pitanja:

- a) Što je potrebno sve poduzeti da se predloženom tehnologijom započne rješavati neki pojavljeni ekološki problem npr. obrada rafinerijskih vrsta otpadaka, dakako i mnogih drugih njemu sličnih otpadnih vrsta, te uz stručno analiziranje prednosti i nedostataka takvog tehnološkog postupka započne sa njegovom eksploatacijom?
- b) Koliko nas ugrožava današnji pojavni oblik i količina takvog otpada smještenog u jame pored ljudskih nastambi, a koji prodire u zemlju, zagađuje vode, tlo i zrak, te predstavlja stalnu opasnost za prirodu i okoliš? Treba li ga prihvatiti kao činjenicu i uz minimalnu cijenu lako i jednostavno pretvoriti u prihvatljivi suhi hidrofobni prah, kojeg prešanjem svodi na 0,30 - 0,50 početnog volumena, a ujedno mogavši ga bez posebih teškoća transportirati na velike udaljenosti?
- c) Možemo li izbjeći odgovornost od takvog stanja u zemlji, kada nam je već svima jasno, da nam se poradi dosadašnje nebrige prema takvim i sličnim vrstama otpadaka priroda već počela vidljivo osvećivati, a čije posljedice će zacijelo osjećati i buduće generacije?

Odgovore na ovakva pitanja ne bismo smjeli zaobilaziti.

Možda ih je moguće odgoditi, ali ne zbog izgovora da ne postoji tehnologija rješavanja, već zato što prevladava nezainteresiranost i indolentnost, nebriga i neodgovornost.

Kada bi i postojala pretpostavka o mogućnosti financiranja ekoloških projekata ove vrste, nije teško dokučiti što bi se sve događalo nad takvim "crnim jamama", a počelo bi naravno sa ponovno novim/istim "studijama" koje su već viđene, a završilo bi sa jednim od najtežih i najskupljih načina rješavanja - izvozom radi spaljivanja.

Cijena toga je zaista enormna: $\approx 9,00$ DEM/kg; ($\approx 35,00$ Kn/kg), dakle konačno, čak petnaest puta više od nečega što nam je tu, ovdje, na dohvat ruke.

Rok za provedbu ovakvog rješavanja je i do 5 puta duži od domaćeg rješenja.

3. Osnovne značajke postupka predobrade zauljenih vrsta otpadnih materijala

Predloženi tehnološki postupak (Slika 1.) podrazumijeva slijedeće aktivnosti:

- montaža postojećeg domaćeg postrojenja za vađenje otpadnog materijala,
- montaža postojećeg domaćeg postrojenja za solidifikaciju otpadnog materijala,
- prešanje solidifikata i otprema na iskorištavanje,
- zatvaranje lokacije, rekultivacija terena.

Cijena: Prosječno 0,50 DEM/kg ($\approx 1,83$ Kn/kg)

Rok početka izvođenja: Odmah

Zaključak

U našoj zemlji ima preko 1,5 milijuna tona takvih zauljenih vrsta otpadaka.

Neprestalno pristiže oko 100 tona dnevno novih količina iz različitih izvora.

Ponegdje su smješteni u zatvorenim cisternama i tankovima, ponegdje se nalaze na otvorenoj zemlji u jamama (lagunama) i škrapama (vrtačama).

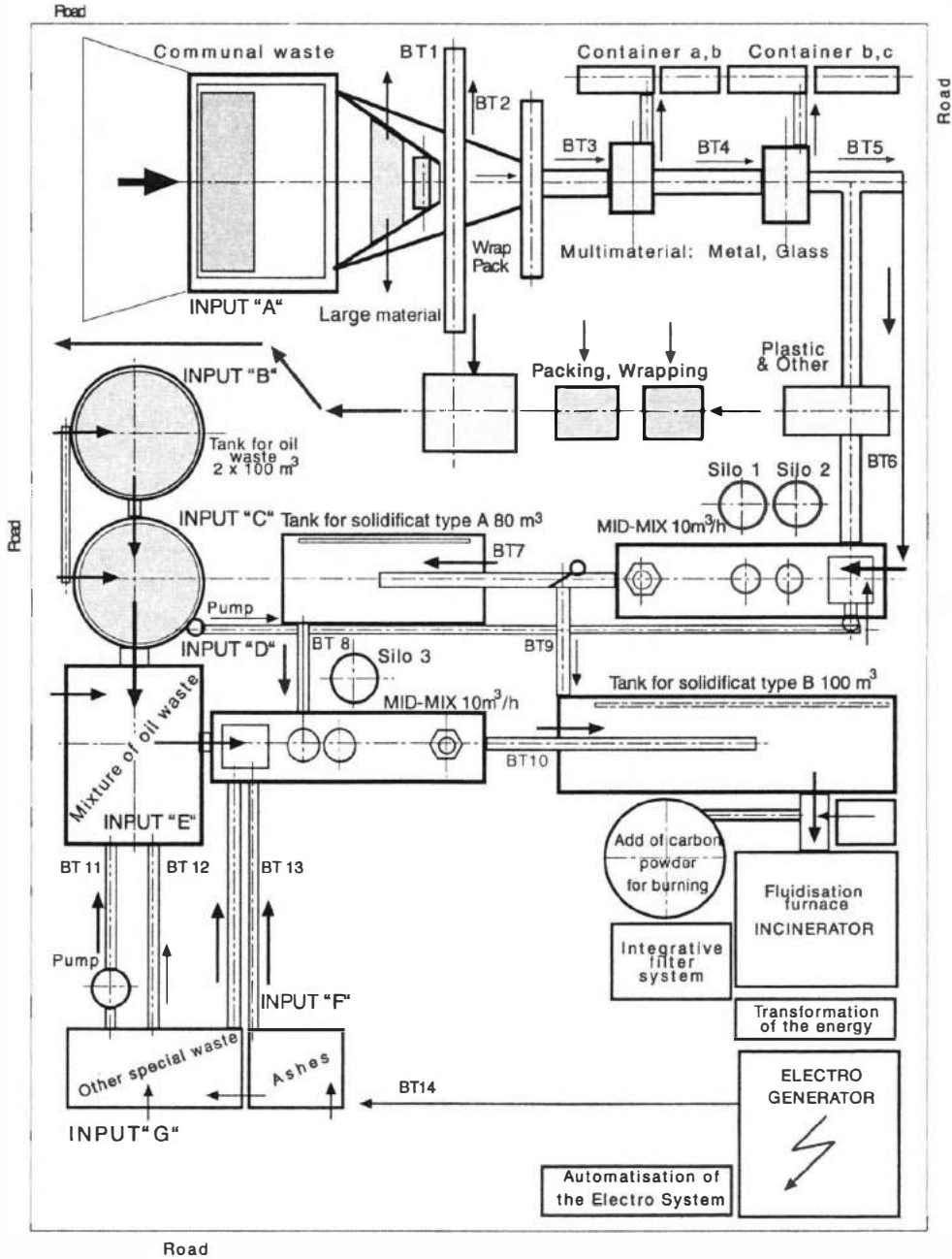
Ono ovdje stoji već godinama, desecima godina.

Poneki sadržaji takvih otpadaka imaju i preko 60% mineralnih kiselina, ozbiljnije sadržaje halogena, fosfornih, CN, nitro- i sulfo-spojeva, PCB-a, PCT-a i teških metala.

Ponegdje se nalaze u tvorničkim krugovima, ponegdje neposredno uz obiteljske nastambe ili pak na poljoprivrednim površinama i u šumama.

FACILITY FOR TREATMENT OF THE WASTE OIL AND OTHER SPECIAL WASTE

Basic-Schema of the MID-MIX & SELECT-COM technological
process with transformation of the energy system



Slika 2.

Kako se ipak radi o ekološkoj sramoti, a koja je rješiva, trebali bismo se konačno odlučiti o kvalitetnoj intervenciji bez odgađanja.

Moramo li to platiti 20 milijardi DEM, pa eventualno cijeli posao završiti za 25 godina, ili ćemo to učiniti sami, i platiti 15 puta manje, a završiti 5 puta brže.

Domaća iskustva su već razvijena (Slika 2.), a mnoge zemlje u svijetu priznaju dostignute rezultate, te se ovakav način rješavanja zauljenih vrsta materijala prihvaća kao danas jedini pravi, ekološki i ekonomski način, koji je jednostavan, brz, čist i siguran za prirodu i okoliš.

Literatura

1. B. Stickenberger: "Odlagališta smeća za 21. stoljeće", Glasnik br. 8 (prijevod), 1993.
2. P. Spillmann: "Stoffgerechte Behandlung undefinierter Restabfallmenge durch Kombination hochchemischer und termischer Behandlungsverfahren" (Bioselect - Verfahren), Mull und Abfall, 7/94.
3. G. Granić i autori: "Strategija energetskeg razvitka Republike Hrvatske" - Nacrt, Ministarstvo gospodarstva, Zagreb, 1998.
4. G. Pampurini, G.M. Quaglia, A. Rota: "La valorizzazione energetica di rifiuti, biomase, fanghi e RDF", Cerere Ingresso Gattamelata, Milano, 1997.
5. Lutz J. Gerschler: "Entwicklungs- und technische Untersuchungen - Wirtschaftliche Möglichkeiten", Verlag Chemie, 1987.
6. M. Španović: "Obrada, poništavanje i iskorištavanje otpadnih ulja i posebnih otpadaka (ugljikovodika)", Zbornik radova "Zaštita voda", 1987.
7. M. Španović: "Oživotvorenje teoretskih postavki i usvajanje nove tehnologije i opreme za obradu otpadnih ulja i posebnih otpadaka", Zbornik radova "Zaštita voda", 1988.
8. I. Dorčić: "Osnove čišćenja uljnih zagađenja", SKTH Kemija u industriji, Zagreb, 1987.
9. M. Gazarek, Č. Jevremović: "Novi postupci i tretiranja otpada iz energetskih postrojenja s ciljem zaštite životne okoline", Wrocław, 1988.
10. M. Španović: "Solidifikacija otpadnih ulja i posebnih otpadaka s dodacima na bazi kalcija", Gospodarstvo i okoliš br. 6, 1994.

Autor:

Milli Španović, dipl. ing.

WERKOS^(®)

*friends
of
nature*^(®)



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.68.

Pazinska jama zagađena mazutom

Mladen Kuhta, Srećko Božičević

SAŽETAK: Incidentno zagađenje vodotoka Pazinčice dogodilo se početkom listopada 1997. godine, kada je kroz puknutu cijev između spremnika energenata i kotlovnice poduzeća “KTI Pazinka” d.d., došlo do nekontroliranog izlivanja veće količine mazuta (srednje loživo ulje standardne kvalitete - LUS). Mazut je zajedno s otpadnim vodama tvornice dospio, prvo u bujicni vodotok Šaltarija, a zatim i u nizvodni dio korita Pazinčice. Na osnovi do sada provedenih trasiranja, poznato je da vode koje poniru u Pazinskoj jami, svoj tok nastavljaju podzemno, kroz okršene karbontne stijene, prema izvorima na desnoj obali Raše, od Potpićanskog polja do Raškog zaljeva. Jedan od lokaliteta na kojima je utvrđena pojava trasera je i izvorište Rakonek koje je od 1961. godine uključeno u vodoopskrbni sustav grada Pule. Obzirom da je izliveni mazut predstavljao veliku opasnost za podzemne vode šireg područja Istre, provedeni su opsežni i vrlo intenzivni radovi na njegovom uklanjanju. U sklopu provedenih mjera, pored konzultantske uloge, Institut za geološka istraživanja angažiran je na speleološkom pregledu unutrašnjosti Pazinske jame. U radu se iznose i dokumentiraju rezultati provedenog uvida, a koji još jednom ukazuju na hitnu potrebu rješavanja problema odvodnje otpadnih voda grada Pazina.

KLJUČNE RIJEČI: krš, Pazinska jama, zagađenje, mazut.

Pazin Cave Contamination with Fuel Oil

SUMMARY: An accident involving the Pazinčica River course happened in early October, 1997. Uncontrolled spillage of significant quantities of fuel oil occurred through a fracture in a pipe connecting the fuel tank and the boiler plant of the KTI Pazinka d.d. The fuel oil, together with waste water from the factory, was released into the Šaltarija torrential water course and further into the downstream stretch of the Pazinčica riverbed. Based on previously carried out routing, it has been known that the water sinking in the Pazin Cave continues to flow under the ground, through karstified carbonate rocks, towards the springs on the right bank of the Raša River, from Potpićansko Polje to the Raša Bay. One of the locations where the tracers emerged was Rakonek well field included in the City of Pula Water Supply System since 1991. Since the fuel oil spillage posed enormous hazard for the groundwater in the wider Istrian region, comprehensive and very intensive activities were undertaken to remove it. The undertaken measures include consulting services of the Institute for Geological Research, which was also involved in pot-holing inspection of the Pazin Cave. The paper presents and documents results of the inspection, which additionally substantiate the urgent need for resolving of issues related to the City of Pazin waste water.

KEYWORDS: karst, Pazin cave, contamination, fuel oil

Uvod

Premda je puknuće cjevovoda ustanovljeno i sanirano 6.10.97. (interni zapisnik), rad tvornice je nastavljen, a o događaju nitko od nadležnih osoba ili ustanova nije obavješten. Vjerojatno se očekivalo da će i ovaj događaj proći nezamijećeno, iako su već prve procjene ukazivale da je isteklo 10-12 tona mazuta. Ovakav nerazuman postupak nije potrebno komentirati. Na svu sreću, Pazinčica je bila vrlo niska, te je mazut relativno sporo otjecao prema otvoru Pazinske jame, krajnjem recipijentu ovih voda. Da je protok Pazinčice bio veći, zagađenje najvjerojatnije ne bi bilo primijećeno, sav mazut završio bi u unutrašnjosti ponora, a posljedice ovakovog razvoja događaje teško je i zamisliti.

Sveobuhvatna akcija sanacije onečišćenja korita Šaltarije, Pazinčice i unutrašnjosti Pazinske jame, trajala je 12 dana (do 22.10.) i odvijala se pri izuzetno povoljnim meteorološkim i hidrološkim uvjetima. Kako se pokazalo, količine izlivenog mazuta daleko su premašile prethodno procjenjene količine (10-12 m³). Iz vodotoka i s površine terena ukupno je prikupljen 421 m³ zauljene vode i mazuta, a od toga oko 40 % ili 168 m³ bio je zagađivač, odnosno mazut (Ožanić i dr., 1997).

Institut za geološka istraživanja o akcidentu je izvješten u poslijepodnevnim satima 11.10. (subota). Doslovno preko noći, oformljena je i opremljena speleološka ekipa, koja je već narednog jutra (12.10.) pristigla u Pazin i obavila prvi speleološki pregled unutrašnjosti Pazinske jame. Obilazak ponora izveden je uz sve nužne mjere sigurnosti obzirom na mogućnost prisutnosti štetnih plinova, dublje u unutrašnjosti objekta. Osnovni zadaci bili su utvrditi razmjer zagađenosti podzemlja, ispitati mogućnost boravka ljudi u objektu i procijeniti najpovoljniji način uklanjanja zagađenja. Drugi pregled Pazinske jame obavljen je tjedan dana kasnije 18.10.1997. Tom prilikom je ponovno pregledana unutrašnjost ponora s ciljem kontrole stanja i količine zagađenja, te donošenja konačne odluke o opravdanosti izvođenja složene akcije uklanjanja prisutnog mazuta. Speleološko ekipu sačinjavali su instruktori speleologije Dr. Srećko Božičević dipl.ing.geol., Mladen Kuhta dipl.ing.geol. i Branko Jalžić.

Pored prikupljanja informacija nužnih za planiranje i izvođenje radova na sanaciji zagađenja, provedeni speleološki obilasci dali su nove informacije o recentnoj situaciji u unutrašnjosti ponora. Već sama činjenica da od 1975. god. nije bilo cjelovitih obilazaka unutrašnjosti ponora, a da su posljednji pokušaji ulaska završili s dišnim poteškoćama sudionika akcije, dovoljno govori o zagađenosti ponirućeg efluenta, i kvaliteti zraka u dnu kanjona.

Morfologija ponora

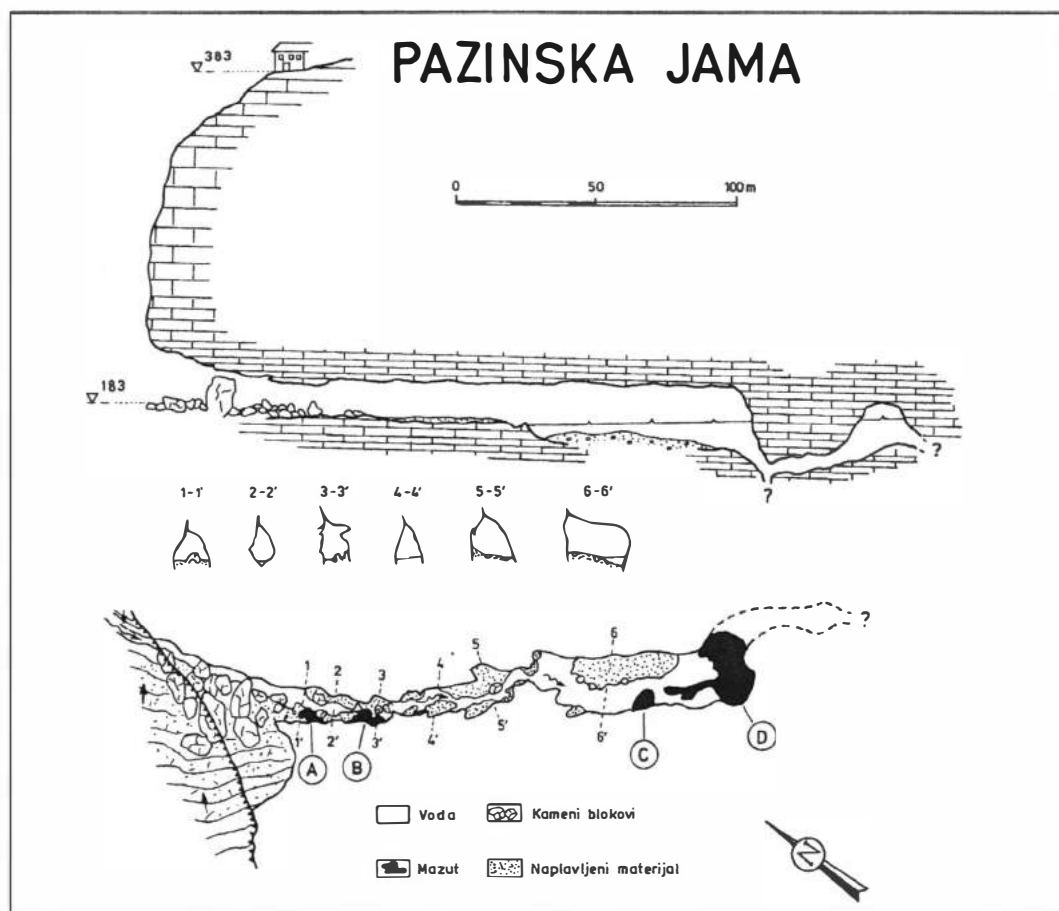
Pazinska jama i njen neposredni okoliš, zbog svoje znanstvene, ekološke, estetske i kulturne vrijednosti, upisana je u registar geomorfoloških spomenika prirode Republike Hrvatske (17.3.1964. red. br. 147), a prema pozitivnim propisima, na takovom lokalitetu ili u njegovoj blizini nisu dopuštene djelatnosti kojima se mogu ugroziti njegova prirodna obilježja. Nasuprot navedenom, nažalost stoji realna situacija da bujični tok Pazinčice i Pazinska jama, predstavljaju otvoreni kolektor otpadnih voda industrije i domaćinstava užeg i šireg područja grada Pazina.

Literatura o ponoru Pazinčice, odnosno Pazinskoj jami, vrlo je brojna i sadržajno u rasponu od beletristike (Jules Verneov roman "Mathias Sandorf"), preko popularne i speleološke do znanstvene. Prva speleološka istraživanja izvršio je nestor francuske speleologije E. A. Martel (1894, 1897), koji je s W. Putickom iz Ljubljane izradio i prvi

topografski nacrt objekta. Podatke o Pazinskoj jami nalazimo i u prikazu M. Baratte (1920), zatim u knjizi "Duemila Grotte" (Bertarelli i Boegan, 1926), kao i u publiciranom talijanskom speleološkom katastru. Novija detaljna geološka, hidrogeološka i speleološka istraživanja, uključujući i topografsko snimanje unutrašnjosti ponora (Sl.1) izveo je M. Malez tijekom ljeta 1967. god. (Malez, 1968).

Dužina objekta od ulaza (ispod vertikalne stijene) do završetka sifonskog jezera je 215 m, a dubina 12 m. Obzirom na kotu dna ulaza od približno 183 m n.m. razina vode u sifonskom jezeru u sušnom razdoblju nalazi se na koti od 171 m n.m. Prostrani špiljski kanal, formiran duž jasno izraženih tektonskih pukotina, pruža se generalno u smjeru jugoistoka. Na najužem dijelu širina mu je 6 m, a prosječno iznosi oko 10 m. Premda je dijelom pokriven vodom, bez uporabe dodatne opreme, pri niskim vodama može se savladati do cca 130 m udaljenosti od ulaza. Na tom mjestu kanal se proširuje u podzemnu dvoranu dužine 80 i prosječne širine 20 m, najvećim dijelom ispunjenu vodom. Dubina vode u jezeru je od 2 m u središnjem do 13 m u udubljenju na istočnom dijelu dvorane, gdje se nalazi sifonski nastavak objekta.

Prema podacima pazinskih speleologa koji su u ponoru ronili 1975. god. ponor se nastavlja potopljenim špiljskim kanalom istraženim u dužini od cca 70 m (sl.1).



Slika 1. Tlocrt, uzdužni i poprečni profili Pazinske jame (Prema: M. Malezu 1968 i ronionicima Pazina 1975, djelomično dopunjeno).

Hidrogeologija

Pazinčica je najveća ponornica Istre. Priljevno područje površine 79 km² (Lipovac, 1993) izgrađeno je od fliša, dakle pretežito nepropusnih, paleogenskih klastičnih naslaga. Pazinska jama i njeni do sada istraženi podzemni kanali, formirana je u dobro propusnim krednim vapnencima, svega nekoliko stotina metara nizvodno od njihovog rasjednog kontakta s fliškim naslagama.

Pazinčica je vodotok bujičnog karaktera. Prema podacima opažanja na profilu Dubravica, lociranom neposredno uzvodno od zone poniranja, za razdoblje 1973./74. - 1992./93. pojave malih voda, odnosno protoci manji od 0.3 m³/s, zabilježeni su u 54 % dana, a registrirana su i 133 dana presušivanja korita. Za isto razdoblje, srednja vrijednost protoka iznosila je 0.815 m³/s.

U razdobljima visokih voda, zbog manjeg kapaciteta poniranja od dotoka, česte su pojave plavljenja kanjanskog dijela toka. Pri ekstremnim dotocima, razina vode se povisi i za nekoliko desetaka metara. U tom smislu najizrazitije su bile pojave velikih voda iz listopada 1964. godine, a posebno, iz listopada 1993. godine, kada se razina vode podigla do kote 235,89 m n.m., odnosno oko 53 m iznad dna ulaza u Pazinsku jamu. Prema preliminarnim hidrološkim analizama smatra se da je tom prilikom dotok Pazinčice premašio 100-godišnji maksimum od 166 m³/s (Ožanić i dr., 1997).

Obzirom da je Pazinska jama smještena u centralnom dijelu poluotoka, podjednako udaljena od glavnih zona istjecanja podzemnih voda, odnosno dolina Mirne, Raše i Linskog kanala, oduvijek se nametalo pitanje smjera podzemnog toka voda Pazinčice. U stručnoj literaturi, susreću se različita razmišljanja, koncepcije i zapažanja, ali ono što se može smatrati znanstveno utemeljenim su rezultati do sada provedenih trasiranja Pazinske jame, a kojima je dokazana njena podzemna povezanost s izvorima na zapadnoj obali Raše (tablica 1.).

Tablica 1. Pregled rezultata dosadašnjih trasiranja Pazinske jame

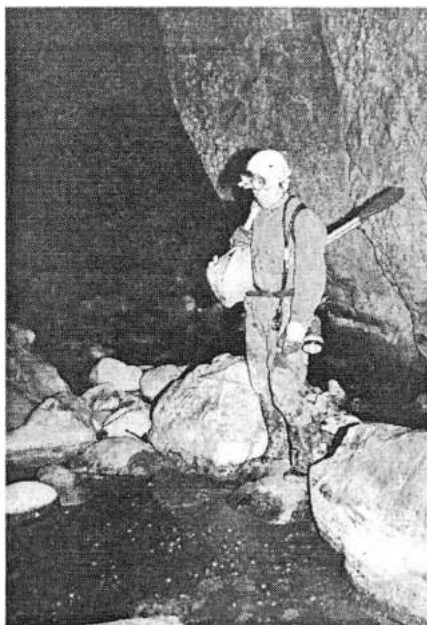
IZVOĐAČ, DATUM, TRASER, KOLIČINA, HIDROLOŠKI UVJETI	MJESTA POJAVE TRASERA	UDALJENOST OD JAME (km)	PRIVIDNA BRZINA PODZEMNOG TOKA (cm/s)	PRONOS TRASERA (%)
GRĐEVINSKI INSTITUT 16.11.1967.	Sv. Antun	13,44	1,54	80
	Rakonek	18,41	0,78	5,6
16.11.1967.	Grdak	17,68	0,78	?
Uranin, 140 kg, Niske vode	Pored navedenih opažani su izvori: Sušnica, Sušak, Blaž, jama Pićan, Limski kanal, te zdenci Valtura, Jedreški i Šišan kod Pule.			
INSTITUT "RUĐER BOŠKOVIĆ"	Sv. Antun	13,44	1,27	20
	Rakonek	18,41	1,18	7
"RUĐER BOŠKOVIĆ" 11.03.1978.	Grdak	17,68	1,1	12
11.03.1978.	Sušnica	12,97	1,23	50
Tricij, 1679 Cr, Visoke vode	Pored navedenih opažani su izvori: Balobani, Bubić jama, Česuni, Blaž, Klen, Fonte Gajo, jama Pićan, Gradole, Limski kanal, te zdenci Valdragon, Valtura, Jedreški, Šišan i Tivoli kod Pule.			
INSTITUT "RUĐER BOŠKOVIĆ"	Sv. Antun	13,44	0,18	4,2
	Rakonek	18,41	0,25	12,7
"RUĐER BOŠKOVIĆ" 8.7.1981.	Grdak	17,68	0,24	16,3
8.7.1981.	Sušnica	12,97	0,18	9,6
Tricij, 37 000 GBq, Niske vode	Sušak	13,83	0,19	4,6
Niske vode	Blaž	27,90	0,43	40
	Pored navedenih opažani su izvori: Balobani, Česuni, Mutnica, Fonte Gajo, Ješkovića-jama Pićan, te zdenci Šišan i Tivoli kod Pule.			

Dobiveni rezultati, odnosno navedeni smjer toka podzemnih voda, generalno se dobro uklapaju u geološku i strukturnu građu šireg područja Istre, te se nameću kao logično rješenje. Međutim, rezultati novijih istraživanja na području dinarskog krša, ukazuju na potrebu uvođenja modernijih znanstvenih metoda u istraživanju i tumačenju hidrogeoloških odnosa. Sve veći značaj pridaje se regionalnom pristupu (odnosi između slivova), pojavama vezanim uz dublje tokove (bazni tok, održivost izvora), te hidrogeokemiji podzemnih voda (vrijeme zadržavanja, mikrokonstituenti, prirodni izotopi itd.). Obzirom na ograničenja vezana uz dosadašnje istraživačke metode, a posebno trasiranje kao temeljni eksperiment u krškim terenima, možda će buduća primjena novih metoda potvrditi povezanost Pazinske jame s dolinom Mirne (Gradole npr.) ili Limskim kanalom, kako je to Jules Verne već davno predvidio.

Rezultati speleoloških pregleda

Premda je stanje u unutrašnjosti ponora, zatečeno pri našem prvom speleološkom pregledu više nego alarmantno, to se nije odnosilo samo na prisutnost mazuta. Naprotiv, vidljive količine mazuta bile su daleko manje od očekivanih obzirom na situaciju u koritu Pazinčice. Mali protok (50 l/s na profilu Dubravica), prirodne prepreke i kaskade u koritu, a posebno, na samom početku akcije izgrađene privremene brane od priručnog materijala, evidentno su spriječile unos većih količina mazuta u podzemlje Pazinske jame.

U prvom dijelu ponora, do sifonskog jezera, primjećene su samo dvije manje nakupine mazuta (fot.1.) debljine 2-3 mm (pozicije A i B na sl.1.). Budući da je njihova ukupna površina iznosila oko 25 m², procijenjeno je da sadrže približno 50-60 litara mazuta. Najveće količine mazuta nalazile su se u sifonskom jezeru. Površina jezera pri zatečenoj



Fot. 1. Nakupina mazuta na poziciji A, oko 35 m od ulaza, površine 5 m² i zapremnine 15 l

Foto: S. Božičević

razini vode iznosi oko 1000 m³. Prva nakupina mazuta površine 30-tak m² i procjenjene zapremnine 60 l, primjećena je uz jugoistočnu stijenu, približno na sredini jezera (pozicija C na sl.1.). Neposredno nizvodno od ovog mjesta, sredinom jezera pružala se traka mazuta prosječne širine 2 m na koju se nadovezivala nakupina granja, plivajućeg otpada, fekalija i mazuta, ispunjavajući završni dio jezera (pozicija D na sl.1., fot. 2.). Ova je nakupina prekrivala cca 350 m² ali je količinu prisutnog mazuta bilo gotovo nemoguće odrediti, obzirom da je on u velikoj mjeri bio pomješšan s ostalim plivajućim onečišćenjem. Prema našoj tadašnjoj gruboj procjeni, u ukupnoj masi plivajućeg otpada i taloga količina mazuta nije prelazile 1 m³.

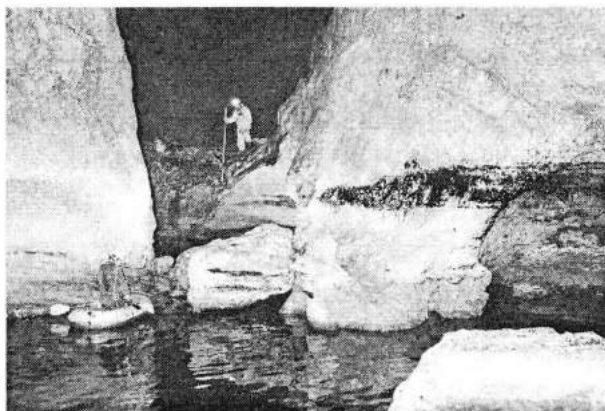


Fot. 2. Završni dio sifonskog jezera. Na površini vode pliva nakupina granja, trupaca, otpada, fekalnog taloga i mazuta. Foto: M. Kuhta

Kod našeg drugog pregleda, nakupine mazuta u prvom dijelu podzemnog kanala ponora još su uvijek bile vidljive, ali se sloj mazuta smanjio na svega 1 mm. U završnom sifonskom jezeru količina mazuta također se primjetno smanjila i sada je glavninu plivajuće mase sačinjavalo granje, otpad, fekalni talog i produkti biološko kemijskih procesa u otpadnoj vodi.

Obzirom na vrlo male količine konstatiranog mazuta, te tehnički vrlo složene uvjete njegovog čišćenja, odlučeno je da se ručno ukloni samo mazut iz dvije nakupine u prvom dijelu ponora. Čišćenje sifonskog jezera nije predviđeno, prvenstveno zbog činjenice da je glavnina plivajućeg taloga fekalnog porjekla, a što je nažalost "normalno" stanje, te bi nekoliko dana kasnije situacija ionako bila gotovo ista.

Premda do sada nije bilo nikakvih informacija o sličnim akcidentima, tragovi u podzemlju svjedoče suprotno. Na stijenama završne dvorane ponora jasno su vidljivi tragovi mazuta do cca 2.5 m iznad zatečene razine vode (fot. 3.). Kako je neposredno prije i za vrijeme recentnog akcidenta protok Pazinčice bio izrazito nizak, i razine vode bile su primjereno niske, te se prisutni tragovi mazuta nikako ne mogu povezati s posljednjim događajem. Nadalje, tragovi mazuta različite su starosti i nedvojbeno ukazuju da su nastali u vremenski odvojenim događajima (fot. 4.), odnosno da su se slični akcidenti događali već nekoliko puta. Vjerujemo da zbog većeg protoka i brzine protjecanja jednostavno nisu primjećeni u kratkom, vidljivom dijelu kanjanskog toka Pazinčice. Vjerojatno se i ovog puta očekivao sličan razvoj događaja, ali su količine mazuta ipak bile prevelike, a vodostaj Pazinčice prenizak.



Fot. 3. Tragovi mazuta na stijeni površ sifonskog jezera, približno 2.5 m iznad razine vode.

Foto: M. Kuhta



Fot. 4. Tragovi mazuta na SI stijeni sifonskog jezera. Vidljive su najmanje dvije generacije tragova od kojih niti jedna nije posljedica recentnog akcidenta.

Foto: M. Kuhta

Zaključak

Provedenim speleološkim pregledima Pazinske jame, nakon dugo vremena dokumentirana je situacija u njenoj unutrašnjosti. U najgorem mogućem svjetlu pokazalo se ono što se moglo i naslutiti. Vodotok Pazinčice pretvoren je u otvoreni kolektor otpadnih voda, a njen ponor u "crnu jamu", koja se izravno drenira u krški vodonosnik. Postojeći industrijski pogoni u svojim tehnološkim procesima tijekom godine koriste na desetke tona raznih lužina, kiselina, soli, organskih otapala i sl., te otpuštaju tisuće

prostornih metara otpadnih voda. Navedenom treba dodati fekalnu i oborinsku kanalizaciju grada Pazina. Kada se zna da takovo stanje traje već desecima godina, zaista se nameće pitanje održivosti kvalitete podzemnih voda na širem području Istre, a posebno na izvorima uz zapadnu obalu Raše. Nakon obilaska Pazinske jame, teško je prihvatiti činjenicu da voda na izvoru Rakonek zadovoljava kriterije o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, a još je neizvjesnije, do kada će se zadržati i sada registrirana kvaliteta?

Da bi se odgovorilo na ova pitanja, potrebno je provesti sustavna i sveobuhvatna geološka, hidrogeološka, hidrogeokemijska i hidrološka istraživanja na području središnje i južne Istre, utemeljena na novijim saznanjima o kretanju podzemnih voda u krškim terenima, kontinuiranom praćenju i uzorkovanju, te uz primjenu suvremene metodologije istraživanja i precizne analitike.

Međutim, u ovom trenutku prioritetan zadatak je intenzivirati radove na izgradnji centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Pazina i osigurati predtretman tehnoloških otpadnih voda industrijskih pogona. Opisana ekološka situacija u podzemlju Pazinske jame, samo je još jedan u nizu alarmantnih pokazatelja nužnosti realizacije ovog projekta.

Literatura

- BARATTA, M. (1920): Le Grotte di S. Canzano e di Postumia, Planina, Nanporto, La Foiba di Pisino. Boll. R. Soc. Geograf. Ital. Roma.
- BERTARELLI, L.V. & BOEGAN, E. (1926): Duemla Grotte. Milano.
- BOŽIČEVIĆ, S. (1985): Morfogenezna speleoloških pojava Istre i njihova zavisnost o geološkim i hidrogeološkim uvjetima. Disertacija, Zajednički studij iz područja geologije PMF i RGN fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- KUHATA, M. (1997): Izvješće o interventnih speleoloških pregledima Pazinske jame u sklopu sanacije zagađenja Mazutom. Fond str. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- LIPOVAC, R. (1993): Dopuna elaborata sa zonama sanitarne zaštite izvorišta Rakonek, Sv. Antun i Balobani. Fond str. dok. INA-Geološki konzalting, Zagreb.
- MALEZ, M. (1968): Ponor Pazinčice i njegova uloga u podzemnom hidrološkom sistemu srednje i južne Istre. Geografski glasnik, br. 30, str. 61-77, Zagreb.
- MARTEL, E.A. (1894): Les abimes. Explorations souterraines 1888-1893. Paris.
- MARTEL, E.A. (1897): La Foiba de Pisino. La Nature, 25. Paris.
- OŽANIĆ, N., RUBINIĆ, J., KAMBER, S. & DIKOVIĆ, S. (1997): Ekološki akcident - tone mazuta u koritu Pazinčice. Hrvatska vodoprivreda, br. 62-63, str. 85-92, Zagreb.

Autori:

Mladen Kuhta dipl.ing.geol., Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb
dr.sc. Srećko Božičević dipl.ing.geol., Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.69.

Smanjenje opterećenja otpadnih voda proizvodnje tekstilnih i grafičkih boja

N. Koprivanac, S. Papić, A. Meteš, A. Lončarić Božić

SAŽETAK: Otpadna voda proizvodnje tekstilnih i grafičkih boja, zbog svoje obojenosti i visokog organskog opterećenja predstavlja značajan ekološki problem. Danas ne postoji jedna, opća, ekonomski prihvatljiva metoda obrade obojenih otpadnih voda. Svaki pojedini tip otpadne vode predstavlja problem za sebe. Otpadne vode proizvodnje i primjene reaktivnih bojila karakterizira slaba biorazgradljivost. Zbog toga je takvu vodu, prije ispuštanja u vodotok odn. biološki uređaj za obradu otpadnih voda, potrebno prethodno obraditi. Ispitivana je mogućnost primjene procesa koagulacije za obradu otpadnih voda koje sadrže reaktivna bojila. Upotreba anorganskih koagulanata Al(III) i Fe(III) klorida pokazala je vrlo dobre rezultate u obradi ovakvog tipa otpadne vode. Isti je proces uspješno primjenjen na otpadne vode grafičke industrije. U oba istraživana sustava obojenje je potpuno uklonjeno, a poboljšanje kvalitete obrađene vode procijenjeno je na osnovi ekoloških parametara KPK, BPK₅, TOC, AOX i IC₅₀.

KLJUČNE RIJEČI: otpadne vode, reaktivna bojila, grafičke boje, koagulacija

Reduction of Waste Water Load in Textile and Printing Dyes Production

SUMMARY: Due to its coloration and high organic load, waste water from production of textile and printing dyes presents considerable environmental problem. Currently, there is no general and cost-effective technique for treatment of colored waste water. Each individual type of waste water is a unique problem. Waste water from production and application of reactive dyes is characteristic for poor biodegradability. Before being released into a water course or artificial watland, such water needs to be pretreated. Possible application of coagulation for treatment of waste water containing reactive dyes was researched. Application of anorganic coagulants (Al(III) and Fe(III) chlorides) has given very good results in treatment of this type of waste water. The same process was successfully applied to waste water from printing industry. Coloration was completely removed from both researched systems, and the quality of treated water was evaluated on the basis of environmental parameters COD, BOD₅, TOC, AOX and IC₅₀.

KEYWORDS: waste water, reactive dye, printing dyes, coagulation

Uvod

Sve do nedavno, voda se smatrala jeftinim bezograničavajućim izvorom. Vodeni tokovi i mora dugo su bili korišteni kao odlagališta otpada. Ipak, danas je povećana briga zbog opasnosti za okoliš, uzrokovana bilo prekomjernom potrošnjom vode bilo njenim zagađenjem. Kao posljedica toga je nagli porast cijene svježje i tehnološke vode, što uveliko pogađa sve grane industrije. Istovremeno, nametanje strogih regulativa povećava

troškove obrade otpadnih voda. Stoga postoje poticaji za smanjenje potrošnje svježeh vode ("PINCH" analize) kao i za smanjenje proizvodnje otpadne vode^{1,2}.

Otpadne vode proizvodnje i primjene tekstilnih i grafičkih boja, zbog svoje obojenosti i visokog organskog opterećenja predstavljaju značajan ekološki problem. Prisutne organske tvari, supstituirani aromatski i heterociklički spojevi kao što su poliklorirani bifenili (PCB) i organski vezani halogenidi (AOX), karakterizira slaba biorazgradljivost, toksičnost i kancerogenost. Dodatni problem ovakovog tipa otpadnih voda predstavljaju metalni ioni koji potječu iz metalkompleksnih bojila i pigmentata koji se primjenjuju u tekstilnoj i grafičkoj industriji. Takve, biološki nerazgradive otpadne vode potrebno je prije ispuštanja u kanalizacijski sustav ili vodotokove prethodno obraditi. Provedeno je istraživanje u cilju iznalaženja djelotvorne, jednostavne i što jeftinije metode obrade. Ispitana je primjena procesa koagulacije/flokulacije za obradu otpadnih voda koje sadrže reaktivna bojila za tekstilnu industriju kao i grafičke boje. Na izbor ove metode utjecala je činjenica da se obezbojavanje i uklanjanje tvari iz otpadnih voda odvija na način da ne dolazi do kemijskih procesa koji bi uzrokovali stvaranje novih kemijskih tvari odn. zagađivača i time doveli do dodatnog opterećenja obrađenih, obezbojenih voda, što je čest slučaj s kemijskom obradom procesima oksidacije/redukcije i sl. Iako je proces koagulacije poznata metoda, intenzivno studirana 60-tih godina, treba naglasiti da postoji vrlo malo iskustava na području koagulacije tekstilnih bojila i grafičkih boja^{3,4,5}.

Laboratorijska ispitivanja provedena su na modelnim otpadnim vodama reaktivnih bojila, C.I.Reactive Red 45 (RR45) i C.I.Reactive Green 8 (RG8) i grafičkih boja. Rad uključuje određivanje optimalnih parametara procesa, pH i koncentracija koagulantata. Kriterij ocjene uspješnosti procesa bio je koncentracija preostalog bojila u obrađenoj vodi. Kvaliteta obrađene vode procijenjena je na osnovi određenih parametara KPK, BPK₅, IC₅₀, TOC i AOX.

Eksperimentalni dio

Priredene su modelne otpadne vode reaktivnih bojila RR 45 i RG 8 koncentracije 3g/l po uzoru na otpadne vode primjene ovih bojila. Modelna smjesa grafičkih boja (WGB) priredena je kao smjesa 6 pojedinačnih otpadnih voda koncentracije 5 g/l, u jednakim omjerima. Kao sredstva za koagulaciju korišteni su FeCl₃ 6H₂O i AlCl₃ 6H₂O. Optimalni kemijski parametri procesa koagulacije određeni su primjenom metode jar-testa. Mjerenjem apsorbancije (A) u uzorcima RR45 i RG8 i zamućenja (NTU) u WGB određena je koncentracija preostalog bojila. Ekološki parametri KPK (kemijska potrošnja kisika), BPK₅ (biološka potrošnja kisika), TOC (ukupan organski ugljik), IC₅₀ (50% koncentracije inhibicije) i AOX (adsorbirani organski halogenidi) određeni su u uzorcima vode prije i poslije obrade prema standardnim metodama.

Određivanje KPK vrijednosti zasniva se na reakciji oksidacije tvari prisutne u uzorku. Reakcija se odvija u zatvorenoj ampuli, a količina kisika mjeri se kolorimetrijski⁶. BPK₅ vrijednosti određene su upotrebom OxiTOP sustava (WTW). Metoda se zasniva na mjerenju početne i preostale količine otopljenog kisika u uzorku nakon 5 dana pod određenim uvjetima⁷.

TOC vrijednosti određene su instrumentom TOC-5000 A (Shimatzu) prema standardu⁸. Metoda uključuje oksidaciju otopljene organske tvari u ugljik(IV) oksid i nedisperznu infracrvenu analizu (NDIR). AOX vrijednosti određene su instrumentom DX-2000 Halide Analyzer (Dohrman) prema standardu⁹. Metoda uključuje adsorpciju organskih

halogenida iz uzorka na aktivni ugljen, njegovo spaljivanje i mikrokulometrijsku detekciju. Aerobna toksičnost izražena kao IC_{50} određena je testom inhibicije bakterijskog rasta¹⁰. Metoda se zasniva na mjerenju zamućenja suspenzije mikroorganizama aerobnog aktivnog mulja u ispitivanom uzorku.

Rezultati i rasprava

Određeni su optimalni kemijski parametri koagulacijskog procesa primjenjenog u obradi obojenih voda koje sadrže reaktivna bojila. Ova tekstilna bojila visoke topljivosti vidljiva su u otpadnim vodama i u vrlo niskim koncentracijama. Njihova prihvatljiva koncentracija u vodi nakon obrade iznosi oko 10^{-3} g/l što odgovara ostatku bojila manjem od 1% u uzorcima obrađene vode, početne koncentracije bojila 3 g/l, ispitivanim u ovom radu. Ispitivanja koagulacije željeznim i aluminijevim solima u cilju maksimalno mogućeg uklanjanja reaktivnih bojila iz vode provedena su kod različitih koncentracija koagulanata i u području pH 2.5 - 5.5 na dvije različite modelne otopine reaktivnih bojila RR 45 i RG 8.

Tablica 1. Uspješnost obrade obojenih voda početne koncentracije reaktivnih bojila 3 g/l izražena kao postotak preostalog bojila u ovisnosti o pH i koncentraciji koagulanata

koncentracija koagulanata, 10^{-2} mol/l	Al(III)	Fe(III)	Al(III)	Fe(III)	Al(III)	Fe(III)	Al(III)	Fe(III)
	1		2		4		8	
pH	ostatak bojila, %							
RR 45								
2.5	73.2	6.9	48.7	7.5	50.3	8.8	46.9	4.1
3.0	55.7	39.1	28.3	1.2	34.7	0.3	24.8	3.2
3.5	51.6	45.2	26.8	26.4	8.9	4.2	2.2	1.8
4.0	16.0	58.7	2.5	78.1	0.4	8.8	9.4	15.0
4.5	42.7	72.2	0.2	92.3	0.6	13.1	6.7	26.4
5.0	33.0	85.7	8.9	98.8	1.0	18.5	23.6	48.6
5.5	52.3	98.5	24.7	97.9	1.5	25.9	38.5	60.1
RG 8								
2.5	86.2	100.0	52.3	0.5	69.8	7.0	91.2	20.0
3.0	75.4	62.5	37.4	0.8	54.7	1.6	68.7	65.3
3.5	64.0	15.0	20.0	0.3	40.0	0.4	48.8	87.6
4.0	34.2	85.1	0.4	0.5	0.2	1.9	0.3	95.2
4.5	16.4	74.3	0.1	10.2	12.0	14.7	26.2	100.0
5.0	37.0	64.6	1.1	32.4	1.1	80.2	1.4	100.0
5.5	52.3	96.8	35.2	75.7	10.1	86.6	45.4	100.0

Rezultati istraživanja prikazani su u tablici 1. Vidljivo je da su soli Fe(III) i Al(III) uspješno primjenjene kao koagulanti u sustavu reaktivnih bojila o čemu do sada u literaturi ima malo podataka. Postignuto je zadovoljavajuće uklanjanje bojila s ostatkom bojila nakon obrade od 0.1 - 0.3 %. Optimalni uvjeti za koagulaciju s Al(III) jednaki su za obje ispitane modelne vode, što je prednost u odnosu na Fe(III). Za uklanjanje oba bojila, spomenute početne koncentracije, kod pH 4.5 potrebna je koncentracija Al(III) od $2 \cdot 10^{-2}$ mol/l. Postignut rezultat iznosi 0.2 - 0.3 % preostalog bojila. Međutim, optimalni uvjeti koagulacije s Fe(III) razlikuju se za ispitivane modelne otopine. Za postizanje jednake djelotvornosti (0.1 - 0.5 % preostalog bojila) potrebna je dvostruko veća koncentracija Fe(III) za uklanjanje bojila RR 45 ($4 \cdot 10^{-2}$ mol/l), nego za RG 8 ($2 \cdot 10^{-2}$ mol/l), kod pH 3. Optimalni pH za oba koagulanata ne varira puno u ovisnosti o kemijskim karakteristikama pojedinog bojila.

