

Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich – Ungarn			A 20 éves magyar-osztrák földtani együttműködés jubileumi kötete		
Redaktion: Harald Lobitzer & Géza Császár			Szerkesztette: Harald Lobitzer & Géza Császár		
Teil 1	S. 385–400	Wien, September 1991	1. rész	pp. 385–400	Bécs, 1991. szeptember
ISBN 3-900312-76-1					

Geologische und ingenieurgeologische Beschreibung der Donaustufe Nagymaros

Von GÉZA BENCE, GÉZA CSÁSZÁR, MÁRIA DARIDA-TICHY, ANTONIA DUDKO, MIKLÓS GÁLOS,
GEORG GANGL, PÁL KERTÉSZ, LÁSZLÓ KÖRPÁS & CHRISTIAN ZIER*)

Mit 12 Abbildungen und 1 Tabelle

*Ungarn
Nagymaros
Vulkanismus
Tektonik
Ingenieurgeologie*

Inhalt

Zusammenfassung	385
Összefoglalás	385
Abstract	386
1. Einleitung	386
2. Regionales geologisches Bild	386
3. Geologischer Aufbau des Arbeitsgeländes	386
3.1. Geologische Beschreibung	386
3.2. Strukturelles Bild	392
3.3. Entwicklungsgeschichte	394
4. Ingenieurgeologische Bewertung der Baustelle	396
Literatur	400

Zusammenfassung

Anlässlich des Beginns der Bauarbeiten für das Donaukraftwerk Nagymaros (Ungarn) wurde nach umfangreichen Voruntersuchungen eine ingenieurgeologische Kartierung der Baugrube im Strombett vorgenommen.

Strato- und subvulkanische Andesite werden von einer im Baugelände schmalen Schicht von oligozänen Sedimenten (Tonen und Schluffen) durchzogen.

Die wissenschaftliche Untersuchung der durch die Baugrube aufgeschlossenen Gesteine und ihre mineralogische und strukturegeologische Untersuchung gestatten eine Beschreibung des geologischen Aufbaues, eine Analyse der Versetzungen der Oligozänschicht längs alter Störungen und die Ableitung eines entwicklungsgeschichtlichen geologischen Modells.

A „nagymarosi vízlépcső“ építési területének földtani és mérnökgeológiai viszonyai

Összefoglalás

A cikk ismerteti a részletes földtani térképezési (1 : 2000) valamint az erőmű alapozásának előkészítését célzó mérnökgeológiai felvételt és értékelés eredményeit. A feltárt Duna medret 3 fő képződménycsoport – felső-oligocén üledékes összlet (fekü), alsó-bádeni rétegvulkáni képződmények valamint legalább 2 fázisú szubvulkáni andezit alkotja. A közettömeg jelentős része alacsony hőmérsékletű hidrotermális bontást szenvedett és számottevő a felszíni mállás szerepe is. A terület erősen tektonizált, bonyolult mozgásokat szenvedett. Különösen jelentős a munkagödörben feltárt, a negyedidőszakiak kivételével minden képződményt harántoló kb. 150-méteres jobbos eltolódás.

Ezenkívül ismertetik a vízerőmű tervezéséhez elvégzett mérnökgeológiai kutatások történetét és közzefizikai, közetmechanikai, hidrogeológiai és egyéb paraméterek vizsgálati rendszerét, a kapott eredmények kiértékelése során nyert, a közzettestek minősítő szilárdsági és alakváltozási jellemzőket.

*) Anschriften der Autoren: GÉZA BENCE, GÉZA CSÁSZÁR, MÁRIA DARIDA-TICHY, ANTONIA DUDKO, LÁSZLÓ KÖRPÁS Ungarische Geologische Landesanstalt (Magyar Állami Földtani Intézet, MAFI), H-1442 Budapest; MIKLÓS GÁLOS, PÁL KERTÉSZ, Technische Universität, Mineralogisch-geologischer Lehrstuhl (Budapesti Műszaki Egyetem, Ásvány és Földtani Tanszék, BME), H-1521 Budapest, Sztoczek utca 2; Dr. GEORG GANGL, Dr. CHRISTIAN ZIER, ÖSTERREICHISCHE DONAUKRAFTWERKE AG, Parkring 12, A-1010 Wien.

The Power Plant Nagymaros – Geology and Problems of Engineering Geology

Abstract

The paper describes the detailed geological mapping (on the scale of 1 : 2000) and the engineering geological survey intended for the foundation of the power plant. The exposed bed of the river Danube consists of three main groups: Upper Oligocene sedimentary sequence (underlying bed), Lower Badenian stratovolcanic formations and at least 2-phase subvolcanic andesite.

A major part of rock mass was subject to low-temperature hydrothermal disintegration. Surface weathering also played an important role. The area is strongly tectonized and has been subjected to complicated displacement, penetrating all formations exposed in the working pit, except Quaternary ones, is of particular importance.

In addition, the paper describes the history of engineering geological exploration for the designing work of the Nagymaros dam, the system of analysis of petrophysical, petromechanical, hydrogeological and other parameters, including the strength and deformation features identified from the evaluation of the results obtained and qualifying the rock bodies.

1. Einleitung

Der Beginn der Bauarbeiten und ihre folgende Unterbrechung bot den Geologen eine einmalige Gelegenheit zur detaillierten Untersuchung des freigelegten Baugeländes. Die Gelegenheit nützend haben wir eine geologische Detailkartierung im Maßstab 1 : 2.000 auf dem sowohl geologisch als auch strukturell kompliziert aufgebauten Gebiet ausgeführt. Die von einer Sedimentschicht durchzogene, andesitisch-dazitische Schichtgruppe gilt als ein Produkt der vulkanischen Zentren, welche sich einerseits an den Bergrändern befinden und andererseits im Nordteil des Gebietes angenommen werden. In der ersten Phase entstand der Doppel-Schichtvulkan im Dunazug-Gebirge: Er ist durch Einbruchscaldern und Parasitärkegel der andesitischen Schichtgruppe am Rand der Caldera gekennzeichnet.

Das von einem Damm umgebene und weitgehend von Donausedimenten befreite Baugelände von etwa 0,7 km² erbrachte für die Geologen einen einzigartigen Aufschluß. Die Kontaktflächen der fallweise nur schwer bestimmbaren sedimentären, stratovolkanischen und subvulkanischen Bildungen, waren einsehbar wie die Blätter eines offenen Buches: Dieser einmalige Aufschluß ermöglichte eine Unterscheidung der verschiedenen Arten der Strukturelemente und der Bewegungsrichtungen sowie eine Bestimmung der Bewegungsfolgen. Neben dieser wissenschaftlichen Arbeit wurden in der Baugrube natürlich auch ingenieurgeologische Arbeiten durchgeführt. Die baueologische Kartierung und die Auswertung zur Vorbereitung der Gründung des Wasserkraftwerkes wurden im Auftrage des Generalunternehmers von den Fachleuten der Technischen Universität in Budapest, bzw. des Generalunternehmers für die Errichtung des Hauptbauwerkes, der Österreichischen Donaukraftwerke AG, vorgenommen. Die beiden genannten Untersuchungen wurden zwar voneinander unabhängig ausgeführt, die mitwirkenden Fachleute haben es dennoch für zweckmäßig gefunden, daß ihre wichtigsten Erfahrungen in einem gemeinsamen Artikel zusammengefaßt werden.

Nach der Herstellung der Baugrubenumschließung im Donaubett, der Entwässerung der Baugrube und dem Felsaushub durch Sprengarbeiten, sind die Bauarbeiten im Mai 1989 eingestellt worden.

2. Regionales geologisches Bild

Auf dem Gelände des Bauobjektes sind stratovolkanische und subvulkanische Bildungen des Unterba-

dens, ferner oberoligozäne Liegendbildungen aufgeschlossen. Der Vulkanismus im unteren Baden (Abb. 1 und 2) setzte in der Übergangs-Fazieszone des von oligozänen-mittelmiozänen Liegendsedimenten fast völlig aufgefüllten Beckens ein.

Die ursprüngliche Gesamtmächtigkeit der stratovolkanischen Bildungen der frühen und der späteren Phase schwankt zwischen 300–1100 m. Kennzeichnend ist für sie ein fast völliges Fehlen der effusiven Fazies, ferner das Überwiegen von Flankeneruptionen und außerhalb des Hangbereiches liegende Ablagerungen. Die Lavagesteine sind ausschließlich in „subvulkanischer Fazies“ ausgebildet und bilden Gänge von einigen Zehnermetern, Sills, oder subvulkanische Zentren mit einem Durchmesser von 100 bis 2500 m. Diese Gesteine können in Biotit-Amphibolandesite und Dazite, (Biotit-)Pyroxen-Amphibolandesite, bzw. Pyroxenandesite gegliedert werden. Ein charakteristischer Repräsentant des letzteren Typus ist der im Donaubett und an den Ufern aufgeschlossene subvulkanische Andesit, der aus dem inneren Rand einer ehemaligen Caldera stammt.

Die Hangendsedimente des Unteren Badens liegen direkt auf den Vulkaniten. Ihre Verbreitung und Entwicklung wird von paläovulkanischen Strukturen bestimmt. Sie enthalten vulkanisches Streumaterial, welches von nahen und entfernten Zentren stammt. Die Ablagerung erfolgte in Ufernähe, teilweise im Flachmeer oder im Beckeninneren. Die Mächtigkeit schwankt zwischen 10 und 300 m.

Nach einer beachtlichen Sedimentationslücke ist die quartäre Bedeckung abgelagert worden. Diese hat außerhalb des Baugeländes eine Maximalmächtigkeit von 20 m und besteht aus Gehängeschutt, Ton, Sand, Restschottern, Löß, Terrassenkies und alluvialen Sedimenten. In der direkten Umgebung des geplanten Wasserkraftwerkes sind Sedimente des Donaubettes und Terrassenbildungen sowie Löss weit verbreitet.

3. Geologischer Aufbau des Arbeitsgeländes

3.1. Geologische Beschreibung

In der unmittelbaren Umgebung des Baugeländes erscheinen die oberoligozänen Sedimente an der Oberfläche in einer schmalen, 0,3–110 m breiten, von tektonischen Linien begleitete Zone mit einer ungefähren Streichrichtung Nordnordost-Südsüdwest (Abb. 3).