Tablica 2. Uspješnost obrade otpadne vode WGB, početne koncentracije 5 g/l i pH 7.6 izražene kao postotak preostale boje u ovisnosti o koncentraciji koagulanata

koncentracija koagulanata, g/l	Al(III)		Fe(III)	
	NTU	ost.boje, %	NTU	ost. boje, %
0.25	7.20	0.400	>10	/
0.30	6.00	0.120	>10	/
0.35	1.20	0.010	>10	/
0.40	0.30	0	>10	/
0.45	0.30	0	7.30	0.020
0.50	0.70	0.001	1.20	0.001
0.55	1.20	/	0.25	0
0.60	/	/	0.25	0
0.65	/	/	0.35	0
0.70	/	/	1.50	/

Tablica 3. Optimalne vrijednosti koncentracije koagulanata za različite početne vrijednosti pH otpadne vode WGB, te vrijednosti pH obrađene vode

pH neobrađene vode	Al(III)		Fe(III)	
	koncentracija koagulanata, g/l	pH obrađene vode	koncentracija Fe(III),	pH obrađene vode
7.6	0.40-0.45	6.4-6.7	0.55-0.65	6.6-6.9
6.0	0.10-0.30	4.7-5.8	0.20-0.30	4.9-5.9
5.1	0.20	3.3-3.8	0.05	3.3

Slična ispitivanja provedena su na modelnoj smjesi grafičkih boja WGB. Ispitivana je uspješnost procesa koagulacije s različitim koncentracijama spomenutih koagulanata pri različitim početnim pH vrijednostima. Iz rezultata prikazanih u tablicama 2 i 3 određena su optimalna područja koncentracija koagulanata za ispitani sustav. Vidljivo

je da je optimalnom količinom dodanog koagulanta postignuto potpuno uklanjanje obojenja i zamućenja izraženo kao NTU vrijednosti. Tako obrađene vode imaju niže NTU vrijednosti od vodovodne vode (0.35 - 0.40 NTU). Potrebne količine koagulanata za postizanje maksimalne djelotvornosti manje su kod nižih početnih pH vrijednosti ispitivanih uzoraka, ali obrađene otpadne vode s niskim izlaznim pH vrijednostima zahtijevaju naknadnu neutralizaciju. Zanimljivo je uočiti da kiseli koagulanti primjenjeni u obradi otpadnih voda tekstilne industrije djeluju u području $\text{pH} < 5.5$, dok zbog specifičnih svojstava suspenzija otpadnih voda grafičke industrije djeluju i u višem pH području bliskom neutralnom.

Koncentracija bojila i pH, te ekološki parametri KPK, BPK_5 , TOC, AOX i IC_{50} određeni su u otpadnim vodama prije i nakon procesa obrade. Rezultati su prikazani u tablici 4. Vidljivo je da je koncentracija oba reaktivna bojila u vodi nakon obrade smanjena na prihvatljive vrijednosti, dok je u slučaju WGB postignuto potpuno uklanjanje boje.

Tablica 4. Karakteristike obojene vode prije i poslije obrade s Al(III) i Fe(III) kod optimalnih uvjeta

karakteristike vode	RR 45			RG 8			WGB		
	neobrađena voda	obrađena voda		neobrađena voda	obrađena voda		neobrađena voda	obrađena voda	
		Al(III)	Fe(III)		Al(III)	Fe(III)		Al(III)	Fe(III)
koncentracija bojila, g/l	3.0	$6 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	3.0	$3 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	5.0	0	0
pH	7.5	4.5	3.0	7.5	4.5	3.5	7.6	6.5	6.6
KPK, mg/l	2680	114	764	1410	122	45	2320	110	160
BPK_5 ; mg/l	15	5	8	4	4	0	0	0	0
TOC, mg/l	2265.00	35.04	56.95	1148.00	6.58	19.43	893.90	118.19	139.26
AOX, $\mu\text{g/l}$	16590.13	30.08	38.02	12785.25	21.01	26.50	6036.50	474.1	510.29
IC_{50} , vol %	15.2	72.3	>75	51.0	>75	>75	/	/	/

Također je uočeno značajno smanjenje KPK, TOC i AOX vrijednosti u svim ispitivanim uzorcima što znači da je odabranim procesom obrade usješno uklonjen veći dio opterećenja vode. Vrlo niske vrijednosti BPK_5 ukazuju na slabu biološku razgradljivost koja se obradom nije bitno promijenila. Procesom koagulacije otpadnih voda RR 45 i RG 8 postignuto je povećanje IC_{50} na više od 70 % što spada u područje vrijednosti u kojem se otpadna voda više ne smatra toksičnom. Na osnovu dobivenih rezultata možemo zaključiti da je primjenom procesa koagulacije na ispitivane obojene vode, upotrebom oba koagulanta, kvaliteta vode znatno poboljšana.

Zaključak

Za obradu različitih tipova obojenih otpadnih voda, koje sadrže topljiva reaktivna bojila i netopljive grafičke boje odabran je proces koagulacije s Al(III) i Fe(III).

Proces je pokazao visoku djelotvornost odnosno obojenje i zamućenje potpuno su uklonjeni.

Na osnovi određenih vrijednosti ekoloških parametara (KPK, BPK₅, TOC, AOX i IC₅₀) može se zaključiti da je kvaliteta vode, nakon obrade koagulacijom, toliko poboljšana da se može ispustiti u kanalizaciju odnosno ponovno upotrijebiti npr. kao voda za pranje u grafičkoj industriji.

Literatura

1. R. Smith, Water and Wastewater Minimisation Using Pinch Analysis, *Proceedings of the First European Congress on Chemical Engineering*, Vol 1, Florence, (1997) 663-664.
2. S. Buser, S. Nierhoff, Potential for Pinch Technology in Speciality Chemicals Production, *Proceedings of the First European Congress on Chemical Engineering*, Vol 1, Florence, (1997) 665-668.
3. J. Davis, Improving Dye Waste Water Treatment *American Dyestuff Reporter*, 80 (1991) 19-68.
4. N. Koprivanac, J. Jovanović-Kolar, G. Bosanac, J. Meixner, Studies of Wastewater Decolorization by the Precipitation/Flocculation Process, *Microchemical Journal*, 46 (1992) 379-384.
5. N. Koprivanac, G. Bosanac, Z. Grabarić, S. Papić, Treatment of Wastewater from Dye Industry, *Environmental Technology*, 14 (1993), 385-390.
6. Clesceri, Greenberg, Trussel, editors, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 17th ed., APHA, AWWA, WPCF, Washington D.C., USA 1989.
7. DIN 38409-52 Standard
8. Astm Methodes D2479 and D4779
9. ISO 9562: 1989 (E) Standard
10. G.M. Alsop, G.T. Waggy, R.A. Conwag, *Journal WPCF*, 52 (1989) 2452-2457.

Autor za kontakt:

Dr.sc. Natalija Koprivanac, red.prof., Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, 10000 Zagreb,
e-mail: nkopri@marie.fkit.hr, tel: 45 97 124, fax: 45 97 145



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 4.70.

Stanje radova na projektu višenamjenskog kanala Dunav-Sava

Josip Marušić, Neven Kuspilić, Berislav Brkić, Ivan Kolovrat

SAŽETAK: Projekt višenamjenskog kanala Dunav-Sava vrlo je složene naravi. Iako je kanal građevina linijskog tipa, njegov se utjecaj prostire široko u prostor. Unutar toga prostora javlja se veliki broj građevina, od samoga kanala preko niza mostova, ustava, crpnih stanica, luka, pristaništa, sifona, itd. Složenost projekta uvjetovana brojem građevina dodatno je uvećana brojem potrebnih radova za svaki objekt zasebno, te za cijeli sustav. Dakle projekt obuhvaća niz radova čije je usaglašavnje nužno radi postizanja funkcionalnosti cijeloga sustava. U ovom članku opisuje se trenutno stanje radova s kritičkim osvrtom na pojedine elemente. Terenski istražni radovi, prostorni planovi, prometne studije, ekološke studije, elaborati za otkup zemljišta, idejni i glavni projekti izrađeni su do različite razine. Tako su pojedini radovi izrađeni do potpune gotovosti, a neki su u fazi razrade. Također, u članku se daje osvrt na predstojeće zadaće koje je potrebno obaviti u slijedećem vremenskom periodu.

KLJUČNE RIJEČI: višenamjenski kanal Dunav-Sava, prometni koridor Podunavlje- Jadran, sliv Biđa, Bosuta i Vuke

The Current Status of Works on the Danube-Sava Multipurpose Canal Project

SUMMARY: The Danube-Sava multipurpose canal is a very complex project. Although the canal is a linear structure, its impact spreads widely into the space. Such a space includes a large number of structures, from the canal itself to number of bridges, weirs, pump stations, ports, quays, siphons, etc. Complexity of the project itself caused by the number of structures is further increased by a number of works requested for each of the structures and for the system as a whole. Therefore, the project involves a series of works which must be coordinated in order to achieve functionality of the entire system. The present paper describes the current status of works with critical overview of individual elements. The field investigations, land-use plans, transport studies, environmental studies, land acquisition studies, conceptual designs and licensing documentation have reached different levels of completeness. Thus, some works are completely finished, and some are in the development stage. The paper also discusses the tasks to be fulfilled during the next period of time.

KEYWORDS: the Danube-Sava multipurpose canal, the Danube Basin-Adriatic traffic corridor, the Biđ, Bosut and Vuka catchment area

1. Uvod

Ideja o izgradnji višenamjenskog kanala Dunav - Sava nije nova. Prvi pisani dokumenti o potrebi gradnje kanala Dunav-Sava datiraju iz 1737., a prvi nacrti iz 1795. godine. Od toga perioda ideja je prošla različite modifikacije i različite stupnjeve razrade. Tinjala

je različitim intenzitetom i razvijala se i usklađivala sa suvremenim potrebama. Najodlučnije akcije oko revitalizacije projekta višenamjenskog kanala Dunav - Sava provode se zadnjih desetak godina. Posebni poticaj daje Vlada Republike Hrvatske, na sjednici održanoj 19. ožujka 1991. kada je donijela odluku o pripremama za gradnju VKDS u suglasju sa zadacima dugoročnoga gospodarskog razvoja Hrvatske.

2. Stanje radova do 1990. godine

Jedna od važnih podloga za današnja rješenja je Idejni projekt Plovnog kanala Dunav - Sava iz 1964. Za potrebe toga projekta obavljena su terenska snimanja i istraživanja od 1962. do 1964. godine. Dužina trase kanala, po tome rješenju, od Vukovara preko Vinkovaca do Šamca planirana je sa 60.5 km. Niveleta dna kanala projektirana je na koti 76 m n.m., plovna razina vode 79.50 m n.m., a širina dna 20 m s nagibom stranica kanala 1:3 i sa širinom vodnog lica 41 m.

Tijekom 1984. godine dovršena je hidrološko-hidraulička studija odvodnje sliva Biđa. Uz upotrebu dijela podloga iz 1964. g. i projektnih i izvedbenih rješenja hidrotehničkih objekata na slivu Biđa, Bosuta i Vuke u 1985. godini izrađen je novelirani idejni projekt VKDS. Revizija tog projekta izvršena je 1986.g. U reviziji je upozoreno da su potrebne adekvatne dopune i izmjene idejnoga projekta, isto tako i dodatni istražni radovi.

Predstudija utjecaja na okoliš izrađena je 1989. g. Predstudija opravdanosti gradnje višenamjenskog kanala Dunav-Sava izrađena je 1990. g. U ovim predstudijama opisani su istražni i drugi radovi koje valja obaviti za potrebe izrade glavnoga projekta VKDS. U organizaciji Privredne komore Slavonije i Baranje 3. ožujka 1989. g. u Vinkovcima je održana stručno-znanstvena rasprava pod naslovom: Uloga i značenje višenamjenskog kanala Dunav-Sava, a prikaz 19 radova tiskan je u posebnom zborniku radova s prihvaćenim zaključcima.

U suglasju s izvještajem o reviziji studijske i projektne dokumentacije definirane su aktivnosti i poslovi koji koje valja obaviti za potrebe izrade idejnog i glavnog projekta i za ostvarenje u višenamjenskoga kanala Dunav-Sava.

Na žalost, zbog ratnog djelovanja, koja su eskalirala u kolovozu 1991 g., privremeno su prekinute počete aktivnosti na ostvarenju projekta VKDS, što je produljilo planiran tok aktivnosti.

3. Studije

Za potreba projekta Višenamjenskog kanala Dunav-Sava i uređenja sliva Bosuta, Vuke i rijeke Save izrađeno je niz studija. One sadržavaju dovoljno dobre pokazatelje o ekološkoj, tehničkoj i financijskoj opravdanosti izgradnje VKDS. Ovdje spominjemo ključne studije za cijeli projekt:

- 1) Prethodna studija utjecaja na okolinu VKDS; Građevinski institut, Zavod za hidrotehniku, Zagreb 1989 god.,
- 2) Predstudija opravdanosti izgradnje višenamjenskog kanala Dunav-Sava, Građevinski institut, Zavod za hidrotehniku, Zagreb 1990 god.,
- 3) Višenamjenski kanal Dunav-Sava - novelacija hidroloških podloga, studija i matematički model, Vodoprivredno-projektni biro Zagreb i Studijsko razvojni odjel Hvr. vodoprivrede, Zagreb 1995 i 1996 god.,
- 4) Prometna studija VKDS; Institut prometa i veza, Zagreb 1995god.,

- 5) Utjecaj VKDS na kvalitetu podzemne vode na području budućeg regionalnog vodovoda Istočne Slavonije, Institut građevinarstva Hrvatske, Zavod za hidrotehniku, Zagreb 1995 i 1996 god
- 6) Prostorni plan koridora VKDS, studija; Zavod za prostorno planiranje Osijek, Osijek 1997god.,
- 7) Plan natapanja slijevnog područja Bid-Bosut, dio vezan u VKDS, studija, Hidroing Osijek, Osijek 1997 god.,
- 8) Studija utjecaja VKDS na okolinu - utjecaji na šumske ekosustave, Šumarski fakultet Zagreb, Zavod za istraživanja u šumarstvu, Zagreb 1997 god.,
- 9) Biološko-ekološka obilježja područja uz trasu VKDS, Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu, Biološki odsjek, Zagreb 1997 god.,
- 10) Studija utjecaja VKDS na okolinu - modeli toka podzemnih voda, Građevinski fakultet Zagreb, Odjel za hidrotehniku - hidrotehnički laboratorij, Zagreb 1997 god.,
- 11) Studija kakvoće vode sliva VKDS, Građevinski fakultet Zagreb, Odjel za hidrotehniku, Zagreb 1997 god.,
- 12) Konačna studija o utjecaju na okoliš VKDS; Vodoprivredno-projektni biro Zagreb i Građevinski fakultet Zagreb, sa suradničkim poduzećima i institucijama; Zagreb 1998 god.

Treba naglasiti da je Konačna studija utjecaja na okoliš prihvaćena od strane komisije. Time što je ona pokazala uglavnom pozitivan utjecaj cjeloga projekta na okoliš, postaje važna podloga za upravopravne procedure.

4. Prostorna dokumentacija

Završena je prostorna dokumentacija na razini prostornog plana u kojem je definirano područje zahvata.

U Prostornom planu Hrvatske (NN br.12/1989 god.) na karti br.01 "Sustavi nasela i prometni sustav" kanal je definiran kao "plovni put".

Za područje kojim prolazi kanal izrađeni su općinski prostorni planovi: PPO Vukovar (1986 god.), PPO Vinkovci (19990 god.), PPO Sl.Brod (1990 god.) I Županja (1979 god., izmjene i dopune 1996 god.).

5. Dopune idejnoga projekta

Dopune idejnog projekta VKDS završene su u 1998. godini. Obuhvatile su izmjenu postojećih Idejnih projekata i njihovu dopunu za niz građevina, od građevine samoga kanala, preko projekata dviju prevodnica kao krucijalnih hidrotehničkih građevina, do projekata mostova (4 željeznička i 18 cestovnih) i projekata niza ostalih hidrotehničkih objekata (2 crpne stanice, 4 ustave, 2 derivacijska kanala, 3 veće hidrotehničke stepenice, 1 sifon). Trenutno se dovršava i Idejni projekt luke Vukovar kao ključnog prometnog elementa cijeloga sustava.

6. Geodetski radovi

Zbog velike površine zavata geodetski radovi programom su podijeljeni na faze. Idejni projekti izrađeni su na postojećim kartama 1:5000. Od radova na terenu za potrebu dopune Idejnog projekta, dosnimano je područje (Cerna) te je obavljeno iskolčenje trase. Za potrebe Glavnoga projekta prvih 9 km kanala izrađene su geodetske podloge u mjerilu 1:1000. Također, za potrebe Glavnoga projekta prvih 9 km kanala, u izradi je elaborat o otkupu zemljišta na trasi, na deponijama kanala i na lokacijama objekata.

7. Geotehnički istražni radovi

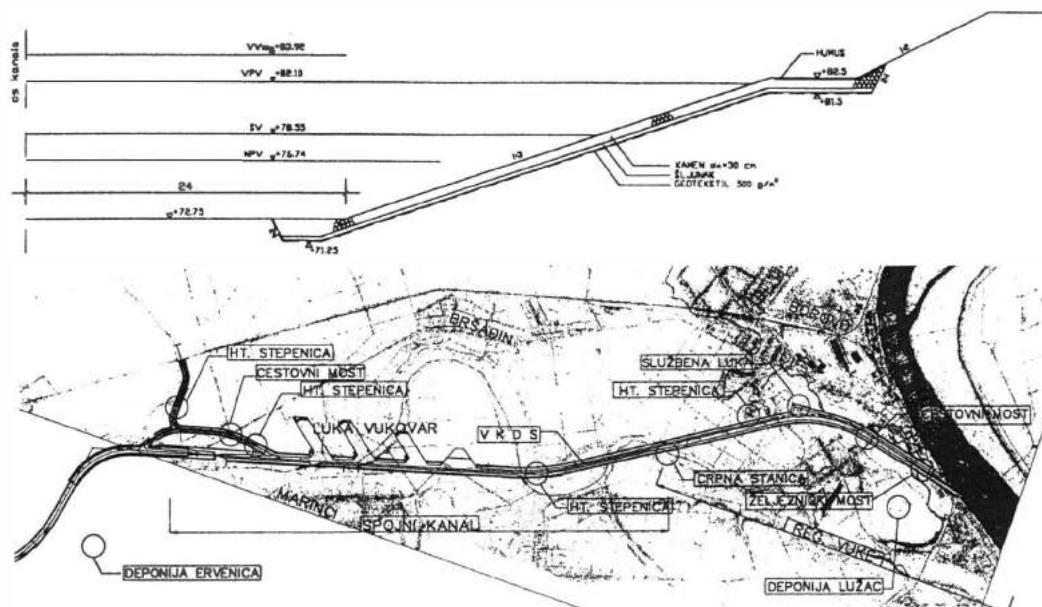
U tijeku godine 1994. i 1995. izvedeni su poslovi 1. faze geotehničkih istražnih radova potrebnih za izradu idejnog projekta. Radovi su izvedeni na dionici dužine 40 km, od Vinkovaca do Šamca. Druga faza geotehničkih istražnih radova na spomenutoj dionici započeta je u 1995., a završena je u 1999. godini. Ostvarenje te faze omogućuje izradu glavnoga projekta građevine višenamjenskog kanala (prvih 9 km) i nekih pripadajućih građevina. Za potrebe Glavnih projekata ostalih pripadajućih građevina potrebno naknadno obaviti dodatne istražne radove.

8. Elaborat za lokacijsku dozvolu

Elaborat za lokacijsku dozvolu za višenamjenski kanal Dunav-Sava vezan je uz prihvaćanje konačne studije utjecaja na okoliš. Materijali su pripremljeni i čekaju pravomoćnost odluke o prihvaćanju navedene studije.

9. Glavni projekt

Trenutno je u izradi Glavni projekt prvih 9 km Višenamjenskog kanala Dunav-Sava. Taj projekt obuhvaća dionicu kanala od ušća u Dunav do luke Vukovar, odnosno do pozicije hidročvora Dunav u čijem sklopu se nalazi dunavska prevodnica. Taj dio kanala u režimu je dunavskih voda. „ini logičnu cjelinu jer omogućuje plovidbu do luke Vukovar. U toj dionici uglavnom bi služio namjeni plovidbe i evakuaciji velike vode sliva Vuke. Osim građevine kanala Glavni projekt obuhvaća niz popratnih građevina koje omogućuju parcijalno funkcioniranje toga dijela kanala. Tu su: uređenje korita rijeke Vuke kroz Vukovar, željeznički most preko VKDS, cestovni most preko VKDS, crpna stanica Vuka, tri veće hidrotehničke stepenice, uređenje tri manja ušća vodotoka u VKDS, derivacijski kanal hidročvora Dunav s privremenim cestovnim mostom, kolektor za opskrbu vodom Vuke kroz Vukovar, službena luka, te dvije velike deponije iskopanog materijala (Slika 1).



Slika 1. Područje VKDS za koje se radi Glavni projekt

Izrađena su dva hidraulička fizikalna modela. Na jednom su modelu obavljena ispitivanja pronosa nanosa Dunava u zoni ušća kanala. Na drugom su modelu, na istom ušću, ispitivani manevri uplovljavanja i isplavljavanja plovila i plovnih sastava.

10. Daljnje aktivnosti na realizaciji projekta višenamjenskog kanala Dunav-Sava

Daljnje aktivnosti na realizaciji projekta višenamjenskog kanala Dunav-Sava svode se na sljedeće:

-Glavni projekt

Predstoji završetak glavnog projekta prvih 9 km višenamjenskog kanala Dunav-Sava s hidrotehničkim objektima u sastavu, s dodatnim geomehaničkim i geodetskim radovima za završetak projekata koji nisu izvedeni zbog deminiranja terena i povećanog obima radova. Projekt će se moći potpuno završiti nakon izdavanja lokacijskih uvjeta čije je izdavanje u tijeku.

-Glavni projekt I. faze luke Vukovar

Na osnovu idejnog projekta nove luke Vukovar i predstudije opravdanosti potrebno je definirati projektni zadatak za I. fazu nove luke Vukovar sa svim potrebnim kapacitetima usklađeno sa dinamikom razvoja luke iz predstudije opravdanosti.

-Studija opravdanosti VK Dunav-Sava

Na osnovu raspoložive projektne dokumentacije, predstudije opravdanosti i drugih studija treba izraditi konačnu studiju opravdanosti višenamjenskog kanala Dunav-Sava kao dio prometnog koridora Podunavlje B Jadran.

-Monitoring sastav

Na temelju zahtjeva iz Studije utjecaja na okoliš višenamjenskog kanala Dunav-Sava treba provesti praćenje stanja površinskih i podzemnih voda u zoni utjecaja kanala, na postojećim piezometrima, te izgraditi nove piezometre na šumskim i poljoprivrednim površinama, te praćenje kvalitete plitkih i dubokih podzemnih voda. Nužna je identifikacija površina na temelju satelitskih snimaka za nulto stanje kao preduvjet za daljnja praćenja. Praćenja treba obavljati kontinuirano do izgradnje, za vrijeme izgradnje i poslije izgradnje objekta.

-Izgradnja kanala

Prije početka izgradnje višenamjenskog kanala Dunav-Sava Vlada Republike Hrvatske treba donijeti Odluku o izgradnji, imenovati nositelja izgradnje, utvrditi način financiranja objekta, te druge odluke vezane za status budućeg kanala.

Literatura

- [1] Marušić, J., Tustonić, T., Hidrotehnički značaj kanala "Dunav-Sava", III. Znanstveni sabor Slavonije i Baranje, Vukovar, listopad 1980.g. Zbornik radova, str. 187-198.
- [2] Marušić, J., Višenamjenski kanal "Dunav-Sava" na kombiniranom putu Podunavlje B Jadran, Savjetovanje "Ekonomski i prometna važnost riječnih plovnih i kombiniranih puteva", Vukovar, svibanj, 1981.g. Zbornik radova, str. 61-75.
- [3] Marušić, J., Višenamjensko značenje kanala "Dunav-Sava", Građevinar 33 (1981.) (12) str. 513-524.

- [4] Marušić, J., Višenamjenski kanal "Dunav-Sava", Drugi kongres o vodama Jugoslavije, Ljubljana, listopad 1986., knjiga II., str. 755-764.
- [5] Marušić, J., Božičević S., Kolovrat I., Kanal "Dunav-Sava", monografija, Vinkovci 1987., str. 1-18.
- [6] Marušić, J., Hidrotehničko i građevinsko značenje višenamjenskog kanala Dunav-Sava, Privreda, 33, 1989/2, Osijek, str. 125-137.
- [7] Marušić, J., Beraković, B., Tehnička i gospodarska opravdanost izgradnje višenamjenskog kanala Dunav-Sava, Savjetovanje: "Strategija razvoja saobraćaja Jugoslavije s naglaskom na povezivanje s Evropskom zajednicom", Zagreb B Bizovac, travanj 1991., str. 133-138.
- [8] Marušić, J., Gospodarsko značenje višenamjenskog kanala Dunav-Sava za povezivanje Podunavlja i Jadrana, HAZU, Anali Zavoda za znanstveni rad u Osijeku, Osijek, 1992., str. 29-50
- [9] Marušić, J., Kolovrat, I., Razvojna značenja višenamjenskog kanala Dunav-Sava, Sabor hrvatskih graditelja "Graditeljstvo u strategiji obnove i razvoja Republike Hrvatske", Crikvenica, 1993., str. 413-424
- [10] Marušić, J., Pršić, M., Postojeći stupanj i planirani razvoj plovnih puteva u Republici Hrvatskoj, Savjetovanje "Geotehnika prometnih građevina", Saopćenja, knjiga 1, Zagreb B Novigrad, 1994., str. 13-30
- [11] Marušić, J., Kolovrat, I., Postojeća i potrebna dokumentacija za realizaciju višenamjenskog kanala Dunav-Sava, „etvrto međunarodno znanstveno stručno savjetovanje "Prilozi strategiji razvoja prometa Hrvatske", Hrvatsko znanstveno društvo za promet, Opatija, 1996., Zbornik radova, str. 93-103
- [12] Dadić, I., Božičević, D., Đaković, N., Marušić, J., Riječni promet u povezivanju Hrvatske i Bosne i Hercegovine s Podunavljem i Sredozemljem, Znanstveno savjetovanje "Revalorizacija geoprometnog položaja Hrvatske i Bosne i Hercegovine u interesu obiju država", Znanstveni savjet za promet HAZU-i Zagreb, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Sarajevu, Akademija nauka i umjetnosti BIH-e, Zagreb, 1996., Zbornik radova, str. 117-124
- [13] Petraš, J., Pršić, M., Marušić, J., Inland navigation in Croatia and possibilities of its development. Permanent international association of navigation Congresses "Inland and maritime navigation and coastal of east European countries", Gdansk, 1996, p. 401-420
- [14] Marušić, J., Pršić, M., Kolovrat, I., Šoldra, M., Brkić, B., Višenamjenski kanal Dunav-Sava i obnova riječne plovidbe u Hrvatskoj, Sabor hrvatskih graditelja =96, Zbornik radova, Cavtat, 1996., str. 945-968, 26
- [15] Marušić, J., Aktivnosti na realizaciji projekta višenamjenskog kanala Dunav-Sava, Hrvatska vodoprivreda, glasilo "HV"-a, br. 15, str. 7-9, 1993.
- [16] Marušić, J., Kolovrat, I., Višenamjenski kanal Dunav-Sava B dosadašnje i buduće aktivnosti, Hrvatska vodoprivreda, glasilo "HV"-a, br. 44, str. 3-7, 1996.

Autori:

Prof.dr.sc. Josip Marušić, dipl.ing.građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb

Doc.dr.sc. Neven Kuspilić, dipl.ing.građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb

Ivan Kolovrat, dipl.ing.građ., Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb

Berislav Brkić, dipl.ing.k.t., Vodoprivredno-projektni biro Zagreb, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb

Tema 5.

PRILAGODBA ZAJEDNICE IZVANREDNIM SITUACIJAMA (SUŠE, POPLAVE, KLIZIŠTA...)

Voditelji teme:

dr.sc. DUŠAN TRNINIĆ i dr.sc. NANAD SMODLAKA



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 5.01.

Civilna zaštita u zaštiti i spašavanju od poplava

Nevenka Sugnetić, Željko Bajza, Tomo Sugnetić

SAŽETAK: Naše krajeve često pogađaju poplave različitog intenziteta. Radi zaštite i spašavanja, odnosno ublažavanja i otklanjanja posljedica od poplava po ljude, materijalna dobra i okoliš propisima je određena pravna i operativna osnova za izradu Planova i Provedbenih planova za organizirano djelovanje sustava civilne zaštite [1,2,3]. Planove obvezno izrađuju pravne osobe i druge pravne osobe koje su dobile tu zadaću od mjerodavnih tijela državne uprave. Provedbene planove izrađuju druge pravne osobe za vlastite potrebe. Da bi Plan bio kvalitetan, primjenjiv i funkcionalan, treba imati program rada i procjenu rizika. Program određuje zadaće i rokove nositelja izrade Plana. Procjena čini osnovu za izradu Plana zaštite, a on je operabilni dokument za realizaciju procjene. Procjenom se ukazuje o nastanku, razvoju i posljedicama poplave u akutnoj, razvojnoj i završnoj fazi. Predstavlja ocjenu očekivanih djelovanja, vjerojatnost nastanka i definiranje opsega potencijalnog rizika od poplava. Izradu Plana nadzire policijska uprava županije. Inspekciju obavlja Ministarstvo unutarnjih poslova. Pravna osoba Plan provjerava vježbama i po potrebi novelira. U slučaju poplave ona se uključuje u zaštitu i spašavanje vlastitim snagama i materijalno-tehničkim sredstvima. Pritom koordinirano djeluje sa svim pravnim propisima određenim subjektima važnim za obranu od poplava i civilnom zaštitom.

KLJUČNE RIJEČI: civilna zaštita, zaštita od poplava, plan zaštite i spašavanja

Civil Defence in Flood Protection and Rescue

SUMMARY: The Croatian regions are often affected by floods of different intensity. In order to protect and rescue, or alleviate and remove the consequences of floods on people, physical property and environment, the regulations set up legal and operative baseline for development of Plans and Implementation Plans for organized actions within the civil defence system (1,2,3). The Plans must be prepared by entities (legal persons) and other persons entrusted with this task by authorized bodies of the state administration. The Implementation Plans are prepared by other entities to cover their needs. In order to obtain quality, applicable and functional Plan, action and risk assessment programs are necessary. The programs determine tasks and schedules for the Plan carriers. The assessment is a background for preparation of the Protection Plan, and it is an operational document for assessment. The assessment indicates occurrence, development and consequences of flood in acute, developing and final stage. It is an evaluation of expected effects, probability of occurrence and determination of extent of potential flood risks. The Plan development is controlled by the County police. Inspection is carried out by the Ministry of Interior. The legal person checks the Plan through drills and updates it when necessary. In the event of flood, it participates in protection and rescue with its forces and equipment. In its actions, it respects all legal requirements applicable to flood control and civil defence.

KEYWORDS: civil defence, flood control, protection and rescue plan

1. Uvod

Život čovjeka, njegovu egzistenciju, materijalna dobra i ekosustav ugrožavaju različite elementarne nepogode među kojima su i poplave. On im se suprotstavlja umnim, tehničkim i svim drugim mogućnostima. Glede hidrografskih, ortografskih, geoloških i drugih osobina u Hrvatskoj postoji veliki rizik za nastajanje poplava kako na državnim tako i na lokalnim vodama. Poplava je primarno prirodni ekscesivni fenomen koji je stalni pratilac života ljudi na Zemlji. Može biti inducirana i antropogeno, bilo nenamjerno ili namjerno. To je nepogoda koja se u Zakonu o zaštiti od elementarnih nepogoda (Narodne novine br. 73/97) i taksativno navodi kao pojava koja se proglašava elementarnom nepogodom, ukoliko je opsega da ovisno o mjesnim prilikama, uzrokuje bitne poremećaje u životu ljudi na određenom području. Činjenica je, da i u Hrvatskoj kao i u svijetu čovjek sve više živi u zaštićenim "tehnogenim" sredinama, no nije se još uspio potpuno zaštititi od posljedica poplava kao redovite elementarne nepogode. Iako poplave kao ekstremne prirodne pojave ne pokazuju neki trend numeričkog porasta, rastu materijalne štete, broj ljudskih žrtava, socijalne, ekološke i estetske posljedice od njih. To je stoga što se u gradove uz vodotokove uz povećanje broja stanovnika povećava i gospodarski potencijal. Unutar poplavnih linija vodnih područja (sliv Save, sliv Drave i Dunava, primorsko-istarski slivovi, dalmatinski slivovi) u našoj zemlji se nalazi površina od 964518 ha. Od toga je 566048 ha (58,7%) branjeno od poplava, a 398470 ha (41,3%) nije [6]. Osim šteta koje čine poplave i veće bujične vode neposredno, u momentu djelovanja, (uništavanje usjeva, dugogodišnjih nasada, šuma, stoke, peradi, plemenite divljači, plavljenje stambenih i gospodarskih objekata u selima i gradskim naseljima, oštećenje mostova, štete na komunikacijama i drugim infrastrukturnim objektima, obrtnim sredstvima i opremi poduzeća, pogoršanje zdravstvenih uvjeta i ljudske žrtve), ostaju i posredne dugoročne materijalne, zdravstvene i ekološke posljedice (uništena obrtna sredstva, zdravlje, bonitet tla i voda). Također, i širom svijeta poplave nanose velike materijalne štete i ljudske gubitke. Svake godine od njih i drugih elementarnih nepogoda (suša, potres, vjetar) izgubi život oko 250 000 ljudi, a godišnje štete iznose 30 milijardi dolara. U SAD-u štete od elementarnih nepogoda iznose godišnje oko 2,4 milijarde dolara, od čega samo na poplave otpada milijardu dolara [7]. Pri tome one odnesu više od 100 života [6]. Štete i posljedice od poplava bile bi veće ukoliko se ne bi poduzele odgovarajuće mjere zaštite od poplava i osposobio cjelovit sustav zaštite i spašavanja ljudi, materijalnih i drugih dobara i okoliša. Sukladno relevantnoj zakonskoj i podzakonskoj regulativi Hrvatske [1, 2, 4, 5, 8] sve nadležne pravne i fizičke osobe i druge pravne osobe u društvu, te civilna zaštita imaju pravo i obvezu u opsegu svojih djelatnosti pridružiti se naporima u sprječavanju, ublažavanju i otklanjanju štetnih posljedica od poplava po ljude, kulturna i druga dobra i ekosustav. [1, 2, 3, 4, 5, 8]. Zadaća i uloga civilne zaštite kao humanitarne organizacije u aktivnostima na neposrednoj i posrednoj zaštiti ljudi, imovine i okoliša od poplava uređena je Zakonom [1]. Kako su poplave dio čovjekove svakodnevice predstavljaju mu složen problem. Zato postoji potreba da se u rješavanju toga problema angažira i civilna zaštita. Ona se treba pravodobno i ciljano uključiti u aktivnosti zaštite i spašavanja objekata, prostora, ljudi, sredstava i okoliša u svim fazama poplave (akutnoj, razvojnoj, završnoj). Civilna zaštita treba surađivati i koordinirati sa drugim relevantnim subjektima, te subjektima koji u svojoj redovitoj djelatnosti obavljaju poslove zaštite i spašavanja na propisima određen način [1, 2, 4, 5].

2. Djelatnost civilne zaštite od interesa za zaštitu od poplave

Tek od sredine ovoga stoljeća civilna zaštita uključuje postupno i zaštitu od elementarnih (prirodnih) nepogoda [9]. Civilna zaštita čini oblik organiziranja, pripremanja i sudjelovanja građana, pravnih osoba, tijela državne uprave i jedinica lokalne samouprave i uprave radi zaštite i spašavanja ljudi, dobara i okoliša od rizika i posljedica nesreća. Djelovanje joj se temelji na poštivanju Odluka Ženevskih konvencija i Dopunskih im protokola iz 1977. godine. Obavlja poslove socijalne i humanitarne prirode [9]. Pripomaže otklanjanju rizika, uzroka i posljedica opasnosti. Ima zadaću sprječavanja nastajanja i širenja nesreća, te ublažavanja posljedica do uspostave najosnovnijih uvjeta za život stanovnika u datom okolišu za vrijeme poplava. Zaštita od poplava prema Zakonu o vodama (Narodne novine 107/95) samo je jedan dio zaštite od štetnog djelovanja voda koje su se prelile izvan prirodnih ili umjetnih granica. Radi organizirane provedbe mjera zaštite i spašavanja ljudi, materijalnih dobara i okoliša od poplava na državnim i lokalnim vodama Zakonima i drugim propisima [4, 5, 8, 10] obvezno je izraditi Planove obrane od poplava. U slučaju poplave opsega elementarne nepogode mjere zaštite provode se sukladno i sa Zakonom o zaštiti od elementarnih nepogoda (Narodne novine 73/97). Propisima je regulirana pravna i operativna osnova za izradu Planova i Provedbenih planova zaštite i spašavanja ljudi, dobara i ekosustava od poplava za organizirano učešće sustava civilne zaštite [1, 2, 3]. Plan su obvezno izraditi pravne osobe (poduzeća) i druge pravne osobe koje su dobile tu zadaću od mjerodavnih tijela državne uprave. Provedbeni plan zaštite od poplava obvezno su izraditi druge pravne osobe za vlastite potrebe [2]. Plan se izrađuje na temelju programa rada i procjene rizika. Programom su obuhvaćeni i rokovi nositelja izrade Plana. Procjenom su obuhvaćeni identifikacija rizika i procjena potencijalnih mjesta rizika, opseg rizika od poplave za svako mjesto rizika, utjecaj općih karakteristika na ugroženost i prednost osnovnih funkcija, te mjere, snage i sredstva za njihovo ublažavanje ili uklanjanje. Procjenom se određuje stupanj rizika od poplave unutar i izvan lokacije pravne osobe. U procjenu je uključena i ocjena za provođenje mjera zaštite i spašavanja unutar i izvan lokacije pravne osobe. Procjena pomaže sagledavanju potreba u materijalno-tehničkim sredstvima i ljudima za rješavanje poplave. Obveza, nositelji i opći sadržaj Plana pravnih osoba i drugih pravnih osoba utvrđeni su Pravilnikom [2].

Nositelji obveze izrade Plana na osnovu izvoda iz procjene plana moraju za svoje planove izraditi vlastitu procjenu rizika. Planove trebaju provjeriti vježbama, inspekcijskim pregledom i nadzorom. Vježbama planove provjeravaju pravne osobe same. Inspekcijski pregled obavlja Ministarstvo unutarnjih poslova. Izradu Plana nadzire policijska uprava županije. Pri izradi Plana pravna osoba odredi vrstu opasnosti i o njoj izvješćuje javnost. Pri određivanju rizika ovisno o vrsti, svojstvima i opsegu sudjeluju svi nositelji. Osnovni nositelj pravna je osoba kod koje može doći do nepogode, odgovarajuće službe Ministarstva unutarnjih poslova, odgovarajuće inspekcijske službe, te matični zavod za zaštitu zdravlja. Dopunski nositelji su izvan pravne osobe i čine ih nadležne stručne ustanove i civilna zaštita. Pravna osoba kao osnovni nositelj treba vlastitim učešćem poduzeti mjere zaštite i spašavanja. Treba imati razrađen sustav uzajamnog komuniciranja u svojoj pravnoj osobi i sustave za vezu s javnošću. Obveza joj je i dojavljivanje o nepogodi Policiji i Centru za obavješćivanje. Ukoliko subjekt svojim vlastitim sredstvima i organiziranim snagama ne može ukloniti opasnost i ublažiti posljedice poplave unutar i/ili izvan svoje pravne

osobe treba tražiti pomoć dopunskih nositelja. Ukoliko je poplava opsega koji, ovisno o mjesnim prilikama, uzrokuju bitne poremećaje u životu ljudi određenog područja i prelazi normalnu sposobnost zajednice da je sama otkloni bez pomoći smatra se u smislu gl. 1, čl. 2. Zakona o elementarnim nepogodama (Narodne novine 73/97) elementarnom nepogodom. U smislu toga Zakona zaštita od poplava ostvaruje se pravodobnim i usklađenim djelovanjem svih za tu vrstu nepogode relevantnih sudionika zaštite (Hrvatske vode, uprava za vode i druge pravne osobe koje se zaštitom i spašavanjem bave kao redovitom djelatnošću, civilna zaštita, Hrvatska vojska...). Civilna zaštita uključuje se pri tome u provođenje mjera zaštite i spašavanja ljudi, imovine i okoliša sa svojim snagama i sredstvima u slučaju izravne opasnosti od nastanka poplave, za vrijeme njenog trajanja, ublažavanja i uklanjanja posljedica. Zadaća civilne zaštite za vrijeme proglašene izvanredne mjere obrane od poplave je pomoć stanovništvu i Hrvatskim vodama, kao osnovnom nositelju i organizatoru provođenja preventivnih mjera, pripremnih radnji i mjera obrane od poplava, na sprječavanju prelijevanja vode preko nasipa (npr. pomoć pri izgradnji "začjih nasipa"). Ukoliko je procjena Plana pokazala da je pravna osoba povećanog rizika proizvodnje potencijalno ugrožena ili ugrožava, Stožer civilne zaštite (npr. općine, grada...) određuje da se i u njoj osnuje Stožer civilne zaštite. Tom Stožeru nadređen je Stožer civilne zaštite predmetne općine ili grada. Plan detaljno navodi mjere zaštite i spašavanja koje treba provoditi za vrijeme poplave. Prema Planu pravna osoba treba predvidjeti i procjenu financijskih sredstava za materijalno-tehničku opremu i snage za provođenje preventivnih, operativnih i (a) sanacijskih mjera zaštite i spašavanja od poplava. Privitak Plana zbog učinkovitog, pravovremenog, i kompetentnog djelovanja i zapovijedanja za vrijeme poplave mora sadržavati popis i smještaj materijalno-tehničkih sredstava i ljudi predviđenih za akciju, te pregled dopunskih nositelja - komunalnih poduzeća s raspoloživim kapacitetima za provođenje sanacije. Isto tako potreban je i popis specijaliziranih zavoda i institucija sa mogućnošću ispitivanja.

3. Sudjelovanje civilne zaštite u zaštiti i spašavanju od poplava

Civilna zaštita sudjeluje u zaštiti i spašavanju sa svojim materijalno-tehničkim sredstvima i snagama - postrojbama. Postrojbe mogu sudjelovati dvojako - kao izravni i pretežiti nositelji tih aktivnosti ili uložiti inicijatora, organizatora i koordinatora (stožeri, povjerenici) odnosno u uložiti snaga zaštite i spašavanja (postrojbe) ovisno o potrebitim vrstama aktivnosti u datim uvjetima na terenu [11]. Civilna zaštita pripomaže, sukladno Planu zaštite i spašavanja u slučaju redovite i izvanredne obrane od poplave, u provođenju preventivnih i operativnih mjera zaštite (npr. ugrađivanje obrambenih materijala na mjestu izlivanja ili proboja nasipa, zaštita objekata uređaja, instalacija, naselja, ljudi, mobilizacija stanovništva, transportnih i drugih sredstava,...).

3.1 Preventivne mjere zaštite

Provode se za zaštitu priobalja i šireg plavnog područja. Cilj im je spriječiti ili ublažiti posljedice naglog otjecanja površinske vode iz viših u niže zone, stvoriti uvjete za brže otjecanje vode u nizinskim krajevima, spriječiti nanošenje mulja iz viših krajeva u niže, tj. u riječna korita, praćenje vodotokova uz organizaciju motrenja i obavješćivanja. Ciljevi se postižu npr. izgradnjom i učvršćivanjem obrambenih linija i mreže za odvodnjavanje, antierozijskim radovima, izgradnjom akumulacija u nizu...

3.2 Operativne mjere zaštite

3.2.1 Faza pripremnih radova i faza redovite obrane

Poduzete aktivne mjere zaštite ljudi, dobara i okoliša ovise o vrsti vodotoka, svojstvima očekivanog vodenog vala, reljefnih, demografskih i drugih svojstava područja. Najčešće operativne mjere jesu: evakuacija stanovništva ispred poplavnog vala, izrada “zečjih nasipa”, namjerno rušenje prirodnih pregrada, umjetna izgradnja pregrada, namjerno rušenje obrambenih linija, pražnjenje umjetno stvorenih akumulacija, evakuacija materijalnih dobara, kontrola poplava iz akumulacija, borba protiv leda...

3.2.2 Faza izvanredne obrane

Ovisno o nastaloj situaciji najčešće poduzimane mjere bile bi: naknadna evakuacija stanovnika ispred poplavnog vala, evakuacija dijela materijalnih dobara, spašavanje postradalog i ugroženog stanovništva s poplavljenog područja, spašavanje stočnog fonda, divljači, dijela materijalnih dobara s poplavljenog područja, zbrinjavanje evakuiranog, postradalog i ugroženog stanovništva na lokacijama prihvata, ukazivanje prve medicinske pomoći postradalom i oboljelom stanovništvu, asanacija terena i druge mjere i aktivnosti koje može nalagati situacija na terenu.

4. Zaključak

Zaštita i obrana od poplava složen je posao koji zahtijeva velika financijska i materijalno-tehnička sredstva. Stvaranje uvjeta za obranu od poplava je moguće i nužno planirati i provoditi kao sigurnosnu preventivu o kojoj ovisi i učinkovitost obrane od poplave. Kao i u drugim ljudskim aktivnostima i u zaštiti od poplava još ima problema i otvorenih pitanja. Zato je potrebno da i civilna zaštita kao organizacijski sustav i djelatnost doprinese njihovom rješavanju. Ona se tu uključuje sa stajališta interesa i potrebe zaštite i spašavanja ljudi, imovine i okoliša.

Pomoć civilne zaštite organiziranim snagama vodoprivrednih organizacija (Hrvatske vode npr.) korisnika hidrosustava, pravnim i drugim pravnim osobama doprinosi povećanju učina mjera zaštite i spašavanja od poplava, ublažavanju, otklanjanju i asanaciji posljedica, te smanjuje nevolje stanovništva ekspaniranog područja. Civilna zaštita pri tome treba realizirati svoju ulogu kao suradnik u određenim poslovima zaštite i spašavanja od poplava ili neposredni organizator i izvršitelj aktivnosti. Treba sudjelovati u provođenju preventivnih, neposrednih i naknadnih mjera zaštite. To znači da kao i druge mjerodavne organizacije (npr. zdravstvene, vatrogasne) treba biti pripravna za akciju zaštite i spašavanja od poplava. Postrojbe civilne zaštite angažiraju se na ispomaganju stanovništvu (npr. u crpljenju vode iz poplavljenih stambenih i gospodarskih objekata, u potrazi odlutale stoke...), te na saniranju devastiranog okoliša. Mnoge bitke sa poplavom kao elementarnom nepogodom su dobivene, a organizacija mjera zaštite koje se stalno dograđuju, posebno u okviru planske pripreme službe civilne zaštite, garancija su za smanjenje posljedica od poplava. Za provođenje zaštite i spašavanja od rizika poplave pravnim i drugim pravnim osobama propisima [1, 2] je uvjetovana izrada Planova i Provedbenih planova zaštite. Civilna zaštita angažira se svojim potencijalima onda kada pravna osoba i drugi relevantni subjekti ne mogu sami provesti zaštitu i spašavanje od poplave. Ukoliko ni civilna zaštita ne može kvalitetno obaviti potrebne zadaće, ona traži dodatno angažiranje snaga i sredstava drugih subjekata (npr. specijalna policija,

vatrogasci, Hrvatska vojska). Nažalost, poplava kao nepogoda još nije pobijedena. Stoga za smanjivanje rizika od poplava treba uložiti još mnogo rada i sredstava, sudjelovanja i samozaštitnog ponašanja svih odgovornih, te primijeniti suvremena znanstvena rješenja. Proučavanje svih relevantnih faktora od utjecaja, prije svega na konačna rješenja zaštite, uvjet su za smanjenje rizika od poplava. Svaka improvizacija i parcijalno rješavanje, i nekoordinacija među sudionicima zaštite tijekom pretpripremnih (procjena, program, plan), preventivnih, organizacijskih, kriznih i postkriznih aktivnosti u zaštiti od poplava razvili bi negativne posljedice skupih i polovičnih rješenja.