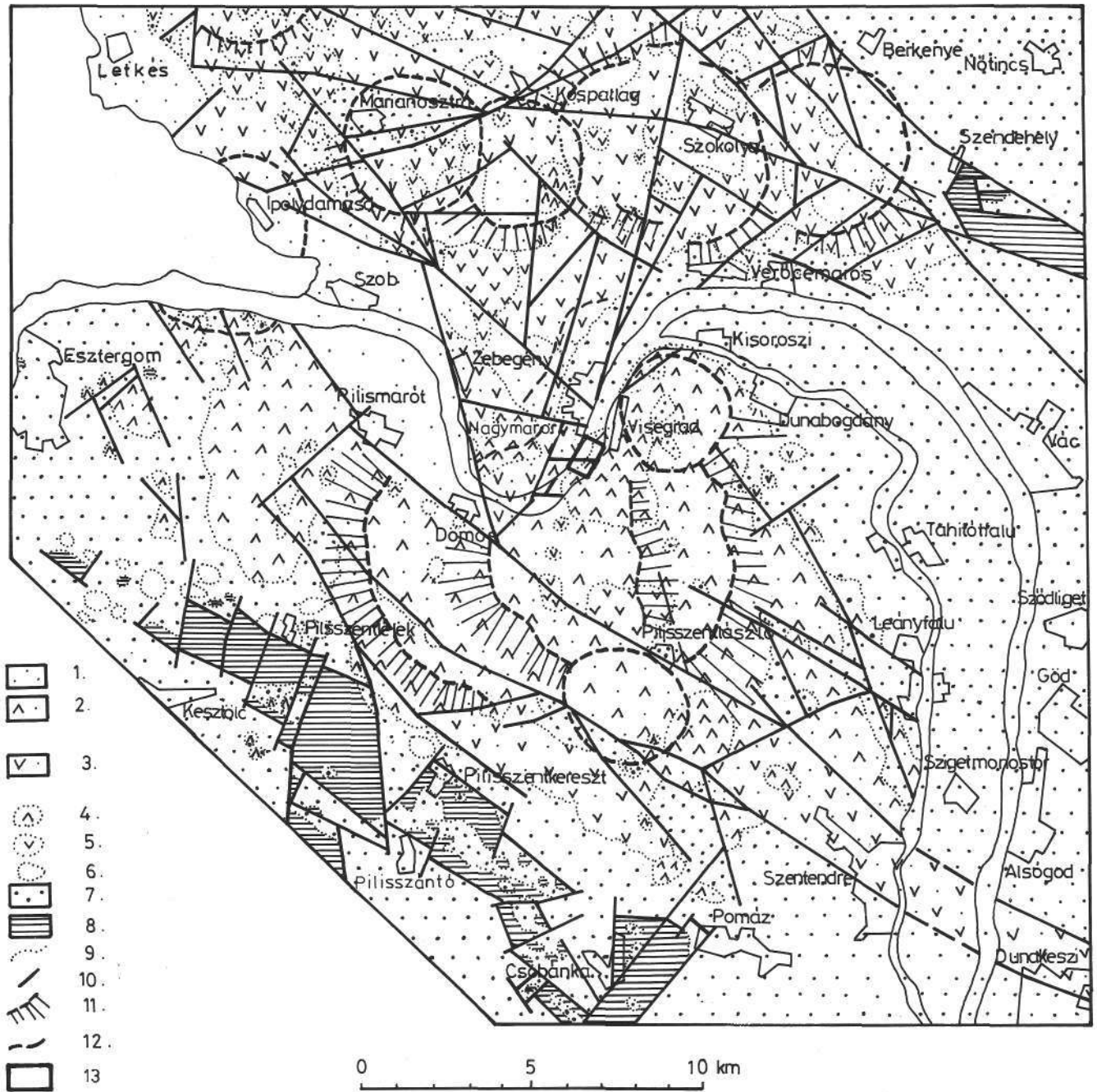


Abb. 1.

Schematische geologische Karte des Dunazug-Gebirges und seiner Umgebung (zusammengestellt von L. KÖRPAS, 1989).

1 = Hangendsedimente; 2 = stratovulkanische Andesitschichtfolge; 3 = Stratovulkanische Andesit-Dazit-Schichtfolge; 4 = Pyroxenandesit; 5 = Biotit-Pyroxen-Amphibolandesit; 6 = Biotit-Amphibolandesit, Dazit; 7 = Liegendsedimente; 8 = mesozoische und eozäne Bildungen; 9 = Formationsgrenze; 10 = Bruchlinie; 11 = Stratovulkane und ihre Hangreste; 12 = Wasserscheide; 13 = Arbeitsgebiet von Nagymaros.

Ihre Anwesenheit kann aber auch im westlichen Teil des Gebietes, im Liegenden der stratovulkanischen Schichtfolge angenommen werden. Die sedimentäre Zone breitet sich nach Nordosten und Südwesten aus.

Die Schichtfolge ist aus einer Wechsellagerung von grauem Ton, Aleurit („Schluffstein“) und Mergel aufgebaut, die durch Einlagerungen von glimmerführendem Sandstein, bzw. kohleführendem Ton untergliedert wird. In der Schichtfolge treten hier und da dünne, saure Tuffstreifen auf. Die Schichtfolge enthält an einigen Stellen oberoligozäne marine, bzw. brackische Molluskenfaunen mit *Tympanotonus*-, *Pirenella*-, *Pitar*-, *Ampullina*- und *Turritella*-Arten. Die Sedimente fallen etwa nach

Westen steil ein ($240-260^\circ/30-70^\circ$), im nördlichen Teil des Gebietes etwas flacher nach Nordnordwest, wobei sie sich der Neigung der aufgelagerten stratovulkanischen Schichtfolge annähern. Die Mächtigkeit der Bildungen beträgt im Raum der geplanten Schleusen-kammern und des Krafthauses einige Meter; nach Norden nimmt die Mächtigkeit der Schichtfolge zu und ist über 100 m breit (Abb. 4 und 5). Westlich der Zone der oligozänen Sedimente stehen stratovulkanische Bildungen an, während östlich von dieser subvulkanische Andesite vorhanden sind (Abb. 3).

Die stratovulkanische Schichtfolge ist hauptsächlich aus grauen, lilagrauen, rosa, selten ro-

ENTWICKLUNGSGESCHICHTLICHES MODELL DES VULKANISMUS IM DUNAZUG-GEBIRGE
(Zusammengestellt von L.KORPAS, 1989)

ALTER	FAZIESZONEN			AUSBILDUNG	VULKANISCHE BILDUNGEN				
	STRUKTURELLE LAGE	KONTINENTAL	ÜBERGANGSZONE		STRATOVULKANE	VULKANISCHE ERSCHEINUNGSFORMEN	SUBVULKANISCHE VORKOMMEN		
UNTERBADEN	KONTINENTALRAND	---	---	HANGENSEDIMENTE	---	---	---		
				ANDESITISCHE STRATOVULKANISCHE SCHICHTFOLGE	SPÄTE PERIODE	VULKANOKLASTIKA	INNERER STRATOVULKAN (Ø 4-6 km)	TINNERE EINBRUCHSCALDEREN (Ø 2-3 km)	ANDESITISCHE ZENTREN AM CALDERENRAND
							PARASITÄRKEGEL (Ø 3-4 km)	EROSIONS- UND EINBRUCHSCALDEREN	
				ANDESITISCHE-DAZITISCHE STRATOVULKANISCHE SCHICHTFOLGE	FRÜHE PERIODE	---	NÖRDLICHE VULKANREIHE (Ø 4-6 km)	EROSIONS- UND EINBRUCHSCALDEREN	ANDESITISCHE - DAZITISCHE ZENTREN DES SÜDWESTLICHEN RANDES
JÜNGSTER TEIL DER LIEGENDESEDIMENTE	---	---	---	---	---				

Abb. 2. Entwicklungsgeschichtliches Modell des Vulkanismus im Dunazug-Gebirge. Zusammengestellt von L. KORPAS (1989).

ten, lapilliführenden Tuffen und Agglomeraten aufgebaut, enthält aber auch dünne, graue, rotgraue Amphibol-Pyroxenandesitlava (Abb. 3). Im Liegenden befinden sich oligozäne Sedimente oder subvulkanischer Andesit. Der Kontakt ist meist tektonischer Natur, selten erkennt man eine Winkeldiskordanz oder eine scheinbare Konkordanz des Sedimentes. Das Einfallen der stratovulkanischen Schichtfolge beträgt 320-340°/30-60°. Ihre Mächtigkeit schwankt von einigen Metern bis 10 Meter und nimmt nach Norden, bzw. nach Westen zu (Abb. 4 und 5). Die Fragmente der grobklastischen Pyroklastika sind von einer Größe von 1 bis 100 cm; es dominiert die Größe 2-5 cm. Das Material besteht aus grauem, lilagrauem Amphibol-, Biotit-Amphibol-, Pyroxen-Amphibol- und selten auch Biotitanandesit mit rotem Flasergefüge oder mit idiomorphen Mikrokristallen. Kennzeichnende Mineralien der kristall- und vitroklastischen Tuffe sind: Plagioklas, wenig Quarz, grüner und brauner Amphibol, Hypersthen, Augit, Biotit und sehr selten findet man ein Granatkorn. Die Gesteine sind von kalzitischen Adern dicht durchzogen und zerfallen und verwittern besonders in den tektonisch beanspruchten Zonen. Laut Röntgendiffraktometer und thermoanalytischen Untersuchungen (RTG-DTG-Analysen) enthält das Gestein 20-60 % eines abnormalen unkonsolidierten Montmorillonites mit Gittergefüge.

Östlich der Zone der oligozänen Sedimente liegt der subvulkanische Andesit an der Tagesoberfläche (Abb. 3), während er westlich davon unter der stratovulkanischen Schichtfolge, bzw. unter den oligozänen

Sedimenten zu erwarten ist (Abb. 4 und 5). Im subvulkanischen Andesit haben wir zwei Phasen nachgewiesen: Im Pyroxen-Amphibolandesit (mit Hypersthen und braunem Amphibol) der früheren Phase erscheint die spätere Phase in Form von Amphibol-Pyroxenandesitgängen (mit grünem Amphibol, Augit, Biotit) mit einer Länge von einigen Dezimetern bis einigen Zehnermetern, deren Streichrichtung meistens Nord-Süd verläuft. Der weit verbreitete zur ersten Phase gehörende Andesit ist grau, braungrau, dicht, dünnblättrig, bankig. Das Gefüge des Pyroxen-Amphibolandesites ist meistens unorientiert, kleinporphyrisch, pilotaxitisch (1-3 mm), in der Nähe des Kontaktes ist es porphyrisch, hyalopilitisch und ein wenig brekziös ausgebildet. Das Gestein ist zersetzt und verwittert (Neubildung von Tonmineralien und Kalzit). Laut den Röntgendiffraktometer und den thermoanalytischen Untersuchungen enthält das Gestein 15-65% Montmorillonit. Dieser zeigt ein unkonsolidiertes Gittergefüge, welches bei einem hohen adsorptiven, bzw. Zwischenschicht-Wassergehalt kaum gittergebundenes OH enthält und ist vermutlich als Ergebnis der Hydratation entstanden. Aufgrund der chemischen Zusammensetzung gilt das Gestein als ein Kalkkali-Andesit mit einem SiO₂-Gehalt von 55-57 %. Der Kontakt des drappfarbigen, graugelben Amphibol-Pyroxen-(Gang)-Andesits mit dem der früheren Phase ist tektonischer Natur. Im Gangandesit, in der Nähe des Kontaktes ist keine Änderung beobachtbar; in der früheren Andesitphase tritt Brekzienbildung auf, welche von Zerfall und Kalzit- und Tonmineralbildung begleitet ist. Das Gesteinsgefüge