Literatura

1. Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o unutarnjim poslovima, Narodne novine, Zagreb, 1994, No 76.
2. Pravilnik o metodologiji izrade i sadržaju planova zaštite i spašavanja, Narodne novine, Zagreb, 1995, No 31.
3. Pravilnik o ustroju, popuni, pozivanju i uporabi postrojbi, službi i tijela za upravljanje i vođenje postrojbi te drugih oblika organiziranja civilne zaštite, Narodne novine, Zagreb, 1995, No 31.
4. Zakon o vodama, Narodne novine, Zagreb, 1995, No 107.
5. Zakon o zaštiti od elementarnih nepogoda, Narodne novine, 1997, No 73.
6. Kovačević, F.: Hrvatske vode i sigurnost, Defimi, Zagreb, 1998.
7. Mitrović, U.: Planiranje i sadržaj plana zaštite i spašavanja od poplava u okviru plana zaštite od elementarnih nepogoda, Civilna zaštita, Priv. vjes., Zagreb, 1991, No 1.
8. Državni Plan obrane od poplava, Narodne novine, Zagreb, 1997, No 8.
9. Javorović, B.: Civilna zaštita - Svijet i mi, Civilna zaštita, Zagreb, 1992.
10. Zakon o zaštiti okoliša, Narodne novine, Zagreb, 1994, No 82.
11. Slunjski, J.: Djelovanje civilne zaštite u uvjetima agresije na Republiku Hrvatsku, Civilna zaštita, Zagreb, 1992, No 1, 1 - 10.

Autori:

- Nevenka Sugnetić, mr.sc., Odjel civilne zaštite Ministarstva unutarnjih poslova,
10000 Zagreb, Ilica 335, Hrvatska, telefon: 385-01-3788154, fax: 385-01-3788159
- Željko Bajza, dr.sc., Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije,
10000 Zagreb, Marulićev trg 19, Hrvatska, telefon: 385-01-423740, fax: 385-01-436954
- Tomo Sugnetić, mr.sc., Odjel civilne zaštite Ministarstva unutarnjih poslova,
10000 Zagreb, Ilica 335, Hrvatska, telefon: 385-01-3788156, fax: 385-01-3788159



Rad 5.02.

Primjena terestričke fotogrametrije u istraživanju ekscesivnih erozijskih procesa

Josip Petraš, Duška Kunštek, Dubravko Gajski

SAŽETAK: U slivu akumulacije Botonega u Istri registrirane su i prostorno determinirane površine zahvaćene ekscesivnim erozijskim procesima Ia kategorije na strmim flišnim padinama. Vrlo intenzivna produkcija erozijskog nanosa na tim površinama značajno participira u ukupnoj godišnjoj količini nanosa koju voda unosi u akumulaciju. Da bi se dobili što pouzdaniji pokazatelji o godišnjoj produkciji nanosa na tim površinama, odabrane su četiri karakteristične lokacije na kojima se vrše istraživanja. Ta se istraživanja vrše terestričko-fotogrametrijskim snimanjem i primjenom kompjuterskog programa "SITEWORKS", pomoću kojeg se na osnovu stereo-parova snimljenih s vremenskim pomakom od dvije i pol godine, vrši proračun debalansa mase flišnog materijala na snimljenim površinama. U članku se sažeto prikazuje metodologija i preliminarni rezultati istraživanja ekscesivnih erozijskih procesa.

KLJUČNE RIJEČI: terestrička fotogrametrija, erozijski procesi, fliš, sliv, količina nanosa, debalans mase, stereo-parovi

Application of Terrestrial Photogrammetry in Research of Excessive Erosion Processes

SUMMARY: Surfaces subject to excessive erosion processes of the category Ia were recorded and their location determined in steep flysch slopes of the catchment area of the Botonega reservoir in Istria. Very intensive production of erosion drift on these surfaces has considerable contribution to the total annual quantity of load brought into the reservoir. In order to get the most reliable indicators on annual load production, four typical locations were selected for investigation. The investigations are conducted by terrestrial photogrammetry and use of SITEWORKS computer program by which, based on stereo pairs surveyed with a time shift of two and a half years, the calculation is carried out of the imbalance of the flysch material mass on the surveyed surfaces. The paper gives a brief presentation of methodology and preliminary results of excessive erosion processes investigation.

KEYWORDS: terrestrial photogrammetry, erosion processes, flysch, catchment area, load quantity, mass imbalance, stereo pairs

1. Uvod

U okviru znanstveno - istraživačkog projekta: "PROTUEROZIJSKA ZAŠTITA TLA I VODA U ISTRI" (u sklopu šire ekološke problematike zaštite Jadrana), istražuje se među inim i erozija na posve ogoljelim strmim flišnim padinama. Ta istraživanja podrazumijevaju mjerenje erozije na ekscesivnim erozijskim površinama sa kojih se

prema parametarskim metodama kvantifikacije erozijskih procesa producira najviše nanosa. Tradicionalne metode istraživanja (“klasičan način”) erozije se sastoje u tome da se sa erozijske površine prikupljaju reprezentativni uzorci iz kojih se volumetrijskim i koncentracijskim omjerima dolazi do podataka o produkciji erozijskog nanosa s ogledne površine. Takova su mjerenja skupa. Međutim, razvojem stereometrije i suvremenih softverskih paketa za obradu stereo - snimaka i provedbu analiza ukazala se mogućnost da se istraživanje ekscesne erozije na strmim padinama obavlja puno jeftinijom metodom terestričke fotogrametrije.

U okviru istraživačkog projekta predviđeno je stoga da se istraživanja obavljaju tom metodom uz primjenu kompjuterskog paketa SITEWORKS, firme Intergraph, koji radi na platformi programa Micro Station V.5.0.

Upravo zbog ekonomskog aspekta, prednost fotogrametrijskog pristupa je u mogućnosti mjerenja erozije na znatno većim površinama nego primjenom tradicionalnih metoda.

Fotogrametrija je metoda izmjere koja ne zahtjeva neposredan pristup objektu, a vjerno određuje njegov oblik, veličinu i položaj.

Na erozijskim površinama nije za očekivati veliki gubitak materijala u relativno kratkom vremenu, pa je period između dva vremenski dovoljno razmaknuta snimanja bitan za prihvatljivost metode tj. za određivanje podatka: postoje li mjerljive količine odnešenog materijala.

Preliminarno je, u okviru spomenutog istraživačkog projekta, koncem 1993. godine odabrano 5 potencijalnih lokacija, a konačno su u proljeće 1994. godine odabrane sljedeće lokacije istraživanja:

- padina kod Svetog Donata;
- padina kod Medveje (Sveti Petar);
- padina u blizini brane Botonega;
- padina u “Abramima” (erozijska pokusna površina I).

Tijekom 1994. god. i početkom 1995. god. obavljani su pripremni radovi za fotogrametrijsko snimanje odabranih padina. Prvo je snimanje obavljeno od 07. do 14. lipnja 1995. god. a drugo od 08. do 12. prosinca 1997. god.

2. Opis istraživačke metodologije

Na izabranim lokacijama [4] oblik okolnog terena određivao je može li se i odakle fotografski snimiti područje (erozijska površina) s barem dva položaja koji bi osigurali povoljni bazisni omjer (omjer međusobne udaljenosti snimališta i udaljenosti do objekta snimanja). Geometrijski zahtjevi koji se postavljaju pri projektiranju fotogrametrijskog snimanja su:

1. Mjerilo preslikavanja - proporcionalno je žarišnoj daljini kamere i obrnuto proporcionalno udaljenosti objekta od kamere.
2. Obuhvaćanje terena - ovisi o vidnom polju kamere (normalnokutne i širokokutne kamere).
3. Perspektiva je optimalna kada je os snimanja okomita na snimano područje.

Ad1) Mjerilo snimke povezuje elemente unutarne i vanjske orijentacije, tj. konstantu kamere (žarišnu daljinu objektiva) i udaljenost mjerene točke. Kod terestričkih snimaka mijenja se u širokim granicama i određuje točnost izmjere. Za zadanu točnost izraženu

srednjom pogreškom $\pm 0,005\text{m}$ mjerilo snimke moralo bi biti krupnije od 1:640, što je ostvareno na tri lokacije (na Donatu su najdalji detalji snimljeni u mjerilu 1:700). Bazisni odnos smo nastojali učiniti što većim (minimalno 1:2), pa je ploha u Abramima snimljena s 1:1,1 do 1:1,9, Medveja s 1:1,03 do 1:1,6 itd., što je kod stereoskopskog mjerenja stvaralo znatne poteškoće zbog velikih perspektivnih razlika na lijevom i desnom snimku.

Ad2) Za snimanje su korištena dva fototeodolita, normalnokutni Photoe 19/1318 i širokokutni UMK 10/1318. Oba su proizvodi tvrtke "Zeiss". Nosioc fotosloja je staklena ploča, što osigurava dobru izravnatost fotosloja i nedeformiranu sliku. Korištene su fotoploče ortokromatske senzibilizacije i niske osjetljivosti ("Topoplatte TO1" tvrtke "ORWO") formata 13x18cm.

Ad3) Dok su tri lokacije izrazito strme (Abrami, Donat, i Sv. Petar), lokacija kod brane akumulacije Botonega je blago nagnuta, pa su i perspektive različite. U svezi s perspektivom je i razvedenost površine koja dovodi do zaklanjanja (mrtvi kutevi) a time i do nemogućnosti mjerenja. Na Donatu i kod brane razvedenost je znatna, pa su zaklonjeni dijelovi domjereni pojedinačnim točkama metodom precizne tahimetrije. S obzirom na moguće položaje snimališta osi snimanja su horizontalne (Donat, kod brane) i blago nagnute (Abrami, Sv. Petar).

Fotografski zahtjevi odnose se na osvjetljenost objekta i sjene što je obično određeno položajem objekta prema stranama svijeta i položajem Sunca u vrijeme snimanja, tj. doba dana. Nastojalo se snimati pri oblačnom vremenu, kad je rasvjeta "mekana" u doba dana kad je Sunce iza kamere. Statičnost kamere (na stativima) omogućavala je duge ekspozicije, koje je zahtjevala niska osjetljivost fotoploča i maleni zasloni (blende).

2.1. Priprema terena za snimanje

Sama priprema terena za fotogrametrijsko snimanje tijekom 1994. i 1995. god.obuhvatila je:

1. Sječu i raščišćavanje vegetacije koja bi zaklanjala pogled na rovinu s izabраниh položaja za snimanje.
2. Uspostavljanje referentnog sustava orijentacijskih i drugih točaka, koji će se moći obnoviti prilikom svakog novog snimanja. Trajnu stabilizaciju orijentacijskih točaka na padini teško bi bilo izvesti zbog nepristupačnosti (strmine) terena, a vjerojatno bi poremetila i prirodnu stabilnost terena. S druge strane, stabilizacija snimališta u poljoprivrednom zemljištu zahtjevala bi dobivanje suglasnosti posjednika i plaćanje naknada, što bi sve zajedno znatno poskupilo projekt. Osim toga, za očekivati je napredovanje erozije, što bi za koju godinu vjerojatno uništilo točke. S obzirom da, prema informaciji dobivenoj od šumara, deblo raste samo u širinu, a ne i u visinu, odlučeno je da se referentne točke koje će povezivati snimanja postave na stabla uz rubove rovina. Točke su označene na deblima vijkom koji istovremeno nosi fotogrametrijsku značku, koja se postavlja neposredno prije snimanja. Zamišljeno je snimališta pojedinih serija i pomoćne točke odrediti presjekom u natrag, tj. mjerenjem kutova samo na točkama koje se određuju (unutarnje vizure) prema orijentacijskim točkama na deblima. Pomak orijentacijske točke na deblu uslijed njegovog rasta kontrolira se mjerenjem opsega debla i uzima u obzir u računanju nove serije.

Prvo snimanje (nulta serija) pratila su precizna geodetska mjerenja kuteva i dužina za određivanje lokalnog referentnog sustava za svaku lokaciju. Za mjerenje je korišten elektronički teodolit T1600 i elektrooptički daljinomjer DIOR3002 tvrtke "Leica".

Višestruka mjerenja su izjednačena po metodi najmanjih kvadrata, a presjekom naprijed su određene prostorne koordinate orijentacijskih/referentnih točaka u lokalnom koordinatnom sustavu za svaku lokaciju.

Projekt praćenja erozije planira se na duže razdoblje, pa je za očekivati da će erozija u svojem napredovanju ugroziti debla koja nose referentni sustav. U tom slučaju je predviđeno postavljanje novih orijentacijskih točaka u blizini ugroženih, i njihovo uključivanje transformacijom u referentni sustav. Sustav je zamišljen da može trajati vječno.

2.2. Analitička stereorestitucija

Prikupljanje podataka za digitalni model terena (DTM) izvršeno je analitičkim stereoinstrumentom, metodom stereorestitucije. Ta metoda omogućuje mjerenje slikovnih koordinata snimka sa mikrometarskom točnošću.

Mjereni podaci su prikupljeni iz dva snimanja, i to 95. i 97. godine, a logički su razdijeljeni na slijedeće logičke nivoe:

- točke pravilne mreže;
- strukturne linije terena;
- granica područja opažanja.

2.3. Projektiranje i interpolacija DTM

Točke pravilne mreže opisuju opažanu izloženu površinu diskretnim brojem točaka, te zakonitostima interpolacije među njima. Na taj način je moguće izraditi matematički model opažane površine, tzv digitalni model terena. Prema strukturi postoje dvije osnovne vrste digitalnih modela terena:

- mreža pravilnog rastera (elementi mreže su oblika kvadrata);
- mreža nepravilnih trokutova TIN.

Mreža pravilnog rastera se koristi tamo gdje trebamo imati snažnu kontrolu nad rezultatima interpolacije površine terena, te u visinskom smislu za manje razvedene terene. Za razvedene terene koristi se mreža nepravilnih trokutova. Osnovno svojstvo takovih DTM-a je zapravo vrlo jednostavna i brza metoda linearne interpolacije među mjerenim točkama. Sve mjerene točke ulaze u DTM sa svojim mjerenim visinama (nema filtriranja), a topologija mreže nepravilnih trokutova se uspostavlja po načelima Delaunay triangulacije DT, uz strukturne i granične linije kao uvjete stranica u DT.

Zbog svrhe DTM-a (analitički obračun kubatura), krupnog mjerila snimanja i visinski razvedenog karaktera terena bolje je koristiti DTM mreže nepravilnih trokutova. Time smo sigurni da u obračunu kubatura baratamo sa originalnim mjerenim podacima, i da će svi mjerene visinski detalji biti sadržani i u DTM.

Upravo stoga je moguće jednostavnim analitičkim relacijama između digitalnih modela, dobivenih na osnovu dva vremenski dovoljno razmaknuta snimanja, odrediti količinu odnešenog (ili donešenog) materijala, te poziciju na kojoj je promjena nastala. Radi se o tome da se računalom izračuna analitički presjek dvaju DTM-a koji kalendarski pripadaju dvijema vremenskim točkama, dakle:

$$h_{97-95} = h_{97} - h_{95} \quad (1)$$

Rezultat analitičkog presijecanja dvaju DTM-a opet daje DTM iste strukture kao i ulazni podaci, samo se na pojedinim čvorovima nalaze razlike visina dviju epoha. Zatim se

vrši razdioba cjelokupne površine ovog modela razlika u dvije klase, i to na:

- donos materijala $h_{97-95} > 0$ (nasuto)
- odnos materijala $h_{97-95} < 0$ (erodirano)

2.4. Obračun kubatura

Volumen se računa odvojeno za nasuto i za erodirano područje unutar granice praćenja, i to kao suma volumena elementarnih prizmi tlocrtne površine B_i te visine h_{97-95} , prema formuli:

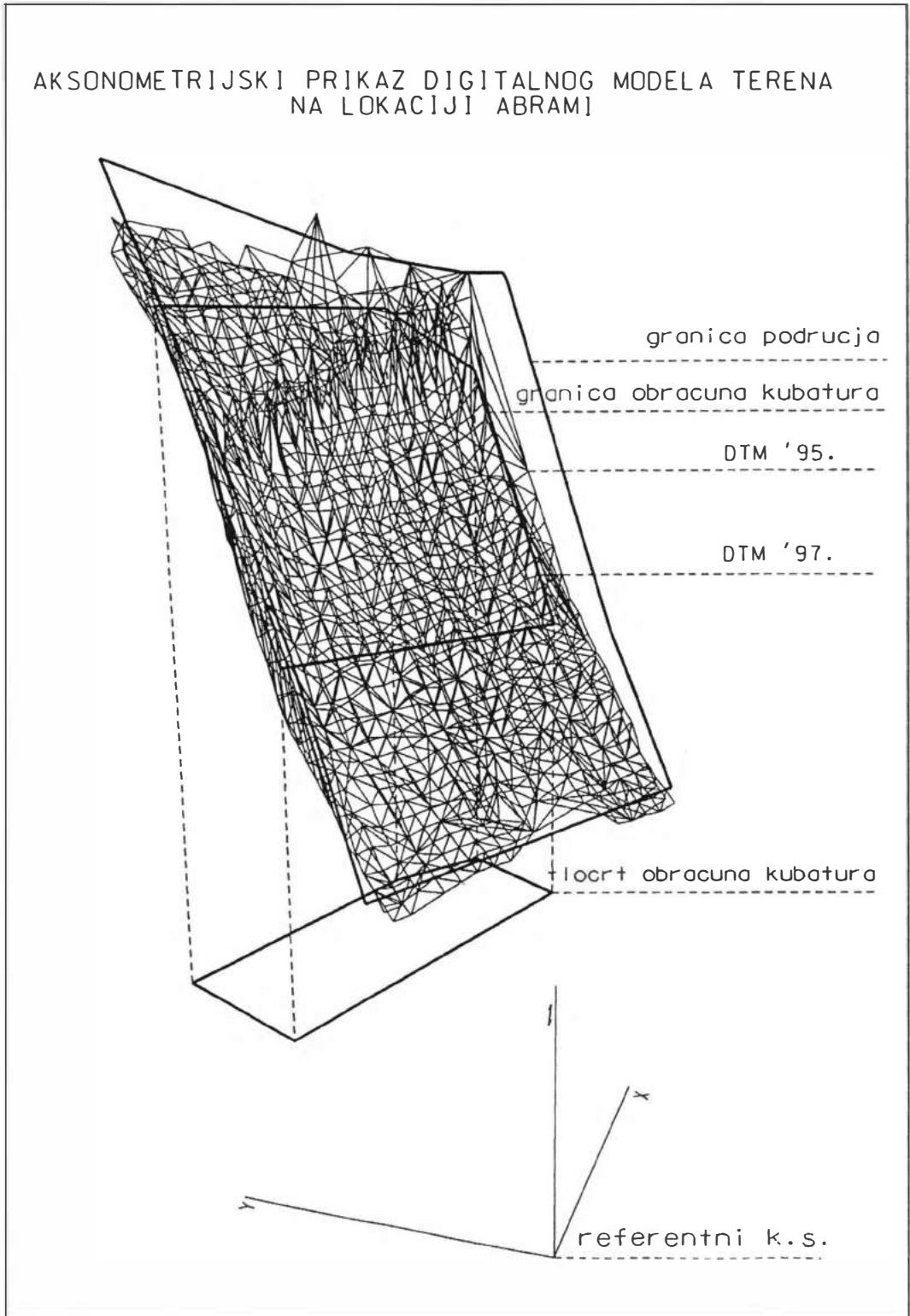
$$V = \sum_{i=1}^{i=n} B_i \times h_{97-95} \quad (2)$$

Izmjera točaka pravilne mreže diljem područja opažanja izvršena je programom SDDTM firme AvioSoft na analitičkom sustavu Leica BC3. Čitavo područje modela se svladava meandarskim softverskim navođenjem na zadane x i y koordinate, pri čemu je potrebno mjeriti samo z koordinate na modelu. Time se postupak znatno ubrzava, odnosno moguće je prikupiti vrlo velike količine točaka. S druge strane osigurano je egzaktno navođenje na identične x i y koordinate u svim epohama (vremenskim točkama) praćenja erozije, tako da se informacija o odnosu materijala može iskazati i pomoću profila.

Procjena gustoće mjerenih točaka za opisivanje promatrane plohe, izvršena je mjerenjem karakterističnih profila u x i y smjeru.



Slika 1. Istraživačka ploha u Abramima



Slika 2. Aksonometrijski prikaz parcele I lokacije "Abrami"

Radi uzimanja u obzir detalja koji bitno utječu na volumen, a ne mogu se dovoljno precizno obuhvatiti pravilnom mrežom točaka, opažane su i tzv. strukturne linije terena.

Površina praćenja erozije omeđena je mjerenom granicom. Granica praćenja i strukturne linije su mjerene također analitičkom restitucijom pomoću programa SDMAPCE firme AvioSoft.

Delaunay triangulacija i analitički obračun kubatura izvršili smo modulom MicroStation SiteWorks firme Intergraph.

3. Preliminarni rezultati istraživanja

Do sada su od snimljenih stereo - parova opisanom metodologijom obrade izvršene samo za istraživačku lokaciju u Abramima. Erozijska pokusna površina (tkz. erozijska ploha I) reprezentira potpuno ogoljelu matičnu podlogu fliša (Sl.1.). Aksonometrijski prikaz digitalnog modela terena za tu plohu prikazan je na Sl.2. Treba reći da su na toj plohi, u okviru istraživačkog projekta koji je provodio Šumarski fakultet iz Beograda, vršena istraživanja erozije na tradicionalni način u razdoblju od '71 do '77. god.

U tim istraživanjima ploha je figurirala kao isječak vododerine, tj. vodom erodirane matične stijene sastavljene od približno horizontalnih slojeva lapora i pješčenjaka, tadašnje reducirane tlocrtne površine $F=15,08 \text{ m}^2$ i nagiba 185% ($>60^\circ$). Vegetacija i pedološki sloj potpuno su odnijeti, a otkrivena matična podloga izložena je djelovanju termohidrodinamičkih egzogenih agenasa, te se ona stalno raspada i troši. Tako da je nakon 20 godina, taj proces doveo do zamjetnih promjena u samoj geometriji parcele. Parcela je postala strmija u gornjoj polovici, a blaže nagnuta u donjoj polovici zbog odlaganja nanosa koji se pokreće sa gornje polovice.

Sadašnjim fotogrametrijskim istraživanjima obuhvaćeno je $8,9 \text{ m}^2$ strme padine u gornjoj polovici plohe, što se reducira na $3,7 \text{ m}^2$ tlocrtne površine.

Rezultati obračuna kubatura za period 1995. - 1997. god. pokazuju da je sa istraživačke plohe u 30 mjeseci izerodorano (odnešeno) $0,445 \text{ m}^3$ materijala. Iskazano je po jedinici izložene površine i za jedinični vremenski interval iznosi $20000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$, ili ako se iskaže po reduciranoj tlocrtnoj površini onda to iznosi $48108,1 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$.

Zanimljivo je ovaj rezultat usporediti sa pokazateljima iz perioda 1971. do 1977., kada je tradicionalnom metodom istraživanja dobivena prosječna produkcija erozijskog nanosa od $5380 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$. Prilikom usporedbe ovih pokazatelja treba imati na umu da su mjerenja u periodu od '71-'77 obuhvatila samo eroziju vodom, a ne i osulinsku eroziju koja se događa na ovoj oglednoj parceli.

4. Zaključak

S obzirom na dobiveni rezultat na istraživačkoj lokaciji Abrami, može se zaključiti da metoda terestričke fotogrametrije daje signifikantne rezultate s primjenjenim vremenskim intervalom snimanja od 2,5 godine. Visoke zahtjeve točnosti istraživanja erozije moguće je ispuniti primjenom specijalne fotogrametrijske opreme i visokom stručnošću kadra koji tu opremu poslužuje. Nakon projekta snimanja nultog stanja koji iziskuje nešto veće troškove, daljnje praćenje procesa erozije je daleko jednostavnije, brže, pa i ekonomičnije od tradicionalnih metoda istraživanja.

Literatura

1. BC3 Users Guide.
2. Kraus, K. (1996): Photogrammetrie Band 2. Ferd. Dummlers Verlag, Bonn.
3. Kraus, K. (1998): Photogrammetrie Band 3. Manuskript, TU Wien.
4. SiteWorks Reference Guide (1995). Huntsville Alabama.
5. Tempfli, K. (1982): Genauigkeitsschätzung digitaler Höhenmodelle mittels Spektralanalyse. Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 22, TU Wien.
6. Prikaz istraživačke i demonstracijske plohe "Abrami" u Istri I, Prijedlog obnove istraživanja, Zagreb 1995. god.
7. Fotogrametrijsko praćenje erozije u Istri I, Obračun volumena odnešenog materijala na lokaciji "Abrami", Zavod za fotogrametriju, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
8. Znanstveno - istraživački projekt: "Protuerocijska zaštita tla i voda u Istri, u sklopu šire ekološke problematike zaštite Jadrana", Izvješće za period 1993. - 1995. god.

Autori:

Prof. dr. sc. Josip Petraš, dipl. inž. građ., Građevinski fakultet, Zagreb, Kačićeva 26

Asist. Duška Kunštek, dipl. inž. građ., Hrvatske vode, Zagreb, Ulica grada Vukovara 220

Asist. Dubravko Gajski, dipl. inž. geod., Geodetski fakultet, Zagreb, Kačićeva 26



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 5.03.

Klizišta lesnih strmih odsjeka uz Dunav i na otoku Susku

Andrija Bognar

SAŽETAK: Specifične vrste morfoloških oblika predstavljaju visoki strmi lesni odsjeci (30-60 m) u dužini od oko 140 km uz desnu obalu rijeke Dunava u Hrvatskoj čija nestabilnost bitno utječe na razvoj priobalnih naselja i sigurnost prometnica. Sličnih visina su lesni strmi odsjeci na otoku Susku u duljini od 11,5 km. U sastavu lesnih odsjeka uz pleistocenske naslage lesa i lesu sličnih sedimenata, debelih do 60 m, sudjeluju i eolski pijesci, crvene gline i neogeni sedimenti marinskog i limičkog porijekla, vulkanske stijene, te mezozojske naslage. Duž podnožja lesnih odsjeka javljaju se recentne taložine Dunava i padinske naslage, najčešće klizno-urušnog porijekla, a na Susku okršena vapnenačka osnova. Odlučujuću ulogu u nastanku lesnih odsjeka ima fluvijalno modeliranje, zatim derazijski i korozijsko-sufozijski procesi te marinska obrazija. Od velikog značenja za oblikovanje i stabilnost lesnih odsjeka imaju i antropogene aktivnosti. Izdvojiti se mogu tri osnovna tipa lesnih strmih odsjeka: 1. Vodama Dunava i morskim valovima direktno erodirani lesni strmi odsjeci, 2. Lesni strmi odsjeci s podnožjem od klizno-urušnog materijala odnosno abradirani, 3. Lesni strmi odsjeci branjeni podnožjem od klizno-urušnog materijala i naplavnim ravni.

KLJUČNE RIJEČI: les, strmi odsjeci, erozija, abrazija, sufozija, korozija

Slidings of the loess bluffs along the Danube river and on the island of Susak

SUMMARY: The main characteristics of the loess bluffs on the island of Susak and along the Danube river in Hungary, Croatia and Yugoslavia are discussed in the paper. A special attention is paid to hydrogeologic factors leading to specific engineering-geomorphologic characteristics of the loess bluffs, dominant morphologic processes related to stability of the loess bluffs, the micro-forms developed at the loess bluffs, and differentiation of the Danube river sections in the investigated area in terms of the loess bluffs suitability for performance of the civil engineering activities.

KEYWORDS: loess bluff, collapsing-sliding detritus, suffosion, corrosion, loess plateau, delapsium, civil-engineering activities

Hidrogeološki faktori i njihov utjecaj na inženjersko-geomorfološke osobine strmih lesnih odsjeka

Istraživanja u priobalnom području Dunava i otoka Suska ukazuje da hidrogeološke prilike bitno utječu na mobilnost lesnih strmih odsjeka. Upravo stoga, velika pažnja poklonjena je i utvrđivanju osobina režima podzemnih voda i tipovima izvora i njihovog utjecaja na inženjersko-geomorfološke osobine i razvoj lesnih odsjeka.

a) Podzemne vode

U okviru Podunavlja mogu se izdvojiti 4 važna vodonosna horizonta. To su kompleks lesnih i lesu sličnih naslaga, naslage njihove podine, naslage akumulirane urušno-kliznim procesima (delapsium) i riječne naplavine. U sva 4 slučaja podzemna voda pokazuje tendenciju strujanja prema lokalnim erozijskim bazama, a to su najčešće Dunav i njegovi neposredni desni pritoci.

Unutar lesnih i lesu sličnih naslaga podzemna voda se, ovisno o lokalnim obilježjima terena, nalazi na različitim dubinama. U pravilu u blizini samog odsjeka nivo podzemne vode se naglo spušta, da bi se na njegovu podnožju pojavila u obliku izvora. Nivo podzemne vode bitno je utjecan vrijednostima evapotranspiracije na lesnom odsjeku, čiji je intenzitet ovisan i o gustoći vegetacijskog pokriva. Utjecanje podzemne vode prvenstveno je vezano za pješćane i pjeskovite slojeve unutar profila lesnog odsjeka, pošto 2-3 puta nadmašuju vodopropusnošću same lesne i lesu slične sedimente. Utvrđeno je i više vodonosnih slojeva unutar pleistocenskih i pliocenskih naslaga u podini lesnih strmih odsjeka.

Vodostaji Dunava znatno utječu na nivo podzemne vode, posebno za visokih voda, koje na Dunavu mogu doseći vrijednosti od 9 m. Ukoliko se Dunav usjekao u vodonosne slojeve, pa se podzemna voda na obali rijeke pojavljuje u obliku izvora, zapaženo je smanjivanje slojnog tlaka u pravcu izvora i pojava depresivne površine. U skladu s time stabilnost lesnih strmih odsjeka ovisi o tlaku i položaju podzemne vode u okviru vodonosnih slojeva plio-pleistocenskog sklopa naslaga u podini lesnih i lesu sličnih sedimenata. Visoki vodostaji rijeka utječu na prirodno otjecanje podzemnih voda, pošto veoma često poplave izvore i time povise piezometrički nivo podzemnih voda.

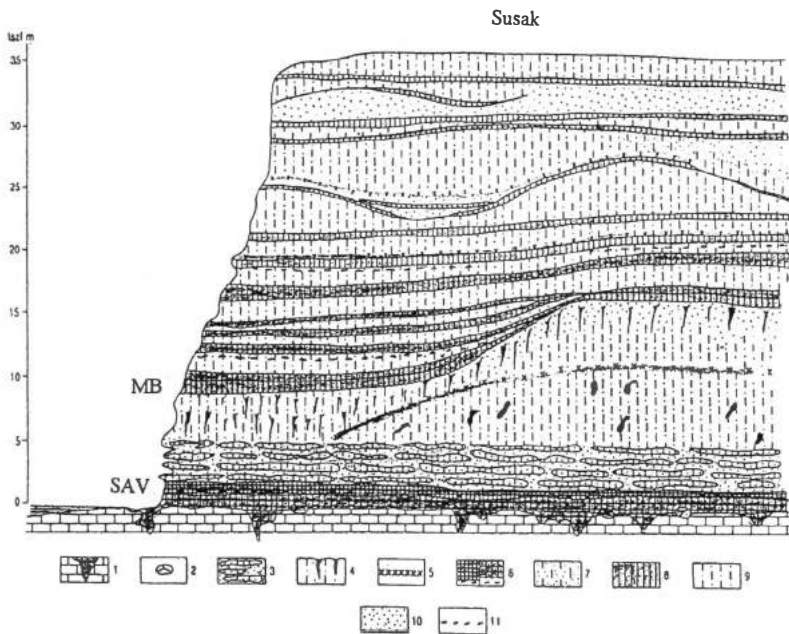
Podinu lesnih i lesu sličnih naslaga u Baranji dijelom čine vulkanske stijene (bazalt-andezit, bazaltni tufovi i breče) miocenske starosti. Na ostalim sektorima Dunava podina lesa uglavnom je predstavljena pjeskovitim, laporovitim i glinovitim slojevima gornjopliocenske starosti ili pješćanim i šljunčanim slojevima donjeg i srednjeg pleistocena. Na Banskom brdu podzemna voda otječe prema Dunava i rijeci Karašici, na Erdutskom brijegu prema sjeveru u Dunav i jugu, prema terasi Drave. Na potezu od Vukovara pa nizvodno strujanje podzemnih voda uglavnom je usmjereno prema Dunavu. Bansko brdo obzirom na svoje geomorfološke osobitosti, definirane prvenstveno povišenim (za nekoliko desetina metara) i "otočnim" položajem u odnosu na okolne naplavne ravni, svoje podzemne vode hrani isključivo padalinskom vodom, što istovremeno znači da ne postoji mogućnost bilo kakvog lateralnog vodnog prihranjivanja. Navedeno, međutim, ne isključuje posredni utjecaj rijeka na kolebanje nivoa njihovih podzemnih voda.

Pliocenski i pleistocenski sklop naslaga u podlozi lesa sadrži po nekoliko vodonosnih horizonata. Na Banskom brdu od Batine pa do doline Grovišta utvrđen je samo jedan, i to na kontaktu bazalt-andezita i lesnih naslaga. To su uglavnom sitnozrni pijesci pleistocenske starosti, koji se pojavljuju u obliku sloja debljine od 2-4 m. Ukoliko nedostaju, podzemna voda struji unutar lesnih naslaga neposredno iznad dijelova rastrošne površine bazalt-andezita i bazaltnog tufa. Kod Erdutskog brijega, Šarengrada i Iloka Dunav je zasjekao srednje i starije pleistocenske te gornjo pliocenske naslage koje su predstavljene slojevima sitnozrnog sivog, žućkastog i crvenkastog pijeska, koji se pojavljuje često u gustoj izmjeni s tanjim siltno-pelitnim proslojcima. Kod Iloka

utvrđena su dva sklopa vodonosnih naslaga ispod 20-25 m visokog lesnog odsjeka, s tim da se u slučaju Iloka od doline Lovke pa do Turske Skele jedan nalzi nešto povišeno (do 10 m) iznad korita Dunava, a drugi u podnožju lesnog odsjeka. Veoma vjerojatno da se dubinom izmjenjuje više takvih vodonosnih i impermeabilnih slojeva, međutim, u nedostatku podesne bušotine to se za sada nije moglo točno utvrditi. Ukoliko je podzemna voda vezana za same lesne naslage, tada one u pravilu struje iznad zaglinjenih zona, koje su česte, naročito u dubljim partijama lesnih naslaga. Takvi hidrogeološki odnosi zamijećeni su i na kontaktu Banskog brda i Južne baranjske lesne zaravni, Erdutskog brijega i Vukovarske lesne zaravni s koritom odnosno polojem Dunava.

Vodonosne osobine imaju i riječne naplavine Dunava i potočne plavine koje se redovito pojavljuju na njihovom sutoku s Dunavom ili pak na završetku njihovih dolina prema naplavnoj ravni Dunava. To je često veoma heterogen sklop naslaga, karakteriziran izmjenom šljunka, pijeska i sitno-glinovitih slojeva i proslojaka.

Padalinske vode na Susku zbog vertikalne orijentiranosti pukotina u lesu ocjeđuju se do pješčanih naslaga u podlozi ili do impermeabilne crvene gline u podlozi. Ipak najveći dio padalinske vode nestaje u vapnenačkom stjenskom kompleksu u podlozi lesa i pijeska. Veoma često to su tektonski predisponirane pukotine, duž kojih podzemna voda struji prema moru.



Slika 1. Geološki profil otoka Suska 1. vapnenci s crvenom glinom, 2. Dreikanteri, 3. Pješčani slojevi s proslojcima pješčenjaka, 4. Fini pijesak s konkrecijama 5. Proslojci tefre, 6. Crvenkaste gline s proslojcima Ca CO_3 7. Finopjeskoviti les s finim pijeskom, 8. Reliktni pedološki horizonti, 9. Pjeskoviti les, 10. Eolski pijesak, 11. Proslojci dvenog ugljena

b) Izvori

Kako su se rijeka Dunav i desni manji pritoci na mnogim dijelovima svog toka usjekli u vodonosne slojeve, to je razumljivo da je zapažen niz izvora putem kojih podzemna voda izbija na površinu i otječe u obliku manjih curaca i tokova prema svojim erozijskim bazisima, a to su gotovo uvijek navedeni vodotoci. Kapacitet tih izvora je, ovisno od hidroloških osobina terena, veoma različit i kreće se najčešće u rasponu od 0,5-30 l/sek. To su, prema tome, uglavnom izvori relativno malog vodnog kapaciteta.

Na temelju terenskih opažanja utvrđena su dva osnovna tipa izvora:

1. Izvori na kontaktu strmih lesnih odsjeka i korita i naplavne ravni Dunava ulaze u kategoriju tzv. jednostavnih ili gravitacijskih izvora. To su istovremeno i vrlo promjenljivi ili čak periodični izvori, koji u sušnijim dijelovima godine ponekad presušuju. Redovito se izvori tu pojavljuju na mjestima gdje je vodotok zasjekao impermeabilne slojeve.
2. Izvori u kojima se podzemna voda pojavljuje pod tlakom. Redovito se vežu za dijelove strmih lesnih odsjeka s delapsiumom. Urušeni ili klizni materijal uvjetuje da se podzemna voda izdiže do kontakta lesnog odsjeka s njegovom površinom. Izvori obilno kvase delapsium, pa se on poput blatne mase pokreće prema koritu vodotoka. Zapaženi su kod Iloka na potezu između doline Lovke i Turske Skele i to na mjestu gdje lesni strmi odsjek kontaktira s riječnim naplavinama. Izvori pod tlakom toga tipa gotovo uvijek se javljaju po 10-tak i više metar iznad samog korita Dunava.

Druga vrsta izvora putem kojih podzemna voda izbija pod tlakom zapažena je na nekoliko mjesta u koritu samog Dunava. Podzemna voda se prirodno drenira iz vodonosnih slojeva gornjegliocenske starosti, koje je Dunav erozijski mjestimično zasjekao. Za visokih voda Dunava ti su izvori potopljeni, što izaziva povišenje nivoa i povećanje hidrostatskog tlaka podzemne vode unutar vodonosnih slojeva gornjegliocenske starosti, koje je Dunav erozijski podsjekao dok za niskih vodostaja podzemna voda izbija kao izvor unutar dijela korita rijeke s kojeg su se povukle poplavne vode.

Tamo gdje je ostvaren kontakt lesnog strmog odsjeka s naplavnom ravni, koji u svom sastavu imaju vodopropusne slojeve (pijesci, ilovasti pijesci) izvori nedostaju. Podzemna voda tu direktno otječe tim slojevima prema koritu vodotoka. Što se tiče stabilnosti lesnih strmih odsjeka, značenje navedenih vrsta i tipova izvora je dvojako:

- a. Podzemne vode koje izviru uz sam kontakt lesnog odsjeka i korita vodotoka neposredno ovlažuju najkritičniji dio odsjeka i njegovog podnožja, pa je on stoga, gotovo u stalnom pokretu. To je razumljivo obzirom da se vrši stalni odnos materijala lesnog odsjeka, što može uvjetovati lokalna urušavanja.
- b. U slučaju upora podzemnih voda uslijed podizanja vodostaja Dunava koja time potapa izvore, povećava se njihov povratni hidrostatski tlak, a paralelno s tim i prirodna napetost unutar vodonosnog horizonta. Ukoliko uslijedi naglo opadanje vodostaja opada i tlak podzemnih voda, što uvjetuje formiranje depresijske površine, čime se najčešće smanjuje stabilnost lesnih naslaga iznad vodonosnog sloja, a što u krajnjoj liniji može izazvati klizno-urušne pokrete katastrofalnih razmjera.

Dominantni geomorfološki procesi i njihov utjecaj na stabilnost lesnih odsjeka

Na recentni morfološki razvoj strmih lesnih odsjeka na istraživanom sektoru rijeke Dunava odlučujući utjecaj imaju fluvijalna erozija i akumulacija, derazijski i korozijsko-sufozijski procesi.

Prirodni morfološki procesi imaju najveće značenje u razvoju reljefnih osobina lesnih odsjeka.

- a) Fluvijalno modeliranje ima odlučujući i istovremeno višestruki utjecaj na nastanak i na stabilnost, odnosno mobilnost strmih lesnih odsjeka. Zapaženo je da su urušno-klizni procesi katastrofalnih razmjera, koji su zahvatili i po nekoliko stotina metara strmih obala Dunava, najčešći tamo gdje rijeka direktno erodira lesne odsjeke. Odlučujuću važnost pri tome ima lateralna erozija, pošto je njenim izrazitim potsjecanjem veoma jak gubitak materijala u podnožju odsjeka. Naprotiv, na mjestima gdje je izražena akumulacija pa se u podnožju odsjeka formirala naplavna ravan, efekt riječnog modeliranja ima pozitivni odraz na stabilnost istih.
- b) *Prema tome, erozijska djelatnost rijeke Dunava stimulira mobilnost lesnih odsjeka destruktivnog karaktera, a njihova akumulacijska aktivnost ih sprječava.*
- c) Urušno-klizni pokreti, spiranje, osipanje i jaruženje ulaze u kategoriju tzv. *derazijskih procesa.*

Spiranje lesnih odsjeka i padinskih strana dolina desnih pritoka Dunava ima arealni karakter, i naročito je izražena za topljenja snijega u rano proljeće, te za kiša pljuskovitog karaktera u rano ljeto, kada panonski prostor ima primarni maksimum padina. Naglašeno destruktivno djelovanje spiranje ima na padinama s nagibima većim od 5° uvjetujući snažnu eroziju tla i matične stijene, koja je u ovom slučaju isključivo predstavljena lesom i lesu sličnim sedimentima. Karakterističan je razvoj vododerina i jaruga. U daljoj fazi njihovog razvoja bočnom erozijom bujica, jaruga se širi urušavanjem i osipanjem njenih strmih strana i konačno prelazi u tipične suhe ili tzv. derazijske doline ovalnog ili koritastog oblika. Razvoj jaruga može biti uvjetovan i kombinacijom bujičastih i korozivno-sufozivskih procesa, posebno kao vid dalje geneze lesnih provalija, po svom nastanku vezanih za lesne strme odsjeka. Pojava jaruga i derazijskih dolina povećava površine strmih padina i uvjetuje, zbog horizontalnog filtriranja bujičastih voda u lesne naslage (koje su i inače karakterizirane smanjenim kapacitetima bočne filtracije), lokalna ispuščenja podzemne vode, što pogoduje razvoju klizno-urušnih pokreta.

Klizno – urušni pokreti strmih lesnih odsjeka uz Dunav i obalnom dijelu Suska su svakako najizrazitiji destruktivni derazijski procesi, čija aktivnost nanosi najteže posljedice naseljima, komunalnim, vodoopskbnim i vodozaštitnim objektima i prometnicama izrađenim u neposrednom priobalju rijeka. Uz bočnu eroziju rijeke imaju odlučujuće značenje u morfogenezi i razvoju odgovarajućih tipova lesnih strmih odsjeka. Prema svojim osobinama svi ti pokreti pripadaju tipu *stepeničastih klizišta.*

Osnovna im je osobina da se lesne naslage, u skladu sa svojim fizičkim karakteristikama, gubitkom prirodne stabilnosti, stepeničasto urušavaju uz vertikalni zid fronte klizišta. Istovremeno, razvojem horizontalnih kliznih pokreta iznad gotovo vodoravne klizne plohe, istisnuti materijal na prednjoj strani formira lokalno ispuščenje, tzv. jezik klizišta, unutar kojeg se zbog kompresivskih pritisaka uočava boranje kliznog materijala.

Negativni utjecaji erozije u slučaju direktnog podsjecanja strmih lesnih odsjeka posebno su opasni u slučajevima kombinacije s nepovoljnim hidrogeološkim osobinama lesnog odsjeka. Misli se tu na pojavu izvora na obalama u podnožju lesnih odsjeka, čija je aktivnost u direktnoj zavisnosti s vodostajima rijeke. Naime, kao što je već to prije naglašeno, velike i nagle promjene izmjene amplituda vodostaja rijeke, koja za visokih voda potapa izvore i uvjetuje upor podzemnih voda i povećanje njihovog hidrostatskog i prirodnog tlaka u okviru vodonosnih horizonata (koji su u pravilu u podini lesnih naslaga), za njihovog naglog snižavanja povećavaju brzinu otjecanja podzemne vode

prema rijeci. To uvjetuje formiranje depresijske površine i sufozijskim procesima gubitak materijala u vodonosnom sloju, što nužno rezultira poremećajem stabilnosti lesnih naslaga iznad vodonosnog sloja. Takvi hidrogeološki odnosi u kombinaciji s lateralnim podsjećanjem rijeke uvjetovanim gubitkom materijala u podnožju lesnog odsjeka najčešći su uzrok katastrofalnih urušavanja i kliznih pokreta stepeničastog tipa na lesnim strmim odsjecima. Primjer toga je katastrofa kod Dunaujvarosa 1964. godine, kada se 20-25 m dijela lesnog odsjeka visine od oko 50-60 m urušio na dužini od oko 1,3 km (Pecsi M. 1971.). Pokrenuta masa lesnog materijala od oko 10.000.000 m³ kliznula je u Dunav, izazvala polavni val koji je pogodio suprotnu, nižu obalu Dunava. U početnoj fazi urušno-kliznog pokreta formiraju se nestabilne pukotine pod kutom od oko 80° usporedno s lesnim odsjekom, duž kojih započinje postepeno slijeganje lesnih naslaga, koje je, kao što je to uvodno razloženo, u toj fazi bitno uvjetovano stupnjem koeficijentata slijeganja karakterističnim za tipske lesne naslage, i to posebno ako je isti veći od 0,02. Slijedi već opisani mehanizam urušno-kliznog pokreta, koji može biti katastrofalnog razmjera.

Korozijsko – sufozijski procesi imaju također značajnog udjela u morfološkom oblikovanju lesnih odsjeka. Misli se tu na aktivnost podzemne i padalinske vode, koje otapaju karbonatnu ovojnicu oko kvarcnih zrna i ispiranje čestica manjih od 100 mikrona podzemnom vodom. Ovisno o udjelu Ca CO₃, oglinjenosti, tektonskoj predispoziciji i stupnju propusnosti podloge lesnih naslaga, te kretanju vode na lesnim zaravnima, koje prema Dunavu i moru završavaju strmim odsjecima visine i do 60 m, razvili su se tzv. pseudokrški (korozijsko-sufozijski) i heterogeni pseudokrško-derazijski reljefni oblici. Česti pseudokrški oblici su lesne ponikve i lesne doline. Daleko veću važnost imaju pseudokrško-derazijski oblici kao što su to lesne provalije, lesni bunari, lesni surduci i lesne piramide, pošto su po svom mjestu nastanka vezani redovito upravo za lesne strme odsjeke, i na njima predstavljaju veoma specifične mikromorfološke oblike. Od posebnog su interesa lesne provalije, lesni bunari i lesni surduci, jer svojom genezom bitno narušavaju stabilnost lesnih odsjeka.