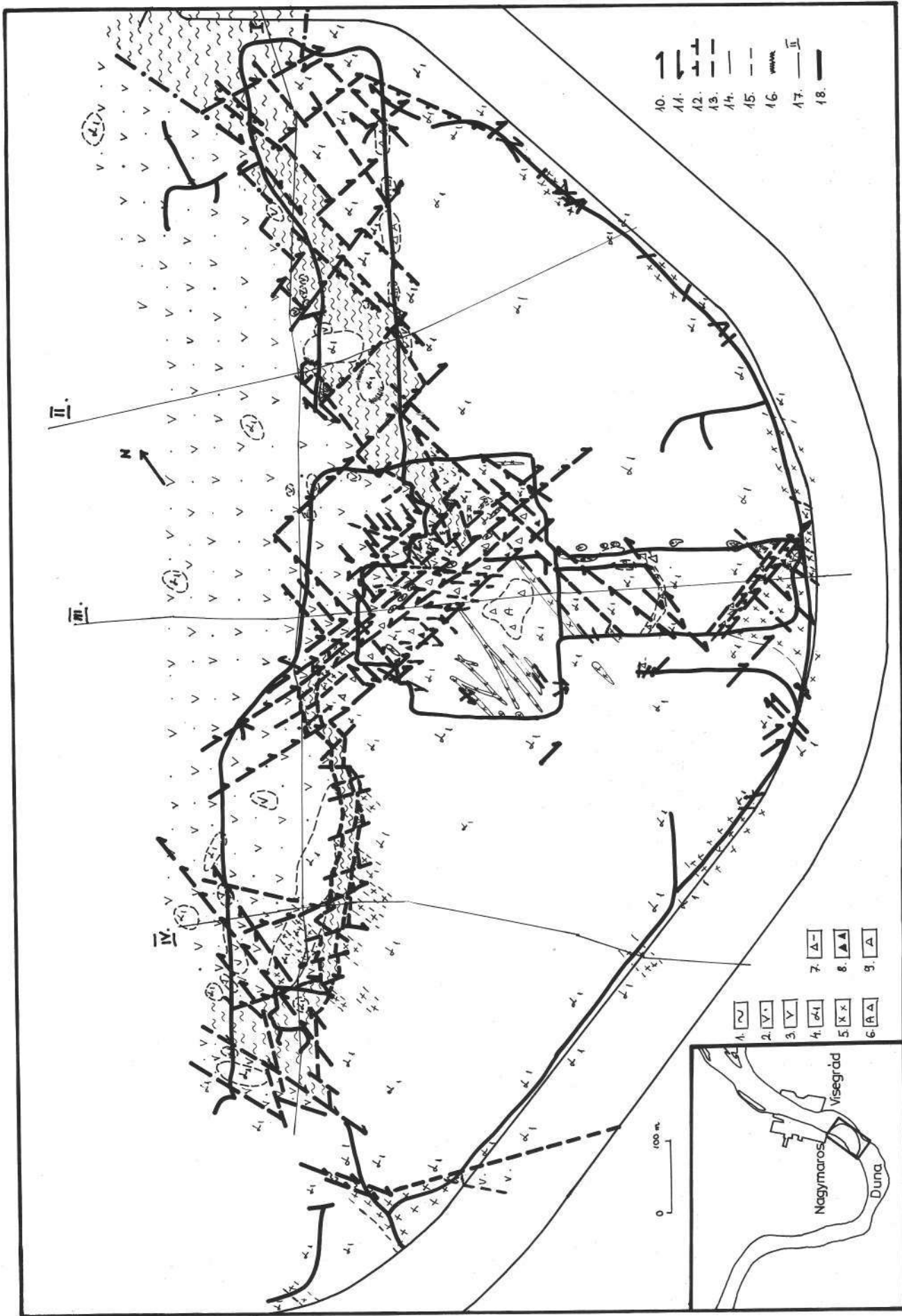


Abb. 3. Abgedeckte geologische Kartenskizze (ohne Quartär) des Baugeländes des Flußkraftwerkes bei Nagymaros. Zusammengestellt von M. DARDA-TICHY & A. DUJKO (1989). Oligozän (Egerien): 1 = Sedimentschichtfolge (Aleurit [Schluffstein], Sand, Ton). Miozän (Unterbaden): Stratovulkanische Schichtfolge: 2 = Pyroklastika (Agglomerat, Tuff, lapilliführender Tuff); 3 = Andesitlava; Subvulkanischer Andesit: 4 = Pyroxen-Amphibolandesit; 5 = Amphibol-Pyroxen-(Gang-)Andesit); 6 = Eruptionbrekzie; Brekzöse Zonen: 7 = Brekzie mit karbonatischem, tonigem Bindemittel; 8 = Tektonische Brekzie; 9 = Tektonisch beanspruchte Zone; 10 = Rechtssinnige Verwerfung; 11 = Linkssinnige Verwerfung; 12 = Verwerfung; 13 = Strukturlinie; 14 = Gesteinsgrenze; 15 = Vermutete Gesteinsgrenze; 16 = Magmatischer Kontakt; 17 = Lage der geologischen Profile.

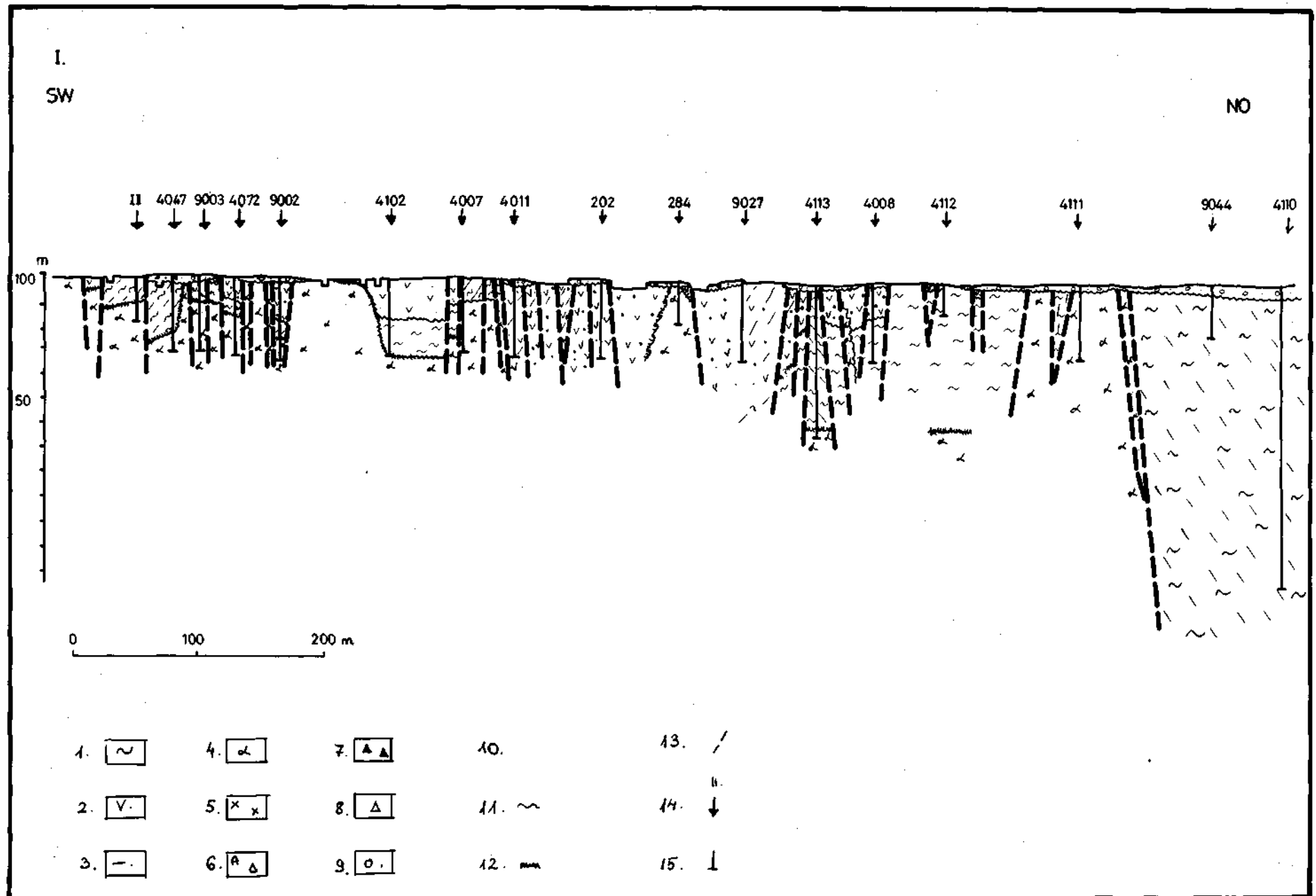


Abb. 4.

Schematische geologische Profile des Baugeländes des Flußkraftwerkes bei Nagymaros. I. Profil Nordost-Südwest.

1 = Oligozäne Sedimente (Egerien, Aleurit, Ton, Sand); 2 = Miozäne stratovolkanische Schichtfolge (Unterbaden); 3 = Miozäne Aleurit-Einlagerung; 4 = Miozäner Pyroxen-Amphibolandesit mit subvulkanischer Fazies; 5 = Miozäner Amphibol-Pyroxenandesit mit Gangfazies; 6 = Miozäne automagmatische Brekzie; 7 = Miozäne tektonische Brekzie; 8 = Miozäne tektonisch beanspruchte Zone; 9 = Holozäne Sedimente; 10 = Strukturlinie; 11 = Diskordanz; 12 = Magmatischer Kontakt; 13 = Eintallen der Schichten; 14 = Bohrstelle, Bohrstellennummer; 15 = Bohrprofil.