Svi do sada analizirani morfološki procesi ukoliko su intenzificirani i oživjeli aktivnošću čovjeka i društva ulaze u kategoriju *prirodno - antropogenih procesa*. Odnosi se to prvenstveno na pojačano spiranje na poljodjelskim površinama uz lesne odsjeke, jaruženje, kao rezultat neadekvatne izgrađene i održavane kanalizacijske mreže, i na razvoj klizno-urušnih pokreta podsjećanjem padina pri izgradnji prometnica, stambenih i gospodarskih objekata. Destruksijski utjecaj naročito im je izražen pri izgradnji nadzemne kanalizacijske mreže ukoliko nije osigurana odgovarajućom građevnom oblogom, što zbog poznate tendencije vertikalnog cijepanja lesnih naslaga stimulira razvoj procesa jaruženja, a time i formiranje pogodnosti za pojavu lokalnih klizno-urušnih pokreta na lesnim odsjecima ili na padinama Dunavu gravitirajućih manjih dolina. Primjer toga je urušavanje lesnog strmca u dvorištu privatne zgrade u radićevoj ulici u Iloku tokom rujna 1978. g. (Bognar A, Blazek I, 1978.). Mora se, međutim naglasiti da je takvih primjera bezbroj i na ostalim lokalitetima duže našeg i mađarskog dijela priobalja rijeke Dunav (Karacsóny S, Scheuer Gy, 1972.).

Gušćom izgradnjom te širenjem naselja na lesnim zaravnima i u neposrednom priobalju Dunava *antropogeni procesi* postaju sve važniji faktor u morfološkom oblikovanju lesnih strmih odsjeka. Reljefnih oblika čisto antropogenog porijekla, koji posredno ili neposredno utječu na stabilnost lesnih strmaca, sve je više. Unutar pojedinih naselja imaju "tehnogen", a van njih "agrogen" karakter. Dok su prvi rezultati inženjersko-građevinskih zahvata, "agrogeni" reljefni oblici po svom nastanku vežu se za ratarsko-

stočarske aktivnosti poljodjelskog stanovništva.

Ekavacijski morfološki oblici su najrašireniji. Predstavljani su površinskom i podzemnom mrežom odvodnih kanala, gliništima, jamačama za vađenje pijeska, u naplavnim ravnima uz lesne odsjeka, i usjecima za cestovne i željezničke prometnice. Kanalizacijska mreža najčešće je samo djelomično zaštićena umjetnom oblogom, što kao što je već naglašeno, stimulira jaruženja i razvoj klizno-urušnih pokreta. Naglašeno negativne utjecaje imaju podzemni kanali kada zbog raznovrsnih oštećenja propuštaju otpadne vode. Na takvim mjestima vrši se gubljenje vode u lateralnom smislu, pa se formiraju lokalna ispuščenja podzemne vode, a pojačano je i sufozijskim procesima gubljenje materijala čime nastaju podzemne šupljine, koje se stalno proširuju. Kako su nivoi podzemnih voda utjecani vodostajima rijeke Dunav i u navedenim slučajevima, zbog stvaranja depresijskih površina, narušava se stabilnost lesnog odsjeka.

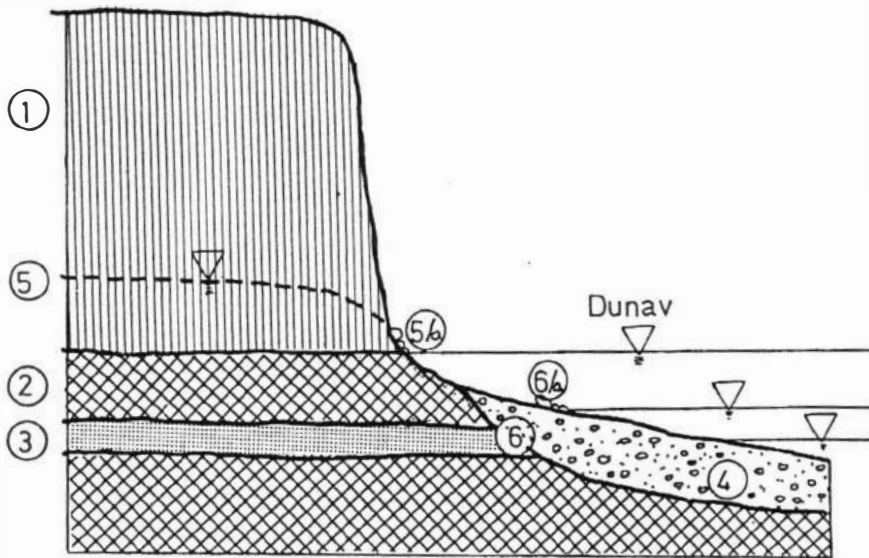
Umjetnim nasipavanjem nastale reljefne forme su također brojne u naseljima uz lesne odsjeka. To su uglavnom nasipi nastali kao rezultat izgradnje putova, stambenih i privrednih objekata. U tu kategoriju reljefnih oblika mogu se uključiti antropogenim putem zatrpani riječni rukavci i meandri u blizini pojedinih naselja kako bi se spriječila bočna erozija lesnih strmaca (Ilok).

Značajan utjecaj na stabilnost lesnih odsjeka imaju i građevinskim objektima zahvaćene površine u priobalnom dijelu naselja uz Dunav. Misli se tu prvenstveno na stambene i industrijske objekte, ali i na pločnike i asfaltirane ceste, koji gotovo u potpunosti pokrivaju prirodnu površinu terena. To ima bitnog odraza na modifikaciju prirodnih morfoloških procesa, hidrogeoloških i geomehaničkih osobina lesnih i lesu sličnih naslaga u njihovoj podini, i to u pozitivnom i negativnom smislu. Treba izbjegavati izgradnju visokih građevinskih objekata u neposrednoj blizini ruba lesnog odsjeka, jer prekomjerno opterećenje lesnih naslaga u uvjetima njihovog jakog vertikalnog ovlaživanja podzemnim i ocjednim padalinskim vodama može izazvati ulijeganje terena i urušavanje lesnih odsjeka. Posebno je to karakteristično za dijelove naselja gdje su asfaltiranjem relativno velikih površina i neadekvatnom odvodnjom otpadnih voda poremećeni prirodni otjecajni odnosi padalinskih i podzemnih voda.

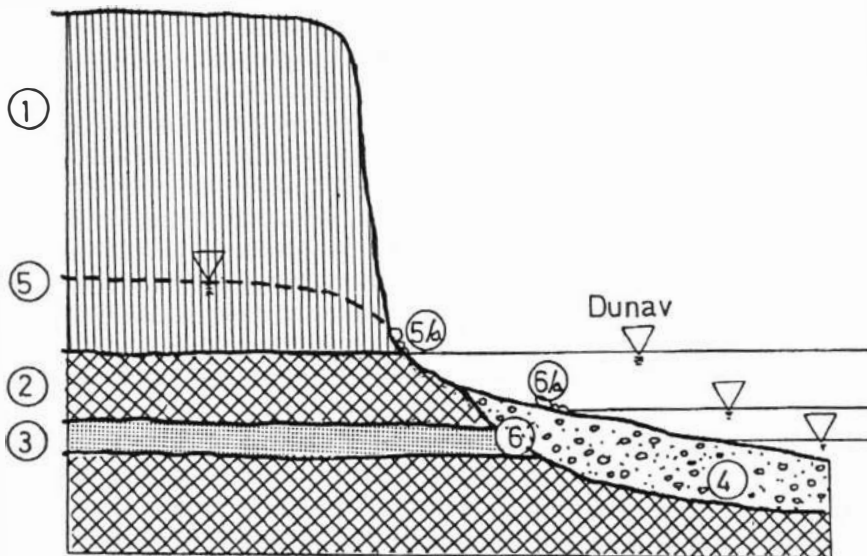
Tipovi strmih odsjeka

U genezi lesnih strmih odsjeka uočeni su mnogi oblici čije morfološke osobitosti određuju stupanj njihove stabilnosti i odlučujuće utječu na lokalne hidrogeološke odnose. No, unatoč njihovih raznovrsnih pojava oblika uzimajući u obzir njihove veze s rijekom Dunavom i morem koje su bile odlučujući činioci u njihovom nastanku, mogu se izdvojiti tri osnovna tipa lesnih strmih odsjeka:

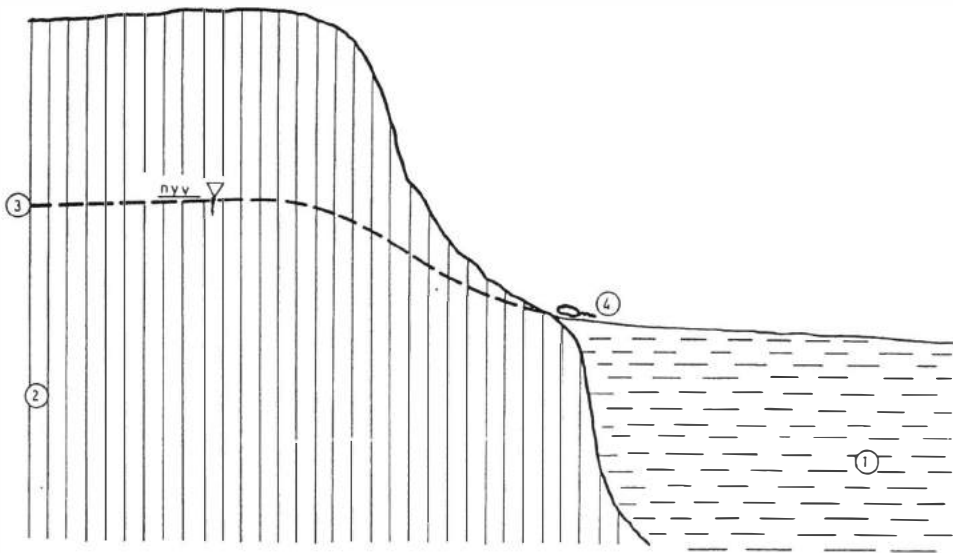
- a) direktno erodirani lesni strmi odsjeci;
 - b) lesni strmi odsjeci s podnožjem od klizno-urušnog materijala;
 - c) lesni strmi odsjeci s podnožjem od klizno-urušnog materijala i naplavnom ravni.
- a) Direktno erodirani i abradirani lesni odsjeci vodama Dunava odnosno morskim valovima i lesni strmi odsjeci s podnožjem od delapsiuma ulaze u kategoriju morfoloških oblika, koji za građevinske zahvate predstavljaju potencijalno izuzetno ugroženo terene s mogućim razvojem klizno-urušnih pokreta katastrofalnih razmjera. U prvom slučaju erozija vodotoka i mlat valova javlja se kao direktni uzrok mobilnosti lesnih strmih odsjeka. Nagibi lesnih odsjeka redovito su veći od 50-60° a mjestimice su gotovo okomiti. Bočnom erozijom i abrazijom Dunav i



Slika 2. Tip lesnog strmog odsjeka direktno erdiranog rijekom Dunavom
 1. Les i lesu slični sedimenti, 2. Gornjopanonska glina i siltovite naslage,
 3. Gornjopanonske naslage pijeska, 4. Holocenski pjeskoviti šljunci, 5. Podzemna voda,
 5.a. Izvori podzemne vode, 6. Arteška voda, 6.a. Izvori arteške vode



Slika 3. Tip lesnog strmog odsjeka s podnožjem od klizno-urušnog materijala
 1. Les i lesu slični sedimenti, 2. Pliocenske naslage gline, 3. Pliocenske naslage pijeska,
 4. Fluvijalne naslage, 5. Podzemna voda, 5.a. Gravitacijski izvor, 6. Arteška voda,
 6.a. Plavljeni izvori arteške vode, 6.b. Arteški izvori podzemne vode pod tlakom,
 7. Urušno-klizni materijal



Slika 4. Tip lesnog strmog odsjeka branjenog naplavnom ravni rijeke Tise
1. Les i lesu slični sedimenti, 2. Fluvijalne naslage, 3. Podzemna voda

morski valovi podlokavaju strmce, pa dolazi do stalnog gubitka lesnog materijala, koji se istovremeno transportira u nizvodnom smjeru, a uspostavljena je i direktna ovisnost kretanja podzemnih voda od vodostaja rijeka. Direktno erodirani i abradirani lesni strmi odsjeci su bez izuzetka nestabilni. Iako to ne znači da su oni u stalnom pokretu, valja istaći da i nakon klizno-urušnih pokreta privremeno stanje mirovanja može biti veoma narušeno, pa pokreti mogu biti ponovljeni.

- b) Kod lesnih odsjeka s podnožjem od delapsiuma riječna erozija i morska abrazija se javlja samo kao sekundarni destruktivski faktor, međutim, urušni-klizni materijal je konstatno u labilnom stanju zbog brojnih izvora, koji ga stalno vlaže, što u krajnjoj liniji negativno utječe na stabilnost lesnog strmog odsjeka. U nekim slučajevima ovlaženi delapsium može pridonijeti formiranju kliznih ploha i time razvoju urušno-kliznih pokreta.
- c) Treći tip lesnih strmih odsjeka je relativno veoma zaštićen od direktne erozijske aktivnosti Dunava. Vodopropusni sedimenti naplavne ravni javljaju se kao prirodni kolektori u odvodnji podzemnih voda lesnog odsjeka, pa spadaju u najstabilnije terene za značajnije građevinske zahvate. Klizno-urušni pokreti su lokalnog karaktera i uglavnom su stimulirani procesima jaruženja. Nagibi su znatno manji u odnosu na prethodna dva tipa, što je odraz sve jačeg planacijskog utjecaja padinskih procesa.

Literatura

- Bognar A, Morfogeneza Banskog brda i Južne baranjske lesne zaravni, Geografski glasnik br. 35-37, Geografsko društvo Hrvatske i Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1975.
- Bognar A, Distribution, properties and types of loess and loesslike sediment in Croatia, Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae, Tomus 22, fasc. 1-4, Akademia Kiado, Budapest 1979.

- Bognar A, Uzroci urušavanja i kliženja tla na Banskome brdu kod Batine 1975. Godine, Geografski horizont br. 1-2, 1978, god. XXIV, GDH Zagreb, 1978.
- Balogh J, Bognar A, di Gleria M, Hertelendi E, Kis E, Ping Cs, Schweitzer F, Sümegi P, zoor Gy, Tarnoczai K, Tarkanyi L, 1999, Globalis Klimavaltozasok es Kornyezeti Fejlodesek..., MTA FKI, Budapest.
- Bognar A, Blazek I, Inženjersko-geomorfološka problematika naselja Ilok, Inženjersko-geomorfološka karta 1:2000 s tumačem, urbanistički institut SRH, Zagreb 1978.
- Karacsonyi A, Scheuer Gy, Engineering Geological problems of Bluff along the Danube, Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae, Tomus XVI, fasc. 4, Akademiai Kiado, Budapest 1972.
- Pecsi M, On the river-bank landslide at Dunafoldvar in 1970, Foldrajzi Ertesito, god. XX, br. 3, MTA Foldrajztudomanyi Kutato Intezet, Budapest 1971.
- Otok Susak, Djela JAZU, knjiga 49, JAZU, Zagreb.
- Bognar A, Klein V, Tončić G, Šercelj A, Magdalenić L, Culiberg M, 1989, Geomorphological and Quaternary-geological Properties on the Island Susak, Geographical Papers 7, Zagreb.
- Bognar A, Schener Gy, Schweitzer F, 1981., Inženjersko-geomorfološki problemi strmih lesnih odsjeka uz Dunav i Tisu u Jugoslaviji i Mađarskoj, Geografski glasnik, br. 43, GDH, Zagreb.

Autor:

Dr. sc. Andrija Bognar, red.prof., Geografski odsjek PMF-a, 10000 Zagreb, Marulićev trg 19/II



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 5.04.

Sanacija tla na mjestu puknuća otpremnog naftovoda Žutica-Stružec

S. Radionov, B. Veronek, S. Mesić, F. Bašić

SAŽETAK: Eksploataciju nafte, od početnih radova rudarskog bušenja do izgradnje sustava za otpremu-podzemne mreže naftovoda, prate zahvati i postupci rizični za okoliš. Incidenti dovode u opasnost prirodne resurse, ponajprije tlo i vodu, a ovisno o težini, mogu na kraće ili dulje vrijeme dovesti u pitanje namjenu zemljišta na kojemu se incident zbio. Jedan od takvih incidenata je puknuće naftovoda Žutica-Stružec, a dogodio se 5. ožujka 1998. U okoliš je, prema procjeni stručnjaka nekontrolirano isteklo oko 380 m³ nafte. Dio nafte razlio se po tlu i penetrirao u masu tla. Incident se dogodio u području kojemu je poljoprivreda gospodarska grana, u kraju koji pripada rubnom-osjetljivijem dijelu parka prirode Lonjskog polja, vrijedne i sačuvane oaze netaknute prirode. Dogodilo se u području koje je sustavom kanala za odvodnju tako povezano da se onečišćenja velikom brzinom prenose na šire područje. Posebnim sredstvom pod nazivom Land Reclaimer-LR, izvršeno je tretiranje tla i njegova sanacija. Naše je polazište da poslije sanacije primjenom Land Reclaimera treba pratiti sadržaj nafte u tlu na mjestu incidenta i po pokosima kanala, na cijeloj trasi izljeva, do trenutka kada se ono može smatrati čistim i upotrebljivim za prvotnu namjenu-oraničnu biljnu proizvodnju, odnosno do trenutka potpune razgradnje onečišćenja naftom.

KLJUČNE RIJEČI: puknuće, naftovod, zagađenje, sanacija

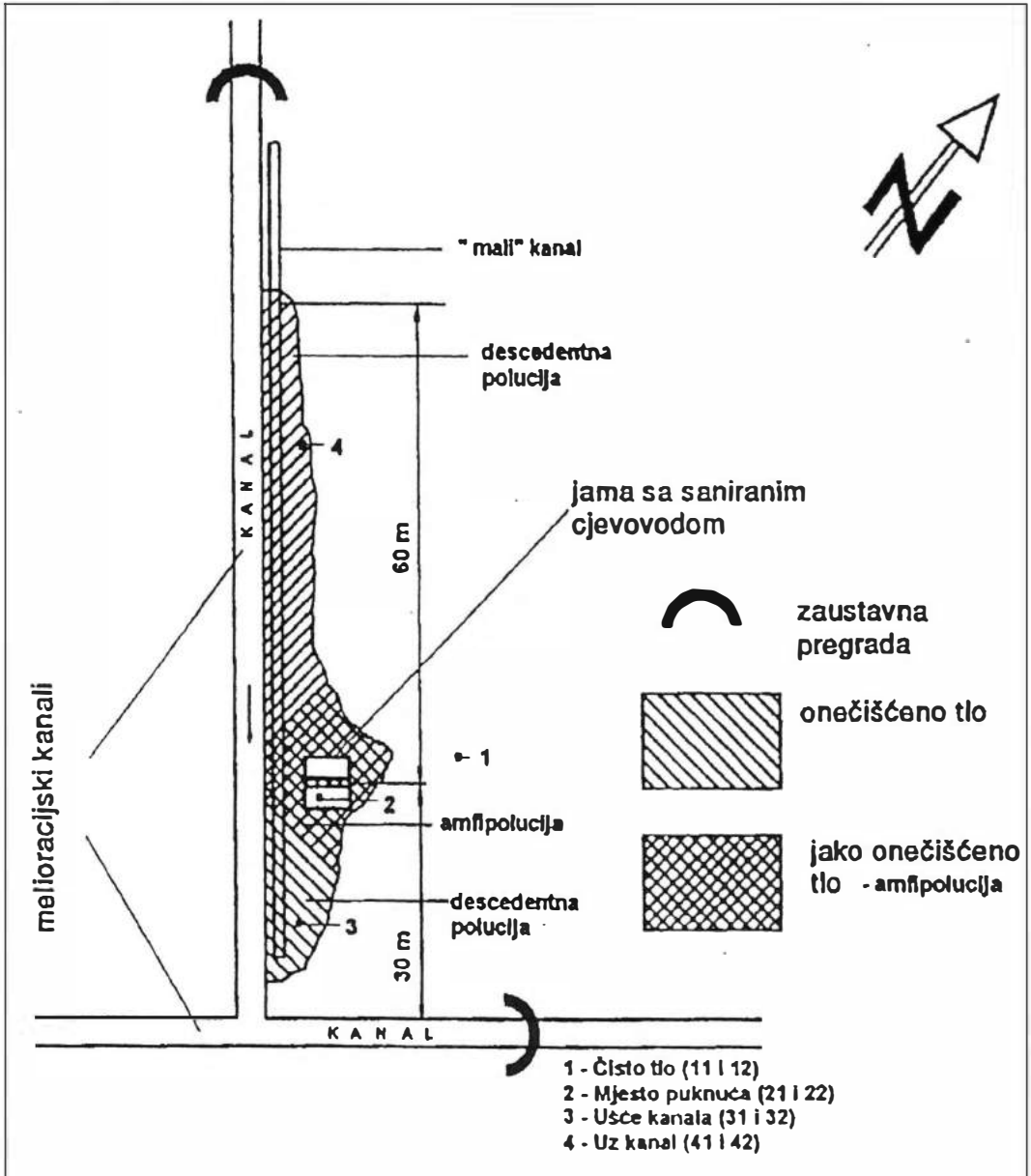
Žutica-Stružec Supply Oil Pipe Rupture Pollution Site Reclamation

SUMMARY: Oil exploitation, from the initial prospecting works to construction of supply system (underground oil pipe) is accompanied by procedures which might cause environmental risks. The incidents imperil natural resources, primarily soil and water, and might imperil land use in the accident site for shorter or longer period of time. One of such accidents was fracture in the Žutica-Stružec oil pipe, and it happened on March 5, 1998. According to the opinion obtained from the experts, about 380 m³ of oil was spilled in the environment. Some of it spilled in the soil and penetrated it. The accident happened in agricultural area belonging to the boundary belt of the Lonjsko Polje Natural Park which is a valuable conserved oasis of virgin nature. The area is highly interconnected by drainage canals, so the contamination propagated at high rate and spread into the surroundings. Special agent, Land Reclaimer-LR was used to clean up the soil and reclaim it. We are of the opinion that after application of the Land Reclaimer the oil content in soil at the accident site and on the canal slopes, on the entire spillout route should be carefully monitored until it is found to be clean and suitable for its original use - crop production, namely to the moment when the oil spill has been completely degraded.

KEYWORDS: rupture, oil pipe, pollution, reclamation

1. Kronologija događaja

Incident se dogodio 5. ožujka 1998., kod mjesta Hrastilnica na naftovodu Graberje-Stružec, na koji se, preko stanice Hrastilnica, priključuje naftovod iz OS Žutica. Do pucanja je došlo na cijevi naftovoda na dubini od 3 m. Prema procjenama stručnjaka INA-Naftaplina-radilište Žutica, u okoliš je iscurilo oko 380 m³ sirove nafte. Najprije su zatvorene sve zaporne naprave na početku i kraju naftovoda, zatim je zatvorena ustava na glavnom kanalu (da bi se nafta zadržala pod nadzorom), a zatim su postavljene plutajuće brane po svim kanalima, sa svrhom da se spriječi širenje naftne mrlje i ona



Slika 1. Prikaz mjesta puknuća naftovoda

zadrži na što je moguće manjem prostoru. Odmah se, uz nazočnost vatrogasaca, pristupilo crpljenju nafte cisternama i njenu odvozu s mjesta incidenta na daljnju obradu. Na poziv nadležnih, isti dan smo se sa znanstvenim djelatnicima Šumarskog fakulteta i sami našli na licu mjesta, dobivši pri tome detaljan uvid i uvjerenje u opsežnost, uistinu veliku operativnost, ekspeditivnost i djelotvornost poduzetih zahvata.

Velika naftna mrlja je u obliku tankog filma (0,5-3,0 cm) na vodenoj površini u glavnom kanalu već prešla ustavu i “zaputila” se glavnim kanalom prema rijeci Česmi.

Istraživanja su izvršena posebnim metodama, koje uključuju naredne dionice: terenska istraživanja, laboratorijske analize i obradu podataka prikupljenih u prethodnim dionicama.

2. Terenska istraživanja

2.1. Terenska opažanja i sondiranje tla

Od početka incidenta izvršen je obilazak mjesta incidenta nekoliko puta; najprije na sam dan incidenta-5. ožujka 1998., a zatim u proljetnom razdoblju 25. travnja i 2. lipnja, kada su osim opažanja uzete fotografije s mjesta događaja i karakterističnih lokaliteta. Tijekom ljeta mjesto incidenta smo obišli 2. i 9. srpnja, a zatim ponovo 2. i 15. rujna 1998. Prilikom terenskih opservacija izvršili smo somdiranje terena, s ciljem identifikacije pedosistematske pripadnosti tla i stanja tala na području zahvaćenom incidentom.

2.2. Uzimanje uzoraka tla

Uzimanje uzoraka tla izvršeno je prvi puta 9. srpnja, a zatim ponovo 15. rujna 1998.

Kontrolni uzorak tla za usporedbu uzet je oba puta na istom mjestu, i to kao prosječni uzorak tla iz površinskog sloja čistoga tla, s dijela parcele na kojemu sigurno nije došlo do onečišćenja naftom pa stoga ni do tretiranja Land Reclaimerom (LR-om). Isto takav uzorak uzeli smo iz podoraničnog sloja tla. Oba uzorka poslužila su nam za usporedbu, kao *kontrolni uzorci-uzorci čistog tla izvan utjecaja incidenta*.

Uzeli smo zatim *tri prosječna uzorka iz površinskog sloja tla na mjestu incidenta*, gdje je tlo tretirano LR-om, i to;

- neposredno na mjestu puknuća iz oraničnog sloja;
- na udaljenosti oko 20 m od mjesta puknuća prema istoku;
- na udaljenosti oko 20 m od mjesta puknuća prema zapadu.

Usporedba stanja tla u pogledu sadržaja onečišćenja s kontrolnim uzorkom poslužila je za ocjenu stupnja onečišćenosti tla prouzročenog incidentom.

Uzeta su zatim tri prosječna uzorka s odabranih mjesta na pokosima kanala, i to dva s dijela kanala na kojemu je tlo tretirano s LR-om, a jedan s mjesta na pokosu na kojemu tlo nije tretirano LR-om.

Prosječni uzorci uzeti su posebnom sondom prema standardnom postupku.

Na mjestu događaja sastavljen je zapisnik, u kojemu je predložen nastavak započelih radova, zatim čišćenje pokosa kanala “Land Reclaimerom”-LR.

3. Indikatori onečišćenja

Prvi, odmah uočljiv, i najjednostavniji indikator onečišćenja tla naftom je *opažanje mrlje nafte* na tlu i na vodi u kanalu u neposrednoj blizini incidenta. Drugi, indikator koji smo koristili je *miris tla na naftu*, koji je osobito intenzivan kada je u pitanju sirova nafta, a

nedvojbeno ukazuje na onečišćenje naftom. Poseban su indikator fenološka motrenja i opažanja stanja prirodnog-spontanog raslinja, a na samom mjestu incidenta *ponašanje vegetacije-usjeva*.

Kao indikator onečišćenja tla naftom korišteno je opažanje *neujednačenog nicanja usjeva*, odnosno propadanje klice. Na odraslim biljkama koje prežive klijanje i nicanje, nedvojbeno jasan indikator onečišćenja tla naftom je izgled biljke, koji je identičan *deficijenciji N*, što de facto i jest slučaj, dakle usporen i *smanjen rast biljke, najprije blijedo-žuta, a zatim žuta boja, napose starijeg lišća i na kraju nekroza, najprije starijeg lišća*. Sva smo ta opažanja (osim dakako mirisa) registrirali fotografiranjem, a fotografije će biti prezentirane na posteru.

Granične vrijednosti-*(maksimalna dopuštena količina naftnih ugljikovodika u tlu)* je delikatno, teorijski i praktički važno pitanje. Ne postoje jedinstveni kriteriji za ocjenu stupnja opterećenosti tla mineralnim uljima odnosno naftnim ugljikovodicima, te se ulažu naponi za njihovo ujednačavanje na regionalnoj razini (*Hrvatska te napore ulaže u okviru regionalne zajednice Alpe - Jadran i Podunavlje*).

Prema kriterijima našeg Pravilnika, u poljoprivrednom tlu ne smije biti mineralnih ulja. Međutim, držimo da se za mjesto incidenta kao ciljana vrijednost može uzeti sadržaj od 0,5 g/kg odnosno 500 mg/kg tla, što prema kriterijima koji se primjenjuju u europskim zemljama predstavlja slabu opterećenost. Tlo sanirano do te vrijednosti mineralnih ulja smatrat će se zadovoljavajućim, a takva tla uspješno saniranim.

4. Sanacija tla onečišćenog naftom

Držimo da se tlo na mjestu pucanja naftovoda mora očistiti do prihvatljivog - ekološki neškodljivog sadržaja nafte.

Posljednjih godina u svijetu je istraživano i korišteno nekoliko različitih metoda sanacije tla onečišćenog naftom. Jedinstvene metode koja bi se pokazala univerzalnom za sada nema. U pravilu se primjenjuju kombinacije različitih metoda, kao što je bilo i u našem slučaju kada je primjenjena evakuacija i selektivna depozicija, zatim otapanje primjenom Land Reclaimera. Zašto "Land Reclaimer"-LR ?

Valja reći, da je LR u nas jedino registrirano, deklarirano kao ekološki prihvatljivo, sredstvo za čišćenje tla od razlivenene nafte, i to njezinim otapanjem u ekološki bezopasne spojeve. Prema vodopravnoj dozvoli nije štetno za bakterije niti je toksično za vodene organizme. To je tekućina koja sadrži naftalensku frakciju nafte, sumpornu kiselinu, ionske smole i vodu.

Afirmativno iskustvo s primjenom LR-a držimo dragocjenim i dobro došlim.

Bez obzira na primjenjenu metodu uvijek se u završnom stadiju procesa čišćenja tla od petrokemikalija sve metoda oslanjaju na biološku razgradnju, kao najdjelotvorniji ali i najjeftiniji način čišćenja tla. U literaturi se navode brojni mikroorganizmi koji razgrađuju naftne ugljikovodike. Od bakterija to su: *Acetobacter, Aeromonas, Flavobacterium* i dr, od aktinomiceta *Actinomyces, Streptomyces, Mycobacterium*, a od plijesni i gljivica *Torula, Torulopsis i Trichosporon*.

Najveći utjecaj na brzinu razgradnje ima temperatura, vlažnost tla i sadržaj kisika.

Za ova razmatranja važna su iskustva iz Nizozemska, prema kojima se u poljoprivrednom tlu s normalnom mikrobiološkom aktivnosti godišnje može razgraditi količina od 3 g naftnih ugljikovodika po kg tla. Znači da će se uz uvjet da nema novih pritjecanja nafte i najneочиšćenije tlo na mjestu puknuća biološkim putem potpuno očistiti za 3 godine.

Tablica 1. Rezultati praćenja sadržaja ukupnih i mineralnih ulja u tlu

UKUPNA ULJA (g/ kg)				MINERALNA ULJA (g/ kg)			
Ljeto	Jesen	Ljeto	Jesen	Ljeto	Jesen	Ljeto	Jesen
Površinski sloj		Podpovršinski		Površinski sloj		Podpovršinski	
<i>ČISTO TLO IZVAN UTJECANJA INCIDENTA</i>							
0,391	0,364	0,319	0,288	0,172	0,203	0,125	0,122
<i>TLO NA MJESTU PUKNUĆA NAFTAOVODA</i>							
32,951	10,456	62,257	15,00	25,595	7,340	38,621	11,432
<i>TLO S UŠĆA KANALA NA MJESTU PUKNUĆA</i>							
32,242	12,168	23,182	2,116	23,569	9,008	15,690	1,119
<i>TLO UZ KANAL NA MJESTU PUKNUĆA</i>							
18,425	1,769	14,959	3,650	14,173	1,087	10,761	2,458
<i>TLO S POKOSA GLAVNOG KANALA TRETIRANO LR-om</i>							
0,466	0,324	-	-	0,169	0,227	-	-
<i>TLO IZ POKOSA SPOJNOG KANALA NETRETIRANOG LR-om</i>							
0,406	0,713	-	-	0,148	0,537	-	-
<i>TLO IZ USTAVE</i>							
0,395	-	-	-	0,142	-	-	-

Sadržaj ukupnih ulja i mineralnih ulja uzet na način opisan u tekstu pod točkom - *Uzimanje uzoraka tla* u ljetnom i jesenskom razdoblju prikazan je u tablici 1. Valja reći da je i u uzorku iz površinskog sloja čistog tla, pouzdano izvan utjecaja incidenta, utvrđeno 400 mg/ kg naftnih ugljikovodika, što znači da tlo ima upozoravajući sadržaj nafte. Nemamo drugog tumačenja te pojave, osim da je ona posljedica onečišćenja iz prošlosti. Ta činjenica zaslužuje pozornost i detaljnija istraživanja. Što se tiče sadržaja naftnih ugljikovodika u onečišćenom tlu na mjestu incidenta, treba reći da taj sadržaj, utvrđen u ljetnom razdoblju odgovara ekscesivnom sadržaju i daleko prelazi interventnu vrijednost. Međutim, očito pod utjecajem zahvata sanacije, opći je trend brzog i drastičnog pada njihovog sadržaja do jeseni. Zanimljivo je da je taj pad u svim slojevima tla višestruk, a znatno je veći u podpovršinskom nego u površinskom horizontu. Ukupni sadržaj naftnih ulja u površinskom sloju onečišćenog tla na mjestu incidenta još je uvijek na jednom dijelu parcele visok, s trendom smanjenja do prihvatljive razine, dok je na drugom dijelu

parcele sadržaj pao ispod vrijednosti koja bi zahtijevala intervenciju. U podoraničnom sloju onečišćenje veće od prihvatljive vrijednosti utvrđeno je samo na samom mjestu puknuća cijevi. Sadržaj mineralnih ulja pao je na svim mjestima ispod kritične razine. Istodobno je i sadržaj ukupnih i mineralnih ulja u tlu na pokosima kanala i tlu iza ustave pao na prihvatljivu razinu za poljoprivredna tla ovog područja.

5. Zaključak

Prilikom terenskog obilaska 9. srpnja na mjestu incidenta - oranici zasjanoj kukuruzom utvrđeni su nedvojbeni znaci oštećenja usjeva. Na površini zahvaćenoj incidentom usjev je ostao slab i neujednačen, a prinos kukuruza na površini nešto manjoj od 200 m² osjetno smanjen. Rezultati izneseni u radu nedvojbeno pokazuju da je metoda sanacije tla onečišćenog naftom pomoću Land Reclaimera-LR, u nas novog sredstva namijenjenog upravo za čišćenje tla od nafte, dala zadovoljavajuće rezultate. Temeljem tih rezultata može se općenito reći da su *svi poduzeti zahvati* sanacije tla onečišćenog naftom pokazali odgovarajuću djelotvornost. Kao dalju mjeru sanacije preporučamo rekultivaciju onečišćene površine izvedbom humizacije, melioracijske gnojidbe i tretiranje tla zeolitima, a od fizikalno mehaničkih zahvata preporučamo duboko rahljenje.

Literatura

1. Bašić F., Butorac A., Vidaček Ž., Racz Z., Ostojčić Z., Bertić B.: Program zaštite tala Hrvatske-Inventarizacija stanja-Trajno motrenje-Informacijski sustav, studija, Fond stručne dokumentacije Zavoda za OPB Agronomskog fakulteta, 122, Zagreb, 1993.
2. Bašić F., Prpić B., Tomić M., Rukavina Ž.: Utjecaj istraživanja, proizvodnje i transporta nafte i plina na okoliš - lokalitet Ivanić Grad, stručna dokumentacija INA-Naftaplina, Zagreb, 1993.
3. W. J. van Lynden: European soil resources, current status of soil degradation, causes, impacts and need for action, Steering Committee for the Conservation Management of the Environmental and Natural Habits.
4. Prpić B., Martinović J., Vranković A., Bašić F.: Waldschäden und Belastung der Waldböden in der SR Kroatien, Kongress Bodenschutz Arge Alpen-Adria, 73-80, München, 1987.
5. Racz Z.: Tlo i ekološki problemi današnjice, Poljoprivredna znanstvena smotra, Vol 55, br. 1-2, 183-195, Zagreb, 1990.
6. Toti M., Constantin C., Dracea M., Capitanu V., Damian M.: Some aspects concerning the oil pollution and brine in Romanian soils, Soil Science Journal of the Romanian National Society of Soil Science, 1-2, 177-187, Bucarest.
7. DIN 38409, H18 Određivanje ukupnih i mineralnih masnoća

Autori:

Sonja Radionov, INA-Industrija nafte d. d., Sektor strateškog razvoja i istraživanja, CIL, Odsjek za analizu i kontrolu, Lovinčićeva bb, Zagreb, Hrvatska.

Boris Veronek, dipl. inž., INA-Industrija nafte, d.d., Naftaplin, Sektor proizvodnje nafte i plina, Šubićeva 29, Zagreb, Hrvatska.

Sanja Mesić, INA-Industrija nafte, d.d., Naftaplin, Sektor proizvodnje nafte i plina, Šubićeva 29, Zagreb, Hrvatska.

Ferdo Bašić, prof. dr. sc., Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za opću proizvodnju bilja, Svetošimunska 25, Zagreb.



Rad 5.05.

Tijek i način sanacije mjesta zagađenja nakon puknuća priključnoga plinovoda plinsko-kondenzatne bušotine Kalinovac-19

Boris Veronek, Sanja Mesić, Sonja Radionov, Ivo Popović

SAŽETAK: Proizvodnja plina vezana je uz zahvate i postupke potencijalno rizične za okoliš. Premda su postupci i tehnologije pri proizvodnji plina najmodernije i najsigurnije koncipirani, uz upotrebu najsigurnijih materijala, incidenti su uvijek mogući. Najčešće se incidenti uočavaju tek kad nastanu posljedice po okoliš. Jedan od takvih incidenata bilo je i puknuće priključnog plinovoda Kal-19. U okoliš se izlila neutvrđena količina plinskog kondenzata i slane vode koja je penetrirala u okolno tlo. Zbog visoke propusnosti terena (pijesci, šljunci) nastala je opasnost da se zagađenje proširi u smjeru toka podzemne vode. Da bi se efikasno mogla pratiti situacija na terenu, izbušena su dva zdenca na razmaku od 10 m od središta mjesta incidenta i četiri piezometra u dva smjera paralelno i okomito na plinovod, na udaljenostima 60 m usporedno sa središtem i 40 m okomito od središta incidenta. Iz zdenaca, iz piezometara i iz sabirne jame svakodnevno su se uzimali uzorci voda, te se u laboratoriju određivala količina mineralnih i ukupnih ulja. U radu će biti prikazani rezultati praćenja količine ukupnih i mineralnih ulja u uzorcima voda tijekom sanacije mjesta zagađenja.

KLJUČNE RIJEČI: puknuće, plinovod, plino-kondenzatna bušotina, zagađenje, sanacija

Kalinovac-19 Borehole Gasline Rupture Pollution Site Reclamation

SUMMARY: Gas production involves procedures and activities which are potentially hazardous for environment. Although the procedures and technologies applied in gas production are conceived as state-of-the art, include safety elements and use the safest materials, accidents are always possible. Accidents are spotted only when the environmental damage has already been done. One of such incidents was rupture of Kal-19 connecting gasline. Undetermined quantity of gas condensate and salinated water spilled out and penetrated into the soil. Due to high permeability of the ground (sands, gravels), there was a danger of pollution propagation in the groundwater flow direction. In order to effectively monitor field situation, two wells were constructed on 10 m distance from the accident site center, and four piezometers were set in two directions in parallel with and perpendicular to the gasline, on 60 m distance, in parallel with the center and 40 m perpendicular to the accident focus. Water samples were taken from the wells, piezometers and collecting pit on a daily basis, and mineral oil and total oil was determined in the laboratory. The paper shall present the results of monitoring of total and mineral oil in water samples taken during the pollution site clean up.

KEYWORDS: rupture, gasline, gas condensate well, pollution, reclamation

1. Tijek sanacije

Dana 17. siječnja 1997. god. uočena je žuta mrlja na snijegu na trasi priključnog plinovoda plinsko-kondenzatne bušotine Kalinovac-19, na mjestu 250 metara od bušotine, odnosno 300 metara istočno od ceste Draganci-Batinske.

Odmah poslije dojave zatvorena je bušotina i rasterećen plinovod na baklju PSIP Kalinovac.

Locirano je šire mjesto zagađenja, onemogućen pristup nezaposlenima, i formirana grupa za sanaciju, prema Operativnom planu interventnih mjera INA-Naftaplina Pogon "Molve" Sektor za proizvodnju nafte i plina. Istodobno s operativnim djelovanjem obaviještene su (prema Planu za zaštitu voda od zagađenja, NN 22/ 1986) sve nadležne državne i županijske inspekcijske službe.

Pošto je izvršila očevid, nadležna županijska vodopravna inspekcija izdala je svoje rješenje. Na osnovi tog rješenja izrađen je operativni plan saniranja i otklanjanja onečišćenja sa dinamičkim planom sanacije, koji se je sastojao od dvaju dijelova.

Operativni plan sanacije pregledali su i prihvatili djelatnici Hrvatskih voda, Vodnogospodarskog odjela za vodno područje slivova Drave i Dunava, Odsjeka Varaždin, i prema njemu su nastavljeni radovi i aktivnosti na sanaciji.

Prvi dio sanacije obuhvatio je radove i postupke na sprečavanju daljeg onečišćenja, na osiguranju mjesta incidenta i na uspostavljanju dalje proizvodnje plina ovim redoslijedom:

1. osiguranje mjesta onečišćenja zbog opasnosti od eksplozije i požara,
2. preventivna sanacija okoliša i mjesta incidenta,
3. pronalaženje mjesta puknuća i propuštanja na priključnom plinovodu
4. popravak plinovoda, zamjena cijevi u dužini otprilike 12 m.

Drugi dio sanacije obuhvatio je sve postupke s onečišćenim fluidom i zemljom do propisane zadovoljive čistoće.

1.1 Postupak sa zagađenom vodom

Na mjestu puknuća iskopana je sabirna jama iz koje su se kontinuirano počeli crpsti dotekli plinski kondenzat, slojna voda i onečišćena podzemna voda. Skupljena se tekućina odvozila cisternama na PSIP Kalinovac i utiskivala u utisnu bušotinu zajedno s ostalim tehnološkim fluidom, izdvojenim u procesu pripreme plina za transport. Na terenu je rovokopačem iskopano 6 pokusnih opažачkih jama, u kojima se vizuelno ocijenilo da se onečišćenje nije proširilo više od 40 metara.

Izbušena su dva zdenca na razmaku od 10 m od središta mjesta incidenta i četiri piezometra u dva smjera paralelno i okomito na plinovod, na udaljenostima 60 m usporedno sa središtem i 40 m okomito od središta incidenta.

Radi utvrđivanja geološke građe tla i osnovnih hidrogeoloških svojstava mikrolokacije incidenta, a i za potrebe promatranja i uzimanja uzoraka vode i mješavine gazolin-voda, izbušene su četiri strukturno-piezometarske bušotine do dubine 10,5 metara i ugrađeni piezometri. Kako je prethodnim vizuelnim pregledom utvrđeno da se onečišćenje nije proširilo više od 40 m od mjesta incidenta, piezometri su smješteni izvan zone u kojoj su zamijećena onečišćenja.

Zdenci su iskopani u neposrednoj blizini incidenta (KAL-1-Z 4,5 m južno i KAL-2-Z 18 m sjeverno), do dubine od 6,5 m.

Njihva je namjena bila da se konstantnim crpljenjem skrene prirodni tijek podzemne vode prema zdencima i onemogući disipacija onečišćenja.

Iz izbušenih zdenaca, isto tako i iz otprije iskopane sabirne jame kontinuirano se pumpala voda i odvozila cisternama na plinsku stanicu (PSIP Kalinovac) u količini od 80 m³ dnevno. Fluid se prihvaća u spremnik slane vode i pumpama otprema slanovodom te se utiskuje u utisne bušotine polja Molve.

Iz zdenaca, iz piezometara i iz sabirne jame svakodnevno se uzimaju uzorci i vrše se analize na prisutnost mineralnih i ukupnih masnoća. Analize se vrše u Službi laboratorijskih istraživanja INA Naftaplina, Zagreb.

Ti rezultati ispitivanja predočeni su Službi za zaštitu voda Hrvatskih voda, Varaždin, a na osnovi toga je izdano mišljenje prema kojem je potrebno pratiti sadržaj ukupnih i mineralnih ulja u vodi:

- a) iz sabirne jame - svakodnevno, sve dok vrijednosti za ukupna i mineralna ulja ne padnu ispod MDK za te tvari u pitkim vodama;
- b) iz zdenaca i piezometara - dva puta tjedno sve dok se pouzdano ne utvrdi trend smanjivanja sadržaja spomenutih tvari prema vrijednostima koje su propisane Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće.

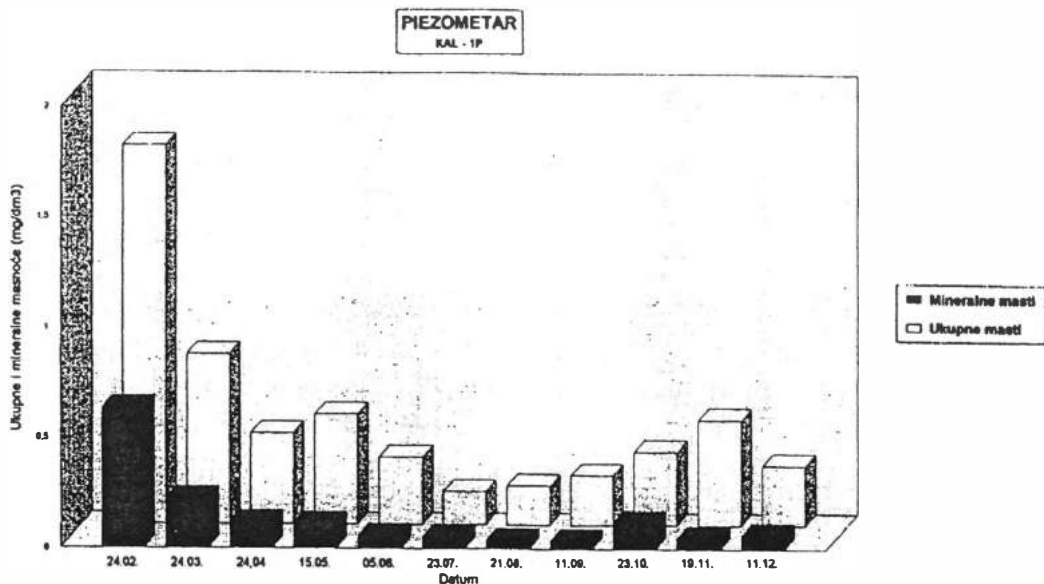
Nakon uvida u rezultate analiza i terenskog očevida što su ga izvršili predstavnici Hrvatskih voda, Služba za zaštitu voda, Varaždin, predstavnici Hrvatskih voda, Đurđevac i predstavnici INA Naftaplina, zaključeno je da može prestati ispumpavanje i odvoženje procijeđenog fluida iz sabirne jame i zdenaca. Kao obveza ostaje dalje praćenje (1 x mjesečno, slijedeća 3 mjeseca) vrijednosti mineralnih ulja i ukupnih masnoća u zdencima i piezometrima poslije prestanka ispumpavanja vode.

Nakon pregleda analiza uzoraka uzetih u tijeku listopada, studenog i prosinca ustanovljen je trend smanjenja koncentracija mineralnih ulja i nakon prestanka ispumpavanja vode. Rezultati mjerenja koncentracija mineralnih ulja bili su u granicama MDK za te tvari u pitkim vodama. Na osnovi toga i mišljenja predstavnika Hrvatskih voda i županijske vodopravne inspekcije prestaje uzimanje uzoraka vode iz zdenaca i piezometara (*rezultati su prikazani u prilogu: dijagram 1., dijagram 2.*).

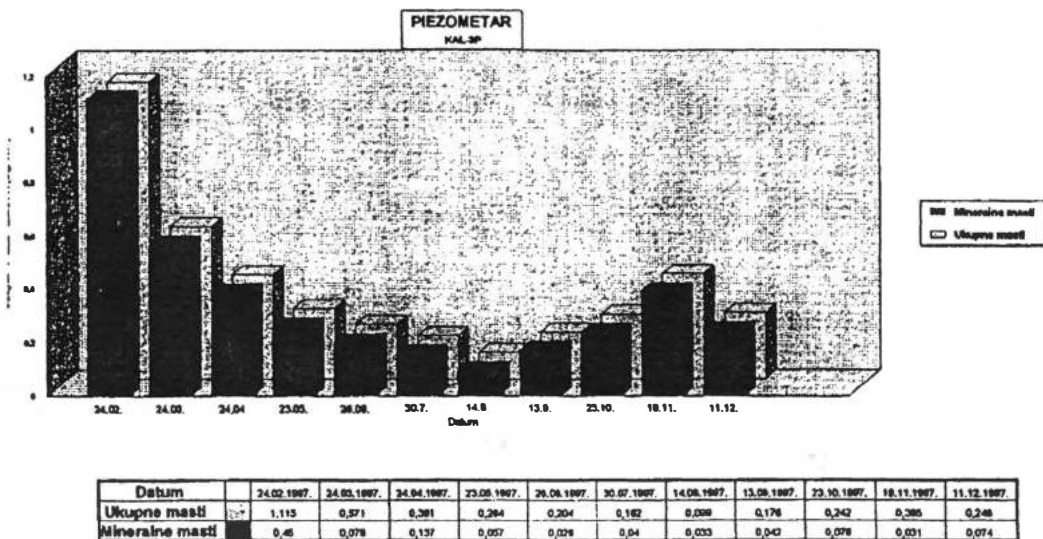
1.2. Postupak s onečišćenom zemljom

U mjerama otklanjanja onečišćenja tla s mjesta incidenta odveženo je 1500 m³ zemlje. Ta je zemlja neutralizirana postupkom solidifikacije na deponiju na PSIP Kalinovac. Svi radovi obavljani su u skladu sa Pojednostavljenim rudarskim projektom za sanaciju isplačnih jama na poljima Molve, Kalinovac i Stari Gradac, odobrenom od Ministarstva energetike i industrije, klasa: UP/ I-310-01-90-03, ur. broj: 526-02-90-6 od 3. 12. 1990. Stručnjaci Agronomskog fakulteta, Zavoda za opću proizvodnju bilja, uzeli su uzorke tla, a rezultat laboratorijskih ispitivanja i studijskog rada dan je u agroekološkom elaboratu "Stanje tla na mjestu propuštanja plinovoda plinske bušotine Kalinovac-19 sa smjericama rekultivacije".

Uzeto je 25 pojedinačnih uzoraka tla sa triju lokacija, i to:



Dijagram 1. Rezultati određivanja ukupnih i mineralnih ulja u uzorcima voda iz kontrolnog piezometra Kal-1P



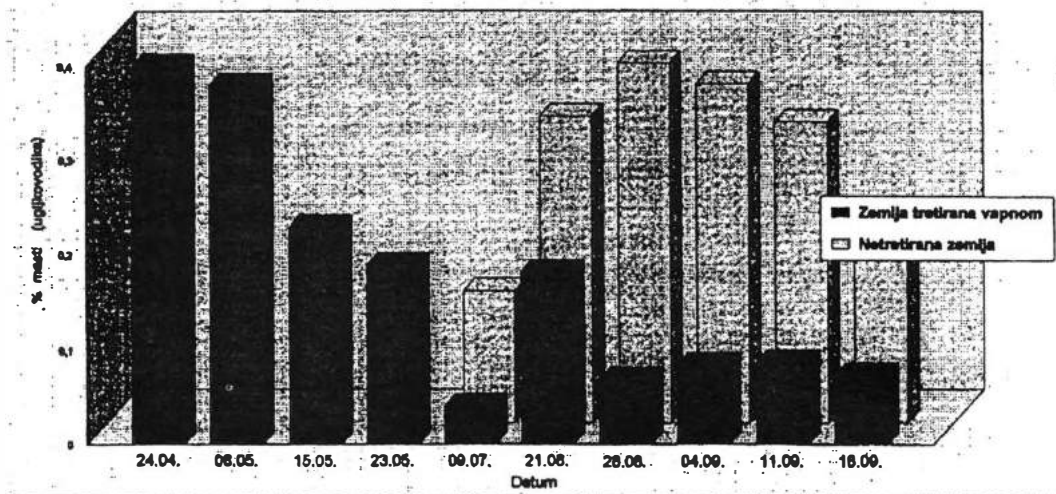
Dijagram 2. Rezultati određivanja ukupnih i mineralnih ulja u uzorcima voda iz kontrolnog piezometra Kal-3P

1. čisto tlo; na udaljenosti od 50 m od mjesta incidenta,
2. onečišćeno tlo; tlo s mjesta incidenta,
3. solidificirano tlo; tlo u krugu bušotine gdje je izvršen postupak solidifikacije.

Materijal uzet sa svake lokacije izmiješan je tako da tvori reprezentativan uzorak te vrste tla. Rezultati određivanja ugljikovodika u uzorcima zemlje dati su u i prikazani su u dijagramu 3.

Za ocjenu stanja tla i korektnosti postupka sanacije ključno je pitanje sadržaj ekološki rizičnih tvari, osobito teških kovina. Rezultati ispitivanja za sve tri vrste uzoraka pokazuju razmjerno uzak raspon onečišćenosti, od čistoga tla do tla povećane onečišćenosti. Razlika praktički nema, tako de se može ustvrditi da incident nije uzrokovao onečišćenje tla teškim kovinama i/ili potencijalno toksičnim elementima.

Poslije prestanka crpljenja vode izvršena je sanacija cijelog područja i rekultivacija tla na mjestu incidenta. Tlo je vraćeno u stanje najbliže nultom stanju, tj. vrijednost reakcije tla, sadržaj humusa i biljci pristupačnih hranjiva u tlu na mjestu incidenta valjalo je podići na razinu koja je utvrđena u uzorku čistog tla izvan utjecaja incidenta.



Dijagram 3. Rezultati određivanja ugljikovodika u uzorcima zemlje

2. Zaključak

Na osnovi izrađenih planova, studija, elaborata, provedene sanacije, nadzora i predočenih izvješća može se zaključiti kako slijedi.

1. Proizvodnja plina i kondenzata na poljima Molve, Kalinovac i Stari Gradac teče po najnovijoj i najmodernijoj tehnologiji, što dokazuje i najnovija ugrađena oprema. Usprkos opremi, uvjeti proizvodnje su takvi da je i uz sigurnosni sustav došlo do istjecanja određene količine kondenzata u okoliš, a uzrok je bila malena pukotina na cijevi priključnog plinovoda koja se pojavila kao pogreška u proizvodnji cijevi, te se nije evidentirao pad tlaka ni gubitak proizvodnje, pa prema tome nije proradio ni sigurnosni sustav.

2. Pošto je uočeno incidentno stanje, poduzete su odmah sve preventivne mjere kako bi se spriječilo dalje onečišćanje.
3. Postupci sanacije vršili su se temeljito i kvalitetno, prema svim odobrenim operativnim planovima i metodama predloženim od nadležnih institucija.
4. Nakon završetka sanacije načinjeno je završno stručno izvješće, u suradnji s djelatnikom Hrvatskih voda koji je obavljao stručni nadzor.
5. Promemorijom ur. broj 2137-01-98-74 od 17. lipnja 1998. županijski vodopravni inspektor konstatira da se u potpunosti postupilo po rješenju izdanom na početku incidenta, te da je sanacija u potpunosti uspješno završena i da se svaki dalji postupak obustavlja.

Literatura

1. Bašić F., Mesić M., Butorac A.: Studija stanja poljoprivrednih tala na području sanacije isplačnih jama plinskih bušotina INA Naftaplina, s preporukom korištenja u periodu rekultivacije, Fond stručne dokumentacije Zavoda za OPB Agronomskog fakulteta, 49 str., Zagreb, 1992.
2. Bašić F., Kisić M., Butorac A.: Trajno motrenje tala na području utjecaja središnje plinske postaje Molve, Izvješće o stanju djelovanja CPS Molve, Zagreb, 1996.
3. Bašić F., Mesić M., Kisić I., Jelavić V., Pravdić V., Steinbauer M., Villi M.: Danube Integrated Environmental study, Draft final report, phase I, for the Republic of Croatia, Urbanistički institut Hrvatske, Hasskoning Royal Dutch Consulting Engineers and Architects, 37 str., Zagreb, 1993.
4. Bašić F., Butorac A., Tomić M., Rukavina Ž.: Soil pollution and remediation by waste drilling fluids around of mud pits in earth gas and oil exploitation in northern Croatia, Conference of ESSC: The soil as a Strategic Resource: Degradation Processes and Conservation Measures, Tenerife, Canary Islands.
5. Bašić F., Kisić I., Mesić M., Butorac A.: Stanje tala na mjestu propuštanja plinovoda plinske bušotine Kalinovac-19, sa smjericama rekultivacije, Fond stručne dokumentacije Zavoda za OPB Agronomskog fakulteta, Zagreb, 1997.
6. DIN 38409, H18 Određivanje ukupnih i mineralnih masnoća
7. Glavni tipski rudarski projekt "sanacija isplačnih jama" u Naftaplina, Stručna dokumentacija INA-Naftaplina.

Autori:

Boris Veronek, dipl. inž., INA-Industrija nafte, d.d., Naftaplin, Sektor proizvodnje nafte i plina, Šubićeva 29, Zagreb, Hrvatska

Sanja Mesić INA-Industrija nafte, d.d., Naftaplin, Sektor proizvodnje nafte i plina, Šubićeva 29, Zagreb, Hrvatska

Sonja Radionov, INA-Industrija nafte d. d., Sektor strateškog razvoja i istraživanja, CIL, Odsjek za analizu i kontrolu, Lovinčićeva bb, Zagreb, Hrvatska

Ivo Popović, INA-Industrija nafte, d. d., Naftaplin, Sektor proizvodnje nafte i plina, Pogon "Molve", Basaričekova bb, Đurđevac, Hrvatska



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 5.06.

Procjena odstupanja oborine testom sa slijedovima

Lidija Cvitan

SAŽETAK: Testom su sa slijedovima za područja Zagreba, Osijeka, Splita i Rijeke utvrđena desetljeća u klimatskom razdoblju 1961.-1990., u kojima su oborinski uvjeti bili značajno različiti od oborinskih uvjeta u preostalom dijelu tog klimatskog razdoblja. Analizirani su tridesetogodišnji nizovi podataka godišnjih i mjesečnih količina oborine. Svaki je desetogodišnji podniz (sastavljen od podataka iz pojedinih uzastopnih deset godina) uspoređen s pripadnim uzorkom sastavljenim od preostalih dvadeset istovrsnih podataka (iz preostalih godina klimatskog razdoblja - prije i poslije promatranog desetljeća). Utvrđena je velika vremenska i prostorna raznolikost u nastupu takvih desetljetnih oborinskih uvjeta koji značajno odstupaju od onih u preostalim godinama.

KLJUČNE RIJEČI: test sa slijedovima, pripadanje istoj populaciji

Precipitation Deviation Assessment by Testing Series

SUMMARY: Testing of series for the areas of the cities of Zagreb, Osijek, Split and Rijeka has determined those decades within the climate period 1961-1990 where the precipitation conditions considerably differed from the rest of the period. Thirty-years series of data on annual and monthly precipitation amounts were analyzed. Each ten-year subseries (consisting of data for individual subsequent ten years) was compared with the relevant sample consisting of the remaining twenty data of the sort (from the remaining years of the climate period, prior to and after the analyzed decade). Large time and space variability has been determined in occurrence of these ten-year precipitation conditions which considerably deviate from the ones in the remaining years.

KEYWORDS: series test, belonging to the same population

Uvod

U primjeni su oborinskih podataka često potrebne informacije o značajnosti razlika između oborinskih uvjeta u pojedinim razdobljima, te o postojanju značajnog lokalnog odstupanja uvjeta unutar dijela nekog razdoblja od lokalnih uvjeta u preostalom dijelu tog razdoblja. Za analiziranje je takvih odstupanja u ovom radu primijenjen test sa slijedovima (Penzar i Makjanić, 1980.). Tim su testom za Zagreb, Osijek, Split i Rijeku utvrđeni desetogodišnji nizovi oborinskih podataka iz klimatskog razdoblja 1961.-1990., koji su značajno različiti od oborinskih podataka iz preostalog dijela tog klimatskog razdoblja. Do sada su razni drugi testovi i metode primjenjivani u istraživanjima variranja vremena i klime u Hrvatskoj (Penzar i dr, 1967.; Juras, 1985.; Gajić-Čapka, 1993.). Cilj je ovog rada prikazati prikladnost i testa sa slijedovima kako za teoretsku, tako i za praktičnu svakodnevnu primjenu (Cvitan, 1998.).

Podaci

Analizirani su podaci godišnjih i mjesečnih količina oborine iz klimatskog razdoblja 1961.-1990. u Zagrebu, Osijeku, Splitu i Rijeci. Odabrano je razdoblje najprikladnije razdoblje propisane duljine za uočavanje obilježja suvremene klime. Za svaki su tridesetogodišnji niz podataka pojedinačno izdvojeni svi njegovi desetogodišnji podnizovi koje čine podaci iz pojedinih uzastopnih deset godina. U svakom je tridesetogodišnjem nizu po 21 takav desetogodišnji podniz: 1961.-1970., 1962.-1971.,.....1981.-1990.. Svaki je desetogodišnji podniz uspoređen s pripadnim uzorkom sastavljenim od preostalih dvadeset istovrsnih podataka (iz preostalih godina klimatskog razdoblja - prije i poslije promatranog desetljeća). Prema tome, na svakoj je lokaciji ukupno testiran po 21 desetogodišnji niz podataka godišnje količine oborine i po 252 desetogodišnja niza podataka mjesečnih količina oborine pojedinih mjeseci.

Metoda

Primjenom je testa sa slijedovima testirana pripadnost pojedinih desetogodišnjih i odgovarajućih dvadesetogodišnjih uzoraka oborinskih podataka istoj populaciji. Pripadanje istoj populaciji u pojedinom slučaju znači da ne postoji bitna razlika između oborinskih uvjeta u tom desetljeću i preostalom dijelu klimatskog razdoblja.

Test je sa slijedovima statistička neparametarska metoda za usporedbu dvaju uzoraka za koju nije potrebno poznavati razdiobu populacije. On je osjetljiv ne samo na razlike u položaju, nego i na razlike u rasponu razdioba iz kojih dolaze uzorci. Ovaj test polazi od slijedeće postavke o izmiješanosti članova dvaju uzoraka koji su slični. Ako se podaci dvaju sličnih uzoraka, od kojih jedan sadrži n_1 , a drugi n_2 podataka, poredaju po veličini, novi će uzorak, sa $N=n_1+n_2$ podataka, imati izmiješane članove. Ako oba uzorka potječu iz iste populacije logično je da će podaci iz dvaju uzoraka biti dobro izmiješani kad se poredaju po veličini, te će broj slijedova biti velik. Slijed je svaka skupina uzastopnih podataka iz istog uzorka. Obrnuto, mali će broj slijedova ukazivati da dva promatrana uzorka ne potječu iz iste populacije, tj. da se značajno razlikuju. Teoretske su vjerojatnosti da će biti ispunjena hipoteza o potjecanju obaju promatranih uzoraka iz iste populacije uz parni ($d=2k$), odnosno neparni ($d=2k+1$) broj slijedova (d):

$$\text{uz parni broj slijedova: } f(d) = \frac{2}{\binom{n_1+n_2}{n_1}} \binom{n_1-1}{k-1} \binom{n_2-1}{k-1} \quad (1)$$

$$\text{uz neparni broj slijedova: } f(d) = \frac{2}{\binom{n_1+n_2}{n_1}} \left[\binom{n_1-1}{k} \binom{n_2-1}{k-1} + \binom{n_1-1}{k-1} \binom{n_2-1}{k} \right] \quad (2)$$

Uz zadanu razinu značajnosti α , najmanji se broj slijedova (d_0) uz koji je ispunjena

hipoteza o pripadnosti dvaju uzoraka istoj populaciji određuje iz relacije $\sum_{d=2}^{d_0} f(d) = \alpha$.

Hipoteza se prihvaća uz broj slijedova d veći od d_0 , odnosno ne prihvaća se uz broj slijedova manji ili jednak d_0 . Ovdje je primijenjena vrijednost $\alpha=0,05$.

Za ovdje promatrane slučajeve u kojima uzorak svih istovrsnih podataka o količinama oborine iz klimatskog razdoblja ima 30 podataka (N), te druga dva poduzorka imaju po 10 (n_1), odnosno 20 (n_2) podataka, broj slijedova $d_0=10$. Dakle, uz najmanje 11 slijedova u uzorku svih istovrsnih podataka poredanih po veličini, postoji pripadnost pojedinog niza sastavljenog od deset podataka istoj populaciji kojoj pripada i ostalih dvadeset podataka.

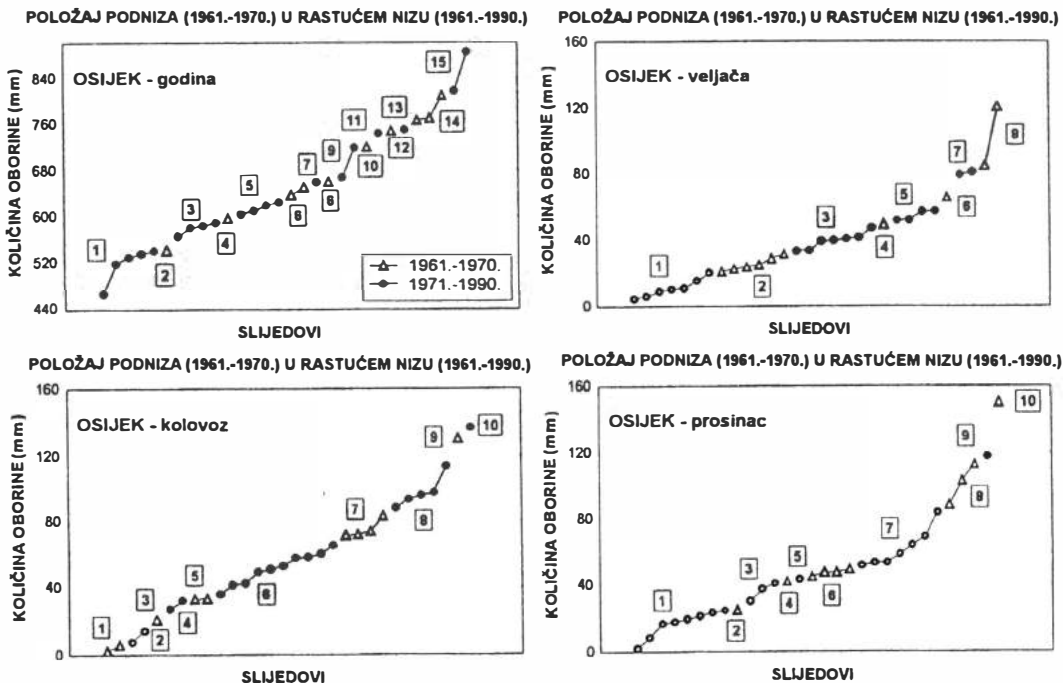
Rezultati

Rezultati su utvrđivanja desetljeća koja se po godišnjim ili po mjesečnim količinama oborine lokalno značajno razlikuju od odgovarajućih oborinskih uvjeta u preostalom dijelu klimatskog razdoblja 1961.-1990., prikazani u tablici 1.

Čestine su pojavljivanja značajno odstupajućih desetljeća u razdoblju 1961.-1990. različite na četiri promatrane lokacije. Dok su prema godišnjim količinama oborine u Zagrebu, Splitu i Rijeci u promatranom klimatskom razdoblju utvrđena po tri bitno odstupajuća desetljeća, u Osijeku nije utvrđeno niti jedno. Još su prostorno različiti čestine pojavljivanja desetljetno statistički značajno odstupajućih mjesečnih količina oborine. U Zagrebu je utvrđeno najmanje – sedam, a u Rijeci najviše – petnaest takvih desetljeća. Testiranja su pokazala da čak i u desetljećima u kojima je bilo lokalno značajnih odstupanja količine oborine tijekom više mjeseci, godišnje količine oborine nisu uvijek lokalno značajno odstupale (tablica 1. i slika 1.). To ukazuje na potrebu preciznog tretiranja odstupajućih oborinskih uvjeta.

Tablica 1. Desetljeća u kojima mjesečne ili godišnje količine oborine ne pripadaju istoj populaciji, kao odgovarajuće iz ostalih djelova kimatskog razdoblja 1961.-1990., u Zagrebu (Z), Osijeku (O), Splitu (S) i Rijeci (R)

mjesec desetljeće	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	godina
1961-1970		O					R	O				O	
1962-1971		Z						O		R	S	O	
1963-1972						R		O					S
1964-1973						R		O					Z
1965-1974						S	Z	O					Z
1966-1975													Z
1967-1976									S				
1968-1977			Z										
1969-1978			Z										
1970-1979			R										
1971-1980			R							O			
1972-1981		S								O			
1973-1982		S			R					O			S
1974-1983	S	S			R								S
1975-1984	Z			R									
1976-1985				R								R	
1977-1986				R									R
1978-1987										S			R
1979-1988										S			R
1980-1989							R				R	Z	
1981-1990							O			R		Z	



Slika 1. Vrijednost godišnjih i mjesečnih (veljača, kolovoz i prosinac) količina oborine iz razdoblja 1961. - 1990. poredane po veličini i slijedovi desetogodišnjih (1961. - 1970.) i dvadesetogodišnjih (1971. - 1990.) uzoraka u Osijeku

Značajno odstupajući oborinski uvjeti tijekom deset godina se ne odnose na ista desetljeća u Zagrebu, Osijeku, Splitu i Rijeci. Međusobno se ne podudaraju značajno odstupajuća desetljeća na primorskim lokacijama i lokacijama iz unutrašnjosti (Cvitan, 1998.). No, velike su razlike utvrđene i između dvije promatrane primorske lokacije prema djelovima godine (mjeseci) u kojima su oborinski uvjeti lokalno najčešće desetogodišnje značajno odstupali. Dok se u Rijeci u razdoblju 1961.-1990. odstupajuća desetljeća pojavljuju najčešće od ožujka do srpnja, u Splitu su ona najčešća od rujna do veljače.

Zaključak

U klimatskom su razdoblju 1961.-1990. među lokacijama Zagreba, Osijeka, Splita i Rijeke utvrđene velike razlike u količini i vremenu nastupa desetljetnih razdoblja koja se po oborinskim uvjetima statistički značajno razlikuju od ostalih dijelova tog klimatskog. Velike su razlike utvrđene među godišnjim i među mjesečnim količinama oborine. Test sa slijedovima se pokazao kao osobito prikladan i jednostavan pri višestrukim usporedbama pojedinih nizova podataka sastavljenim od jednakog broja članova, kakve su provedene u ovom radu. Naime, za test sa slijedovima nije potrebno poznavati razdiobu populacije, kao za većinu drugih testova. Također, u svim slučajevima testiranja dvaju uzoraka jednake veličine vrijedi isti, jednom određeni najmanji broj slijedova d_0 , kao kriterij testa o pripadnosti obaju uzoraka istoj populaciji. Zato je uporaba ovog testa prikladna i u praksi.

Literatura

- Cvitan, L., 1998: Desetogodišnji i tridesetogodišnji oborinski ciklusi u Zagrebu i Splitu, Zbornik radova sa znanstvenog skupa s međunarodnim sudjelovanjem Prilagodba poljoprivrede i šumarstva klimi i njenim promjenama, Zagreb, 10-12 svibanj 1998., 41-46.
- Gajić-Čapka, M., 1993: Fluctuations and Trends of Annual Precipitation in Different Regions of Croatia, *Theor. Appl. Climatol.* 47, 215-221.
- Juras, J. 1985, Neke karakteristike klime Zagreba u posljednjem tridesetljeću, *Geofizika*, Zagreb, 93-102.
- Penzar, B., Volarić, B., Penzar, I., 1967: Prilog poznavanju sekularnih kolebanja temperature i oborine u Jugoslaviji, *Papers of Hydrometeorological Institute of Yugoslavia*, Belgrade, 63-89.
- Penzar, B. i Makjanić, B., 1980: Osnovna statistička obrada podataka u klimatologiji, Sveučilište u Zagrebu, 163 str.

Autor:

Lidija Cvitan, dipl. ing., Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, Hrvatska

Tema 6.

SOCIJALNI, POLITIČKI I KULTURNO-POVJESNI VIDOVI MORA

Voditelji teme:

prof.dr.sc. OGNJEN BONACCI i prof.dr.sc. JURE MARGETA



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 6.01.

Optimizacija projekata zaštite okoliša kroz studiju troškova i koristi

Stjepan Bezak, Stanislav Tedeschi, Mladen Radujković

SAŽETAK: Prilikom izrade studije o očekivanim troškovima i koristima od mjera za sprečavanje oštećenja okoliša najčešće se primjenjuju analize isplativosti. Dakle, u nekom određenom ugroženom području, koje može biti vodotok, prirodni rezervat, zaljev na morskoj obali itd., uspoređuju se koristi i troškovi koji se mogu očekivati u razdoblju od slijedećih 20-30 godina računajući od obnove tog područja. Troškovi i koristi izračunavaju se prema dva ili više scenarija koji se temelje na poboljšanju kakvoće vode u vodotoku ili morskoj obali i na privrednom razvoju kao što je turizam, ribarstvo, itd., zatim zdravstvo i rekreacijske djelatnosti uz održavanje postojećih privrednih i poljoprivrednih djelatnosti i postojeće prometne infrastrukture. Uz to postoji i vrijednost čistog okoliša koji ima određenu vrijednost za stanovnike tog područja i za naciju u cjelini.

Optimizacija predloženih rješenja može se izvesti prema nekoliko poznatih metoda u svijetu. U ovom radu je opisana "Cost-benefit" (troškova-dobrobiti) metoda koja se inače često koristi kod optimizacije investicija u području infrastrukture.

KLJUČNE RIJEČI: Zaštita voda, smanjenje zagađenja, studija troškova, analiza, "Cost-benefit" metoda.

Optimization of Environmental Protection Projects through Cost-Benefit Study

SUMMARY: When study is prepared on costs and benefits expected from measures undertaken to prevent environmental damage, the cost-benefit analysis is often applied. Therefore, in a particularly endangered area which might be a watercourse, natural preserve, coastal bay, etc. the expected costs and benefits are compared as they might be expected during the next 20-30 years period from the time of its revitalization. The costs and benefits are calculated by using two or more scenarios based on improvement in water quality in the watercourse or at the sea coast and in economic sectors such as tourism, fishery, as well as health care and recreational activities accompanied by maintenance of the existing economic and agricultural activities and existing infrastructure. The value of clean environment should also be accounted for because of its value for the population in the region and nation as the whole. Optimization of proposed solutions may be carried out by application of some globally accepted methods. The present paper describes the cost-benefit method which is often used in optimization of infrastructural investments.

KEYWORDS: water protection, pollution abatement, cost study, analysis, cost-benefit method

1. Uvod

Zaštita voda od onečišćenja temelji se na nekim općim načelima iz kojih proizlaze određene mjere i postupci kojima se zadovoljavaju ciljevi zaštite voda. Ta načela su sažeta u općim dokumentima o upravljanju vodama zemalja EU, COM 96, zatim Strategija zaštite okoliša i održivog razvitka u Jadranskom području Republike Hrvatske, 1996. i Strategija prostornog uređenja Republike Hrvatske, 1997. Načelo “integralnog pristupa” podrazumijeva planiranje, donošenje odluka kao i provođenja odluka na način da su razmatrana cjelovita vodna područja - slivovi, te sve potrebe vode kako u pogledu količine tako i kakvoće.

Naime u svijetu je već napuštena zamisao o “gospodarskom razvitku po svaku cijenu”, koji je često bio na štetu okoliša, a posebice vodnog bogatstva. Danas je već svugdje prihvaćena strategija o integralnom pristupu razvitka i okoliša poznata pod nazivom “održivi razvitak”, ili “života unutar prihvatnog kapaciteta ekosustava”. U pogledu zaštite i uporabe voda održivi razvitak može se označiti i kao “zadovoljenje sadašnjih potreba bez ugrožavanja mogućnosti budućih naraštaja u zadovoljenju svojih potreba”. Da bismo realizirali navedena načela i strategiju, potrebno je izgraditi sustave javne odvodnje i uređaje za pročišćavanje otpadnih voda.

1.1. Potreba izgradnje uređaja

Sustavima javne odvodnje prikupljaju se otpadne vode te odvede i ispuštaju u prirodne prijamnike. Prije ispuštanja otpadnih voda u prijamnike potrebno je otpadne vode pročititi, odnosno smanjiti masu ispuštenih otpadnih tvari, kako bi se u prijamniku zadržalo postojeće stanje kakvoće vode, ili u nekim slučajevima, poboljšalo stanje kakvoće voda. Takav način upravljanja vodama naziva se “nadzor na kraju cijevi”. U načelu takav postupak je i najskuplji, jer pretpostavlja dovodenje svih otpadnih tvari do uređaja, te primjenu složenih postupaka čišćenja kako bi se zadovoljili zahtjevi ispuštene vode.

U Republici Hrvatskoj još uvijek se znatan dio otpadnih voda bez pročišćavanja ispušta u vodotoke i obalno more, pa je pitanju izbora stupnja čišćenja kao i tehnološkog postupka, nužno pristupiti sa osobitom pažnjom. Polazeći od prvog osnovnog cilja o postupanju s otpadom Zakona o otpadu tj. “izbjegavanje i smanjivanje otpada”, uočava se kod nas problem prekomjernog trošenja vode, vjerojatno kao posljedice niske cijene vode, te s tim u vezi i nebrige o održavanju vodovodnih naprava. Krajnji ishod je povećano dotjecanje otpadnih voda do uređaja. Doda li se k tome slabo izvedena mreža kanala u kojoj se procjeđuju podzemne vode, ili vrlo često uvode drenažne vode, u nekim gradovima čak i manji vodotoci, dolazi se do pretjeranih zahvata za hidrauličko dimenzioniranje uređaja, a dalje i povećanih troškova pogona i održavanja takvih uređaja. Kako vrlo često proizvodni pogoni ispuštaju svoje otpadne vode nepročišćene u sustave javne odvodnje, to je povećan i donos otpadnih tvari do uređaja, od kojih su neke štetne i opasne, te mogu ometati postupke biološkog čišćenja na uređaju.

Kod dimenzioniranja uređaja za čišćenje otpadnih voda potrebno je uzeti u obzir moguća smanjenja na izvoru hidrauličkog i organskog opterećenja. To je nužno posebice kod izgradnje uređaja u fazama, za pojedina razdoblja razvitka, što se u Hrvatskoj u načelu primjenjuje kod svih srednjih i većih gradova.

Sve ovo do sada navedeno, rezultat je dosadašnjih iskustava na realizaciji sličnih projekata. Možemo odmah uočiti određene negativne pojave na izgrađenim sustavima i uređajima,

koje su rezultat nedovoljne analize ulaznih podataka a samim tim i projektnih rješenja. Stoga se nameće zaključak da se nakon uočavanja potreba za izgradnjom sustava za čišćenje otpadnih voda mora izraditi optimizacija predloženih rješenja kroz studiju troškova, kako bi se izgradnjom uređaja postigli optimalni učinci ili dobiti u nekom dužem vremenskom razdoblju.

1.2. Važnost izrade studije troškova i koristi

Novac je uvijek ograničeno raspoloživ, pa se u praksi mora donijeti odluka između više mogućnosti. U svakom poslovnom sustavu ili projektu neprestano se ispituje stanje raspoloživosti novca koji je neophodan za poslovanje. Računi dobiti i troškova novca neprekidno se rade u određenim vremenskim razmacima.

Management koji upravlja određuje trend da se navedeni proračuni rade u što kraćim vremenskim razmacima godišnje, kvartalno, mjesečno, itd. Svi navedeni podaci su od velike koristi za upravljanje, ali oni pokazuju prošlo stanje i za njih se može reći: nitko im ne odriče značaj, ali ih nitko i ne može promijeniti. Stoga je za management kod odlučivanja od najviše važnosti imati informacije unaprijed, te na taj način donijeti blagovremenu dobru odluku.

Prilikom izrade studija o očekivanim troškovima i koristima od mjera za oštećenja propadanja okoliša potrebno je ispitati racionalnost investiranja u nekoliko varijanti kako bismo bili sigurni u najracionalniju odluku. Pored nekih poznatih metoda, kao što je metoda "anuiteta" ili metoda svedenih ulaganja, primjenjuju se analize isplativosti ili "Cost-Benefit Analysis" (CBA).

2. Što je CBA

"Cost-Benefit" analiza (CBA) je sociološko-ekonomska tehnika koja omogućuje korektnu ocjenu alternativa putem pridruživanju troškova scenariju planirane dobiti. Prema definiciji UN - UNIDO Guidelines CBA je "*metoda za procjenu projekata koje se sastoji od kvantifikacije troškova i koristi, izražavajući ih u tekućim vremenskim vrijednostima tijekom životnog vijeka projekta i diskontiranja rezultirajućeg netto godišnjih tokova sa ciljem dobivanja sadašnje vrijednosti*".

Jednostavnije rečeno, CBA analiza prvenstveno ispituje opravdanost ulaganja u realizaciju određenog projekta, na bazi ponuđene tehnologije ili proizvodnje, sa ciljem postizanja maksimalne netto sadašnje vrijednosti. Na taj način se uspoređuju troškovi i koristi a rezultira spoznajom koji projekt i koja tehnologija omogućuje brže vraćanje uloženi sredstava.

2.1. Primjena CBA

Izvori ove analize su u tridesetim godinama u USA kada je za potrebe Tennessee Valley Authority primjenjena na projektu Tennessee Valley hydro-electric sheme. Kao rane uporabe ove metode poznate su i prometne studije u državi Oregon prije dugog svjetskog rata. U periodu poslije drugog svjetskog rata u Europi metoda je prvo korištena u Engleskoj za analizu podzemne željeznice "Victoria line" i autoceste M1. Danas se CBA posebno primjenjuje kod investicija koje provodi javni sektor kod kojih je relativno lako odrediti troškove, ali se očekivane koristi često teško mogu izraziti u jedinci novca. Istovremeno javni sektor je suočen sa manjkom kapitala u odnosu na zahtjeve ili potrebe, te se mora

unaprijed opravdati svako ulaganje. Stoga se primjenjuje CBA kod:

1. Prometa
2. Vodoopskrbe i gospodarenja vodama
3. Obrane
4. Zdravstva
5. Obrazovanja

2.2. Tehnika analize

Sažeto opisano postupak inicijalno podrazumijeva podjelu koristi u tri skupine:

1. Na one čija vrijednost se ne mogu jasno direktno mjeriti u nijednoj kvantitativnoj jedinici (npr. izgubljeni pogled na krajolik).
2. Na one koje se ne mogu direktno mjeriti u novčanim jedinicama, ali se mogu mjeriti u nekim drugim jedinicama (npr. smanjenje broja oboljelih).
3. Na one koji se mogu mjeriti u novčanim jedinicama.

Kada su koristi od različitih alternativa investiranja prikazane u istim jedinicama mogu se direktno uspoređivati. U slučaju kada su jedinice različite koristi se moraju pretvoriti u zajedničku jedinicu - pri čemu je novac najbolji izbor, jer se svaka korist može nadalje uspoređivati sa pridruženim troškovima investiranja. Pretvaranje koristi u novac je težak, ali moguć postupak za koji postoje neke metode. Samo pretvaranje koristi u novac nije završni korak, jer se nakon toga u postupak mora uključiti čimbenik "vrijeme" primjenom diskontne stope.

Na rentabilnost određenog projekta *Diskontna stopa* ima presudan uticaj. Iz razloga svodenja svih ulaganja na netto sadašnju vrijednost, diskontna stopa je ugrađena u skoro sve formule rentabiliteta. Iz navedenih razloga ona je usvojena kao neovisna varijabla, a predstavlja brutto kamatnu stopu. Prema većini autora, *Diskontna stopa* (r) je:

$$r = k_i + k_m + s_{ri} + d$$

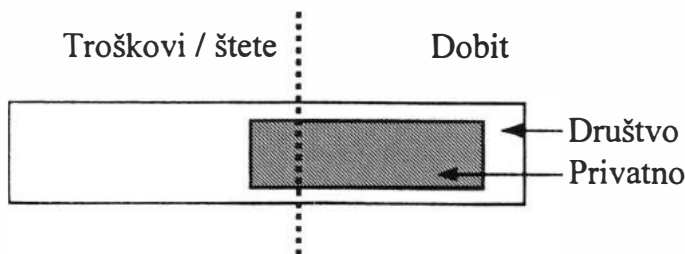
gdje su:

k_i	- stvarna kamata (čista)
k_m	- godišnja stopa inflacije
s_{ri}	- godišnja stopa rizika
d	- diferencijalna stopa (ovisna o dužini trajanja zajma)

2.3. Glavne poteškoće u CBA

Glavne poteškoće u primjeni CBA je proračun dobiti i tzv. posrednih šteta od poduzimanja nekih radnji, što je za razliku od troškova često teško pobliže odrediti i izraziti. Posebno se to donosi na ocjene sa društvenog gledišta kada se uzima u obzir ocjena šire zajednice u kojoj postoji sinteza više različitih interesa. Društveni interes nalaže uključenje u proračun veći broj stavki koje je teško eksplicitno točno izraziti: štete od buke, zagađenja zraka, zagađenja vode, zatim promjena krajolika, povećanje postotka određenih oboljenja, itd.

U većini primjera investiranja redovito dolazi do doticaja privatnih i društvenih interesa. U takvim primjerima društveni interes se štiti kroz propise na način da se očuva balans između onog što se ulaže i dobiva za širu zajednicu. Kada je prisutan nepovoljan nesrazmjer za društvo (slika 1) zajednica određuje takse koje mora plaćati privatni poduzetnik.



Slika 1. Primjer raspodjele CB društveno i privatno

Problemi u analizi CB:

1. *Određivanje ograničenja i odnosa varijabli*, te utjecaja koji dolaze iz projekta i iz primarnog okruženja projekta. U dosadašnjoj praksi CBA koristile su se različite metode za postavljanje problema i obradu podataka. To su: linearno programiranje, regresijska analiza, cjelobrojno programiranje, mrežni modeli, linije balansa, Markovi lanci,... Može se reći da je za CB probleme korištena matematika odmah po njenom razvoju.
2. *Vrijeme* - događaji koji se zbivaju u potpuno različita vremena moraju se svesti na zajednički nazivnik i uspoređivati. Postavlja se pitanje; kako je moguće najefikasnije uspoređivati troškove i koristi koje nastupaju u različitim vremenskim točkama ?. U slučaju kada je u pitanju usporedba određenih novčanih iznosa i transakcija koje se odvijaju u različitim vremenima uobičajna ekonomska operacija je prethodno svođenje na sadašnju vrijednost (present value) primjenom diskontnog faktora.
3. *Neizvjesnost* - svi podaci se odnose na budućnost i kakva god se radi procjena, dobiveni rezultati sadrže određenu neizvjesnost. Za ocjenu neizvjesnosti uobičajeno je koristiti pristup stohastičkog odlučivanja. Pri tome su u praksi najučestalije dvije analize: analiza osjetljivosti u kojoj se promatra utjecaj promjene jedne varijable na neki projektni cilj, ili analiza vjerojatnosti u kojoj se daje probabilistička slika utjecaja više koreliranih varijabli rizika na projekat.

2.4. Usporedba alternativa u CBA

Kod Primjene CBA uobičajeno je da se ovom metodom uspoređuje i ocjenjuje nekoliko različitih varijanti izvršenja projekta i neizvršenje projekta (ne poduzimanje ničega) kao jedna od mogućnosti.

Kao prvi korak je analiza predloženog projekta preko testa "sa ili bez". Drugim riječima koje su štete ili koristi od izgradnje ili neizgradnje određenog objekta. Kada se radi o području zaštite voda postavlja se dilema dali uređaj za pročišćavanje izgraditi ili ne. Logično je za pretpostaviti da će izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda donijeti niz koristi kao alternativa neizgradnji uređaja i mogućem zagađenju vodotoka ili mora.

U drugom koraku uspoređuju se alternative pojedinih projektnih rješenja kroz predloženu tehnologiju, troškove izgradnje, dobiti itd.

Pri ocjeni alternativa koriste se diferencijalni troškovi / dobiti, tj. bilo koji trošak i dobit koji su prisutni u svim alternativama zanemaruje se prilikom usporedbe. Tako u pojednostavljenom matematičkom postupku ostaju samo specifični troškovi i dobiti svake varijante.

2.5. Matematičke podloge za izradu modela ocjene alternativa primjenom CBA

Pri izradi modela ocjene alternativa treba koristiti slijedeća polazišta [1]:

1. Kada se korist može mjeriti u novčanim jedinicama:

a) Investicija vrijedi ako diskontirani tok koristi (b) nadilazi diskontirane troškove (c)

investicije $I = \sum c \frac{1}{(1+r)^n} \leq \sum b \frac{1}{(1+r)^m}$, n, m - godine, r = diskontna stopa.

To je analiza sadašnje vrijednosti.

b) Kod proračuna diskontne stope koja izjednačuje diskontirane vrijednosti troškova i

koristi. investicija u I_1 je bolja od I_2 kada vrijedi: $r_1 > r_2$, $I = \frac{b}{(1+r)^m} = \frac{c}{(1+r)^m}$

To je analiza interne stope povrata.

2. Kada se koristi mogu mjeriti samo u terminu neke od karakteristika izvedbe “ a_{ki} ”

(bilo kojem mjerilu rada ili aktivnosti) investicija u I_1 je bolja od I_2 kada vrijedi: $\frac{a_{11}}{I_1} > \frac{a_{12}}{I_2}$

3. Kada su iznosi investiranja jednaki ($I_1=I_2$) i moguće je izraziti koristi od svake investicije u terminu nekog broja sličnih karakteristika (a_{pi}) investicija u I_1 je bolja od I_2 kada vrijedi: $a_{p1} > a_{p2}$.

3. Primjena CBA u zaštiti voda

3.1. Osnove pristupa CBA u primjeru zaštite voda

Za provedu CBA potrebno je početno definirati scenarije mogućih varijanti budućih događanja u vodnom sustavu. Za primarnu usporedbu CBA treba istražiti dva scenarija i njihove pridružene posljedice kroz test “sa ili bez” projekta:

a) Slučaj pokretanja projekta

1. Troškovi novog projekta koji podrazumjeva dodatno investiranje u radove i opremu koja bi omogućila da se aktivnosti na tlu nastavljaju u sadašnjem ili povećanom obimu, a da se istovremeno kvalitet voda održi na zadanoj razini.

2. Novčano mjerljiva i novčano nemjerljiva korist od smanjenja zagađenja vode za život i aktivnosti u vodi, na vodi i na tlu oko vode.

b) U slučaju neizvršenja projekta zaštite voda

1. Izgubljena korist kao posljedica propuštanja izvršenja projekta iz točke 1., te posljedično zagađenja vode od aktivnosti sa tla u mjeri koja bi usporavala, onemogućavala razvoj aktivnosti na tlu, ili u bilo kojem obliku ograničavala i smanjivala kvalitetu života i aktivnosti na tlu i vodi.

2. Poremećaji u ekosustavu vode sa pridruženim utjecajima na aktivnosti i život na pripadnom dijelu gravitirajućeg tla.

U jednom i drugom slučaju potrebno je početno definirati sve izvore i utjecaje koji se pojavljuju kao pokretači troškova i koristi.

3.2. Izvori troškova koji se pojavljuju kao ulaz u CBA

Za specifikaciju troškova potrebno je prvo odrediti izvore i količine zagađivanja sa projekcijom stanja u budućnost. Uobičajni primarni izvori zagađivanja i njihovi efekti u općenitom slučaju prikazani su u tablici 1.

Tablica 1.

Zagađenje	Izvor	Posljedice	Gubici	Mjera	Korist
Organske tvari	Otpadne vode i kućanstva i industrije	Pad kvaliteta vode za piće, zdravlje ljudi, uništavanje riba	Turizam, kvalitet hrane, rekreacija ljudi, ribolov, ...	Pročišćavanje otpadnih voda kućanstva i industrije	Poboljšana kvaliteta zdravlja, rekreacija ljudi
Nitrati i fosfati	Otpadne vode i kućanstva i industrije, poljoprivreda	Eutrofikacija, pad kvaliteta vode za piće, zdravlje ljudi	Turizam, kvalitet hrane, rekreacija ljudi, ribolov, ...	Pročišćavanja voda, regulacije, kontrola ispuštanja	Kvalitet vode, turizam, rekreacija ljudi
Talozi	Odmuljavanje, nanosi strujnih tokova, industrijska odvodnja	Eutrofikacija, pad kvaliteta vode za piće, zdravlje ljudi	Turizam, kvalitet hrane, rekreacija ljudi, ribolov, ...	Regulacije	Kvalitet zdravlja i hrane, turizam, rekreacija ljudi
Metali	Otpadne vode industrija	Pad kvalitete hrane, utjecaj na organizme	Kvalitet hrane, turizam	Pročišćavanje indust. otpadnih voda, primjena čistih tehnologija	Kvalitet hrane i vode,

Pregledom izvora i strukture zagađivanja vode vidljivo je da bi se za otklanjanje ili djelomično smanjenje stupnja onečišćenja trebalo poduzimati slijedeće mjere:

1. Kontrola ispuštanja štetnih otpadnih tvari.
2. Forsiranje primjene "čistih" tehnologija u industriji.
3. Smanjenja korištenja štetnih spojeva u poljoprivredi.
4. Regulacije vodnih tokova.
5. Pročišćavanjem otpadnih voda kućanstva i industrije.

Svaka od predloženih mjera ima svoje pripadne troškove koji se u slučaju provedbe iste moraju uključiti u CBA. Podjela troškova vrši se u slijedećim skupinama:

- Troškovi pripreme projekta.
- Troškovi izgradnje sustava za pročišćavanje voda.
- Troškovi održavanja i rada sustava za pročišćavanje voda.

Struktura troškova izgradnje uređaja za pročišćavanje uključuje :

1. Troškovi izrade studija, istražnih radova i projektne dokumentacije
2. Troškovi nabave zemljišta
3. Troškovi građenja kanalizacijskog sustava
4. Troškovi građenja uređaja za pročišćavanje
5. Troškovi rada uređaja za pročišćavanje voda
6. Troškovi održavanja sustava za pročišćavanje voda

3.3. Izvori koristi koje se pojavljuju kao ulaz u CBA

Glavni izvori koristi od ulaganja u održanje i poboljšanje kvalitete vode mogu se prikazati u dvije skupine :

- Koristi koje se na neki način mogu izraziti novcem, a dijele se na neposredne i posredne.
- Koristi koje se izražavaju kao kvalitativni učinak, i nisu mjerljive u novčanim jedinicama.

a) U skupinu koristi koje se na neki način mogu izraziti novcem ubrajaju se:

1. Koristi od smanjenih ulaganja u vodoopskrbu pitkom vodom. Zagađenjem voda biti će potrebno napuštati postojeće izvore, te graditi nove uz vjerojatno crpljenje vode iz udaljenijih zona, iz dubljeg podzemlja, uz povećani stupanj obrade, tj. sveukupno uz znatno veće troškove.
2. Koristi od manjih broja oboljelih i smanjenja zdravstvenih troškova stanovništva. Voda je bitna za život čovjeka te značajno utječe na njegovo zdravlje. U uvjetima djelomično ili značajno zagađenih voda dio stanovništva će imati organiziranu opskrbu vodom, a dio će se vršiti bez nadzora ili s nepotpunim povremenim nadzorom. To znači da će dio neodgovarajućih voda biti konzumirana bez odgovarajuće pripreme, što kroz duže razdoblje znači povećanje stope oboljelih od bolesti izazvanih onečišćenom vodom. Također ljudi će i kroz druge aktivnosti (kupanje, vožnju čamcem, ribolov,...) dolaziti u kontakt sa zagađenim vodama, što će se odražavati na zdravlje.
3. Koristi od korištenja nezagađenih voda za navodnjavanje poljoprivrednih proizvoda.
4. Koristi od organiziranja turističke djelatnosti i rekreativnih aktivnosti u krajoliku sa čistim vodama.
5. Koristi od očuvanja života u vodi. Mogućnosti života u čistoj vodi su iskoristive u svrhe komercijalnog i rekreativnog ribolova.
6. Koristi od očuvanja okolnog kopneneog životinjskog i biljnog svijeta koji se u nekom obliku koristi od lokalnog stanovništva koje gravitira na promatrane vode.

b) Koristi koje se izražavaju kao kvalitativni učinak, i nisu mjerljive u novčanim jedinicama.