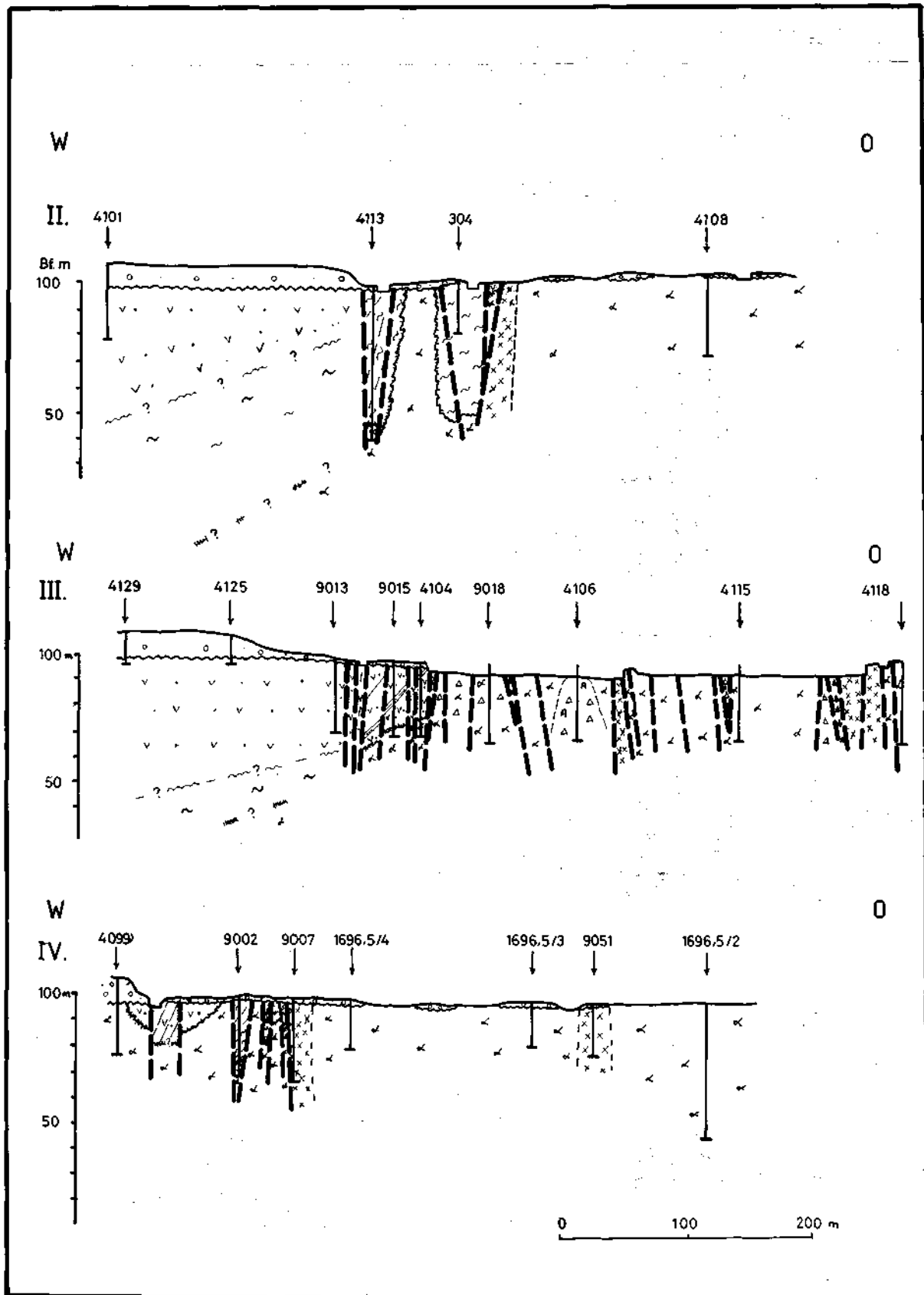


Abb. 5.

Schematische geologische Profile des Baugeländes des Flußkraftwerkes bei Nagymaros. II. Profil Nordost-Südwest.

Zusammengestellt von M. DARIDA-TICHY (1989).

1 = Oligozäne Sedimente (Egerien, Aleurit, Ton, Sand); 2 = Miozäne stratovulkanische Schichtfolge (Unterbaden); 3 = Miozäne Aleurit-Einlagerung; 4 = Miozäner Pyroxen-Amphibolandesit mit subvulkanischer Fazies; 5 = Miozäner Amphibol-Pyroxenandesit mit Gangfazies; 6 = Miozäne automagmatische Brekzie; 7 = Miozäne tektonische Brekzie; 8 = Miozäne tektonisch beanspruchte Zone; 9 = Holozäne Sedimente; 11 = Strukturlinie; 11 = Diskordanz; 12 = Magmatischer Kontakt; 13 = Einfallen der Schichten; 14 = Bohrstelle, Bohrstellennummer; 15 = Bohrprofil.

ist mikroholokristallin, porphyrisch (2–8 mm). Der Gangandesit zeigt einen stärkeren Zersetzungsgrad (Tonmineralisierung, Karbonatisierung) als jener der früheren Phase, sein Gehalt an Montmorillonit beträgt 30–50 % (auch hier tritt ein abnormaler Typ auf). Nach seiner chemischen Zusammensetzung ist dieser etwas saurer als der vorige (55–59 % SiO₂).

Der subvulkanische Andesit ist von Abkühlungsrissen und Klufflächen durchgezogen die von karbonatreichen Neubildungen gefüllt sind. An der Tagesoberfläche erscheint längs dieser Risse eine kugelschalartige Verwitterungskruste von einigen Zentimetern, in der verschiedene Brekzientypen erkennbar sind: Automagmatische Brekzie, tektonische Brekzie mit Kalzit und mit karbonatisch-tonigem Bindemittel zementierte Brekzie (Abb. 3). An den Trennflächen ist ein weißer kalzitischer, ein blauweißer tonmineralischer, oder ein opaler schwarzer toniger Überzug zu sehen. Das Gestein ist von weißen, gelben, bzw. blaß rosa Kalzitadern von 0,5–20 cm durchgezogen. Es erscheinen auch 1–2 m breite, mit Kalzit zementierte, brekziöse Zonen, bzw. höchstens 30 cm breite offene Spalten,

welche mit 2–50 mm großen nach oben gewachsenen Kalzitkristallen verkrustet sind.

Im Hangenden der vulkanischen Bildungen liegen Quartärablagerungen mit einer maximalen Mächtigkeit von 20 m. Dazwischen besteht eine bedeutende Sedimentationslücke. Längs des Ufers liegt eine altholozäne Donauterrasse, während im ehemaligen Donauebenden stellenweise ein rezentes Donau-Sediment aus Kies und Sand, mit einer Mächtigkeit von einigen Metern vorhanden ist. Unter dem Alluvium tritt oft Andesit hervor, welcher – infolge der fluviatilen Erosion – wunderschöne Erosionsformen zeigt: Ohrenförmige Bildungen und Kessel sind sichtbar.

3.2 Strukturelles Bild

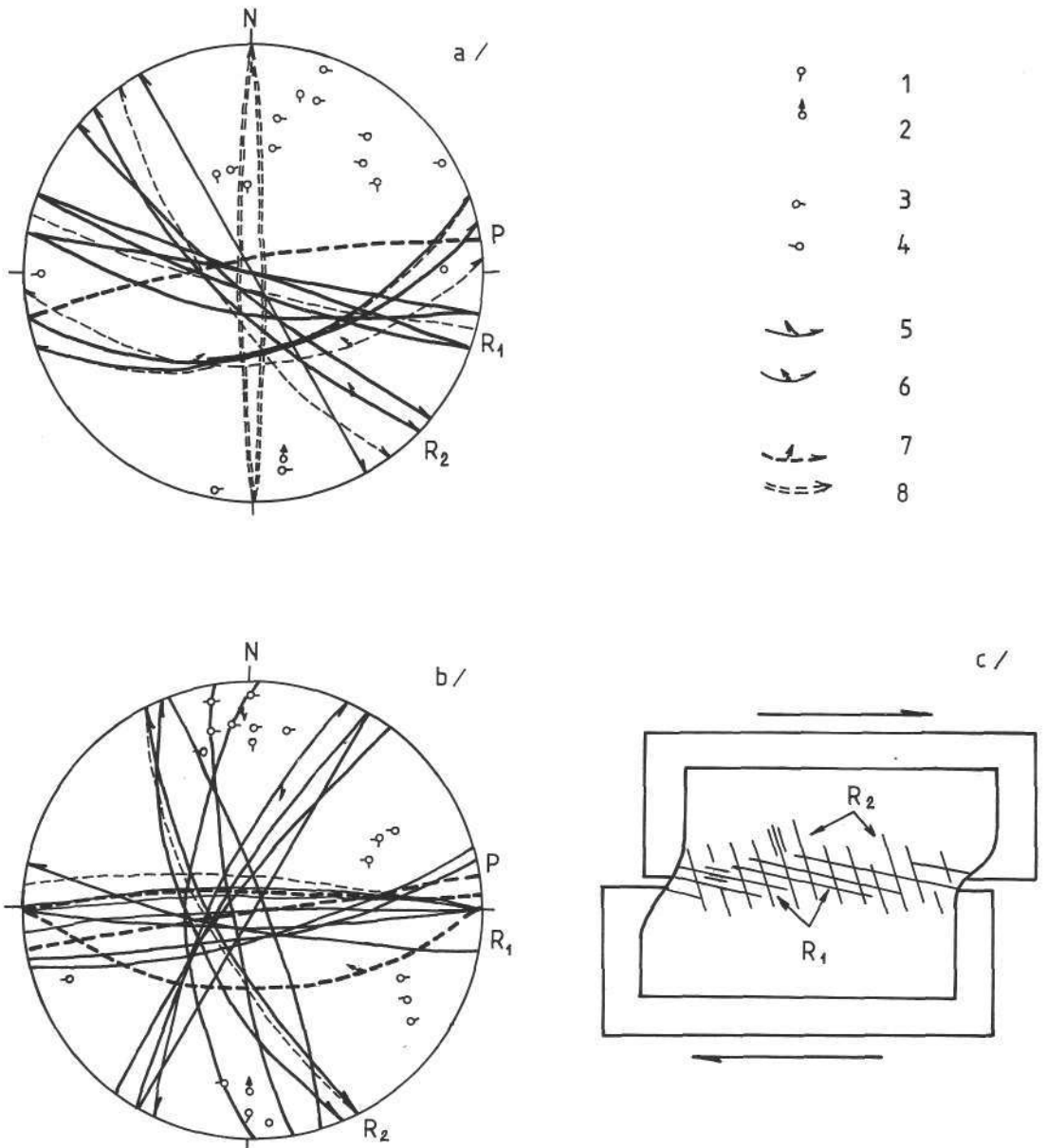
Die Gesteine des Untersuchungsgebietes sind stark beansprucht. Die Brüche und die begleitenden Bewegungsmerkmale zeigen ein außerordentlich kompliziertes Bild. Ein Großteil der rechtssinnigen Verschiebungen gruppieren sich um eine nahezu Ost–West verlaufenden Haupttrichtung, während die Nord–Süd verlaufenden

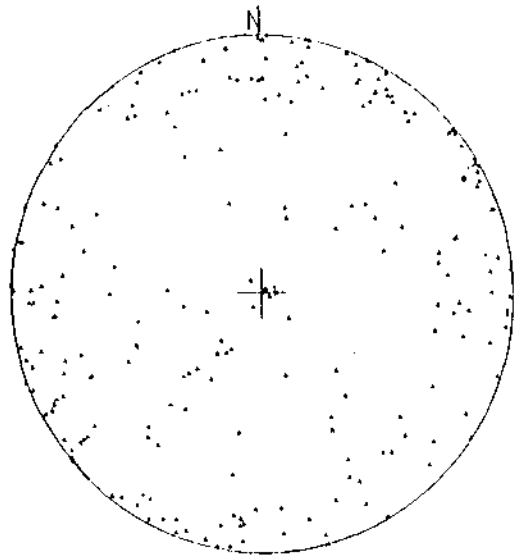
Abb. 6. Strukturelemente der rechtsseitigen Verschiebungszone.