1. Očuvanje kvalitete prostora za život ljudi. Značajan dio ljudskih naselja je smješten ili gravitira nekoj vodi. U slučaju zagađenja vode navedeni prostori gube svoju temeljnu kvalitetu radi koje su u prošlosti izabrani kao najpogodnije mjesto za organizaciju života ljudi.
2. Sprečavanje uništenje dijela biljnog i životinjskog svijeta, te trajne negativne promjene ovih sustava.
3. Održanje sveukupnog prirodnog sustava kao okoliša u kojoj čovjek boravi imati će pozitivan učinak na svakog čovjeka-pojedinca, koji će se ogledati u boljem psihičkom stanju i bogatijim intelektualnim aktivnostima.

4. Zaključak

Troškovi postupaka i/ili mjera za zaštitu okoliša od onečišćenja su u načelu poznati, ili ih je razmjerno lako utvrditi. Međutim, nisu poznate koristi ili dobrobiti koje proizlaze iz primjene postupaka i/ili mjera za zaštitu okoliša. Iako je zaštita okoliša zakonska obveza, ipak u pojedinim slučajevima, a posebice kod zemalja u razvoju postoje uvijek

razmišljanja, dali je nužno primjenjivati baš sve mjere zaštite okoliša.

Predloženi način utvrđivanja koristi ili dobrobiti primjenom mjera za zaštitu okoliša predstavlja jedan od načina tumačenja i obrazlaganja potrebnih mjera zaštite i za širu javnost.

Literatura

1. Dewhurst RFJ : *Business cost-benefit analysis*, McGraw-Hill, Maidenhead Berkshire, England 1972.
2. Glafkos C., : *Preliminary study on the costs and benefits of measures for the reduction of the degradation of the environment from land-based sources of pollution and activities in coastal areas of the island of Rhodes*, United Nations Environment Programme, Nairobi, 1991.
3. Studija “*Procjena troškova izgradnje, održavanja i pogona konvencionalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda*”, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1996.
4. Tedeschi S.,: *Zaštita voda*, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Zagreb, 1997.

Autori:

Mr. sc. Stjepan Bezak, dipl. ing. građ.- Institut Građevinarstva Hrvatske, Zagreb

Prof. dr. sc. Stanislav Tedeschi, dipl. ing. građ.- Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Doc. dr. sc. Mladen Radujković, dipl. ing. građ.- Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

WERKOS^(R)

*friends
of
nature*



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 6.02.

Institucionalno reorganiziranje sektora voda u F BiH

Tarik Kupusović, Selma Čengić

SAŽETAK: Obzirom na stanje sektora voda u F BiH, kao i potencijalno članstvo BiH-e u EU, projekat "Institucionalno reorganiziranje i jačanje sektora voda" temelji se na EU i međunarodnim principima. Postojeći Federalni Zakon o vodama daje previše konfliktnih odgovornosti Vodoprivredama i u velikoj mjeri ignorira široko prihvaćene moderne principe upravljanja vodama. Njegova implementacija, mada praktično još nije ni počela, vodila bi uspostavljanju predratnog uređenja i povećanju jaza između sektora voda u F BiH i prakse naprednih zemalja u tranziciji i pogotovo EU. Projektom su predloženi alternativni modeli organizacije sektora voda – Federalni, Kantonalni i model Riječnih slivova. Na stručnoj i ministarskoj razini, usvojen je model Riječnih slivova. Predloženo institucionalno reorganiziranje uživaće značajnu podršku donatora i tako u narednom četvorogodišnjem periodu dovesti do bitnog poboljšanja i samoodrživog funkcioniranja sektora voda.

KLJUČNE RIJEČI: održivo vodogospodarstvo, EU i međunarodni principi, fokus riječnog sliva

Institutional Reorganization of Water Resources Sector in the Federation of Bosnia and Herzegovina

SUMMARY: Considering the situation at the water resources sector in the Federation of Bosnia and Herzegovina and potential membership of Bosnia and Herzegovina in the European Union, Institutional Reorganization and Enhancement of Water Resources Sector project is based on EU and international principles. The existing federal Waters Act grants too much conflicting authority to Water Resources Authorities and mainly ignores widely accepted state-of-the-art principles of water resources management. Its implementation has not started yet, but it would end in revival of prewar organization and increase in gap between the water resources sector in the Federation and practice of countries in transition and particularly the EU member countries. The project proposes alternative models for the water resources sector - federal, cantonal and the catchment area model. The catchment area model was accepted on professional and ministerial level. Proposed institutional reorganization will get significant support of the donors and result in considerable improvement and viable functioning of the water resources sector in the next four years.

KEYWORDS: viable water resources sector, EU and international principles, catchment area focus

1. Osnovni principi upravljanja vodama

Europske institucije su se 1995. godine suglasile da politiku Zajednice u domenu voda treba podvrgnuti procesu temeljitog preispitivanja i restrukturiranja.

Komisija je prihvatila zahtjeve Komiteta za okoliš Europskog parlamenta i Vijeća ministara okoliša, te je početkom 1997. donijela Okvirnu smjernicu o vodama. Namjera

te smjernice je da uspostavi okvir za postizanje slijedeća četiri glavna cilja održive politike u upravljanju vodama:

1. obezbjeđenje dovoljnih količina pitke vode;
2. obezbjeđenje dovoljnih količina vode za druge ekonomske potrebe;
3. zaštita okoliša i
4. smanjenje nepovoljnih utjecaja poplava i suša.

Osnovni principi ove direktive su slijedeći:

1. Integralni pristup na razini definiranih riječnih bazena (površinske vode, podzemne vode, morska ušća);
2. Administrativni aranžmani i koordinacija unutar oblasti riječnih bazena;
3. Integriranje politike upravljanja vodama sa drugim okolišnim politikama i standardima;
4. Priprema Planova upravljanja riječnim bazenima;
5. Visoka razina zaštite okoliša (principi predostrožnosti, preventivne akcije);
6. Princip potpunog pokrivanja troškova (uključujući u troškove usluge vodoopskrbe i okolišne i resursne troškove);
7. Princip zagađivač plaća;
8. Identificiranje promjenljivosti okolišnih i ekonomskih uvjeta za svaku oblast riječnog bazena;
9. Međunarodna suradnja unutar oblasti riječnih bazena;
10. Uspostava usklađenog i iscrpnog pregleda statusa voda u oblasti riječnog bazena monitoringom površinskih voda, podzemnih voda i zaštićenih područja;
11. Javnost i učešće zainteresiranih strana i
12. Uspostava okvirnog pravnog programa mjera za postizanje ciljeva.

Program mjera treba slijediti kombinirani pristup, koristeći određivanje graničnih vrijednosti emisije i standarde kvaliteta voda za recipijente.

2. Funkcije u upravljanju vodnim resursima

U ovoj točki kratko se navode različite funkcije upravljanja vodnim resursima i analizira njihova međusobna povezanost i uslovljenost. Pored toga, identificiraju se i analiziraju osnovne karakteristike svake funkcije, koje određuju podobnost ili nepodobnost da se izvršavaju u okviru iste institucije u sektoru voda.

1. *Zakonodavne funkcije* uključuju rad na izradi zakona, podzakonskih akata, pravilnika i sl. U demokratskim društvima, zakonodavne funkcije su jasno razdvojene od sudskih i izvršnih funkcija.
2. *Javno financiranje (ili subvencioniranje)* u sektoru voda je u izrazitom opadanju. Principi "zagađivač plaća", "korisnik plaća" i "plaća onaj ko ima korist" zamjenjuju centralistički princip skupljanja novca za tzv. "viši javni interes". Subvencije su dio procesa raspodjele javnih finansijskih resursa, pa predstavljaju direktnu odgovornost izabranih političkih tijela – sabora i vijeća.
3. *Dozvole i dodjeljivanje prava na vode* trebaju se donositi na razini riječnog sliva. Raspodjela i zaštita ograničenih vodnih resursa za različite vrste korištenja, zahtijeva posve neutralno razmatranje i najveći stupanj transparentnosti.
4. *Procedura za žalbu* mora uvijek biti definirana za učesnike u procesu donošenja neke odluke. Žalbena institucija mora biti neutralna prema svim stranama koje su

učestvovala u procesu donošenja prvobitne odluke.

5. *Izvršne (ili regulativne) funkcije* tiču se monitoringa i podrške uspostavljenim zakonima, dogovorima, pravilima i standardima, te reguliranja cijena koje naplaćuju javna poduzeća. Integralno planiranje i strategiju upravljanja vodnim resursima mogu vršiti izvršna tijela bez konflikata interesa.
6. *Tehnički nadzor, pravila i standardi te upravljanje podacima* su osnovni elementi za poboljšanje i održavanje kvaliteta proizvoda, usluga, ugradnje materijala i rada radnika. Standardizacija i katastar infrastrukture, te uspostava efikasnog informacijskog sustava, osnovni je uvjet uspješne ekonomske politike, koja vodi održivom razvoju.
7. *Istraživanje i razvoj* je potreba koja postoji na različitim razinama. Tipično akademska istraživanja su u principu autonomna i neovisna, s relativno visokim stupnjom slobode u okviru budžetskih ograničenja.
8. *Usluge i komercijalne aktivnosti* moraju biti strogo odvojene od funkcija koje se odnose na standarde, uspostavu regulative i kontrole. Posebno je važno da neutralnost i objektivnost izvršnih tijela, koja izdaju dozvole, ne bude narušena davanjem prednosti nekim subsektorima, kao na primjer poljodjelstvu ili energetici. Ako postoji poseban razlog promocije nekih od subsektora, to vrše njima odgovarajuća ministarstva na federalnom, kantonalnom ili općinskom nivou.
9. *Zaštita od poplava, kontrola erozije i zaštita okoliša* su funkcije širokog djelokruga. One ne uključuju samo upravljanje vodnim resursima i tokovima, jer je upravljanje zemljišnim resursima jednako važno. Ovo također zahtijeva stvarnu integraciju i koordinaciju između sektora, subsektora, i subjekata, za koje je najprirodniji oblik koordinacija upravljanja na nivoima riječnih bazena. Vlasništvo nad objektima za kontrolu poplava, erozije i zagađenja mora biti jasno definirano, da bi se osiguralo ispravno upravljanje, održavanje i financiranje ovih objekata, i konačno njihova održivost.
10. *Financiranje* funkcioniranja i plaćanje rada mora biti pokriveno prihodima, od kojih bi se trebali financirati i kapitalni troškovi. Investicioni projekti financiraju se pozajmicama od komercijalnih banaka i međunarodnih institucija ili privlačenjem kapitala kroz prodavanje dionica ili obveznica.

Sumiranjem prethodnih analiza, uočavaju se određene funkcije za koje postoji potreba da su međusobno jasno razdvojene, a to su :

- zakonodavne funkcije;
- dozvole i dodjeljivanje prava na vode;
- izvršne (ili regulativne) funkcije;
- tehnički kodovi i standardi;
- istraživanje i razvoj; te
- vlasništvo i obezbjeđenje usluga.

3. Opis i procjena sadašnje organizacije i okvirnih opcija reorganizacije sektora voda u F BiH

3.1. Opis sadašnje organizacije

Postojeća institucionalna postavka i odgovornosti institucija bazirane su na Federalnom Zakonu o vodama iz svibnja 1998. godine.

Upravljanje vodnim resursima i zaštita voda prvenstveno su u pravnoj nadležnosti Federalnog ministarstva za poljoprivredu, vodoprivredu i šumarstvo, a Federalno

ministarstvo prostornog uređenja i okoliša je nadležno za druge okolišne aspekte. Glavne odgovornosti za upravljanje vodama su na federalnom nivou i na razini dva javna poduzeća.

Jedno poduzeće je smješteno u Sarajevu i odgovorno za vodno područje (slivove) rijeke Save, dok je drugo poduzeće, koje je locirano u Mostaru, odgovorno za vodno područje Jadranskog mora.

Do sada ne postoje kantonalni zakoni o vodama.

Odgovornosti nadležnih organa nisu podijeljene u skladu sa funkcijama, već se uglavnom dijele u skladu sa "federalnim i kantonalnim značajem". Vlasništvo nad nekim vodoprivrednim objektima i postrojenjima još uvijek je nejasno definirano u Zakonu.

Federalni zakon o vodama povjerava Javnim poduzećima za vodna područja slijedeće glavne odgovornosti:

- pripremanje svih stratezijskih odluka (dugoročni planovi za riječne slivove i svi propisi, uredbe i podzakonski akti, koji su neophodni za sprovođenje Zakona o vodama);
- upravljanje i monitoring svih vodnih resursa;
- investiranje, eksploatacija, korištenje, upravljanje i održavanje vodoprivrednih objekata i postrojenja;
- istraživanje, davanje stručnih mišljenja i konzalting;
- upravljanje koncesijama, uključujući pribavljanje i procjenu ponuda; te
- određivanje cijena, tj. definiranje stopa i iznosa vodoprivrednih naknada, nakon dobivanja odobrenja od strane Federalne vlade.

Javna poduzeća primaju 70% svih općih i posebnih vodoprivrednih naknada i 100% federalnu koncesijsku naknadu, za financiranje svojih aktivnosti.

3.2. Opis alternativnih opcija

Svaka od tri alternative teži ka uvrštavanju suštine najboljeg postojećeg nivoa znanja i iskustva o upravljanju i gazdovanju vodnim resursima. Ove alternative sadrže slijedeće ključne elemente:

- Zakonodavne funkcije pripadaju Predstavničkom domu i Domu naroda na federalnom nivou, i kantonalnim skupštinama na kantonalnom nivou;
- Zaštita voda je integrirana sa okolišnom administracijom. Svrha takvog uređenja je da se materijalizira integracija razmatranja o zaštiti voda sa drugom okolišnom materijom, te da se zaštita voda odvoji od ostalih konfliktnih interesa Federalnog ministarstva poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva;
- Izdavanje dozvola se odvaja od svih ostalih funkcija, da bi se obezbjedila nepristrasnost i neovisnost od bilo kakvih posebnih interesa;
- Korisnici i zagađivači prihvataju finansijsku odgovornost do mogućih granica. Olakšice, ukoliko su neophodne, baziraju se na politici i odlukama o dodjeli olakšica, od strane odgovarajućih zakonodavnih tijela, na najnižoj mogućoj razini;
- Financiranje federalne i kantonalne administracije vrši se putem odgovarajućih budžeta. Prikupljanje poreza i naknada od strane korisnika voda i zagađivača ne vrše tijela za izdavanje dozvola, jer će doći u iskušenje da dozvole dalje zagađivanje, da bi osigurali sebi prihode;
- Drugostepeno tijelo za problematiku vezanu za izdavanja dozvola i donošenje administrativnih odluka u upravljanju vodama i zaštiti voda je Vrhovni sud;

- Funkcije koje se odnose na tehnički nadzor, prikupljanje podataka, istraživanje i razvoj su odvojene od izvršnih funkcija;
- Usluge vodoopskrbe i pročišćavanja otpadnih voda, investiranje i vlasništvo nad nekretninama i postrojenjima vrše određena komunalna poduzeća odgovorna općinama ili njihovim udrugama za područje gdje vrše ove usluge;
- Javni interes za podsektore kao što je hidroenergija, navigacija, navodnjavanje itd, podržava se i brani od strane određenih relevantnih ministarstava i tijela.

U Opciji *F, Federalni fokus*, glavne odgovornosti za upravljanje vodama ostaju na federalnom nivou.

U opciji *C, Kantonalni fokus*, glavna moć vlasti prenešena je sa federalnog nivoa na kantone.

4. Plan implementacije odabrane opcije R: fokus riječnog sliva

4.1. Opis plana implementacije

Opcija R predstavlja značajnu reformu, uključujući uspostavu novih tijela koja se ne grade na zastarjeloj organizacijskoj kulturi, i depolitiziranu koordinaciju između kantona F BiH i sa Republikom Srpskom.

U okviru usvojene opcije *R, Fokus riječnog sliva*, predložene su slijedeće reforme:

1. Uspostava jedinstvenog Federalnog ministarstva okoliša i vodoprivrede;
2. Uspostava prijelaznih Tijela za glavne riječne slivove (najviše sedam), odgovornih odgovarajućim kantonima, radi privremenog legaliziranja i reguliranja zahvatanja voda i kontrole zagađenja;
3. Budžetsko financiranje Vodoprivreda za njihove javne funkcije u prijelaznom periodu;
4. Donošenje okvirnog Zakona o okolišu, a nakon njega novog Zakona o vodama.

Kratkoročno – nakon 2-4 godine, potrebno je:

1. Komercijalizirati i redefinirati ulogu Vodoprivreda;
2. Uspostaviti izvršne Agencije za riječne slivove, koje nastavljaju rad prijelaznih Tijela i preuzimaju preostale javne funkcije Vodoprivreda;
3. Uspostaviti Federalno tijelo za izdavanje vodoprivrednih suglasnosti i dozvola, te posebne jedinice za izdavanje dozvola unutar Tijela za riječne slivove, i napokon
4. Donijeti sve zakone i podzakonske akte u skladu sa legislativom EU.

4.2. Financiranje i reorganiziranje Javnih vodoprivrednih poduzeća

Trenutno Vodoprivrede imaju javne odgovornosti i komercijalne funkcije, ali Vlada F BiH nije u stanju da financira te javne funkcije. Usljed toga, Vodoprivrede su ih zanemarile.

Javne odgovornosti postepeno se prebacuju na Tijela za riječne slivove, koja osnivaju kantoni, a ona kasnije prerastaju u Agencije za riječne slivove.

Javne funkcije, o kojima bi Vodoprivrede trebale voditi računa još 2-4 godine su:

- kontrola poplava;
- nadzor korištenja voda (osim kontrole vodoopskrbe i kontrole zagađenja voda);
- nadzor izgradnje objekata;
- eksploatacija materijala iz riječnog korita; te
- stručna mišljenja Ministarstvu okoliša i vodoprivrede.

Važno je da se javne i komercijalne funkcije, kao i odgovornosti, čak i u prelaznom periodu, drže odvojeno.

Postepeno, Javna poduzeća za vodna područja će se komercijalizirati, tako da obnašaju dvije različite funkcije:

- vlasništvo i upravljanje vodnim i drugim okolišnim resursima u ime Federalne i kantonalne vlade, te
- djelimično vlasništvo u kompanijama koje obezbjeđuju komercijalne usluge konzaltinga, projekt menadžment i upravljanje investicijama, usluge treninga i slično, koje kasnije mogu biti i potpuno privatizirane.

4.3. Komercijaliziranje vodovodnih komunalnih poduzeća

Javna vodovodna komunalna poduzeća mogu obezbjediti dobre usluge po razumnoj cijeni, samo ako su operativno samostalna i finansijski neovisna. Sadašnja vodovodna komunalna poduzeća upošljavaju dvostruko i više djelatnika u poređenju sa zapadno-europskim komunalnim poduzećima, uz znatno nižu razinu usluge. Postepeno se broj uposlenih mora smanjivati, da bi cijena vode bila prihvatljiva.

Vlasnici vodovodnih komunalnih poduzeća su kantoni, odnosno općine. Kasnije, kada poduzeća postanu efikasnija u poslovanju, mogu se prodati privatnim dioničarima.

Vodovodna komunalna poduzeća bi trebala biti vlasnici svih svojih objekata i postrojenja. Poduzeća moraju imati ovlasti da naplate odobrene cijene za vodu i povrate svoje troškove, te budu neovisna u svakodnevnom djelovanju. Postupno, ova poduzeća sama investiraju i donose odluke o zajmovima.

5. Međunarodna pomoć u implementaciji

Predložena institucionalna reforma u sektoru voda treba značajnu podršku donatora. Ova podrška uključuje financiranje operacija i tehničku pomoć. Predloženo je i u budžetima već načelno odobreno da se financiraju slijedeći projekti:

- EU Projekat implementacije projekta institucionalnog reorganiziranja i jačanja sektora voda u F BiH (1999-2001);
- EU Projekat izgradnje i jačanja sektora okoliša u BiH (1999-2001);
- EU projekat za podršku djelovanju Tijela odnosno Agencija za riječne slivove, te Autonomnih tijela za izdavanje dozvola (2001-2003);
- USAID program institucionalnog jačanja za samoodrživost vodovoda u BiH, te
- WB i EBRD programi rekonstrukcije infrastrukture u BiH (1999-2003).

Literatura

Materijali EU projekta "Institucionalno reorganiziranje i jačanje sektora voda u F BiH"

Autori:

Prof. dr Tarik Kupusović, dipl.ing.grad.

Asistent Selma Čengić, dipl.ing.grad.

Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, Stjepana Tomića 1,
tel./fax; 207 949, E-mail; ihgf@utic.net.ba, Sarajevo, Bosna i Hercegovina



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 6.03.

Vodna pojava - zakonom zaštićeni spomenik prirode

Srećko Božičević

SAŽETAK: Ako uvažimo činjenicu da se voda na području našeg krša javlja često puta izuzetno rijetko kao posljedica povoljnih hidrogeoloških uvjeta na nekom određenom prostoru, onda je razumljivo, da se ona mora i na poseban način i zaštititi. Na drugom pak mjestu - u sjevernijem, uglavnom aluvijalnom dijelu Hrvatske, voda je uvjet za mogućnost održavanja posebnih ekosustava specifične vrijednosti, koji također zahtijevaju potrebnu zaštitu. Prema našem ZAKONU O ZAŠTITI PRIRODE - priroda je kao cjelina pod zaštitom, ali se samo neki objekti lili lokacije izdvajaju kao posebno zaštićene pojave, među kojima se nalaze i posebno odabrane vodne pojave. Vodne pojave ili površine kao zaštićeni dijelovi prirode štite se kroz pojedine kategorije - međunarodnog, državnog ili lokalnog značenja. U kategoriji Nacionalnih parkova nalaze se: Plitvička jezera (s međunarodnim značenjem!), rijeka Krka, dio otoka Mljeta, te Brijuni i Kornati; u kategoriju Parka prirode uvršteni su Kopački rit, Telašćica i Lonjsko polje; kao geomorfološki i geomorfološko-hidrološki rezervati te zaštićeni krajolici izdvojeni su: Krčić, Gacka, Krka, Imotska jezera; kao posebni ornitološki rezervati: Crna Mlaka, ušće Neretve, te hidrološki spomenici prirode: izvor Kupe, izvor Cetine i drugo.

KLJUČNE RIJEČI: voda, zaštita, krš, aluvij, spomenici prirode

Water Phenomenon - Natural Monument Protected by Law

SUMMARY: Considering the fact that in the Croatian karst water emerging due to favorable hydrogeological conditions at a particular area is rarely encountered, it is clear that it must be specially protected. In more northern predominantly alluvial part of Croatia water is the precondition for survival of special ecosystems of specific value which also demand necessary protection. Under the Croatian Nature Conservation Law nature is protected as a whole, but some segments or locations are singled out as particularly protected phenomena, including some special water phenomena. Conservation of water phenomena or surfaces as protected segments of nature is carried out through establishment of separate categories of international, state or local relevance. The category of national parks includes: the Plitvice Lakes (international relevance!), the Krka River, part of the Island of Mljet, and Brijuni and Kornati Islands. The natural park category includes Kopački Rit, Telašćica and Lonjsko polje. Geomorphological and geomorphological/hydrological preserves and protected landscapes include: the Krčić, the Gacka, the Krka rivers, Imotska Jezera Lakes, and special ornithological preserves are Crna Mlaka and the Neretva Delta. Hydrological natural monuments are the Krka spring, the Cetina spring and others.

KEYWORDS: water, conservation, alluvium, natural monuments

Potreba za zaštitom

Briga za prirodu uz saznanje da je i ona uništiva zahvaljujući čovjekovoj samovolji ili svjesno (nesmotrenoj) nepažnji uočena je i u nas već poodavno. Gotovo prije šezdeset godina u radu geologa dr. Josipa Poljaka: “Zaštita geoloških i paleontoloških objekata i prirodnih spomenika”, objavljenom u Glasniku “ZAŠTITA PRIRODE” pri banskoj upravi savske banovine iz godine 1938. on tom problemu posvećuje odgovarajuću pažnju i iznosi svoja upozorenja. Neke njegove riječi napisane u tom radu, gotovo da u potpunosti vrijede i danas:

- “Biljeg utisnut na čelo današnjice je 'što lakše i što bolje živjeti i uživati'. Ideali, nauka i naučne vrednote, stvari su, kojima se još danas bave zanesenjaci; pametan čovjek po današnjem shvatanju treba da uživa, a sve ostalo od sporedne je važnosti. Nauka i njene vrednote iščezavaju na primjer pred sportom, što nam svjedoče razne nogometne - i druge utakmice, na koje dolazi desetke tisuća posjetilaca, dok naučna predavanja posjećuje jedva koja stotina stalnih slušalaca, i to opet iz krugova onih zanesenjaka. Danas se sve, - tjera više iz mode, - pa kad ovako odgojeni ljudi dođu u prirodu, nije čudo, da im je ona tuđa, da je ne razumiju, ne poštuju i ne cijene. Oni je samo toliko cijene, koliko mogu iz nje crpsti koristi, bez obzira hoće li priroda i njeni spomenici kod toga stradati ili ne, hoće li biti iznakažena ili ne, glavno je korist!” -

Uočavajući vrijednost geoloških pojava dr. J. Poljak napominje, da “kod zaštite tih objekata treba uvijek imati na umu opće dobro zaštićenog predmeta”, te pri navođenju napominje: “takav predmet kao općenito dobro, koji je od vanredne važnosti za cijeli jedan kraj, a koji treba zaštititi, jesu vrelo i izvori vode uopće, a u kršu napose. Potrebno je stoga, - navodi J. Poljak dalje - da se čišćenje, kaptacije i eksploatacije vrela obavljaju sa svim mjerama opreza, koje su potrebne - u krškom terenu. Kod svakog većeg zahvata u području nekoga vrela potrebno je da se sasluša mišljenje stručnjaka za hidrografiju krša, a istom nakon toga, da se pristupi zamišljenom poslu. Što vrijedi za vrela i izvore u kršu, vrijedi i za jezera i slapove u kršu, i uopće. Krška jezera, kaskade i slapovi ne samo što služe čovjeku kao vodeni rezervoari za opskrbu vodom, nego su to i najljepši prirodni ures naših krških krajeva. Kod iskorišćivanja vodenih snaga jezera i slapova treba imati na umu, da su ti slapovi i jezera na krškom terenu, pa stoga treba svakom prilikom uočiti i posljedice, koje bi mogle nastati postavljanjem teških objekata na područje sedre, kao i kod kaptacije same vode. U drugu ruku treba paziti, na koje će se mjesto takvi objekti postaviti, da ne bi nagrdili i poremetili prirodnu ljepotu i njenu harmoničnu cjelinu.” ...

Godine 1954. u “Speleologu” objavljujem članak “Zaštita krških fenomena”, te pišući o vrelima u kršu navodim: - “Voda se u kršu kreće svojim, već vjekovima utrtim putovima i čovjek vršeći neoprezno zahvate na takvom terenu može poremetiti odnos i uzrokovati otjecanje vode drugim, nama nepoželjnim putovima. Hidrografski odnosi u kršu već su od same prirode vrlo komplicirani nestabilni, a kad se još k tome čovjek neoprezno upušta u ove odnose, neminovno dolazi do nezgodnih posljedica” -

Na brojne apele znanstvenika-prirodoslovaca Plitvička su jezera kratkotrajno zaštićena godine 1928/29. tzv. Financijskim zakonom, dok konačno godine 1949. nisu i trajno proglašena Nacionalnim parkom.

Zakonska zaštita prirode

Godine 1994. Hrvatska je dobila ZAKON O ZAŠTITI PRIRODE u kom je reguliran odnos prema tom nacionalnom dobru. Zaštita se provodi:

- određivanjem dijelova žive i nežive prirode koji imaju osobitu zaštitu Republike Hrvatske;
- osiguravanjem racionalnog korištenja prirode i njenih dobara bez bitnog oštećivanja i nagrađivanja njenih dijelova i uz što manje narušavanje ravnoteže njenih sastojaka;
- sprečavanjem štetnih zahvata ljudi i poremećaja u prirodi kao posljedica tehnološkog razvoja zemlje i drugih djelatnosti, i osiguravanjem što povoljnijih uvjeta održavanja i slobodnog razvoja prirode.

U zaštićene dijelove prirode koji su od interesa za Republiku Hrvatsku, ubrajaju se:

- nacionalni parkovi, parkovi prirode, strogi rezervati, posebni rezervati, park-šume, zaštićeni krajolici, spomenici prirode, spomenici parkovne arhitekture, te pojedina biljna i životinjska vrsta.

Sve navedene kategorije štite "iznimne i višestruke prirodne vrijednosti" određenih ekosistema, a namjena im je "znanstvena, kulturna, odgojno-obrazovna i rekreativna".

Navedimo, da "spomenik prirode može biti geološki (mineraloško ili paleontološko nalazište, struktura slojeva i sl.), geomorfološki (špilja, soliterna stijena i sl.), hidrološki (vrelo, slap, jezero itd.) ..."

Proglašavanje nekog predjela Nacionalnim parkom i parkom prirode nalazi se u nadležnosti Sabora Republike Hrvatske, a strogi rezervat, poseban rezervat, park-šumu, zaštićeni krajolik, spomenik prirode - proglašava Županijska skupština uz prethodno pribavljenu suglasnost Ministarstva graditeljstva i zaštite okoliša. Akt o proglašenju zaštićenih dijelova prirode ovog Zakona objavljuje se u "Narodnim novinama", te upisuju u Upisnik zaštićenih dijelova prirode. Štiteći zaštićene dijelove prirode zakonodavac određuje da "nisu dopuštene radnje koje mogu prouzročiti promjene i oštećenja", a "na zaštićenom dijelu prirode dopuštene su one radnje i djelatnosti koje ga ne oštećuju i ne mijenjaju svojstva zbog kojih je proglašen zaštićenim".

Zakonom zaštićene vodne pojave u Hrvatskoj

Prema "Popisu posebno zaštićenih objekata prirode" koji je izradio tadanji "Zavod za zaštitu prirode", godine 1991. izdvojene su prema kategorijama naznačene vodne pojave. Uz naziv pojave naveden je i datum kada je ta pojava stavljena pod zakonsku zaštitu. U samom popisu navode se i osnovne značajke objekta, u kojoj se općini nalaze, kolika im je površina, datum zaštite i registarski broj pod kojim se vode u Ministarstvu.

Zaštićene vodne pojave

Kategorija zaštite i naziv objekta	Datum zaštite
NACIONALNI PARK	
1. Plitvička jezera	08.04.1949.
2. Mljet	12.11.1960.
3. Kornati	24.07.1980.
4. Brioni	27.10.1983.
5. Krka	24.01.1985.

PARK PRIRODE

- | | | |
|----|---------------|-------------|
| 6. | Kopački rit | 13.10.1967. |
| 7. | Telaščica | 24.03.1988. |
| 8. | Lonjsko polje | 06.03.1990. |

SPECIJALNI REZERVATI

Geomorfološki

- | | | |
|----|----------------------------|-------------|
| 9. | Vražji prolaz i Zeleni vir | 26.09.1962. |
|----|----------------------------|-------------|

Geomorfološko-hidrološki

- | | | |
|-----|---------|-------------|
| 10. | Krčić | 17.04.1964. |
| 11. | Zrmanja | 28.12.1964. |
| 12. | Čikola | 23.12.1967. |

Ihtiološki

- | | | |
|-----|-------------------|-------------|
| 13. | Vrljika (Imotski) | 22.02.1971. |
| 14. | Jadro (Split) | 22.03.1984. |

Ornitološki

- | | | |
|-----|--|-------------|
| 15. | Krapje Đol | 10.10.1963. |
| 16. | Pod Gredom (Neretva) | 17.03.1965. |
| 17. | Prud (Neretva) | 17.03.1965. |
| 18. | Jastrebarski lugovi | 15.04.1967. |
| 19. | Zaprešić-Sava | 01.10.1970. |
| 20. | Orepak (Neretva) | 07.10.1974. |
| 21. | Strmec (Sava) | 23.12.1970. |
| 22. | Crna Mlaka | 01.07.1980. |
| 23. | Vransko jezero (Biograd n.m.) | 22.02.1983. |
| 24. | Veliki Pažut (ušće Mure i Drave) | 04.11.1983. |
| 25. | Rakita (Lonjsko polje) | 30.09.1969. |
| 26. | Dražiblato (Sava) | 30.09.1969. |
| 27. | Kolansko blato - blato Rogova (otok Pag) | 10.10.1988. |
| 28. | Velo i Malo blato (otok Pag) | 10.10.1988. |

Ihtiološko-ornitološki

- | | | |
|-----|--------------------|-------------|
| 29. | Delta Neretve | 07.10.1974. |
| 30. | Limski zaljev | 13.12.1979. |
| 31. | Malostonski zaljev | 31.03.1983. |

Park šuma

- | | | |
|-----|--------------------------------|-------------|
| 32. | Trakošćan (s jezerom) | 01.07.1955. |
| 33. | Jankovac (izvor, jezera, slap) | 27.01.1955. |

ZNAČAJNI KRAJOLICI

- | | | |
|-----|-------------------------|-------------|
| 34. | Zelenjak (rijeka Sutla) | 26.02.1949. |
| 35. | Krka - krajolik | 22.11.1948. |

36. Cetina kanjon (Omiš)	24.08.1963.
37. Slušnica (Slunj)	17.01.1964.
38. Slapnica (Žumberak)	11.07.1964.
39. Rijeka Dubrovačka	19.12.1964.
40. Ozalj (na Kupu)	24.03.1970.
41. Prološko blato (Imotski)	22.02.1971.
42. Modro Oko i jezero Desne (Neretva)	07.10.1974.
43. Konavoski dvori (izvor Ljute)	08.07.1975.
44. Sovsko jezero (Dilj pl.)	21.11.1989.

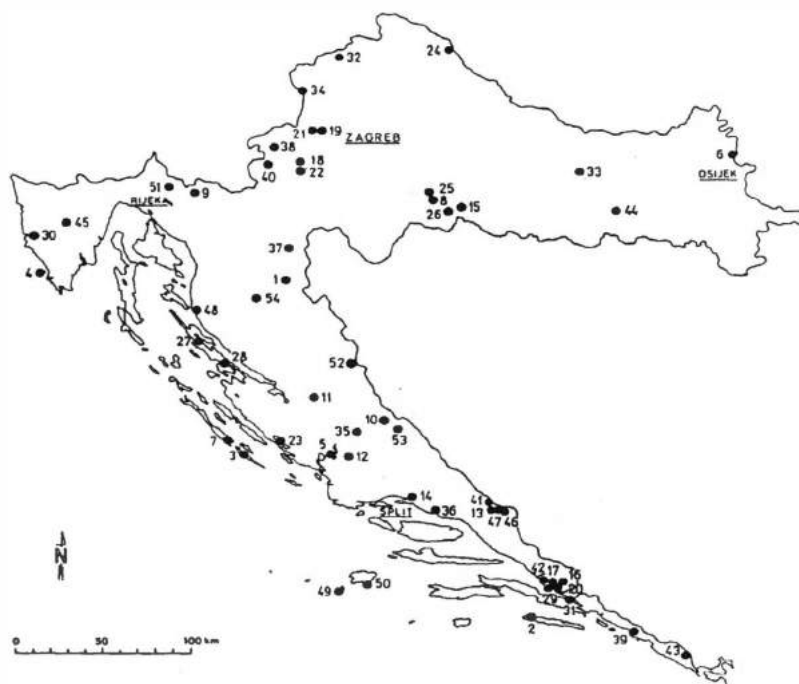
SPOMENICI PRIRODE

Geomorfološki

45. Pazinska jama (potok Pazinčica)	17.03.1964.
46. Modro jezero (Imotski)	25.03.1964.
47. Crveno jezero (Imotski)	25.03.1964.
48. Zavratnica - Jablanac	25.09.1964.
49. Medvidina pećina - o. Biševo	01.03.1967.
50. Ravnik špilja (Vis)	02.08.1967.

Hidrološki

51. Kupa - izvor	12.12.1963.
52. Una - vrelo	20.02.1968.
53. Cetina - vrela	30.06.1972.
54. Gacka - vrela	31.08.1973.



Zaključak

Od pedeset i četiri zaštićene vodne pojave na području Hrvatske, jedna ima međunaarodno značenje (Plitvička jezera kao Spomenik svjetske prirodne baštine), nacionalni parkovi i parkovi prirode su pod direktnim nadzorom - i (trebali bi biti!) pod brigom Sabora (odnosno Republike Hrvatske!), dok su ostale kategorije na brizi Županija i gradskih uprava. Iako je prvi naš Nacionalni park proglašen kao takav pred 50 godina (Plitvička jezera i iste godine i Paklenica!), značajni krajolici Krka i Zelenjak proglašeni su i zaštićeni još 1948. godine, odnosno početkom 1949. godine.

Unatoč zakonske zaštite i sada određenih kaznenih mjera za učinjen prekršaj o narušavanju prirodnog stanja u opasnosti su mnogi objekti zbog zagađenja koje posredno ili neposredno dolazi iz zaleđa neke vodne pojave ili se događa na njoj samoj (Nac. park "Krka", Kopački rit, Lonjsko polje, Čikola, Jadro, ušće Neretve, Crna Mlaka, Malostonski zaljev, Prološko blato, Vransko jezero kod Biograda n.m., Pazinska jama i vodotok Pazinčice, izvor Kupe, te izvorište rijeke Gacke) i drugo.

Očito je da između proklamirane zakonske zaštite i stvarnog stanja na terenu postoji određen nesklad o kojem bi Ministarstvo za zaštitu okoliša i prirode trebalo voditi stvarnu brigu poštujući i sve potpisane međunarodne ugovore o očuvanju i zaštiti našeg prirodnog prostora.

Literatura

Božičević, S. (1954): Zaštita krških fenomena. *Speleolog*, god. II, br. 2, str. 56-59, Zagreb.

Poljak, J. (1938): Zaštita geoloških i paleontoloških objekata i prirodnih spomenika. *Zaštita prirode*, sv. 1, str. 29-39, Zagreb.

Popis posebno zaštićenih objekata prirode (1991), Zavod za zaštitu prirode, Zagreb.

Zakon o zaštiti prirode (1994), "Narodne novine" br. 30, str. 1025-1030, Zagreb.

Autor:

dr.sc. Srećko Božičević, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Sachsova 4



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 6.04.

Ekonomika nasilja, biocidne tehnologije i klimatske promjene

Slavko Kulić

SAŽETAK: Ekonomija nasilja, biocidne tehnologije i klimatske promjene posljedica su autopocentričnog sustava vrijednosti (egoizma, homocentrizma, antropocentrizma tj. megalopsihije i pohlepe za svijetom stvari i novca). Ekonomija nasilja pomoću biocidnih tehnologija preferira kratkoročne koristi i prešućuje dugoročne štete po život na Zemlji. Onečišćenje atmosfere, biosfere i hidrosfere (voda, zrak i tla) guši život na Zemlji. Prehrambeni je lanac života sve ugroženiji. Suvremena patologija živoga svijeta o tome svjedoči. Zdravlje živoga svijeta je ugroženo. Cijena entropijskih promjena je sve veća. Obuzdavanje suvremene patologije živoga svijeta je sve slabije. Ekonomija je kapitala sve manje spremna izdvajati za otklanjanje šteta. Ugroženost biosfere i atmosfere je sve jača. O tome nema svijesti. Ugroženost hidrosfere (rijeka, jezera, mora i oceana) otvara pitanje inteligibilnosti Homo Sapiens Sapiensa. Priobalje Jadrana je ugroženo, ali ne s otpadnim vodama Hrvatske, već Italije. 87% industrije Italije (Sjever) ulijeva se u Jadran. Jadran metastazira. Potrebna nam je viša razina svijesti o zaštiti hidrosfere, litosfere (biosfere) ali i atmosfere jer nam ono sve vraća na "glavu", u nas, u usta". Mi smo ono što udišemo, što pijemo i što jedemo. Zato moramo znati što udišemo, što pijemo i što jedemo. Suvremni način života traži novi pristup, novu vrijednosnu koncepciju – biocentrični sustav vrijednosti, biofilozofiji, bioteoriji, biosustavu života na Zemlji, traži ekonomiju koja podržava život na Zemlji sa sociološko-ekonomskim metodama izbora tehnologija, traži diferencirani rast i organski razvoj, traži holistički pristup razvoju života. Razvoj jest ili nije. Nema održivog i neodrživog razvoja. Nema razvoja izvan žive materije. To se odnosi i na život u Jadranu. Upravljanje resursima Jadrana, jadranskim prostorom ovisi o energiji našega uma, o biocentričnom sustavu vrijednosti. Pravičan utrošak energije uma odlučuje o pravilnom utrošku resursa u prirodi i s prirodom. To traži pravilan pojam o sebi, o vremenu i o prostoru. Vrijeme i prostor su stanje naše svijeti o nama u vremenu i prostoru.

KLJUČNE RIJEČI: ekonomija, biocidne tehnologije, klimatske promjene

Economics of Violence, Biocide Technologies and Climate Changes

SUMMARY: Economy of violence, biocide technology and climate change are the consequence of anthropocentric system of values (egoism, homocentrism, anthropocentrism, i.e. megalopsychy and greed for material world and money). Economy of violence, which harnesses biocide technologies, prefers short-term benefits and neglects long term damages for the life on Earth. Pollution of atmosphere, biosphere and hydrosphere (water, air and soil) suffocates the life on Earth. The food chain is increasingly imperilled. Modern pathology of the living world confirms it. The global health is jeopardized. Price of entropic changes increases. Modern pathology of the living world is ever less effectively restrained. Economy of capital shows decreasing willingness to earmark the funds for repair of damages. Biosphere and atmosphere are ever more endangered. There is no awareness of this. Imperilment of hydrosphere (rivers, lakes, seas and oceans) rises an issue of intelligence of Homo Sapiens. The Adriatic Sea coast is endangered, not by the waste water from Croatia but from Italy. 87% of Italian industry (North) discharges into the Adriatic. The Adriatic is metastasizing. It is necessary to boost awareness on protection of hydrosphere,

lithosphere (biosphere) and atmosphere because it all comes back on us. We are what we breathe, drink and eat, therefore we must know what we breathe, drink and eat. Modern way of life asks for new approach, new concept of values - a biocentric system of values, biophilosophy, biotheory, biosystem for the life on Earth which demands an economy which shall support life on Earth by implementation of socio-economic methods in selection of technologies, asks for differential growth and organic development, asks for holistic approach to development of life. There is no bargaining with development. There is no sustainable or unsustainable development. There is no development without a living substance. This all concerns the life in the Adriatic. Management of the Adriatic resources, Adriatic region, depends on power of our mind, on biocentric system of values. Appropriate application of the power of mind leads to adequate consumption of natural resources. This asks for correct notion of oneself, time and space. Time and space are state of our mind and our consciousness of us in time and space.

KEYWORDS: economics, biocide technologies, climate changes

1. Uvodni dio

Republika Hrvatska i Republika Slovenija su ratificirale Konvenciju o promjeni klime i postale su punopravne strane da u okviru Aneksa I i Konvencije izrade Nacionalni program zbog različitih klimatskih uvjeta s jasnim mjerama aktivnosti na smanjivanju štetnih energetskih emisija u cilju zaštite klimatske diverzifikacije. Financijsku potporu za to imaju od Global Environment Facility (GED) i od UNDP, te IBRD, OUN itd.

2. Pristup istraživanju posljedica biocidnih tehnologija

Problemi biocidnih tehnologija i klimatskih promjena zahtjevaju da se sagledaju dugoročne projekcije smanjenja emisije stakleničkih plinova koji utječu na promjenu klime s bilancama emisije. Nema ekonomije razvoja s biocidnim tehnologijama, usprkos rastu. Isto tako, programima i pilot projektima prihvaćeno je jadransko područje (Cres, Lošinj i Kaštelski zaljev) u cilju istraživanja posljedica klimatskih promjena. Istraživanja obuhvaćaju promjene u povišenju srednje razine mora (od 65 +35cm); prosječne temperature mora (1,8 i 5,5C); povećanje oborina zimi te ljeti; učestalost i intenzitet vjetrova, insolacije, naoblake itd.

Problem se konfiguracije obalnog i otočnog jadranskog pojasa može očitovati kroz povećanje saliniteta voda obalnog i otočnog jadranskog pojasa i rast razine mora, te opasnost poplavlivanja nekih gradova, disfunkciju kanalizacija, primorskih naselja, grada, gradilišta itd.)

S rastom temperature za oko 2% omogućili bi raniji početak turističke sezone, ali i veći broj požara u obalnom području, smanjenje vlažnosti zbog smanjenja oborina itd.

S promjenom klime rasla bi erozija pješčanih plaža, onečišćenje zraka, voda, tla a time i ugrožavanje biljnih i životinjskih vrsta (planktonsko cvjetanje mora).¹

Ove se promjene događaju već sad, a jači intenzitet možemo očekivati u prvoj polovici XXI stoljeća. Prema njima se Nacionalni programi Republike Hrvatske i Republike Slovenije moraju već danas preventivno postavljati.

3. Klasični industrijski način proizvodnje, biocidne tehnologije i onečišćenje priobalja Jadranskog mora

Ekonomika je nasilja s biocidnim tehnologijama preferirala kratkoročne interese i prikrivala dugoročne štete. Kapitalizacija je proizvođačku cijenu izostavila iz kalkulacije

¹ Prema ocjenama "Prvog nacionalnog izvješća o provedbi Okvirne konferencije UN o promjeni klime u RH"; Zagreb, 17. veljače 1998. g.

cijene otklanjanja šteta koje su se zakonito iskazivale na klasičnoj i suvremenoj patologiji ljudskog, životinjskog i biljnog svijeta pa i svijeta gljiva i bakterija.

Cijena entropijskih promjena (klimatskih promjena) je u potpunosti isključena iz kapitalizirane cijene.

Ta cijena je izostavljena iz defektnih, nepotpunih, tehnoloških izuma, baznih tehnologija proizvodnje.

Hrvatska i Slovenija je koristila zakašnjeli transfer tih tehnologija s teškim posljedicama na zagađivanje rijeka, jezera i Jadranskog mora, posebno priobalja. Onečišćenje Jadranskoga priobalja se ne može pripisati samo RH i Republici Sloveniji jer se zna da 87% otpadnih voda industrije sjeverne Italije ulijeva u sjeverni Jadran koji je biološki potpuno onečišćen. Hrvatska ni Slovenija nemaju industiju za koju bi se moglo kazati da intenzivno zagađuju Jadran i njegovo priobalje. Onečišćivači su izvanjski subjekti; teretni i putnički brodovi, jahte, nafta i plin iz podmorja, podmornice, nosači aviona, vojne krstarice, vojni i civilni unosioци onečišćenja itd.

Jadran je u cjelini ugrožen, a ne samo priobalje i otoci. To je problem Europe, a ne samo jadranskih zemalja. Europa mora imati sposobnost da sačuva Jadran od onečišćivača. Živimo u Međunarodnoj godini oceana. Satelitske slike onečišćavanja priobalnih zona Jadrana, ukazuju da moramo biti svjesni posljedica naše neaktivnosti prema Jadranu ili pak moramo smanjiti očekivanja od Jadrana (turizam i odmor).

Ugroženost Jadrana već se prepoznaje u priobalju. Uzroke nije teško otkriti, ali ih je teško ukloniti.²

Vrijeme, oceani, mora i ljudi u Međunarodnoj godini oceana traže višu razinu svijesti i pojedinih društava³ za drukčije odnošenje prema moru kao izvoru hrane, energije, vjetorova itd.

To važi i za odnos prema Jadranu, za organska ili sva druga onečišćenja koja uzrokuju biokemijske procese u morskom okolišu proizvodeći neželjene biološke promjene sa štetnim posljedicama za život u podmorju, na kopnu i atmosferi.⁴

Mora i oceani povraćaju otrove koje je Homo Sapiens gurnuo u njih. Potrebna nam je nova filozofija života jer je civilizacija u ozbiljnom konfliktu s prirodom. Potrebna nam je duboka korekcija modela razvoj kao zapad. Potreban nam je holicistički pristup poimanju i tumačenju paradigme razvoj.

4. Suvremeni način proizvodnje života - novi pristup

U temelju novoga pristupa načinu proizvodnje života, moramo prevladati ekstremni antropocentizam u pravcu umjerenog biocetričnog sustava vrijednosti; u pravcu biosfilozofije; biosteorije i biosustava na planetu Zemlji.

Onečišćenost biosfere (litosfere, hidrosfere) i atmosfere zabrinjava razumne ljude. Klimatske anomalije na tlu, na moru i zraku su sve snažnije i dramatičnije, sve češće. Važnost svjetske meteorološke organizacije (1951) je sve veća sigurnosti života radi na tlu, na moru i zraku. Motrenje i obavještanje je sastavni dio suvremenog načina života

² Vidi: Deklaracija o zaštiti mora, OUN iz 1982. godine s obilježavanjem Svjetskog meteorološkog dana 1998. godine.

³ 1/3 svjetskog stanovništva živi i radi na obalnu području mora i oceana.

⁴ Hrvatska je postala članicom WMC-OUN, 1992. godine

i traži visoki organski sastav kapitala, tehnički sastav kapitala i vrijednosni sastav rada, nova znanja o promjenama i uzrocima klimatskih promjena.

Traži se visoka tehnička opremljenost institucija za motrenje i obavještanje, meteoroloških institucija, brodova, aviona itd. Korištenje mora kao hidroenergetskog potencijala, valova, vjetrova, nafte, plina traži suptilne tehnologije, bazične i korespondirajuće, u suprotnom onečišćenje mora je neminovno. To važi i za Jadran, Tirensko more, Jadransko more, Sredozemno more, za sva mora da ne dožive sudbinu Meksičkog zaljeva, Sjevernog mora, Perzijskog zaljeva itd.

Opstanak i razvoj života u Hrvatskoj i Sloveniji vezan je svojim sadržajem i prostorom za Jadran (30%), za priobalje, za otoke. Ako Jadran toliko preferiramo, mi jadranske zemlje pa i Europa, onda se prema njemu moramo drukčije, pažljivije odnositi, ne samo kad je u pitanju pomorska kultura. Jadran se već sad muči sa svojim obožavateljima. On je uznemiren s našim užiticima. Jadran ne smije umrijeti. Jadran nije samo zemljopisno područje priobalnih zemalja. Jadran je prirodni fenomen sa svojim biserima (Kornati, Vis, Biševo, Jabuka, Palagruža, Lastovo, Mljet i drugi) (UNESCO) i još 1000-ću drugih. Jadran ne smije osiromašiti već bogatiti se s ljudskim doprinosom i odnošenjem prema njemu.

Ako se zna da je klima skup atmosferskih stanja nad određenim mjestom (prostorom) u duljem vremenskom razdoblju onda nije teško primijetiti da se nešto bitno promijenilo. Klima je uvjetan pojam i ovisi o brojnim činiocima, stalnim i varijabilnim, pa tako i s onim što Homo-Sapiens čini u prirodi. Neki su meteorološke prirode (temperatura zraka, tla vlaga oborine, tlak zraka, vjetar itd.), a neki su zemljopisne i kozmičke prirode (sunčevo zračenje, geografska širina, razdioba kopna i mora, nadmorske visine, reljef, karakter tla itd.).

Promjenu klime uzrokuju i poremećaji koji su posljedica pogrešne umiješanosti Homo Sapiensa u prirodu, na tlu, na vodi i atmosferi (ozonski omotač). Promjena klime uzrokuje promjenu uvjeta života na gore za sav živi svijet: za ljude; za životinje; za bilje; za gljive; za bakterije. Homo Sapiens opijen profitom hraneći svoju egomaniju i pohlepu mora osvijestiti promjenu tipa vremena, promjenu atmosferskih veličina i postojanosti vremena.

O tome brine Jadranska meteorologija; Hrvatska i Slovenska meteorološka služba, prati vezu mora i neba, vjetrova i struja i njihov utjecaj na valovlje, na opasnost za ljude, brodove, za čovjekovu okolinu, na kišna i sušna razdoblja, na tlak, na temperaturu, na oborine (kroz koeficijente persistencije i koeficijente korelacije itd.).

Pomorska meteorologija je znanost o suvremenom načinu života na moru i kopnu i u zraku u funkciji praćenja fenomena, procjene i upozorenja pomoću satelita, radara, u funkciji motrilačkog sustava, u funkciji detekcije ciklona u ranoj fazi itd. I Hrvatska i Slovenija, suvremeno vladaju onim znanjima u teoriji, sustavu i praksi života na moru, kopnu i zraku.

5. Studij slučaja: Impact to Coastal Zones - Kaštela

105 godišnjica meteoroloških mjerenja i opažanja u Kaštelima govori puno. Istovremeno ta godišnjica postavlja i pitanje: Kako vratiti stoljetni sklad između čovjeka i prirode u Kaštelanskom zaljevu? Ne samo u njemu, već svim zaljevima, morima i oceanima u koje smo gurnuli s pozornice života otpad koji ugrožava život zračenjem, od orbitalnih i stacionarnih satelita i raketa do nestalih podmornica, vojnih i civilnih letjelica s

atomskim gorivom, do atomskog i kemijskog otpada koji smo gurnuli u mora i oceane o čemu svijet mora više govoriti a ne šutjeti. To se posebno odnosi na znanstvenike. To vrijedi i za Kaštelanski zaljev i na sve one koji su ga punili otpadom ne misleći za posljedice prisvajanja profita s prešućivanjem dugoročnih šteta.

“Kaštela su jedinstven prirodni ambijent zaštićen sa sjeverozapada i istoka planinama, a s juga morem, poluotokom Marjanom i otokom Čiovom. Svojom ljepotom i blagotvornim podnebljem prirodno je uređen po ljudskoj mjeri. Sklop živoga svijeta ispod planine Kozjak po svemu je prirodni fenomen. U žizi je mediteranskih atmosferskih poremećaja”. To je razlog svrhovitog ispitivanja tih poremećaja za vrijeme, za klimu, i sociologiju kulture osobitosti ovoga kraja.⁵ Cilj istraživanja jest da se označi i osvijetle najvažnije vrijednote ove oaze i kulture življenja u njoj.⁶

6. Konceptija revitalizacije života u Kaštelanskom zaljevu - Novi pristup zaštiti Jadranskoga mora

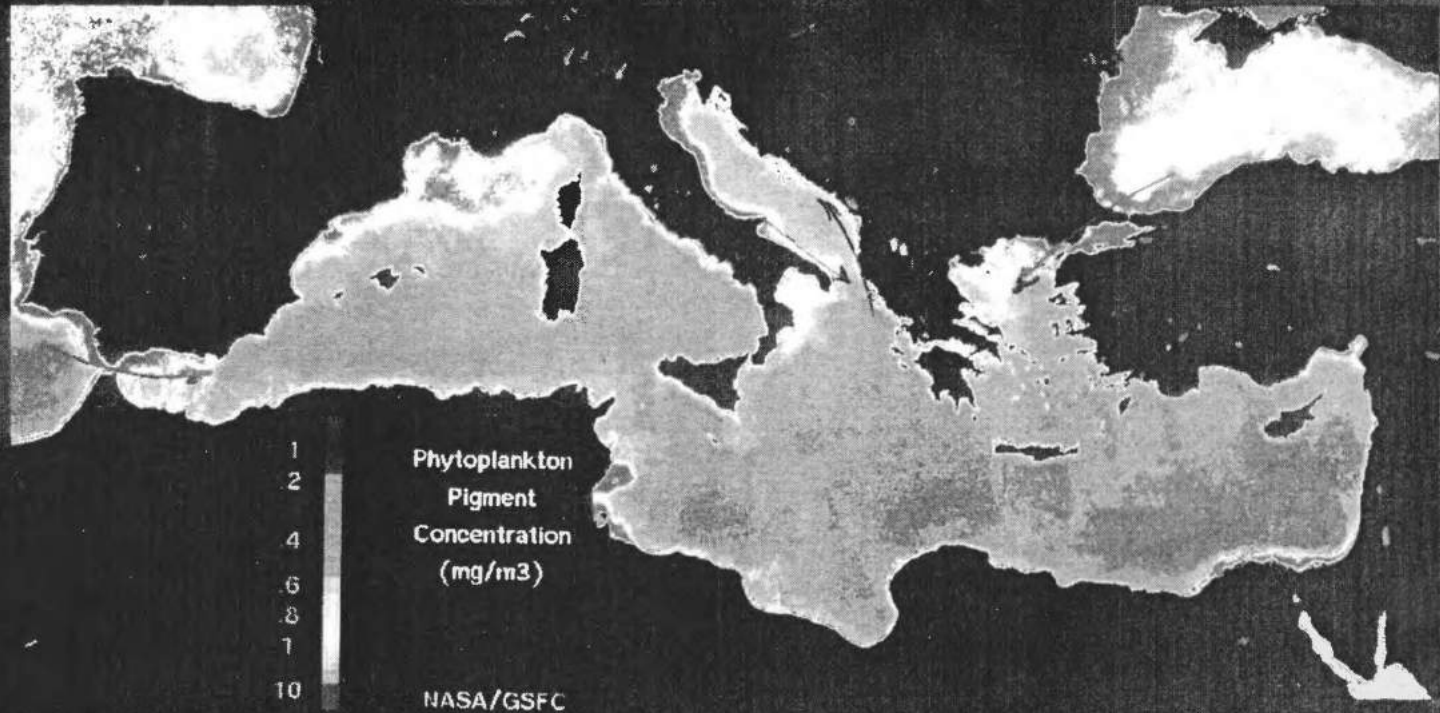
- a) Cilj je očuvati život u ovoj mediteranskoj jadranskoj oazi. Problem jest: kako zaustaviti ekonomiku nasilja, klasičnu i suvremenu, s biocidnim tehnologijama, s pohlepom, egomanijom, destrukcijom i profitom ranije domaćih, danas stranih poduzenika?
- b) Traži se koopernikanski obrat u našoj svijesti, u našem mišljenju, a zatim u svim sferama ljudske djelatnosti u Kaštelanskom zaljevu, u priobalju, na toku Krku (Omišalj) u Jadranskom moru, posebno sjeverni Jadran.
- c) Traži se znanje o tome kako zaustaviti ili obuzdati u profitu destruktivni industrijalizam, ekonomiku nasilja s biocidnim tehnologijama.
- d) Priprema se Eko-projekt da se sedam Kaštela - nekad sedam bisera povrati u život, da Kaštela ne postoje u propadanju već u razvoju.
- e) Da se rijeka Jadro ulijeva čistija u čistiji Kaštelanski zaljev.
- f) Da se Kaštelima koliko toliko povrati izgubljeno obilježje rezidencijalnog područja na ulazu u grad spomenik kulture Split.
- g) Pozvan je ljudski um svih područja znanosti, obrazovanja i kulture da osmisle viziju, koncepciju razvoja života u ovom rijetko lijepom prirodnom sklopu.

Ljudska djelatnost u Kaštelima i priobalju traži promjenu stanja svijesti i znanja, promjenu ili tranziciju antropocentričnog u biocentrični sustav vrijednosti; promjenu nediferenciranog i homogenog rasta u diferencirani i organski razvoj; promjenu ekonomike nasilja s biocidnim tehnologijama u ekonomiju razvoja sa sociološko-ekonomskom metodom izbora tehnologija materijalne proizvodnje; pomjeranje poimanja profita pojedinca u novcu u profit kvalitete života svih u cilju ravnoteže života unutar prehrambenog lanca Kaštelanskog zaljeva.

Mi se obvezujemo Evropi da ćemo čuvati Jadran kao zajedničko dobro prirode. Europa nam mora pomoći da u tome uspijemo, jer Europa je juga prije Europe sjevera (starija). Mi smo po životu (povijesti) starije dijete mediterana od Europe sjevera. Ako nam Europa sjevera ne može u tome pomoći neka nam Europa ne šalje NATO mornaricu, nosač aviona, krstarice itd. jer je to najveća opasnost za Jadran. Zajednički možemo puno

⁵ Zbornik Palagruža: Jadranski dragulj (Proceeding Palagruža: The Pearl of the Adriatic Simposium Papers, Split, 28-30.6. 1995.

⁶ Jadranska meteorologija: Stručno znanstveni časopis iz pomorske meteorologije i ekologije, 1997.g. (god.XLII)



The relatively clear, pigment-poor waters of the Mediterranean contrast sharply with the plankton-rich Atlantic waters off northwest Spain (upper left). Clearly evident in this view of the Mediterranean is the well-known pigment front along southern France and Spain. The image is produced from 30 scenes acquired during May 1980. The gyre in the Alboran Sea near the Straits of Gibraltar is caused by complex circulation patterns resulting from water exchange between the Mediterranean and Atlantic Ocean. In some cases localized areas of high production are due to pollution from human activities.

učiniti da se ne ponovi sjeverno-jadranski biocid; jugovinilski biocid ili neki drugi programirani, svjesni ili nesvjesni biocid u Jadranskom moru. Od toga opravdamo strahuju samo osvještani. Hrvatska je država prodala cementare stranim poduzetnicima. Buši se Mosor i Kozjak. Kopaju se kave za otpad. Luka za rasute i druge terete ostaje. Osvještani ne odlučuju o Eko-sustavu Kaštela. O sudbini Kaštelanskog zaljeva odlučuju vlasnici, poduzetnici i manageri stranih kompanija. Oživljavanje industrije cementa u trci za profitom o tome i ne mora voditi računa. Nju određuje profit. Ni nakon šestomjesečnog usvajanja Eko-projekta Kaštela ništa se bitno ne mijenja.

U 1998. godini more je u Kaštelima najranije procvjetalo u zadnjih 40 godina. To nije slučajno. To ne smije biti septička jama Splita, Trogira, Kaštela jer se biologija mora već odavno buni, što znači da se i dalje puni crna industrijska rupa. Nekad 7 Kaštela - 7 bisera, a danas ? Nekad smo se Kaštelima divili. Ne smijemo se dovesti u situaciju da se Kaštelima čudimo. I divljenje i čuđenje može biti turistički fenomen. Neka se to ne dogodi biosferi; litosferi; hidrosferi ni atmosferi Kaštela. Obuzdajmo pohlepu, egonomaniju, egocentrizam. Klimatologija na Jadranu i priobalju je upravo proporcionalna s razvojem svijeta o obuzdavanju Europe kao personifikacije profita; ekonomije nasilja s biocidnim tehnologijama.

Europa ne smije Jadran učiniti Sjevernim morem, Baltičkim morem. Neka Europa i svijet oslobodi Jadran od nosača aviona, podmornica, krstarica, svega onoga što može ugroziti život u Jadranu. Sinergija Europa se mora za to skupiti. Ovaj skup neka bude SOS za Jadran, jer je Jadran samo jedan, zajednički, Europski. Hrvatska i Slovenija ne odlučuju samo o sudbini Jadrana. Apel je naš, jer se biologija Jadrana muči, guši, trpi. Sačuvajmo ga za buduće generacije od naših užitaka, od komfora našega uma i lijenosti našega tijela, od naših defektnih izuma, od naše pohlepe. Nema održivog i neodrživog razvoja. Razvoj jest ili nije.

Literatura

- Baletić Zvonimir: Jadran – zone europske ravnoteže, Jadranski prostor: Međunarodni kolokvij, Ekonomski pregled 7-8/97.
- Baletić Zvonimir: Jadran pred realnostima europske integracije, Ekonomski pregled br. 7.-8./97.
- Dr. sc. Raskim Mayer: "Eart, Man and Futere"for the renaissance men and Women of the new millenium: Publihed by International Institut for Sustainable, Future Mumbai, India, 1996.
- Jan Rothmans and Bert de Vries: Perspectives on Global Change: The Targets Approach.
- Slavko Kulić: Makroekonomija i zdravlje, EIZ, 1992.g. Fall Plenary Session General Assembly og European Academi of Science and Arts, 1998.god.
- Slavko Kulić: HEADQUARTER of Globalization and Abruse of power in time of peace.
- Slavko Kulić: Strategija nasilja kao strategija razvoja, Naprijed, Zagreb, 1996.
- Slavko Kulić: Dijalog o nacizmu i globalizaciji, Adamić, Rijeka, 1998.g.
- Slavko Kulić: Rekonstitucija hrvatskoga društva – uvjet rekonstitucije gospodarstva i uključivanje u euroatlanske integracije; Ekonomski institut, Zagreb, 1999.
- Slavko Kulić: Economiy of Development Instead of Economy of Violence-Transition from antropocentrism Toward Biocentrism; Aproach to Sustainable Development; Thouse, France, 4-7 pillist, 1996.

- Slavko Kulić: Concept od Evolution of Bisfere Protection – New Approach: International Congres: Protection of Life and Environment in the Process of global changes in the World The High Tatras, Slovakia, May 21-25, 1997.
- Slavko Kulić: Cultural Dimension of Susustainable Development – New Approach, to sustainable Development from Extreme Antropocentrism Toward Moderate Biocentrism: International Conference: To Ward Sustainability in Europe; ECO Cooperation from Sofia to Atheans, Brussels 25- 28/oct.1996.
- Zakon o vodama, posebno izdanje, kolovoz 1998., Zagreb
- Hrvatske vode, časopis za vodno gospodarstvo, 1997, 1998.
- Hrvatska vodoprivreda, 1997,1998.
- Lester Tarow: Budućnost kapitalizma: “Mate”,d.o.o. 1998.g. Zagreb
- John Kenneth Galbrait: Ekonomija u perspektivi - kritička povijest, nakladnik “Mate”, d.o.o., Zagreb, 1995.g.
- Zbornik Palagruža: Jadranski dragulj; Simpozij Split, 28.-30.6.1995.

Autor:

Slavko Kulić, International Order of Merit, Ekonomski institut, Zagreb



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 6.05.

Revitalizacija balneološke službe, put pravilnom gospodarenju termomineralnim vodama Hrvatske

Radovan Čepelak

SAŽETAK: U Hrvatskoj postoji bogata tradicija korištenja prirodnih ljekovitih činitelja, u prvom redu termomineralnih voda, zatim peloida, klime i najnovije naftalana. Oni služe služe za liječenje, poboljšanje, očuvanje zdravlja i tjelesne vitalnosti. Od brojnih izvora i nalazišta peloida uključujući i klimatska mjesta, kojih u Hrvatskoj ima preko 141, možemo izdvojiti samo desetak naših najpoznatijih prirodnih lječilišta: Varaždinske Toplice, Krapinske Toplice, Lipik, Daruvarske Toplice, Stubičke Toplice, Topusko, Istarske Toplice, "Naftalan" kao i talasoterapijske centre u Opatiji i Crikvenici te peloidno rehabilitacijski centar "Kalos" u Vela Luki, uz manje poznatih kojih sveukupno ima 22 a to je približno 16 %. Golemi potencijali naših prirodnih ljekovitih činitelja nisu ni izdaleka iskorišteni, kao na pr. u Austriji gdje je od 78 centara u upotrebi 58 dakle 74 %. Hrvatska u tom pogledu ima značajnu znanstveno-istraživačku tradiciju još od druge polovice prošlog stoljeća, te postojanje organizirane ustanove: Balneološko-klimatološkog instituta koji je danas na samom rubu svog postojanja. U cilju boljeg gospodarenja ovim prirodnim činiteljima, prvo treba revitalizirati balneološko-klimatološku službu i balneološki zavod, koji s obzirom na svoju tradicionalnu ulogu mora biti referentni centar i nositelj aktivnosti vezanih za pravilno korištenje termomineralnih voda u zdravstveno rekreacijske svrhe.

KLJUČNE RIJEČI: Balneologija, balneološka služba, balneološki institut, termomineralne vode.

Revitalization of Balneological Service - A Route towards Good Management of Croatian Thermo-Mineral Waters

SUMMARY: Croatia has rich tradition in use of natural healing factors, primarily thermo-mineral water, peloids, climate and recently naphthalene. They are used in treatment, improvement and preservation of health and vitality. Among numerous sources and finds of peloids, which are over 141, some of the most famous spas could be singled out, e.g. Varaždinske Toplice, Krapinske Toplice, Lipik, Daruvarske Toplice, Stubičke Toplice, Topusko, Istarske Toplice, Naftalan and wave-therapy centers in Opatija and Crikvenica and peloid rehabilitation center Kalos in Vela Luka, along with those less famous which are 22 or 16%. Large potential of the Croatian natural healing factors are less than exploited as compared to, for example, Austria where 58 out of 75 centers are used, e.g. 74%. Croatia has important scientific and research tradition going back to the second half of the nineteenth century, and there is an organized institution, the Balneological-Climatological Institute which is presently at the verge of extinction. For better management of these natural factors, the balneological-climatological service needs to be revitalized along with the balneological institute which, considering its traditional role must be a focal point and promoter of activities related to correct exploitation of thermo-mineral water for medical and recreational purposes.

KEYWORDS: balneology, balneological service, balneological institute, thermo-mineral waters

Prvi počeci ispitivanja termomineralnih voda

Počeci znanstvenog istraživanja prirodnih ljekovitih voda, na području Republike Hrvatske započinju pred gotovo tri stoljeća, točnije 1709. godine kada je Johan Leopold Payer izvršio prvu kvalitativnu analizu termomineralne vode Varaždinskih toplica. Od tada, slijedi razdoblje od gotovo dva i po stoljeća neorganiziranog i sporadičnog bavljenja balneologijom. U početku dominiraju strana, a kasnije sve više domaća imena, najzaposnatijih stručnjaka kao: dr. Jean Baptiste Lalangue, dr. Henrich Johan von Crantz, Paul Kitaibel, Carl von Hauer, prof. dr. Ernest Ludwig, prof. Srećko Bošnjaković, i prof. dr. Gustav Janaček, Novije doba predstavljaju prof. dr. Stanko Miholić, i mr. ph. Reneta Novak koji na tom polju zauzimaju posebno mjesto.

Prema ugledu na europske zemlje, s jedne strane, a prema potrebama s druge strane, već je 1938. godine prof. dr. Radoslav Lopašić osnovao Institut za balneologiju pri Klinici za neuropsihijatriju. Ovaj Institut nije službeno registriran, ali je u veoma kratko vrijeme postojanja razvio solidnu aktivnost, koja se odvijala u nizu stručnih i kvalitetnih predavanja za tadašnje liječnike a i studente.

Razvoj balneološke službe

Već tada je prof. dr. Radoslav Lopašić smatrao da je i u Hrvatskoj potrebno osnovati jednu centralnu balneološku instituciju, koja bi osim ispitivanja prirodnih ljekovitih činitelja vršila *balneoterapijsku službu*. Taj naziv je kasnije zamljenjen sveobuhvatnijim nazivom *balneološka služba*.

Balneološku službu, koja po uzoru na brojne druge stručne službe (meteorološka agrotehnička veterinarska i dr.) obuhvaća niz stručnih djelatnosti koje možemo okvirno izraziti slijedećom definicijom:

Balneološka služba obuhvaća skup radnji i aktivnosti, koje vode računa o svim mogućim problemima, vezanim za pronalaženje, ispitivanje, primjenu, odnosno upotrebu i zaštitu prirodnih ljekovitih činitelja, u prvom redu termomineralnih voda, peloida i klime, te način provođenja tih aktivnosti u duhu znanstvenih spoznaja i zakonskih propisa.

Međutim taj naziv nikad nije bio u javnoj upotrebi.

Kako su temeljno polazište svih aktivnosti prirodni ljekoviti činitelji, vršenje balneološke službe pripadalo je ministarstvu zdravlja.

Banovina Hrvatska

S nastankom Banovine Hrvatske, termomineralne vode ulaze u nadležnost Ministarstvu zdravlja pri kojemu je 1939. godine osnovan *Stalni balneološki savjet Banovine Hrvatske*. To je ujedno prvi korak uvođenja balneološke službe u Hrvatskoj na državnoj razini. S obzirom na politička zbivanja Savjet je trajao kratko vrijeme.

Razvoj balneološke službe u NDH

U Nezavisnoj državi Hrvatskoj, u okviru Ministarstva zdravstva, osniva se *Odsjek za kupališta i rudna vrela*, koji ima prvenstveni zadatak rješavati sva pitanja iz područja

balneološke službe. S obzirom na ratne prilike, te na relativno kratko razdoblje djelovanja, ni tada se nisu mogli ostvariti neki ozbiljniji rezultati. Međutim kao i u prethodnom razdoblju, vidljivo je da se unatoč potpuno nepovoljnim prilikama pokušalo najozbiljnije raditi upravo u okvirima balneološke službe, tim više jer postoji zakon o vodama u kojemu je i definiran pojam ljekovite vode i peloida!

Osnivanje Balneološko-klimatološkog instituta Ministarstva zdravlja

Nakon završetka II svjetskog rata, na području bivše države, novonastali položaj termomineralnih izvora, prirodnih i klimatskih lječilišta, zahtjevao je nov način upravljanja koji je odgovarao duhu onog vremenu. U Narodnoj republici Hrvatskoj, je pri *Ministarstvu narodnog zdravlja* osnovana *Uprava kupališta, klimatskih lječilišta, mineralnih i toplih vrela* koja je imala sveobuhvatni nadzor nad lječilištima, kupalištima i termalnim izvorima. Iz te Uprave, osnovan je 28. 8. 1949. pri Ministarstvu narodnog zdravlja *Balneološko-klimatološki institut NRH*. Balneološko-klimatološkom institutu dodjeljena je na upravljanje zgrada u Demetrovoj 18, u kojoj i danas ima sjedište.

Uredbom Vlade NRH o Balneološko-klimatološkom institutu br. 2567 od 3.4.1951. propisuju se *temeljni zadaci balneološke službe*, koji su osim nekih administrativnih stavaka praktički prihvatljivi i danas.

Balneologija izlazi iz državno-upravnih okvira

Zbog političkih okolnosti Ministarstvo narodnog zdravlja biva 1953. godine reformirano u Savjet za narodno zdravlje i socijalnu politiku. Tom prilikom su neke jedinice Ministarstva rasformirane, ili uklopljene u neke druge službe. Balneološko-klimatološki institut biva podijeljen u tri dijela. Znanstveno istraživački dio ulazi sastav JAZU, kao *Odjel za balneologiju i klimatologiju* Instituta za medicinska istraživanja.

Ova nepromišljena odluka imat će sve do dasnašnjih dana negativni utjecaj na daljnju sudbinu balneologije i balneološke službe, koja od tada više nije u neposrednoj državnoj funkciji, već je zadržala praktički samo znanstveni karakter.

Međutim, Udruženje prirodnih lječilišta Hrvatske, poduprto od Zbora liječnika Hrvatske nastoji sačuvati Balneološki institut od propasti te šalju dopis Savjetu za narodno zdravlje. Baš u to vrijeme Medicinski fakultet, bio je zainteresiran za prihvata Instituta u okvir svoje ustanove zahvaljujući nastojanju prof. dr. Radoslava Lopašića.

Uz odobrenje Savjeta za narodno zdravlje i socijalnu politiku Balneološko-klimatološki institut 1958. godine prelazi u Sastav Medicinskog fakulteta kao samostalna radna jedinica. Prema statutu Medicinskog fakulteta dobiva naziv *Zavod za balneologiju i fizikalnu terapiju*. U okviru Zavoda osniva se šk.god. 1960/61 Katedra za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju. U tom smislu Zavod ponovo mijenja naslov u *Zavod za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju*. Naziv *balneologija i klimatologija* izgubljena je na žalost, u službenoj upotrebi.

Slijedeća negativna okolnost očituje se u tome da se Hrvatska 1965. u administrativnom pogledu odriče ljekovitog djelovanja termomineralnih voda, odnosno vode i ostali prirodni ljekoviti činitelji više nisu priznati kao ljekovito sredstvo. Nakon toga praktički cijeli rad balneološkog zavoda u jednu ruku postaje pespredmetan.

Dok je Zavod bio financiran iz društvenog proračuna, rad se u početku odvijao uspješno. Međutim, u novim okolnostima sa uvođenjem samoupravljanja i time prestanka financiranja, dolazi do vrlo ozbiljne stagnacije u radu te do stalne represije od strane Kolegijalno poslovnog organa Medicinskog fakulteta, koja se očituje u sistematskom gušenju rada Zavoda, jer se smatralo da Medicinskom fakultetu takav Zavod nije potreban! Konačno Odlukom Savjeta MF. od 24. 10. 1987. Zavod je prestao postojati kao samostalna radna jedinica, sa statusom, postojanja-nepostojanja. Danas je Zavod u ozbiljnoj kadrovskoj i materijalnoj krizi na opasnom putu njegovog konačnog fizičkog nestanka. Međutim u takvoj potpuno podvojenoj ulozi, balneološki zavod, u pogledu stručnog rada postiže iznenađujuće vrijedne rezultate. Tome uspjehu pridonjeli su zaposleni djelatnici, zapravo entuzijasti, (jer za svoj rad u pravilu nisu bili adekvatno nagrađeni), koji se u duši nisu mirili sa tragičnom sudbinom nekadašnjeg instituta. Upravo kao odgovor svim nedaćama koji su se očitivali u trajnoj oskudici materijalnih sredstava, zastarjeloj laboratorijskoj opremi, u nedostatku dovoljnog broja izvršitelja, pod stalnom prijetnjom likvidacije zavoda, i zbog neshvaćanja šire društvene zajednice za potrebom balneološke službe.

Uspjeh se očituje u slijedećem:

1. Izrađen je veliki broj stručnih balneoloških analiza naših nalazišta termomineralnih voda i peloida.
2. Izrađeno je 253 balneološke ekspertize. Koje su često puta bili podloga za prosperitet neke regije.
3. osnvan je fond stručno-znanstvene dokumentacije i arhivske građe, koji je velike, gotovo neprocjenjive dokumentacijske vrijednosti za ovo područje.
4. Zavod posjeduje balneološko-klimatološke biblioteku.
5. stvorena je studijska (muzejska) zbirka.
6. objavljeno mnogo stručnih i znanstvenih radova iz područja balneologije.
7. Kao dio nastavne jedinice, kroz Zavod je (do 1987. godine) prošlo 26 generacija studenata medicine, te oko 210 specializiranih iz područja fizikalne medicine. (U šk. god. 1998/99. započnje ponovo nastava na Zavodu.)
8. Uz to je održan veliki broj tečajeva vezanih za balneologiju i fizikalnu medicinu.
9. Razrađena je klasifikacija termomineralnih voda i peloida (R. Novak), koja je temelj za ocjenu njihove vrijednosti u zdravstvenoj primjeni.
10. Pokrenuto glasilo BALNEOKLIMATOLOGIJA jedino takve vrste u zemlji.

Balneološka služba - potreba pravilnog gospodarenja termomineralnim vodama Hrvatske

Danas, je u samostalnoj Hrvatskoj državi potrebno revitalizirati balneološku službu, kao i Balneološki zavod kao centralnu stručno znanstvenu instituciju koja tu službu može neposredno obavljati iz više razloga:

- 1) stručnih pitanja iz područja zdravstva, preventivne zaštite građana Republike Hrvatske i zdravstvenog turizma.
- 2) stručnog i znanstveno istraživačkog rada na području balneologije i klimatologije, te održavanje veza sa istim ili sličnim institucijama u Europi pa i svijetu.
- 3) stručne aktivnosti u cilju pravilnog gospodarenja prirodnim ljekovitim činiteljima,

u prvom redu termomineralne vode, što čine temeljne zadatke balneološke službe.

4) prijeko potrebnim informacijama u kriznim uvjetima.

Neposredni zadaci balneološke službe pod točkom 3) trebaju obuhvatiti:

- a) *balneokemijska ispitivanja prirodnih ljekovitih činitelja, tj. termomineralnih voda i peloida, te izdavanje atesta za njihovu mogućnost korištenja u zdravstvene svrhe.*
- b) *određivanje indikacija i kontraindikacija u primjeni termomineralnih voda i peloida u zdravstvene svrhe.*
- c) *pronalaženje i registraciju novih nalazišta termomineralnih voda i peloida te vođenje registra (kartoteke) svih pojava termomineralne vode i peloidnih nalazišta na području Republike Hrvatske.*
- d) *pružanje stručnih savjeta lječilišnim ustanovama u vezi primjene prirodnih ljekovitih činitelja.*
- e) *vršenje redovitih atesta mineralnih voda koje se pune u boce, u razdoblju svake 3 do 5 godine, kao i termomineralne vode lječilišta, u razdoblju svakih 5 godina.*
- f) *po potrebi obavljanje stručnih obilaska izvorišta i nalazišta peloida u svrhu inspekcije, upozorenja na eventualne propuste, te davanja savjeta kako će se eventualni propusti odnosno nepravilnosti u korištenju otkoloniti.*
- g) *davanje savjeta i sugestija za pravilno iskorištenje (eksploataciju) termomineralnih voda i peloida i klime.*
- h) *briga za edukaciju kadrova u balneološkoj struci.*
- i) *sakupljanje i čuvanje arhivskog materijala iz područja balneologije.*
- j) *mogućnost zainteresiranim strankama da uz stručni nadzor i upute koriste balneološku građu.*
- k) *naj uža suradnja s Ministarstvom zdravstva, Hrvatskom vodoprivredom Ministarstvom turizma, Ministarstvom znanosti i tehnologije, na svim pitanjima povezanim zajedničkim interesom.*

Gore navedene potrebe i zadatci, balneološke službe jasno ukazuju da je za pravilno gospodarenje termomineralnim vodama (peloidima, klimom) potrebna jedna centralno referentna, stručno-znanstvena balneološka institucija, koja takvu službu može i mora provoditi.

Za sve to postoje dobri preduvjeti i dragocjena iskustva, kroz proteklih 50 godina! Današnji Zavod za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju, kao sljednik Balneološko-klimatološkog instituta, a sutra možda "Zavod za balneološka i klimatološka istraživanja" posjeduje prostor, vrijednu stručnu dokumentaciju i tradiciju. Njegova učinkovitost u sadašnjosti i budućnosti traži neodgodivo rješavanje statusa, uz odgovarajuću društvenu i financijsku potporu.

U ostvarenju tog zadatka, treba odrediti resor, pod koji će takva institucija pripasti a u mogući obzir dolaze:

1. Ministarstvo zdravstva (Hrvatski zavod za javno zdravstvo)
2. Hrvatske vode
3. Ministarstvo znanosti i tehnologije
4. Ministarstvo turizma

U koliko se pitanje sadanjeg Zavoda povoljno riješi, pridonjet će se afirmaciji naših prirodnih resursa, što je od bitne važnosti kako za razvoj lječilišnih centara, tako i njihovo uklapanje u hrvatsko gospodarstvo.

Razvoj balneološke službe u Hrvatskoj od 1709. - 1999.

-
1709. - 1938(?): **sporadično i neorganizirano razdoblje**
 - Početak znanstvenih istraživanja 1709. (Johan Leopold Payer)
 - iznesen program balneološkog instituta 1871., u Rijeci, i pokušaj osnivanja balneološkog instituta u Opatiji 1876. (Juraj Matija Šporer)
-
- 1938.(?) - 1940. **Institut za balneologiju**
 u okviru Neuropsihijatarske klinike (prof. dr Radoslav Lopašić)
-
1940. - 1941. **Stalni balneološki savjet Banovine Hrvatske**
 u okviru Ministarstva zdravlja
-
1941. - 1945. **Odsjek za kupališta i rudna vrela,**
 Ministarstvo zdravstva NDH
-
1945. - 1949. **Uprava kupališta, klimatskih lječilišta i mineralnih i toplih vrela**
 Ministarstva narodnog zdravlja NRH Demetrova 18 Zagreb
1949. - 1953. **Balneološko-klimatološki institut**
 Ministarstva narodnog zdravlja NRH, Demetrova 18
-
1953. - 1958. **Odjel za balneologiju i klimatologiju**
 Institut za medicinska istraživanja, JAZU Demetrova 18
-
1958. - 1963. **a** **Zavod za balneoklimatologiju i fizikalnu terapiju,**
 Medicinskog fakulteta Demetrova 18
1963. - 1987. **b** **Zavod za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju**
 Medicinskog fakulteta, Demetrova 18
1987. - 1999. **c** **“Zavod za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju”**
 Medicinskog fakulteta, Demetrova 18,
 -u sklopu Katedre za fizikalnu medicinu i Klinike za reumatske bolesti i fizikalnu terapiju (od 1987.-1998.)
 -Balneološki laboratorij bez definiranog statusa (od 1998.)
-

Zaključak

Uspješan i svobuhvatniji nadzor kao i pravilno gospodarenje termomineralnim vodama koji za Hrvatsku predstavljaju bogatstvo, ne može se zamisliti bez odgovarajuće stručne ustanove i službe, koja to može na najstručniji način provoditi. Stručna ustanova bio bi *balneološki zavod*, iza kojeg stoji 50 godina rada i tradicije. Stručna služba u ovom slučaju *balneološka služba*, vršila bi osnovne zadatke i stručni nadzor, nad tim specifičnim oblikom zdravstvene djelatnosti, kao i zahtjeve za racionalnim i ispravnim korištenjem prirodnih ljekovitih činitelja.

Zbog toga treba što prije od najviših državnih tijela: Vlade, Ministarstva zdravstva, i dr. pokrenuti revitalizaciju Balneoklimatološkog zavoda kao centralne, stručno znanstvene balneološke institucije Republike Hrvatske. To bi omogućilo provođenje balneološke službe očuvanje bogatog arhivskog materijala te daljnji organizirani razvoj stručnog, znanstvenog i edukacijskog djelovanja u području balneoklimatologije i talasoterapije.

Literatura

- 1) Čepelak Radovan. (1992.), "Termomineralne vode Hrvatske i njihov značaj u tatnim uvjetima", Medicinska rehabilitacija ranjenika i bolesnika u ratnim uvjetima. Zagreb, Ministarstvo obrane Repbulike Hrvatske.
- 2) Čepelak, Radovan; Zlatko Domljan (1997) "Balneološki institut - potreba Hrvatskog zdravstvenog turizma". Zbornik radova 1. interacionalnog simpozija Opatija - promotor zdravstvenog turizma, 99-104.
- 3) Čepelak, Radovan (1997) "Sadašnje stanje balneoklimatologije u Hrvatskoj" (Zagreb) Balneoklimatologija, 1(1) 2-4.
- 4) Čepelak, Radovan (1998.) "Revitalizacija Zavoda za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju, ranije Balneološko-klimatološkog instituta, i dalje nerješeno pitanje?" (Zagreb), Balneoklimatologija 2 (2) 23.
- 5) Dubrović, Ervin ur. (1996.) Opatija promotor zdravstvenog turizma, knjiga spomen izložbe u povodu spomen izložbe Opatija promotor zdravstvenog turizma, Opatija.
- 6) Hitrec, Tomislav, (1997) "Zdravstveni turizam - pojmovni i koncepcijski okvir" Zbornik radova 1. interacionalnog simpozija Opatija - promotor zdravstvenog turizma, 221-232.
- 7) Ivanišević, Goran, Radovan, Čepelak (1997) "Prirodni ljekoviti činitelji u Republici Hrvatskoj" Zbornik radova 1.interacionalnog simpozija Opatija - promotor zdravstvenog turizma, 123-132.
- 8) Kušan Eduard (1998.) "Metodološki pristup planiranju razvitka zdravstvenog turizma na primjeru Varaždinskih Toplica", Zagreb, Hrvatske vode, 6(25),423-434.
- 9) Lopašić, Radoslav (1938.), "Važnost balneoterapije u modernoj medicini", Lječnički vjesnik 60 (kolovoz), 1-9.
- 10) Miholić, Stanko (1954.), "Povijest mineralnih voda u Hrvatskoj", Iz Hrvatske medicinske prošlosti, (Zagreb), Spomen knjiga Zbora liječnika Hrvatske, 107-114.
- 11) Pravilnik o temeljnim zahtjevima za prirodne mineralne izvorske i stolne vode (1998) Narodne novine, 160(58), 1337-1341.
- 12) Trauner, Leo (1954.), "Razvoj balneoklimatologije u Hrvatskoj u posljednjih 80 godina", Iz Hrvatske medicinske prošlosti, (Zagreb) Spomen knjiga Zbora liječnika Hrvatske, 271-275.

- 13) Tušar Božena (1998.) "Zaštita kakvoće mineralnih voda" Zagreb, Hrvatske vode, 6(25), 411-415.
- 14) Uredba o Balneološko-klimatološkom institutu u Zagrebu (1951.), Narodne novine [9] 113 (20), 90.
- 15) Fond stručne i znanstvene dokumentacije i arhivske građe Zavoda za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju.

Autor:

ing. Radovan Čepelak, Zavod za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Demetrova 18



2. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA HRVATSKE VODE OD JADRANA DO DUNAVA

DUBROVNIK 19.– 22. SVIBNJA 1999.

Rad 6.06.

Vodograđevne konstrukcije Fausta Vrančića

Vladimir Muljević

SAŽETAK: Prvi hrvatski izumitelj, polihistor šibenčanin Faust Vrančić (1571-1617), autor znamenitog petjezičnog rječnika "Dikcionar" i nekoliko djela iz filozofije, etike i tehnologije, objavio je u Veneciji krajem XVI. ili početkom XVII. stoljeća svoje kapitalno djelo "Machinae Novae" u kojem je na pedesetak slika, popraćenih tekstovima na latinskom, talijanskom, francuskom, španjolskom i njemačkom jeziku opisao mnogo pogonskih strojeva, naprava i uređaja. Među ovima posebno se ističu pogonski strojevi na vodu, predviđeni za pogon mlinova na potocima, rijekama i moru. Prikazani su i rimski vodeni tokovi, zatim projekt broda za odlaganje otpada u more, te složena naprava, odnosno, uređaj za čišćenje morskog dna.

KLJUČNE RIJEČI: Tiber, vodeni mlin, vodeno kolo, bager.

Hydraulic Engineering Structures of Faust Vrančić

SUMMARY: The first Croatian inventor, polyhistorian Faust Vrančić (1571-1617), is the author of "Dikcionar", famous five-language dictionary and some works in the fields of philosophy, ethics and technology. His major work, "Machinae Novae" was published in Venice in late 16th or early 17th century. In manuscript which contains some fifty pictures accompanied by texts in Latin, Italian, French, Spanish and German languages he described a number of driving engines, facilities and devices. Specially interesting are water-run engines designed to run mills on brooks, rivers and sea. Roman water courses are also shown, along with the sea waste dumping ship and a complex equipment for sea bottom cleaning.

KEYWORDS: the Tiber, water mill, water rotor, excavator

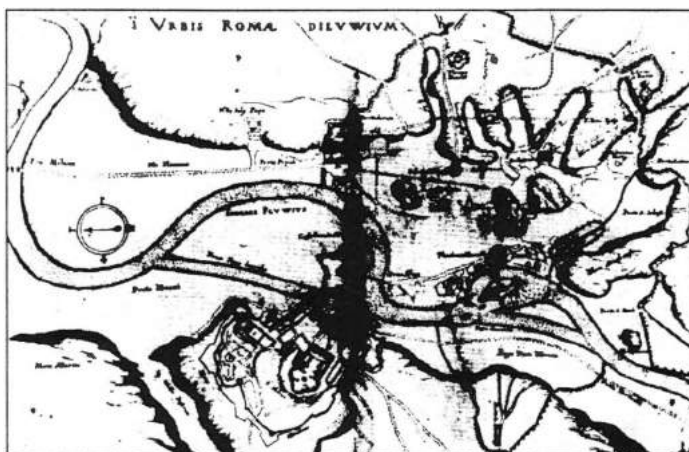
Faust VRANČIĆ (Faustus Verantius) rođen je 1551. u Šibeniku gdje je živio do svoje osme godine, kada je otišao svojem stricu Antunu VRANČIĆU (1504-1573) tada biskupu u Jegeru. Faust je u svojoj osamnaestoj godini (1568/69) pošao, uz pomoć svoga strica Antuna na mletačko sveučilište u Padovu. Nakon studija otišao je 1571. godine stricu antunu u Ugarsku, koji je tada postao kraljevskim namjesnikom za Ugarsku. Faust je ondje proučavao literaturu iz fizike i tehnike. Godine 1579. postaje upraviteljem biskupskih dobava u Vesprenu gdje se je i oženio. Uskoro je otišao u Prag na dvor cara i kralja RUDOLFA II (1552-1612) za njegovog tajnika. Ondje se je upoznao s mnogim znanstvenicima i umjetnicima koje je car okupljao oko sebe na Hračanima.

Na izobrazbu i usavršavanje Fausta Vrančića kao polihistora i inženjera uvelike su utjecali neposredni susreti s nizom znanstvenika na dvoru, a također i bogata dvorska knjižnica. Nakon smrti svoje žene Faust napušta 1594. godine dužnost dvorskog tajnika, a car ga je 1598. imenovao naslovnim biskupom od Czanada u Mađarskoj.

U međuvremenu je Faust objavio 1595. godine u Veneciji svoj znameniti rječnik “*Dictionarium quinque nobilissimarum Europae linguarum. Latinae, Italicae, Germanicae, Dalmaticae, Hungaricae.*”

Faust Vrančić 1605. godine odlazi iz kraljevskog dvora u Pragu i ulazi u Kongregaciju sv. Pavla, odnosno red barnabita. divio je u Veneciji, Rimu i putovao Italijom, te se je nastavio baviti pitanjima tehnike. Nakon dobivenog Privilegija, vjerojatno oko 1616. godine, objavio je svoje glavno i monumentalno djelo “*Machinae Novae*”. Iscrpljen bolešću Faust Vrančić umro je 27. siječnja 1617. u Veneciji, a prema vlastitoj je želji prevezen na otok Prvić nedaleko Šibenika, te je pokopan u Prvić Luci u grobnici crkve sv. Marije.

Postoje dva izdanja knjige “*Machinae Novae*” u pogledu jezika. U jednom su opisi strojeva pisani na latinskom i talijanskom, a u drugom na latinskom, talijanskom, španjolskom, francuskom i njemačkom jeziku. U ovoj je knjizi, kojom je Faust Vrančić postao slavan u svjetskoj tehničkoj literaturi, na 49 bakropisa velikog formata prikazano je 56 različitih konstrukcija. Područje tehnike koje ovi crtežu i opisi obuhvaćaju vrlo je široko, te seže do regulacija rijeka, zatim zdenaca, vodenih mlinova, mlinova na vjetar, zatim mostova i raznih drugih strojeva.