Nach A. DUDKO.

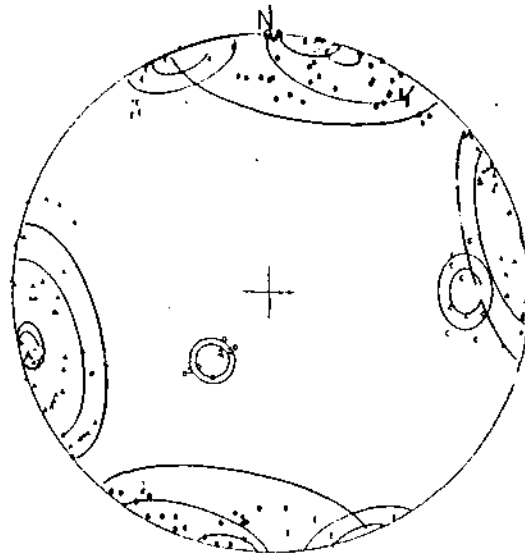
a = Diagramm der zentralen Bruchzone; b = Diagramm der tektonischen Brekzienzone; c = Bild einer rechtsseitigen Verschiebung; Darstellung der Rißbildung beim Scherverversuch (G. MANDL, 1988). 1–4 = Pole der Bruchebenen: 1 = Verwerfung; 2 = Aufschiebung; 3 = rechtsseitige Verschiebung; 4 = linksseitige Verschiebung.

5–8 = Projektion der Bruchebenen mit Harnisch-Richtungen: 5 = Verwerfung; 6 = Aufschiebung; 7 = rechtsseitige Verschiebung; 8 = linksseitige Verschiebung.

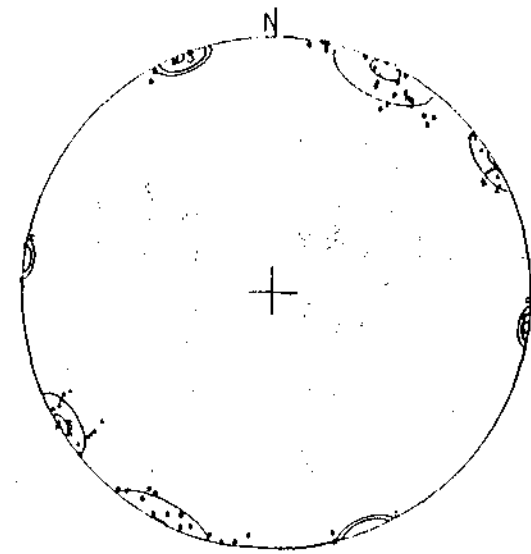




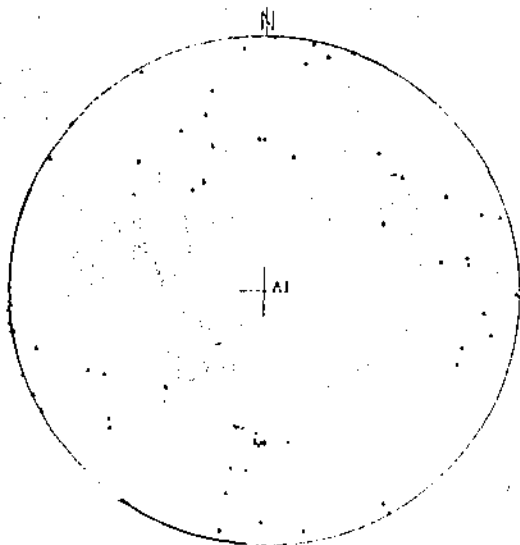
Alle Messungen



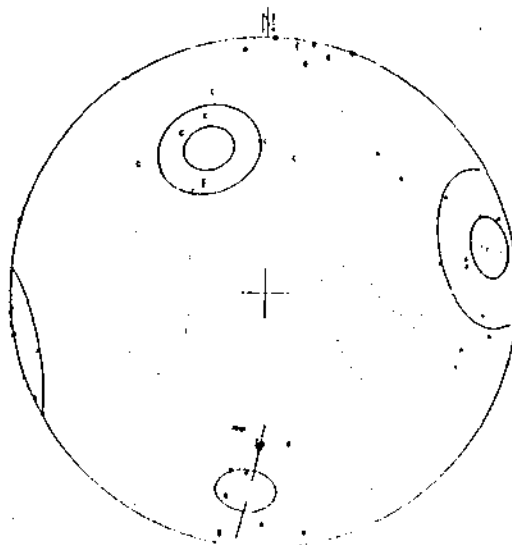
Mindest-Besetzungsdichte 0,7 %



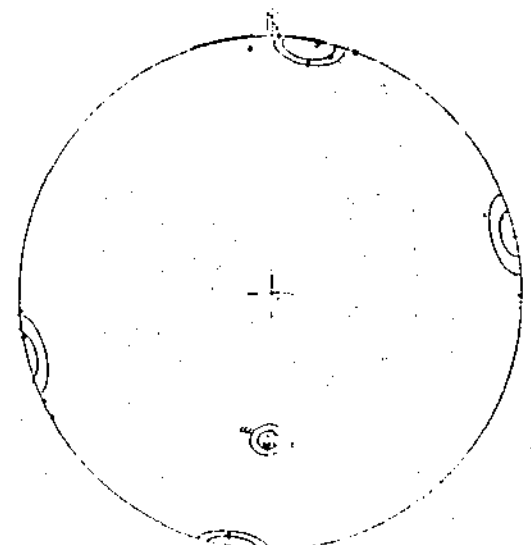
Mindest-Besetzungsdichte 1,6 %



Alle Messungen



Mindest-Besetzungsdichte 2,2 %



Mindest-Besetzungsdichte 5,8 %

Abb. 7.
Darstellung der Flächenpole der Klüfte (obere Reihe) und der Störungen (untere Reihe) im Bereich des Felsaushubes der Baugrube.
Nach Ch. ZIER.
Linke Spalte: Rohdaten, Gruppenbildung (Clustering) ist mit abnehmendem Suchwinkel in der mittleren und der rechten Spalte dargestellt.

fende Hauptrichtung aufgrund der Aufzeichnungen der Geologen des MÁFI's linkssinnige Verschiebungen zeigen. Die Beobachtung der linkssinnigen Verschiebung längs dieser Richtung wurde bei der ingenieurgeologischen Kartierung nicht festgehalten. Die Deutung der beiden Störungsrichtungen als zwei konjugierte Bruchflächen scheint ebenfalls möglich wie am Ende des Abschnittes ausgeführt wird. Es kommen aber auch Brüche anderer Richtungen von untergeordneter Bedeutung vor. An Bruchebenen gleicher Richtung haben wir die Merkmale entgegengesetzter, oder verschieden gerichteter Bewegungen beobachtet. Dieser Umstand deutet auf eine Wiederholung der tektonischen Ereignisse hin.

In der Baugrube verläuft eine tektonische Zone, die das Gebiet in zwei Teile teilt. Die Anordnung der Sedimente, ferner die Gesamtheit der längs der tektonischen Zone vermessenen Strukturelemente (Abb. 6) weisen auf eine 150 m lange rechtsseitige Verschiebung hin. Der Aufbau der Verschiebungszone stimmt mit den aus Scherversuchen abgeleiteten Verschiebungszonen überein (G. MANDL, 1988).

Die sich an der Grenze zwischen der stratovulkanischen Schichtfolge und dem subvulkanischen Andesitkörper befindliche Störung wird Hauptstörung genannt. 20 m nördlich davon befindet sich noch eine parallele Störung innerhalb der stratovulkanischen Schichtfolge. 40 m südlich davon, ist eine weitere Parallelstörung im subvulkanischen Andesit (Abb. 3). In der südlichen Störung ist eine tektonische Brekzie zu finden. Die Zone ist von konjugierten Nordwest-Südost gerichteten und Nord-Süd gerichteten linksversetzten Brüchen begleitet und im kleineren und größeren Ausmaß zerschnitten. Aufgrund der Strukturmerkmale können die Elemente der rechtsversetzenden Scherzone gut rekonstruiert werden.

A. DUDKO deutet diese als ein Riedel-Paar (R_1 , R_2) mit den entsprechenden schiefen, rechtssinnigen Verschiebungen und wahrscheinlich auch den P-Ebenen (Abb. 6, K. McCLAY, 1987; G. MANDL, 1988). Das steile Einfallen der Sedimentzone sowie der tektonische Kontakt mit der stratovulkanischen Schichtfolge können als eine Folge einer linkssinnigen Verschiebung gedeutet werden, welche der rechtssinnigen Nord-Süd gerichteten vorangeht.

Durch eine Rückabwicklung der rechts- und linksseitigen Bewegungen ist es gelungen die Hauptabschnitte der geologischen Vorgänge zu rekonstruieren (Abb. 8). Die beobachteten Strukturelemente weisen darauf hin, daß es auch Verwerfungen vor den Verschiebungen gab, die auf das mit der subvulkanischen Intrusion in Verbindung stehende Extensionskraftfeld – entsprechend dem Modell von MANDL (1988) – zurückgeführt werden können (Abb. 8, Teil 2). Auch nach den Verschiebungsbewegungen kam es zu Verwerfungen deren Maß und Herkunft aber unklar ist.

Die Raumlage der Trennflächen, deren Lage in der Baugrube eingemessen wurden, sind auf der Lagenkugel als Polpunktdiagramm dargestellt. Die Daten wurden gefügestatistisch ausgewertet. Eine Clustering der Daten ermöglichte eine objektive und vom Bearbeiter unabhängige Gliederung der Gefügedaten. Dabei wurde schrittweise, entsprechend zunehmender Besetzungsdichte auf der Auszählkalotte, bei abnehmendem Suchwinkel eine signifikante Trennung von Gruppen durchgeführt (Abb. 7): Die Klüfte zeigen deutliche

Maxima in nordnordwestlicher und ostnordöstlicher Streichrichtung. Von diesen steilstehenden Klüften getrennt sind flach nach Südwesten und Nordosten einfallende Scharen. Während die flach einfallenden, oft welligen Klüfte als Entlastungs- und/oder Abkühlungsklüfte gedeutet werden können, lassen sich die Saigerklüfte unschwer als Scherklüfte einer Nordwest orientierten Hauptbeanspruchung erklären.