Prvi tehnički problem kojega je F. Vrančić razmatrao u spomenutom djelu su česte poplave rijeke Tiber u Rimu. On u svojem opisu (I.) “O rimskim vodenim tokovima” na široko obrazlaže svoje čuđenje da “graditelji ipak nikada nisu mogli skrenuti istrčavanje žestokih Tiberovih vodenih tokova, koji su tolimo puta nanijeli gradu znantne štete i opasnost”. F. Vrančić u svojem opisu razmatra dva razloga o ovim poplavama, te kaže: “Prvi je, da je njegovo korito, ili struja, u kojem on teče, vrlo zaposjednuto i ispunjeno mnogim zgradama, a zatim u njemu ima u prvom redu običnih, a također i posebnih mostova koji služe stanovnicima. Ima također i mnogo hrpa kamenja, te srušenih zgrada i lukova, koji uvelike sprečavaju vodu da ima puni tok ili protok. Ovdje se treba čuditi kakav su razum imali stari graditelji pri gradnji mostova da nisu opazili kako oni sa stupovima mosta zauzimaju trećinu toka vode. Stoga su trebali što manje smetati spomenuto korito vode i stupove postaviti što dalje na istim mjestima. Posebno, što moram između ostaloga reći o mostovima, most Naše Gospe, koji je nedavno, za vrijeme pape Klementa Osmog, bio srušen od velike vodene sile, a bez sumnje je i prije više puta uništavan, pa kada bi ga ponovno trebalo izgraditi, ponovno bi se srušio? Budući da je postavljen u rijeku,

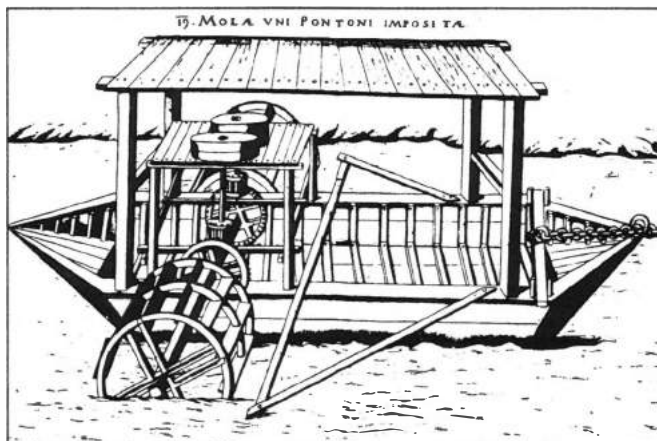
koja se dvostruko spaja, čemu je uzrok godnji otok, pa stoga na sebe uzima dio rijeke koji ulazi koso, te kod velikih voda, zahvaćajući sa strane velikom silom, nužno obara stupove i lukove, kako god bili veliki i jaki.

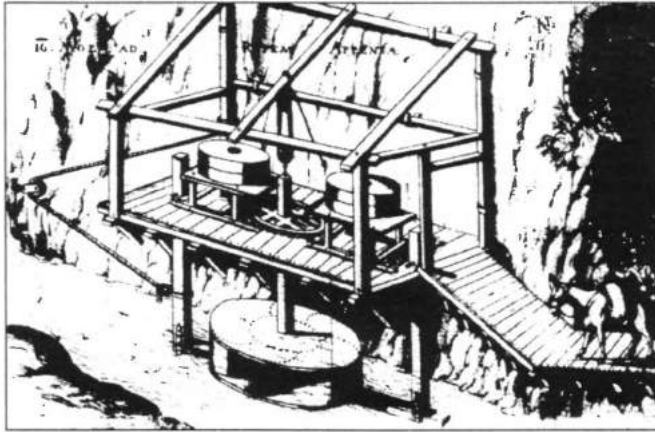
Drugi je razlog, što rijeka teče u tri velika zaobilaska, kao u zakrivljenosti koja spomenutu rijeku sprečava i zadržava, te ne može teći potpuno ravno u more. Mislim da bih ovu nevolju (daj Bože nešto drugo reći) mogao spriječiti. U prvom redu treba u ova tri zaobilaska načiniti tri potpuno ravna iskopa. Prvi počev od Sv. Andreja do desne strane tvrđave Sant Angelo. Drugi, od mosta Sixta do porte Portuense. Treći, približno od sredine puta, idući od grada prema moru, jer je na ovom mjestu treća zakrivljenost ili zaobilazak. Prema tome, tok treba proširiti na mjestu gdje stoji Vrt Farnese sve do golubinjaka, pa će tada kuće, sagrađene uz obalu od spomenutog vrta sve do mosta Sixta, uzevši i dobar dio spomenutog mosta, morati biti porušene. Treće, odatle se mora maknuti kameni mlinski most, a na istom mjestu postaviti drvene stupove. Bilo bi sigurno i drugih stvari, koje bi za ove okolnosti bile dobre, ali jer smatram da će ove u biti ostati takve kakve su sada, nisam htio tome ništa više dodati. Neka nam bude dosta ovoliko uloženog truda, a onima koje veseli da se istom materijom dalje bave, dali smo povod i uputu.”

Faustovi prijedlozi u pogledu reguliranja rijeke Tiber u Rimu, našli bi vjerojatno i danas svoje opravdanje.

Pišući o (II.) “Venecijanskim zdencima”, on između ostalog kaže: “Nema niti jednog grada u cijelom svijetu, koji bi se mogao usporediti s Venecijom, koja je k tome, jer je sagrađena usred mora, posvuda prolazna s kopna i s mora. Osim toga, ukrašena je javnim i privatnim građevinama, da joj niti jedan grad nije ravan, pa joj dakle ništa ne manjka za ukras i ljepotu osim zdenaca sa živom slatkom vodom, kakve imaju drugi gradovi na kopnu, koje još do sada nitko nije mogao načiniti. Stoga, približno od prije tisuću dvije stotine godina, to jest od prvog vremena njezinog podizanja, ovu priliku i ukras nije nikada mogla imati. Nakon dugog razmatranja ove stvari, držim da sam našao sredstvo kojim se to, nakon odstranjivanja svih zapreka, može lako ostvariti. Zaista, i bez velikih troškova.” O tim zdencima F. Vrančić ne daje podatke.

Među glavna tehnička pitanja koja razmatra F. Vrančić spadaju vodeni mlinovi na različitim tokovima, a time i različitim konstrukcija. On tako opisuje (XIV.) “Mlin u potočiću” te razmatra utjecaj visine pada vode.





Za svoj (XV.) “Mlin u sredini rijeke” kaže: “Obično se običava postaviti mlinove na obalama rijeka, u kojima katkada nedostaje vode, a katkada je ima previše, pa to oboje sprečava rad mlina. Ovu sam nepriliku nastojao predusresti, pa sam smatrao dobrim da mlin smjestim u sredinu rijeke, gdje rijeka ima najbrži tok..” Ovaj je mlin spomenuo kasnije francuski matematičar i artiljerist Bernard Forest de BELINDOR (1697.-1671.) u svojem djelu “Architecture hydraulique” objavljenom u četiri knjige u Parizu, od 1737. do 1753.

U opisu (XVI.) “Mlin obješen na stijenu”, kaže: “U slučaju kad rijeka nadolazi na neku stijenu, pa ima veliku silu, na tu stijenu vješamo naš mlin s lopatičnim kolom ispod njega, koji drže tri grede. Kada kolo zbog visine ne može doći do dna, vratilo se jednom drugom gredom svakako može poduprijeti.” Ova konstrukcija predstavlja u neku ruku preteču suvremene Francisove vodene turbine.

Posebnu pozornost zaslužuje Faustova zamisao opisana u (XVII.) “Mlin postavljen u morskom tjesnacu”. Njegov opis glasi: “Tko je do sada mogao prisiliti more da tjera mlinove, te da bude korisno i za druga pokretanja?. Mislim da se to može potpuno izvršiti, ali ne svuda, već na njegovim uskim mjestima. Treba se ipak pobrinuti da mjesto nije otvoreno i da nije izloženo bilo kojoj sili valova. Postoji i drugi način da more učinimo korisnim. Na obali treba iskopati jezerce, toliko visoko koliko more običava porasti, da bi, kad more nadolazi, jezerce bilo puno, ali kad se more ponovno povlači, da bi voda istjecala kroz žlijeb ili cijevi i tjerala mlin. Ali ovo će se u oceanu moći bolje zbiti zbog njegovog većeg nadolaženja i povlačenja. Ovo mi je nedavno povjerio jedan dobar prijatelj.”

Upravo zbog tehničke ostvarivosti ove zamisli od onog se doba može naći više takovih konstrukcija mlinova, odnosno pogonskih uređaja, jedan od tih bio je sagrađen 1637. godine u Brooklinu, a jednog je 1713. godine postavio mlinar Perse iz Dunkerquea. Na istom principu radi danas i hidroelektrana na plimu i oseku izgrađena 1965. godine na kanalu La Manche.

Konstrukcije mlinova na rijekama, a posebno na Dunavu opisuje F. Vrančić pod naslovima (XVII.) “Mlin na mostu brodova”, te (XIX.) “Mlin postavljen na brodu”. Ovdje ga zanima konstrukcija koja štiti mlin od vodenih nanosa drveća.

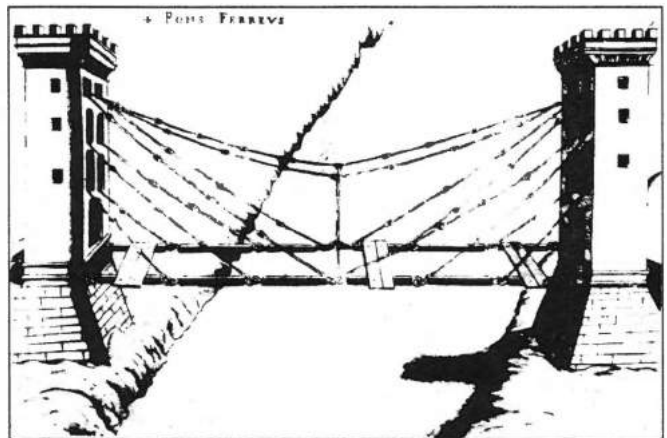
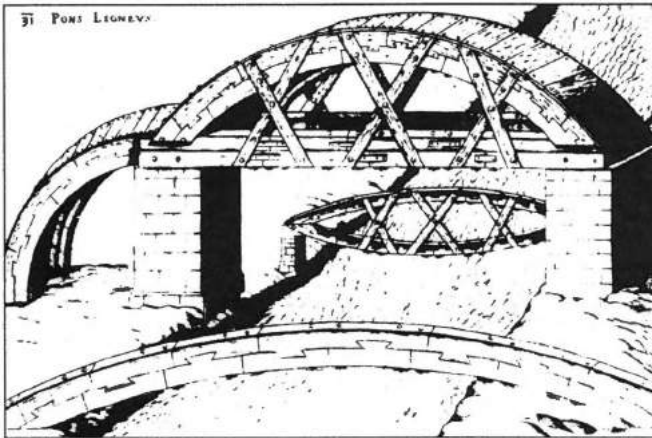
Opis (XX.) “Vodeno kolo” prikazuje konstrukciju tog kola na slijedeći način: “Ovo je vodeno kolo izrađeno tako, da, kada je postavljeno baš prema oštrici ili plošno, samo jednim dijelom dotiče vodu, ili, ako je sasvim u nju uronjeno, ništa lošije ne obavlja svoju dužnost. A to čine stožeri kojima se zakreću krila.”

Među Vrančićeve vodogradnje mogu se svakako ubrojiti i njegove konstrukcije mostova, a to su:

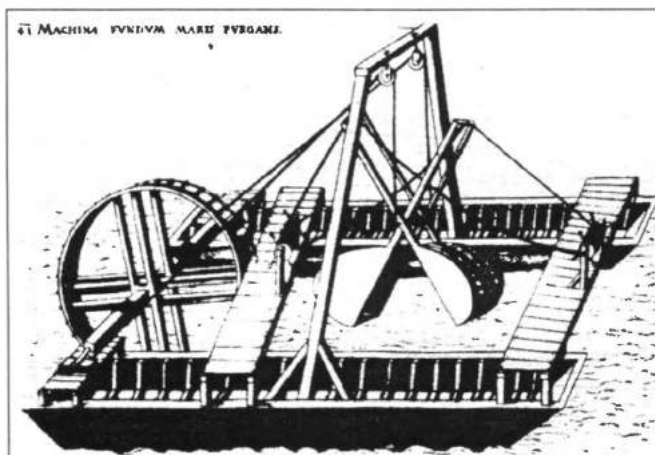
(XXX.) “Most s dvije grede”, ovdje on primjenjuje trokut kao statički stabilnu konstrukciju. Zatim (XXXI.) “Drveni most” na kojem obrazlaže primjenu dvostrukih greda.

Njegov (XXXIII.) “Most od zvonovine” prvi je takav u povijesti tehnike, a za ovoga F. Vrančić kaže: “... da će za ovoga biti potrebno mnogo manji troškovi nego da ga je trebalo načiniti od kamena.”

Također prvi opis visećeg mosta u svijetu potječe od F. Vrančića. On u opisu (XXXIV.) “Željezni most” kaže: “Ovaj se most zove stoga željeznim, jer je s mnogo lanaca obješen na dva tornja, sagrađena s obje strane vode. Tornjevi će imati svoja vrata, kako bi se pješaci mogli propustiti ili zaustaviti.”



Posebnu konstrukciju, sličnu današnjem pojasu za spasavanje predstavlja (XXXVIII.) “Brod koji se može nositi”. U opisu F. Vrančić kaže: “Ova naprava doduše sama po sebi nije brod, ali jer se može upotrijebiti kao brod, tako smo je željeli nazvati. Mnogo je korisnija i zgodnija nego brod. Osim toga, brod se lako može prevrnuti i one, koji se voze, izbaciti, ali u ovom se, sve da se i želi ne može potonuti, čak niti smočiti, makar netko imao odijelo sve do gležnja. K tome se ta naprava, pošto je ispušten zrak, može ispod ruke odnijeti.”



Vrlo složenu konstrukciju na pogon s nagaznim kolom predstavlja (XLI.) “Naprava za čišćenje morskog dna.” U opisu ove se kaže: “Ima svakojakih instrumenata za grabljenje kamena i pijeska s morskog dna, od kojih se mnogi mogu vidjeti u Veneciji. Ali ovi su instrumenti veoma polagani i ne mogu zagrabit dublje od šest stopa prema dnu. Ovaj naš instrument, međutim, može se dobro upotrijebiti na svakoj dubini mora ili rijeke.” Nastavljajući opis ove naprave F. Vrančić u konstrukciji (XLII.) “Brod s otvorenim dnom” kaže: “Za ovaj sada opisani instrument, kojim se pomoću posebnih kliješta grabi blato s morskog dna, pronašli smo brod koji u sebi ima drveno okno, tako gore uvučeno da ide ispod njega samoga, te vodi u debelo more, pa se bez muke može isprazniti kroz otvoreno dno, a da brod ne potone.”

Ovdje odabrane i po F. Vrančiću opisane konstrukcije stoje u neposrednoj vezi s vodogradnjama na rijekama odnosno moru, koje je njemu kao rođenom Šibenčaninu bilo uvijek blizo i drago.

Literatura

1. Fausti Veranii, Sicenii: Machinae Novae. Venetiis cum Privilegiis. Tumačenje strojeva koje smo izumili. (Preveo Vladimir Muljević) Novi Liber, Zagreb i Gradska knjižnica “Juraj Šižgorić”, Šibenik. Zagreb, 1993.
2. Muljević, V. Water Wheels and Water supply Projects by Faust Vrančić in XVI. century. Encyclopedia Moderna, God. XII. br.36. Zagreb, 1991. (str. 18-22)
3. Muljević, V. Faust Vrančić prvi hrvatski izumitelj. Hrvatska zajednica tehničke kulture. Zagreb, 1998.

Autor:

Dr. techn. Vladimir Muljević, prof.emer., Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb,
Unska ul. 3.

KAZALO AUTORA

Br.	AUTOR	Rad	Str.	Br.	AUTOR	Rad	Str.
1.	Ahel, Marijan	2.03	283	41.	Branica, Marko	P.04	43
2.	Aleksić, Ljiljana	4.45	831	42.	Briški, Felicita	4.57	917
3.	Bačani, Andrea	4.08	553	43.	Britvić, Smiljana	1.20	207
4.	Bagić, Anto	4.29	711	44.	Brkić, Berislav	4.70	1015
5.	Bajić, Alica	1.11	137	45.	Brkić, Željka	4.56	909
6.	Bajza, Željko	5.01	1023	46.	Brnić-Levada, Darko	4.22	661
7.	Balić, Zorislav	P.01	3	47.	Brzović, Nedjeljka	1.10	129
8.	Balić, Zorislav	P.02	15	48.	Burić, Zrinka	2.02	277
9.	Barbalić, Darko	4.29	711	49.	Caput, Katarina	1.25	239
10.	Barbalić, Živko	4.10	565	50.	Caput, Katarina	1.26	245
11.	Barić, Ante	2.04	291	51.	Caput, Katarina	2.02	277
12.	Barić, Ante	3.08	395	52.	Carić, Marina	1.22	221
13.	Barić, Ante	3.11	419	53.	Carić, Marina	2.06	305
14.	Barišić, Delko	3.09	405	54.	Cerjan-Stefanović, Štefica	1.16	177
15.	Bašić, Ferdo	5.04	1047	55.	Cerjan-Stefanović, Štefica	1.17	183
16.	Baučić, Martina	4.30	719	56.	Cerjan-Stefanović, Štefica	1.18	189
17.	Bezak, Stjepan	6.01	1067	57.	Cerjan-Stefanović, Štefica	4.66	985
18.	Bilač, Petar	4.15	605	58.	Ciculić, Vlado	3.01	351
19.	Bilinski, Halka	3.10	413	59.	Ciglencečki, Irena	1.22	221
20.	Biondić, Božidar	3.15	447	60.	Cvitan, Lidija	5.06	1059
21.	Biondić, Božidar	4.05	531	61.	Čengić, Selma	3.12	425
22.	Biondić, Danko	4.21	653	62.	Čengić, Selma	6.02	1077
23.	Biondić, Ranko	4.05	531	63.	Čepelak, Radovan	6.05	1097
24.	Bizjak, Sanja	4.33	739	64.	Črnelj, Josip	4.61	945
25.	Bognar, Andrija	5.03	1037	65.	Čulibrk, Dragana	4.36	763
26.	Bogner, Danijel	3.11	419	66.	Čurković, Lidija	1.16	177
27.	Bogut, Irella	1.21	215	67.	Čurković, Lidija	1.18	189
28.	Boilanča, Tomislav	1.18	189	68.	Ćosić-Flajsig, Gorana	4.17	621
29.	Bojanić, Fani	2.10	335	69.	Ćosović, Božena	1.13	151
30.	Borovečki, Dunja	2.07	311	70.	Ćosović, Božena	1.22	221
31.	Božičević, Srećko	4.07	545	71.	Ćosović, Božena	3.20	479
32.	Božičević, Srećko	4.68	1001	72.	Ćosović, Božena	4.60	939
33.	Božičević, Srećko	6.03	1083	73.	Čurković, Lidija	1.17	183
34.	Branica, Marko	1.23	227	74.	Dimter, Dario	4.23	667
35.	Branica, Marko	3.01	351	75.	Dragojević, Dubravko	4.33	739
36.	Branica, Marko	3.03	363	76.	Dukarić, Franjo	4.05	531
37.	Branica, Marko	3.04	369	77.	Džepina, Katja	1.15	167
38.	Branica, Marko	3.05	375	78.	Đuričić, Vesna	2.07	311
39.	Branica, Marko	3.16	453	79.	Đuroković, Zoran	4.22	661
40.	Branica, Marko	3.17	459	80.	Erk, Marijana	3.02	357

81. Farkaš, Anamarija	1.17	183	130. Kaštelan-Kunst, Lucija	4.34	747
82. Fejzić, Đemil	4.36	763	131. Kaštelan-Macan, Marija	4.35	755
83. Filipan, Tugomir	1.16	177	132. Kišiček, Tomislav	4.50	865
84. Filipan, Tugomir	1.17	183	133. Klačić, Željko	4.43	813
85. Frančišković-Bilinski, S.	3.10	413	134. Klobučar, Nives	4.65	979
86. Franić, Zdenko	1.12	145	135. Knezić, Snježana	4.02	505
87. Franić, Zdenko	3.06	381	136. Kniewald, Goran	3.09	405
88. Gajski, Dubravko	5.02	1029	137. Koldžo, Dževad	4.36	763
89. Galić, Ivan	1.14	157	138. Kolovrat, Ivan	4.70	1015
90. Gereš, Dragutin	4.39	787	139. Koprivanec, Natalija	4.69	1009
91. Gereš, Dragutin	4.40	793	140. Kos, Zorko	4.38	777
92. Gereš, Dragutin	4.41	797	141. Košutić, Katarina	4.61	945
93. Gereš, Dragutin	4.42	805	142. Košutić, Krešimir	4.34	747
94. Gjetvaj, Goran	4.20	647	143. Košutić, Krešimir	4.35	755
95. Glavaš, Berislav	4.30	719	144. Kovačić, Miron	4.52	883
96. Goatti, Vladimir	3.15	447	145. Kozar, Sonja	3.02	357
97. Grahek, Željko	4.61	945	146. Kozarac, Zlatica	1.13	151
98. Grisogono, Branko	P.05	53	147. Kozličić, Mithad	2.09	325
99. Gržetić, Zvonko	2.02	277	148. Kršinić, Frano	2.02	277
100. Haničar, Davor	4.59	931	149. Krzyk, Mario	4.48	853
101. Hanžel, Darko	3.10	413	150. Kuhta, Mladen	4.07	545
102. Hasečić, Aleksandra	3.12	425	151. Kuhta, Mladen	4.68	1001
103. Hatić, Đuro	4.21	653	152. Kukuljan, Igor	4.14	517
104. Hatić, Đuro	4.45	831	153. Kulić, Slavko	6.04	1089
105. Hinić, Višnja	3.14	441	154. Kunst, Branko	4.34	747
106. Hodžić, Emil	4.66	985	155. Kunst, Branko	4.35	755
107. Hodžić, Milan	1.01	63	156. Kunštek, Duška	5.02	1029
108. Hodžić, Milan	1.03	79	157. Kupusović, Esena	4.04	523
109. Holjević, Danko	4.45	831	158. Kupusović, Tarik	3.12	425
110. Hrabak-Tumpa, Gordana	4.47	845	159. Kupusović, Tarik	3.13	431
111. Hrabak-Tumpa, Gordana	4.49	859	160. Kupusović, Tarik	4.04	523
112. Hrvojić, Elza	4.05	531	161. Kupusović, Tarik	6.02	1077
113. Ivančić, Bogdan	3.08	395	162. Kurelec, Branko	1.20	207
114. Ivatek-Šahdan, Stjepan	4.47	845	163. Kuspilić, Neven	2.11	343
115. Ivatek-Šahdan, Stjepan	4.49	859	164. Kuspilić, Neven	4.70	1015
116. Ivičić, Darko	4.06	537	165. Kwokal, Željko	3.02	357
117. Ivičić, Darko	4.13	589	166. Kwokal, Željko	3.16	453
118. Jakelić, Zoran	4.37	771	167. Larva, Ozren	4.56	909
119. Jasprica, Nenad	2.05	297	168. Leaković, Stjepan	4.66	985
120. Jeličić, Ivana	2.03	283	169. Leder, Nenad	2.08	319
121. Jelić, Krešimir	4.52	883	170. Leder, Nenad	2.10	335
122. Jović, Vinko	4.15	605	171. Lončar, Goran	4.20	647
123. Juras, Josip	1.04	91	172. Lončar, Mario	4.28	703
124. Juras, Josip	1.05	99	173. Lončarić-Božić, Ana	4.69	1009
125. Jurić, Duška	3.02	357	174. Lucić, Davor	1.20	207
126. Jurković, Janko	1.14	157	175. Luketa, Vitomir	4.51	873
127. Kapelj, Janislav	4.55	901	176. Lulić, Stipe	1.15	167
128. Kapelj, Sanja	4.54	893	177. Lulić, Stipe	3.09	405
129. Kapelj, Sanja	4.55	901	178. Lulić, Stipe	4.61	945

179. Magaš, Damir	3.19	471	228. Ožanić, Nevenka	4.11	575
180. Margeta, Jure	3.08	395	229. Ožanić, Nevenka	4.14	597
181. Margeta, Jure	4.02	505	230. Palinkaš, Ladislav	1.13	151
182. Margeta, Jure	4.63	961	231. Pandžić, Krešo	4.12	585
183. Maričić, Siniša	1.28	257	232. Papić, Sanja	4.69	1009
184. Marinac, Milan	4.32	733	233. Patrčević, Vladimir	1.28	257
185. Marinac, Milan	4.65	979	234. Pavičić, Ante	4.06	537
186. Markić, Marinko	4.58	923	235. Pavičić, Ante	4.09	559
187. Marović, Gordana	1.12	145	236. Pavičić, Jasenka	3.02	357
188. Marović, Gordana	3.06	381	237. Pavletić, Jadranka	4.28	703
189. Marušić, Josip	4.01	495	238. Peharec, Željko	3.03	363
190. Marušić, Josip	4.24	673	239. Peharec, Željko	3.04	369
191. Marušić, Josip	4.43	813	240. Peharec, Željko	3.05	375
192. Marušić, Josip	4.70	1015	241. Peharec, Željko	3.17	459
193. Marušić, Josip	P.01	3	242. Petković, Andriano	3.08	395
194. Marušić, Josip	P.02	15	243. Petošić, Dragutin	4.25	681
195. Marušić, Ružica	4.60	939	244. Petraš, Josip	4.01	495
196. Matasović, Mirella	1.14	157	245. Petraš, Josip	4.29	711
197. Matković, Damir	4.32	733	246. Petraš, Josip	5.02	1029
198. Matković, Damir	4.65	979	247. Petrićec, Mladen	4.21	653
199. Medanić, Marina	3.14	441	248. Petrićec, Mladen	4.45	831
200. Mesić, Sanja	5.04	1047	249. Petrović, Mira	4.35	755
201. Mesić, Sanja	5.05	1053	250. Picer, Mladen	3.07	387
202. Meteš, Azra	4.69	1009	251. Picer, Nena	3.07	387
203. Midžić, Sanda	4.04	523	252. Pižeta, Ivanka	3.05	375
204. Mihalić, Aleksandra	4.26	689	253. Plantić, Krešimir	4.20	647
205. Mijušković-Svetinović, T.	4.59	931	254. Plenković-Moraj, Anđelka	1.25	239
206. Miko, Slobodan	4.55	901	255. Plenković-Moraj, Anđelka	1.26	245
207. Milanović, Zlatko	1.14	157	256. Plenković-Moraj, Anđelka	1.27	251
208. Mileta, Marina	4.53	887	257. Plišić, Ivica	4.31	725
209. Milković, Janja	1.06	105	258. Plišić, Ivica	4.32	733
210. Milović, Blagoje	4.16	613	259. Plišić, Ivica	4.46	837
211. Mintas, Pavle	3.17	459	260. Plišić, Ivica	4.65	979
212. Mioković, Danijel	1.24	233	261. Popović, Ivica	5.05	1053
213. Mlakar, Marina	3.01	351	262. Požar-Domac, Antonieta	3.18	465
214. Morača, Nada	4.27	695	263. Pršić, Marko	4.51	873
215. Muljević, Vladimir	6.06	1105	264. Radionov, Sonja	5.04	1047
216. Mundić, Vedrana	3.20	479	265. Radionov, Sonja	5.05	1053
217. Nikolić, Stjepan	4.62	953	266. Radujković, Mladen	6.01	1067
218. Novoselić, Danijela	1.21	215	267. Radulović, Gorjana	3.13	431
219. Nuhić, Dalila	3.13	431	268. Raspor, Biserka	3.02	357
220. Odžak, Nikša	3.02	357	269. Rendulić, Ivica	2.01	269
221. Omanović, Dario	3.03	363	270. Renić, Ante	4.09	559
222. Omanović, Dario	3.04	369	271. Riđanović, Josip	2.01	269
223. Omanović, Dario	3.05	375	272. Romić, Davor	4.42	805
224. Oreč, Blaženka	3.14	441	273. Romić, Davor	4.43	813
225. Orlić, Mirko	2.02	277	274. Rubinić, Josip	4.11	575
226. Orlović-Leko, Palma	1.13	151	275. Rubinić, Josip	4.14	597
227. Ostojić, Zvonimir	4.25	681	276. Runko-Luttenberg, Lidija	4.18	629

277. Rušanac, Stjepan	4.28	703	321. Tomić, Frane	4.43	813
278. Scarlata, Vincencio	4.65	979	322. Trninić, Dušan	4.12	585
279. Senčar, Jasminka	3.06	381	323. Turnšek, Mirjana	3.21	485
280. Shalabi, Mira	1.14	157	324. Tušar, Božena	4.64	971
281. Sijerković, Milan	1.02	73	325. Ujević, Ivana	3.11	419
282. Sipos, Laszlo	4.57	917	326. Vakula, Zoran	1.04	91
283. Sipos, Laszlo	4.58	923	327. Vančina, Franjo	4.19	637
284. Slišković, Ivan	4.13	589	328. Veronek, Boris	5.04	1047
285. Smirčić, Ante	2.02	277	329. Veronek, Boris	5.05	1053
286. Smirčić, Ante	2.08	319	330. Vertačnik Astrea,	1.15	167
287. Smirčić, Ante	2.10	335	331. Vertačnik, Astrea	3.09	405
288. Smital, Tvrtko	1.20	207	332. Vertačnik, Astrea	4.61	945
289. Sopta, Luka	4.46	837	333. Vicković, Damir	4.23	667
290. Sorić, Zorislav	4.50	865	334. Vidaček, Željko	4.26	689
291. Sraka, Mario	4.26	689	335. Vidaković, Jasna	1.21	219
292. Stavrov, Jordan	4.03	513	336. Vidoš, Damir	4.15	605
293. Sugnetić, Nevenka	5.01	1023	337. Vidoš, Damir	4.42	805
294. Sugnetić, Tomo	5.01	1023	338. Vilibić, Ivica	2.08	319
295. Šarić, Goran	4.51	873	339. Vilibić, Ivica	2.10	335
296. Šiljković, Željka	1.09	123	340. Viličić, Damir	1.22	221
297. Šiljković, Željka	1.19	197	341. Viličić, Damir	2.02	277
298. Šimunić, Ivan	4.25	681	342. Vlahović, Tatjana	4.54	893
299. Šimunović, Vjekoslav	2.01	269	343. Vojvodić, Vjeročka	3.20	479
300. Šojat, Višnja	2.07	311	344. Vojvodić, Vjeročka	4.60	939
301. Šore, Željko	1.03	79	345. Vranješ, Mijo	4.15	605
302. Španović, Mili	4.67	993	346. Vranješ, Mijo	4.39	787
303. Šparica, Marko	4.08	553	347. Vranješ, Mijo	4.42	805
304. Šperac, Marija	4.40	793	348. Vranješ Mijo	4.43	813
305. Šperac, Marija	4.41	797	349. Vučetić, Marko	1.07	111
306. Štembal, Tamara	4.57	917	350. Vučetić, Marko	1.08	117
307. Šturlan, Stjepan	P.01	3	351. Vučetić, Višnja	1.07	111
308. Šturlan, Stjepan	P.02	15	352. Vučetić, Višnja	1.08	117
309. Šuperina, Vlatko	4.31	725	353. Vučijak, Branko	4.36	763
310. Švel, Boris	4.62	953	354. Vukelić, Ana	4.44	821
311. Švonja, Mirjana	4.10	565	355. Vukelić, Ivo	4.47	845
312. Tadić, Lidija	4.26	689	356. Vukelić, Zvonimir	4.03	513
313. Tedeschi, Stanislav	6.01	1067	357. Vukelić-Šutoška, Marija	4.44	821
314. Tepić, Nataša	2.03	283	358. Vuković, Ivo	4.49	859
315. Terzić, Senka	2.03	283	359. Vuković, Marija	4.57	917
316. Tica, Ranko	4.36	763	360. Zaninović, Ksenija	1.02	73
317. Tobijaš, Darko	3.10	413	361. Zuber, Nataša	4.57	917
318. Tomašić, Mirko	4.14	597	362. Zvonarić, Tomislav	2.04	291
319. Tomčić, Berislav	P.03	25	363. Žic, Vesna	1.23	227
320. Tomić, Frane	4.25	681			



FIL.B.IS. d.o.o.

ZA INŽENJERING PROIZVODNJU I TRGOVINU

Sjedište: 10020 Zagreb, Šrapčeva 5; tel/fax: 01 2338 793, 2338 794, 228 437

Predstavništvo: 33404 Korija; Nazorova c. 1, tel 033 738 088, 738 189, fax 033 738 188

E-mail: filbis@zg.tel.hr

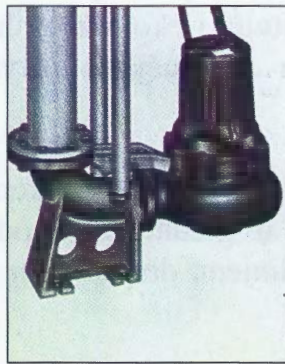
caprari

caprari

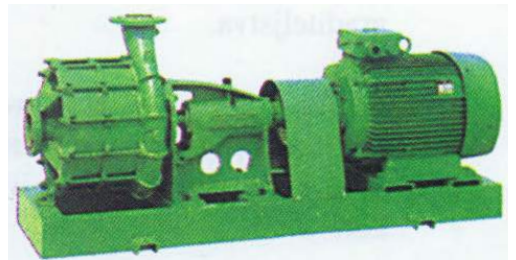
Modena

PUMPE: BUNARSKÉ, CENTRIFUGALNE
HORIZONTALNE I VERTIKALNE,
MULJNE ZA ČISTU, PRLJAVU VODU
I FEKALIJE

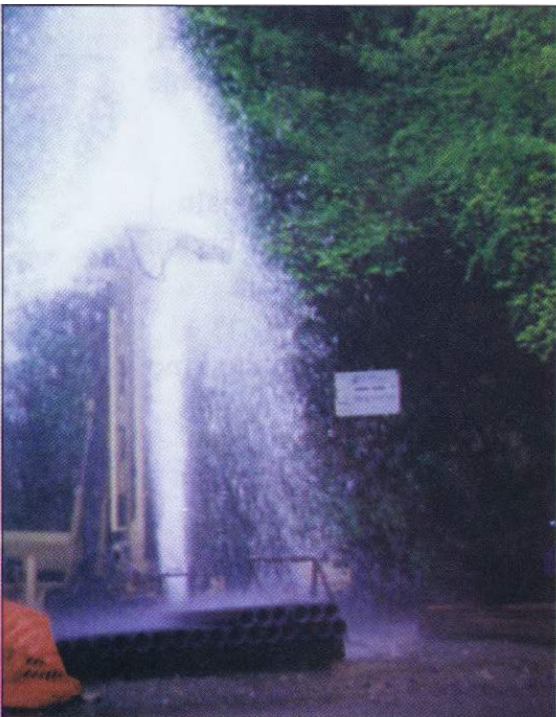
POGON: ELEKTROMOTOROM - DIESEL
MOTOROM - TRAKTOROM



Gruppo elettropompa per
servizio acquedottistico.



VODOISTRAŽNI,
VODOZAHVATNI
RADOVI



Fimap
S.Bened.Po

CIJEVI I FILTERI ZA DUBINSKE BUNARE



Vrijeme u kome živimo, svakodnevna utrka s tehnologijom, udaljila nas je od prirode. Unštavamo je ne vodeći računa o onima koji dolaze poslije nas. S obzirom da smo dugo crpili snagu i energiju iz prirode, te tako narušili mnoge prirodne izvore, ne preostaje nam ništa drugo nego učiniti sve kako bismo na najbrži način zaustavili daljnje uništavanje.

Sam proces regeneracije prirode vrlo je dug, pa stoga mi, inženjeri, moramo osmisliti i projektirati neka nova i efikasnija rješenja.

Istraživačko-znanstvenim radom nastaju novi polimerni materijali, nazvani geosintetici, koji svojim svojstvima omogućuju racionalnija, kvalitetnija i ekološki prihvatljivija rješenja primjenom u svim područjima suvremenog graditeljstva.

Koliko god riječ »sintetika« zvučala neprirodno, kontrolirana uporaba sintetičkih materijala u graditeljstvu, odnosno u kontaktu s tlom, vodom ili raslinjem, donosi nam značajne koristi.

Geosintetici se upotrebljavaju u izgradnji cesta, željezničkih pruga, zračnih luka, tunela, parkirališta, odlagališta otpada, umjetnih jezera, brana, nasipa, obaloutvrda, te za temeljenje građevina, ravnih krovova, sportskih igrališta itd.

Geosintetici omogućuju značajne uštede u materijalu i vremenu, uporabu manje vrijednih materijala, veću brzinu građenja, te ostvarenje sigurnijih i kvalitetnijih rješenja.

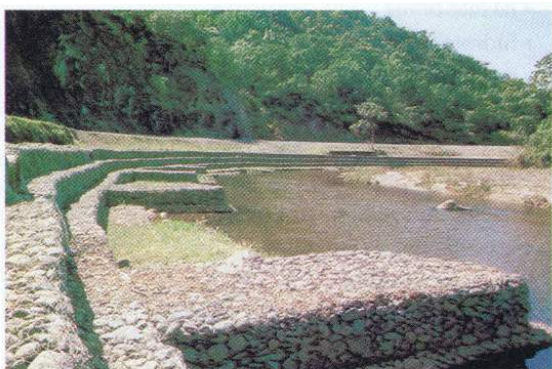
Dakle, uporabom geosintetika vraćamo prirodi ono što smo joj uzeli.

WERKOS®

*friends
of
nature*



Zaštita dna i pokosa jezera od erozije



Regulacija vodotoka



Osiguranje stabilnosti i zaštita od erozije plovnog kanala

WERKOS GEOSINTETICI I NJIHOVA PRIMJENA

GEOSINTETICI

Geotekstili

- tkani ili netkani
- razdvajanje tala, filtriranje, drenaža, zaštita u izolacijskim sustavima

Geomreže

- ekstrudirane ili tkane
- armiranje koherentnih, nekoherentnih materijala i asfalta

Geomembrane

- HDPE, VLDPE, PVC, bitumeni
- sprječavanje prolaza tekućina ili plinova

Geokompoziti

- kombinacije osnovnih geosintetika i njihovih funkcija

Bentoniti

- kompoziti geotekstila i glinenog praha
- zamjena glinenih brtvenih slojeva

Bio-pokrivači

- kompoziti prirodnih vlakana i razgradivih polimera, za zatavljanje i zaštitu od erozije

Gabioni, Madraci, Terramesh sustav

- od pocinčane žice ili polimera
- zaštitne i potporne konstrukcije

Geoweb

- sačasta struktura od polimernih traka
- povećanje nosivosti i zaštita od erozije

Sensor

- sustav za kontrolu stanja i detekciju oštećenih dijelova geomembrana

Sustavi zaštite od poplave

- vodom punjene cijevi, membranske barijere, Flex-Mac elementi

PODRUČJA PRIMJENE

Kod izgradnje i rekonstrukcije objekata iz cijelog područja niskogradnje: *hidrotehnika, ceste, željeznice, tuneli, mostovi, odlagališta otpada...*

Rješavanjem geomehaničkih problema, temeljenja i izolacije objekata postižu se brza i kvalitetna tehnno-ekonomska rješenja uz značajne uštede kvalitetnih prirodnih materijala.

- zaštita obala i dna vodotoka
- regulacija vodotoka
- zaštita od poplave
- luke, marine, akumulacije
- nasute brane
- hidrotehničke melioracije
- drenažni sustavi

- povećanje nosivosti slabo nosivog tla
- izgradnja cestovnih i željezničkih nasipa
- osiguranje stabilnosti pokosa
- izvedba potpornih zidova
- sanacija klizišta
- izolacijski sustavi tunela i mostova
- armiranje asfaltnih površina
- zaštita od erozije
- zaštita od odrona

- uređenje odlagališta otpada
- zaštita voda i tla od mogućeg onečišćenja
- izolacija onečišćenog područja
- uređaji za pročišćavanje otpadnih voda
- ozelenjavanje površina

WERKOS d.o.o.

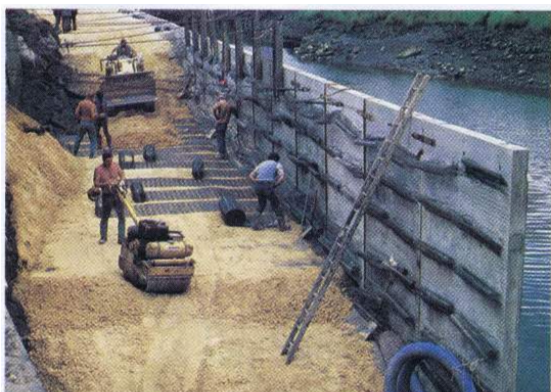
trgovina-inženjering-proizvodnja
31000 Osijek, Gundulićeva 30
tel.: 00385(0) 31 202 700
fax. 00385(0) 31 202 701
e-mail: werkos@os.tel.hr



Uređenje odlagališta otpada, akumulacija i laguna



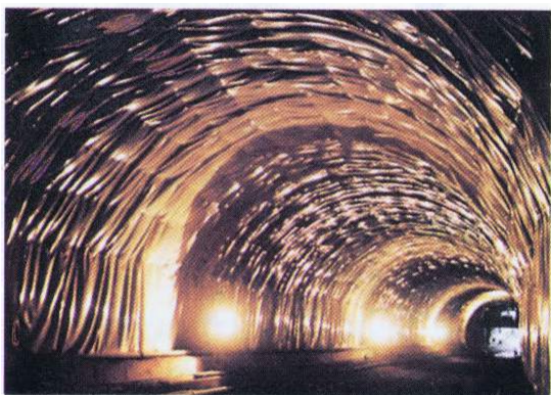
Uređenje slabo nosivog tla



Izrada armiranih potpornih konstrukcija



Izgradnja hidrotehničkih objekata



Hidroizolacijski sustavi tunela



Zaštita od erozije

HiDROLOG d.o.o.

Hidrološka mjerenja, građenje, projektiranje, nadzor i zastupanja
Generalni zastupnik "SEBA-HYDROMETRIE" za Hrvatsku
10 000 ZAGREB, Franje Fujsa 2 tel/fax: (01) 36-36-811

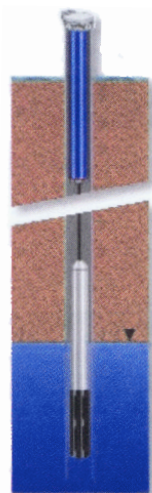
HIDROLOGIJA METEOROLOGIJA KVALITETA VODA



SEBA

HYDROMETRIE

Kaufbeuren, GERMANY
OTPADNE VODE



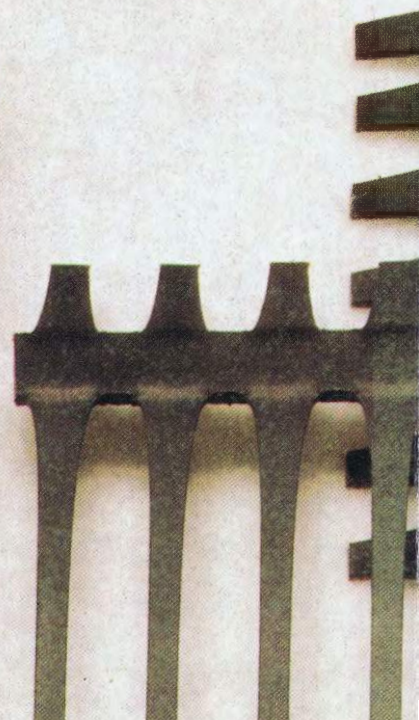
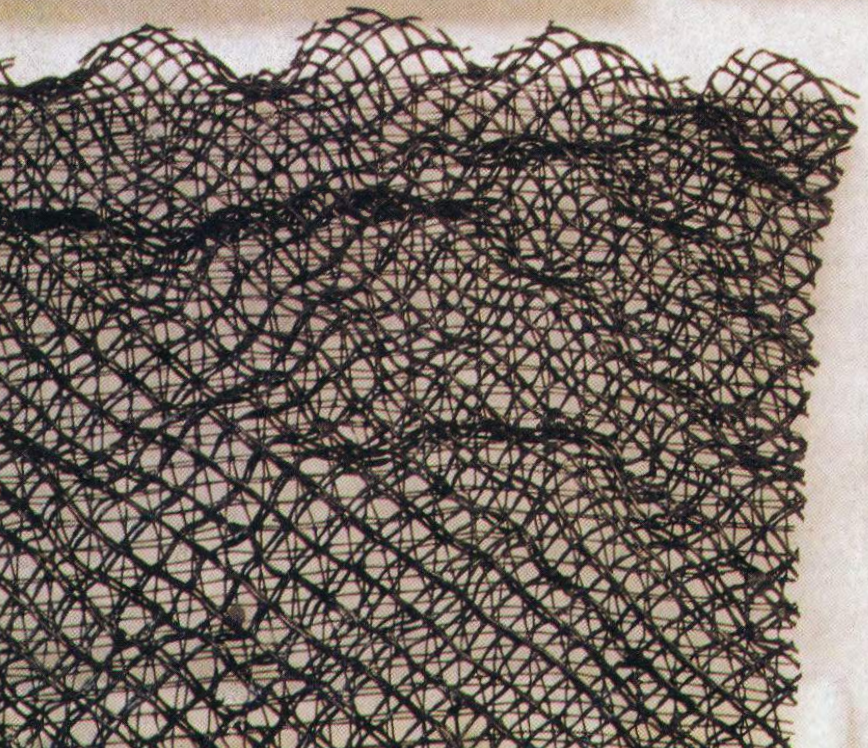
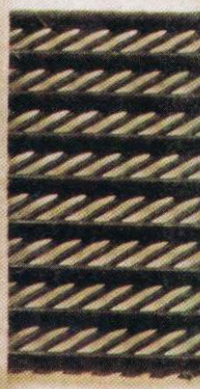
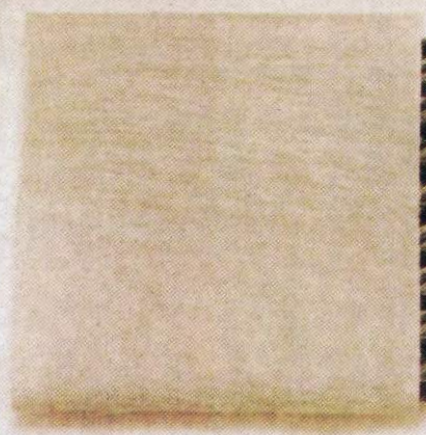
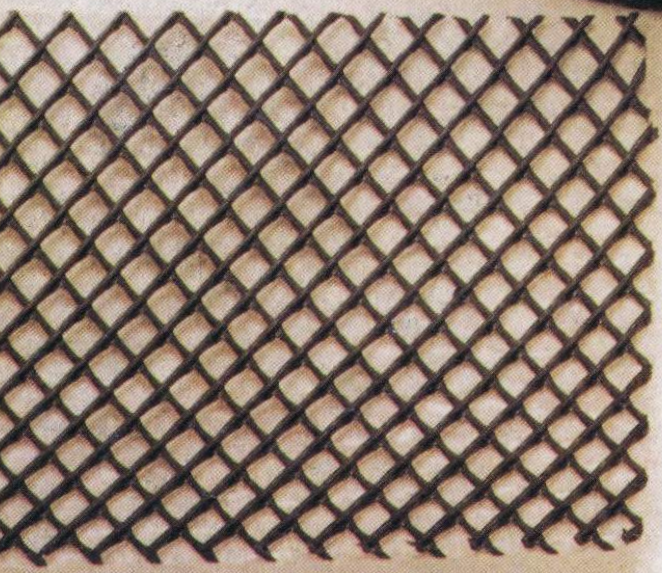
SEBA-HYDROMETRIE (Kaufbeuren -Njemačka)
bavi se više od 30 godina razvojnim istraživanjem
te proizvodnjom hidrološke mjerne opreme u području:

- Površinskih voda
- Podzemnih voda
- Otpadnih voda
- Kvalitete voda



Visoka kvaliteta uz vrhunske standarde svrstavaju tvornicu
Seba-Hydrometrie u svjetske proizvođače mjerne opreme.

HIDROLOG d.o.o. ZAGREB osnovan je 1994. godine
isključivo za ekskluzivno zastupanje Seba-Hydrometrie
u Republici Hrvatskoj. Bavi se svim vrstama hidroloških
istražnih radova, monitoringom svih vrsta voda, te izradom
elaborata i studija u području hidrološke znanosti.





GENERALNI SPONZOR

WERKOS

*friends
of
nature*



ISBN 953-96455-4-9



9 789539 645548