Bei den Störungen können sehr deutlich Ost-West und Nord-Süd streichende sowie mittelsteil nach Nord einfallende Gruppen unterschieden werden.

Die Lineationen zeigen die Bewegungsrichtung an den Störungen an. An den Ost-West streichenden Störungen im Krafthausbereich treten flach nach West-nordwest abtauchende bzw. horizontale Bewegungsrichtungen auf, wodurch die Störungen als „rechtsseitige Versetzungen“ charakterisiert werden.

3.3 Entwicklungsgeschichte

Unter Berücksichtigung der sich auf den geologischen Aufbau der weiteren Region beziehenden Daten (Z. BALLA et al., 1979; Z. BALLA & L. KÖRPÁS, 1980a, 1980b; E. CSILLAG-TEPLÁNSZKY et al., 1980; E. CSILLAG-TEPLÁNSZKY & L. KÖRPÁS, 1982) können die Hauptzüge der Entwicklungsgeschichte des Gebietes folgendermaßen umrissen werden:

- 1) Ausgestaltung des doppelten Dunazug-Stratovulkans im Unterbaden. Das Baugelände bei Nagymaros gehört zum nördlichen, abgesunkenen Teil des Stratovulkans.
- 2) Darauf folgte in Zusammenhang mit dem Einbruch der inneren Caldera des doppelten Stratovulkans eine subvulkanische Intrusion (Abb. 8, Teil 2). Durch die im Unterbaden erfolgte Intrusion bildete sich als Grenze zwischen den oligozänen Sedimenten und den stratovulkanischen Gesteinen eine mehrere Zentimeter dicke kontaktmetamorphe Zone. Gleichzeitig wurden die Schichten steil gestellt. Über der Intrusion bildete sich ein Dehnungsfeld, das zur Entstehung von Trennbrüchen und zum Absinken des gesamten Blockes führte.
- 3) Denudation einer größeren Gesteinsmasse und Zustandekommen eines wahrscheinlich im Südteil des Gebietes liegenden Bruches mit Richtung Nordwest-Südost.
- 4) Entstehung einer nahezu Nord-Süd gerichteten etwa 250 m langen, linksseitigen Verschiebung, die eine gestreckte Sedimentzone und eine weitere Steilstellung der Sedimente zur Folge hatte (Abb. 8, Teil 4).
- 5) Verstellung der in der Baugrube beobachtbaren 150 m langen Verschiebung und der kleineren, im Nordteil des Gebietes vorkommenden, nahezu Ost-West gerichteten, rechtsseitigen Verschiebungen (Abb. 8, Teil 5).

Obwohl kein detaillierter Ablauf der geologischen Vorgänge abgeleitet werden kann, können die in den Abb. 4 und 5 geschilderten Verschiebungen mit einer Einengungstektonik in Einklang gebracht werden, die als Folge der regionalen Deformationen durch den Anprall der südöstlichen karpatisch-pannonischen Einheiten an die nordöstlichen aufgetreten sind (Z. BALLA, 1985).

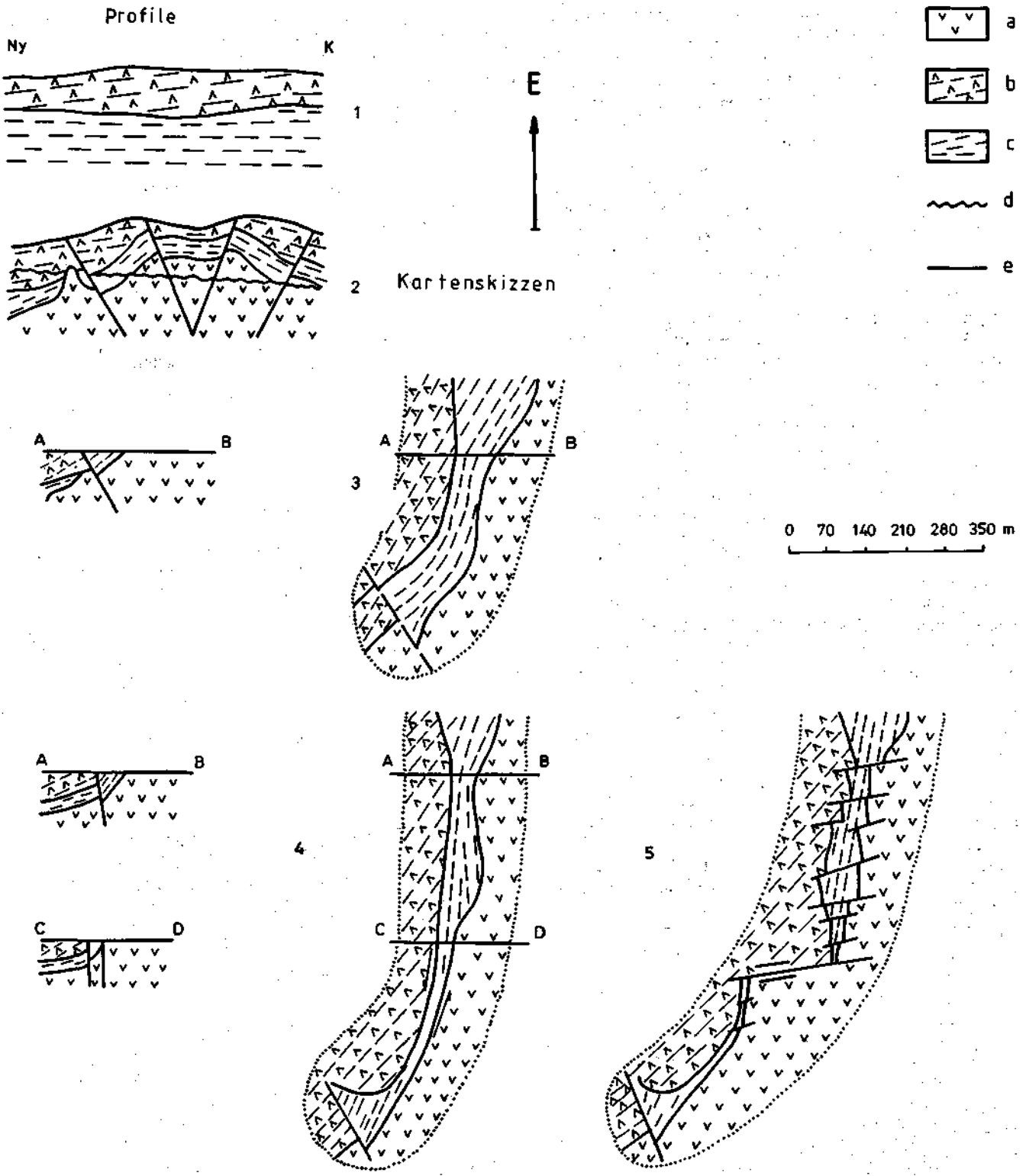


Abb. 8
 Skizze der geologisch-tektonischen Entwicklung des Arbeitsgeländes bei Nagymaros.
 Zusammengestellt von A. Dubko (1989).
 a = subvulkanischer Andesit; b = stratovulkanische Schichtfolge; c = Liegendsedimente; d = derzeitiges Erosionsniveau; e = Bruchlinien; 1 = Profile; 2 = Kartenskizzen.

Nach den Verschiebungsbewegungen überwiegen wieder einige Verwerfungen, die wahrscheinlich schon mit einer weiteren Hebung des Gebietes und mit einer erneuten Denudation im Zusammenhang stehen könnten.

In dem kleinräumigen Untersuchungsgebiet ist eine komplizierte geologische Entwicklung vor sich gegangen, in welcher sich tektonische Bewegungen mehrfach wiederholten. Das genaue Alter der Bewegungen kann aufgrund des Fehlens von Formationen, die jün-

ger als Unterbäden und älter als Pleistozän sind, nicht festgestellt werden.

4. Ingenieurgeologische Bewertung der Baustelle

Zur geologischen Vorerkundung des Wasserkraftwerkes wurden seit Anfang der fünfziger Jahre in den verschiedenen Phasen mehr als 300 Bohrungen mit einer Gesamtlänge von 7000 Laufmetern abgeteuft. Im Großteil der Bohrungen wurden sowohl geophysikalische

Messungen als auch Wasserabpreßversuche durchgeführt. Die Ergebnisse der Kernbohrungen wurden durch zwei Versuchsschächte und einen Versuchsbrunnen und in der weiteren Umgebung durch geophysikalische Aufnahmen ergänzt.

Die folgenden Fragen der Konstrukteure waren aufgrund der ingenieurgeologischen Erkundungen zu beantworten:

- Wie ist der geologische Aufbau der Umgebung des Kraftwerkes?

Tabelle 1. Gesteinswerte aus Laborversuchen und Gebirgseigenschaften.

GESTEINSKENNWERTE									GEBIRGSEIGENSCHAFTEN							
ROHDICHTE LUFTTROCKEN	ROHDICHTE WASSERGESTÄTTIGT	DRUCKFESTIGKEIT LUFTTROCKEN	DRUCKFESTIGKEIT WASSERGESTÄTTIGT	ZUGFESTIGKEIT LUFTTROCKEN	ZUGFESTIGKEIT WASSERGESTÄTTIGT	SCHERFESTIGKEIT WASSERGESTÄTTIGT	ELASTIZITÄTSMODUL LUFTTROCKEN	ELASTIZITÄTSMODUL WASSERGESTÄTTIGT	KLÜFTUNGSZIFFER	RQD	RAUMDICHTE	ZULÄSSIGE SPANNUNG			ELASTIZITÄTSMODUL	
												BETRIEBSLASTFALL	SELTENE LASTFÄLLE	AUBERGEWÖHNLICHE LASTFÄLLE		
ρ_0	ρ_w	σ_{co}	σ_{cw}	σ_{to}	σ_{tw}	τ_w	E_0	E_w	t_f		ρ_T	$\sigma_{ü}$	σ_s	σ_r	E	
kg/m ³		MPa		MPa		MPa	GPa		%	1/m	kg/m ³	KPa			MPa	
SUBVULKANISCHER ANDESIT (Nr.1)																
2530	2560	84,23	55,22	6,41	2,76	6,85	22,58	21,93	< 20	0,75	2550	11230	25000	53290	16430	
SUBVULKANISCHER ANDESIT (Nr.2)																
2380	2430	25,78	8,33	2,70	0,34	0,50	9,26	2,38	75	0,50	2350	2730	4200	5430	1380	
STRATOVULKANISCHER ANDESIT (Nr.3)																
2320	2390	24,53	5,97	1,90	0,44	0,75	6,13	1,74	50	0,50	2290	2470	6500	9380	2900	
STRATOVULKANISCHES ANDESITAGGLOMERAT (Nr.4)																
2260	2320	19,58	9,90	1,84	0,83	1,22	4,99	1,99	100	0,10	2220	1050	1150	2810	340	
BENENNUNG									PLASTIZITÄTSINDEX	RAUMGEWICHT TROCKEN	RAUMGEWICHT NATÜRLICH	ZULÄSSIGE SPANNUNG			ELASTIZITÄTSGRENZE	
												BETRIEBSLASTFALL	SELTENE LASTFÄLLE	AUBERGEWÖHNLICHE LASTFÄLLE		
TONIGER SCHLUFF (OLIGOZÄN) Nr.5									I_p	ρ_d	ρ_n	$\sigma_{ü}$	σ_s	σ_r	E	
									Typ "a"	t/m ³	t/m ³	KPa	KPa	KPa	KPa	
									18-23	1,9	2,1	200	240	280	20	
									Typ "b"	10-18	2,2	2,3	400	450	500	40-80

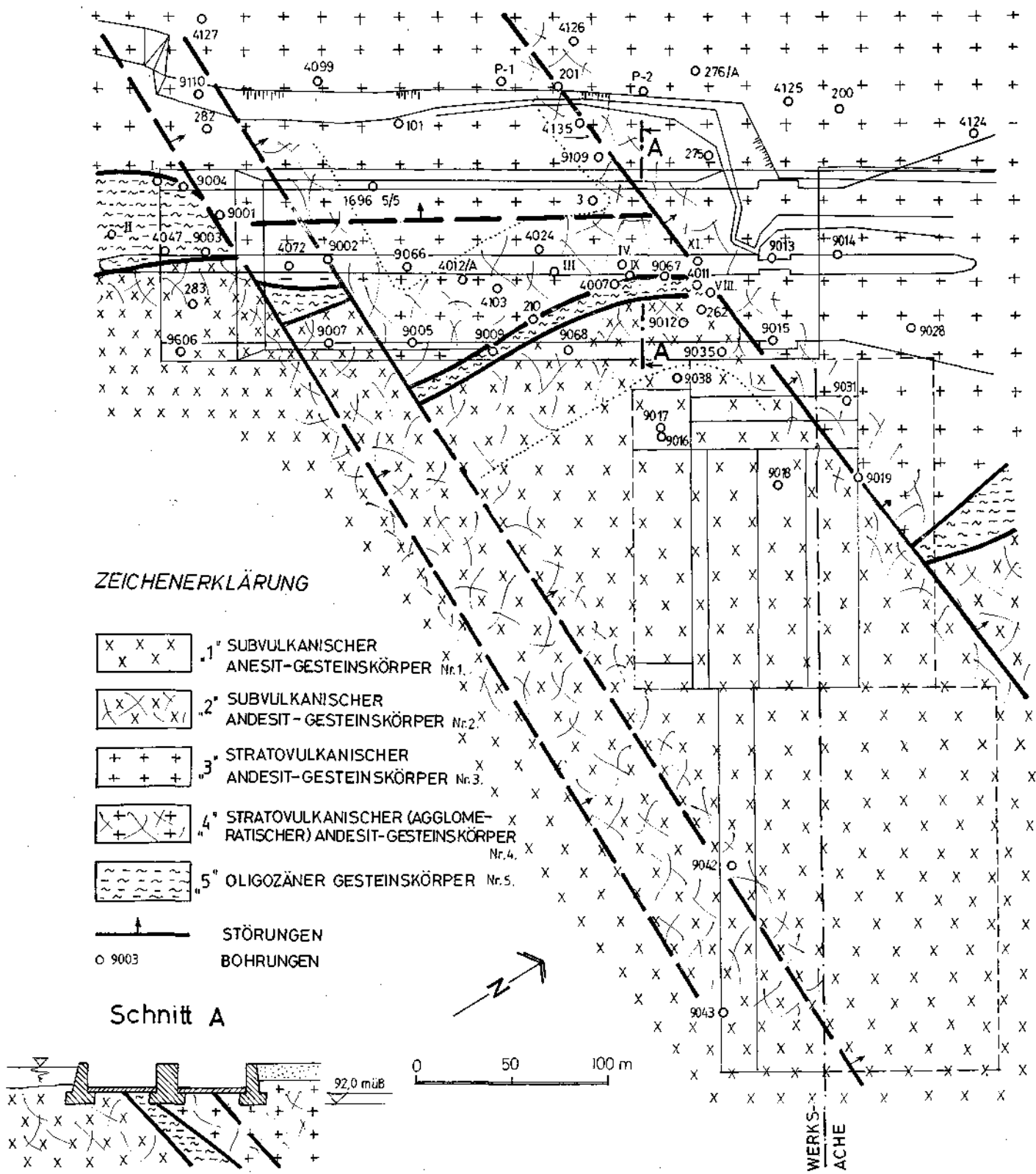


Abb. 9. Ingenieurgeologische Karte der Gründungsebene (92,0 m ü.B.) aufgrund der Erkundungsarbeiten vor der Herstellung der Baugrube im Strombett der Donau („Prognose“). Kartierung: Zentrales Bergbauinstitut (KBFI, Budapest) und Lehrstuhl für Mineralogie und Geologie der Technischen Universität in Budapest.

- Wo liegt die Grenze des Einflßbereiches des Bauwerkes auf die Gesteinsmassen?
- Welche gesteinsphysikalischen Parameter sind für die Fundierungsgesteine gültig und können für die Bemessung Verwendung finden?
- Wird die gewählte Gründung von den Gesteinskörpern unterschiedlicher Eigenschaften beeinflßt?
- Wird die Wasserbewegung entlang von Störungen eine Unterspülung und Auslaugung verursachen, die mit einem konzentrierten Wasserdurchfluß verbunden sein könnte?

- Sind Injektionen unter verschiedenen Teilen des Baues nötig, um unerwünschte Durchsickerung auszuschließen?
- Wie erfolgt die Wechselwirkung des Bauwerkes mit dem Gründungsgestein?
- Welcher Wassertyp und welche Wassermenge gelangt durch die durchlässigen Gesteinskörper in das Gebiet der Grundwasserabsenkung der Baugrube?

- Für welche Zwecke wäre der ausgehobene Fels verwendbar?
 Aufgrund der Aufgabenstellung wurde ein Untersuchungsprogramm ausgearbeitet. Anhand des ingenieurgeologischen Modells erfolgte eine Bewertung der Gesteinskörper, auf welche die Planung, Bauausführung und der Betrieb des Kraftwerkes abgestimmt werden muß. Für die geologisch verschieden aufgebauten

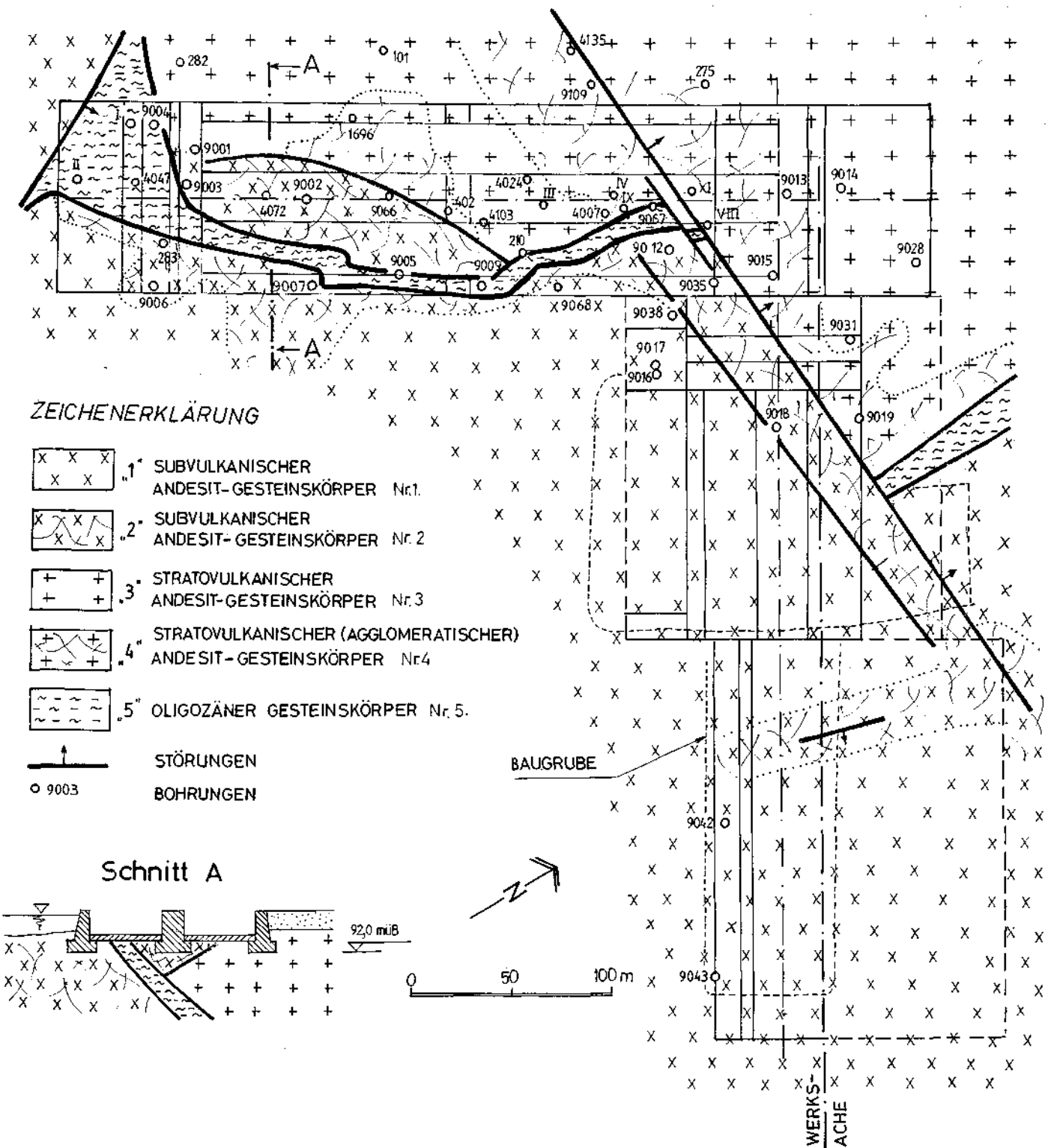


Abb. 10. Ingenieurgeologische Karte der Gründungsebene, aufgenommen nach dem Gesteinsaushub der Baugrube von der DONAUKRAFT und dem Lehrstuhl für Mineralogie und Geologie der Technischen Universität in Budapest.

Gesteinskörper wurden die petrophysikalischen, felsmechanischen und hydrogeologischen Kennwerte bestimmt, mit welchen die Festigkeits- und Formänderungseigenschaften bewertet werden und die Wasserbewegung längs der Trennflächen abgeschätzt werden kann.

Die petrophysikalischen Versuche wurden an den von Bohrkernen gewonnenen Probekörper durchgeführt. Die durchgehend gekernten Bohrungen dienen der Bestimmung der Kluftparameter (GALOS & KERTÉSZ, 1981). Aufgrund der geophysikalischen Daten und der Analyse der Bohrkern wurden einheitliche Gesteinskörper mit bestimmten petrophysikalischen Parametern und Klüftungseigenschaften abgegrenzt. Im Laufe dieser „geologischen Modellgestaltung“ wurden bei jedem Gesteinstyp je 2 Gesteinskörper abgesondert, Gesteinskörper „1“ und „2“ im subvulkanischen Andesit, „3“ und „4“ in dem stratovulkanischen Komplex und „5a“ und „5b“ in den sedimentären Schichten oligozänen Alters.

Abb. 9 zeigt die Lage der einzelnen Gesteinskörper aufgrund der geologischen Voruntersuchungen und stellt somit eine „geologische Prognose“ dar. Die Massenverteilungs-(Dichte-)Parameter der Gesteinskörper wurden aufgrund der Häufigkeit der Klüfte und deren Ausfüllung berechnet.

Die Festigkeits- und Formänderungsparameter wurden der Beanspruchung nach als Festigkeitswerte angegeben und zwar für

- den Betriebslastfall
- seltene Lastfälle und
- außergewöhnliche Lastfälle.

Die für den Betrieb erlaubten Spannungen wurden aus den Druckfestigkeitsdaten der Laboruntersuchungen mit einem Sicherheitsfaktor $n = 3$ berechnet. Für seltene Lastfälle wurden die Extremwerte aufgrund der ungarischen Norm (MSz 15004) ermittelt, die außergewöhnlichen Werte dagegen wurden von der erwarteten Druckfestigkeit mit einer 95 %igen Wahrscheinlichkeit und der Standardabweichung berechnet.

Die als wahrscheinlich angenommenen Elastizitätsmoduli wurden von den Spannungswerten, welche für außergewöhnliche Lastfälle zulässig sind und den Kluftziffern angegeben.

Die Ergebnisse der ingenieurgeologischen Erkundungen sind in zahlreichen Berichten zu finden und sind im Referat von GALOS & KÜRTI, (1982) zusammengefaßt. Die petrophysikalischen und felsmechanischen Materialkennwerte der Gesteinsblöcke und Gesteinskörper sind in Tabelle 1 angegeben.

Da die Aufschlüsse kostspielig und zeitraubend sind, ist ihre Zahl immer auf ein Maß beschränkt, welches dem Ingenieurgeologen als gering erscheint. So wurde der Zeitpunkt des Auspumpens der Baugrube mit Interesse erwartet, da der geologische Aufbau erst zu diesem Zeitpunkt unmittelbar besichtigt und überprüft werden konnte.

Die Beobachtungen in der Baugrube haben die Richtigkeit des angenommenen geologischen Modells weitgehend bestätigt. Die Verteilung der Gesteinskörper, deren ungefähren Lage, die Eigenschaften, das Verhalten und die geologische Struktur entsprachen den angenommenen Verhältnissen. Nur kleine Korrekturen des Verlaufes der unregelmäßigen Gesteinsgrenzen waren notwendig. Die Richtigkeit der ingenieurgeologischen

Voruntersuchungen erwies sich als besser als erwartet.

Die geologische Baugrubenkartierung erfolgte gleichzeitig mit der geodätischen Einmessung von Rasterpunkten des vom Kies befreiten Untergrundes der Gründungsflächen des Hauptbauwerkes, wobei zusätzlich kleinere Schürfgräben an den Oligozängrenzen ausgehoben wurden. Das Ergebnis ist in Abb. 10 wiedergegeben.

Die Gesteinskörper sind an der Oberfläche, im oberflächennahen Bereich und an den Kontaktzonen zu den Oligozänschichten brüchig und beansprucht. In der Baugrube zeigten sich bereits innerhalb weniger Monate starke Verwitterungserscheinungen der Andesite.

Diese sind bei oligozänen Sedimenten und beim stratovulkanischen Andesit mit Tufflagen erwartet worden, tatsächlich sind aber fast überall Verwitterungserscheinungen unterschiedlicher Intensität aufgetreten: Diese reichten von vereinzelter Ribildung bis zum kompletten Zerfall des Gesteines.

Aufgrund der in situ Beobachtungen, der petrophysikalischen Daten und der geologischen Aufnahme kann der subvulkanische Andesit mit der oft brekziösen und zersetzten Kontaktrinde als Gesteinskörper „2“ angesprochen werden.

Die Spannungs-Dehnungskurven der Gesteinsproben zeigen ein elastisches Verhalten. Der lineare Abschnitt dieser Kurven reicht über die Hälfte der Bruchfestigkeit; so kann im Spannungsbereich des Objektes weitgehend elastisches Verhalten angenommen werden (Abb. 11).

Die an der Oberfläche und an den Wänden der Baugrube sichtbaren und meßbaren Klüfte haben die Richtigkeit der Annahme bewiesen, daß für die Bestimmung des Elastizitätsmoduls und der „Poisson'schen Zahl“ die Kluftdaten eines in mehreren Richtungen verlaufenden Kluftsystems angenommen worden sind. Die Möglichkeiten von Wasserbewegungen in der Baugrube

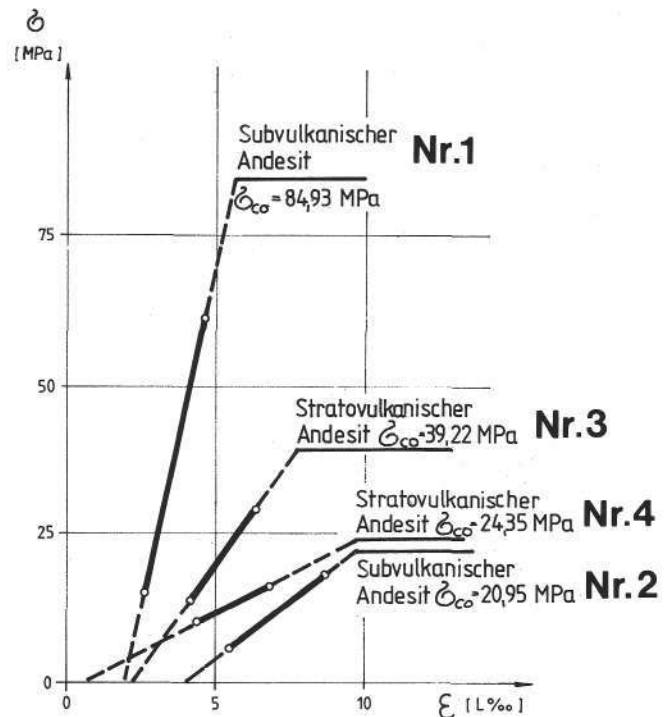


Abb. 11. Spannungs-Dehnungskurven der verschiedenen Gesteinstypen an zylindrischen Probekörpern gemessen.



Abb. 12.
Blick auf die Baugrube Nagymaros mit dem Umschließungsdamm und dem Umleitungsgerinne der Donau im Jahre 1989; im Hintergrund erkennt man die Ortschaft Visegrad mit der Burgruine.

wurden durch Untersuchung der Klüftung bekräftigt und die Richtung der vorgesehenen Injektionen neu bestätigt (GÁLOS & KERTÉSZ, 1982).

Die Ergebnisse der ingenieurgeologischen Voruntersuchungen, welche mehrere Jahrzehnte in Anspruch genommen haben, wurden nach Freilegung des Baugebietes im Donaubett und nach dem Sprengaushub der Baugrube durch die geologische Detailkartierung bestätigt. Die wissenschaftliche Untersuchung gestattete einen Einblick in die geologische Entwicklungsgeschichte des Gebietes.

Literatur

- BALLA, Z. (1985): The Carpathian loop and the Pannonian basin: A kinematic analysis. – *Geophys. Trans.*, **30/4**, 313–353, Budapest.
- BALLA, Z. & KÖRPÁS, L. (1980a): A dunazug-hegységi vulkánitok térképezésének módszertani kérdései. – *Földt. Int. évi jel. 1978-ról*, 233–238, Budapest.
- BALLA, Z. & KÖRPÁS, L. (1980b): A Börzsöny-hegységi vulkáni szerkezete és fejlődéstörténete. – *Földt. Int. évi jel. 1978-ról*, 75–101, Budapest.
- BALLA, Z., KÖRPÁS, L. & CSONGRÁDY, J. (1979): Isztoria formirovanija i vozraszt börzsönyszkogo i dunazugszkogo paleo-vulkanov. – *Acta Geol. Hung.*, **21**, 399–407, Budapest.
- CSILLAGNÉ-TEPLÁNSZKY, E. & KÖRPÁS, L. (1982): Magyarázó a Börzsöny-Dunazug hegység földtani térképeihez. – Kézirat, Földt. Int. Adattár, Budapest.
- CSILLAGNÉ-TEPLÁNSZKY, E., KÖRPÁS, L., SZEBÉNYI, L., VENKOVITS, I. & VERMES, J. (1980): A tervezett nagymarosi vízlépcső területének és környezetének földtani felépítése. A Magyar Állami Földt. Intézet szakvéleménye, Kézirat, Földt. Int. Adattár, Budapest.
- GÁLOS, M. & KERTÉSZ, P. (1981): Die Aufnahme der Klüftigkeit aufgrund von Kernbohrungen für die Bauarbeiten der Wasserkraftanlage in Nagymaros. – *Travaux du XII. Congr. Ass. Geol. Carpatho-Balcanique*, 199–204, Bucuresti.
- GÁLOS, M. & KERTÉSZ, P. (1982): Discontinuity and its survey in petrophysical models from the point of view of hydrogeology. – *Proc. 1st Intern. Mine Water Congr.*, Vol. A, 43–54, Budapest.
- GÁLOS, M. & KERTÉSZ, P. (1983): Results of rock mechanics in Hungary, an engineering geological model of rocks. – *Proc. 5th Intern. Congr. Rock Mechanics*, Section F, 259–263, Melbourne.
- GÁLOS, M. & KÜRTI, I. (1981): Interaction between rock environment and hydraulic structures in case of hydro-electric power stations along rivers. – *4th Congr. Ass. Eng. Geol.*, I.227–I.235, New Delhi.
- MANDL, G.: *Mechanics of Tectonic Faulting – Models and Basic Concept. – Developments in Structural Geology*, 407 p., Amsterdam (Elsevier).
- McLAY, K. (1987): *The Mapping of Geological Structures. – Geol. Soc. London, Handbook Series*, 160 p., London.