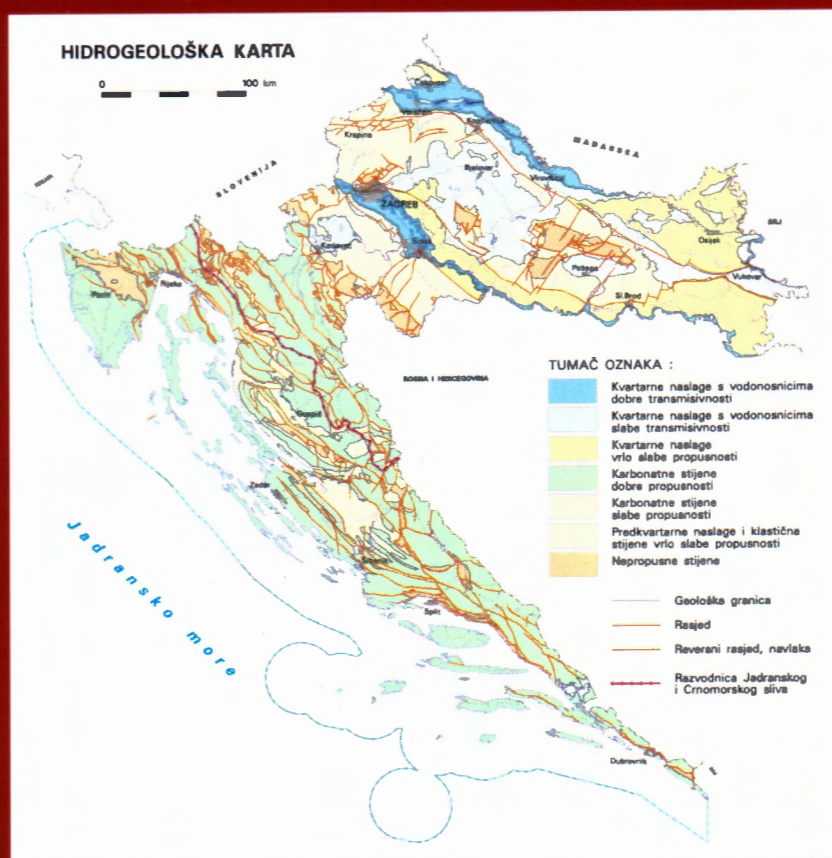


2. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES
SECOND CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS

CAVTAT - DUBROVNIK, 17-20.05.2000.

VODIČ EKSKURZIJA EXCURSION GUIDE-BOOK



Urednici - Editors:
Igor VLAHOVIĆ & Ranko BIONDIĆ

Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology

ZAGREB, 2000

2. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES SECOND CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS

Cavtat - Dubrovnik, 17-20.05.2000.

Organizator - Organized by:

Institut za geološka istraživanja

Suorganizatori - Supported by:

Hrvatsko geološko društvo
Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu
INA d.d. - Zagreb
Hrvatske vode

Pokrovitelj - Sponsorship:

Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske

Medijski pokrovitelj - Media sponsorship:

"Večernji list"

ORGANIZACIJSKI ODBOR ORGANISING COMMITTEE

Božidar **BIONDIĆ**
Predsjednik - President

Đuro **BENČEK**
Dopredsjednik - Vicepresident

Marko **ŠPARICA**
Tajnik - Secretary

Ranko **BIONDIĆ**
Marija **BRAJKOVIĆ**
Ivan **DRAGIČEVIĆ**
Mladen **HVALA**
Darko **IVIČIĆ**
Vladimir **JELASKA**
Krešimir **KRIZMANIĆ**
Marijan **MACHALA**
Željko **MATIŠA**
Željko **MIKLIN**
Davor **PAVELIĆ**
Tomislav **PAVIŠA**
Igor **VLAHOVIĆ**

POČASNI ODBOR HONORARY COMMITTEE

Stjepan **BAHUN**
Milan **HERAK**
Ivan **JURKOVIĆ**
Velimir **KRANJEC**
Vladimir **MAJER**
Jakob **PAMIĆ**
Branko **SOKAČ**
Stjepan **ŠČAVNIČAR**

ZNANSTVENI ODBOR SCIENTIFIC COMMITTEE

Ivan **GUŠIĆ**
Predsjednik - President

Károly **BREZSNYÁNSZKY**
Giovanni Battista **CARULLI**
Dragutin **GEREŠ**
Hazim **HRVATOVIĆ**
Werner R. **JANOSCHEK**
Darko **MAYER**
Ladislav **PALINKAŠ**
Simon **PIRC**
Josip **SEČEN**
Slobodan **ŠESTANOVIĆ**
Josip **TIŠLJAR**
Ivo **VELIĆ**
Miran **VESELIĆ**

ISBN 953-96520-9-X

Izdavač - Publisher: Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology

Urednici - Editors: Igor **VLAHOVIĆ** & Ranko **BIONDIĆ**

Tisak - Printing: PAGIgraf - Intergrafika, Zagreb

Izdano - Issued: svibanj 2000., 400 primjeraka - May 2000, 400 copies

Ovitak - Cover: Hidrogeološka karta Republike Hrvatske (Institut za geološka istraživanja) - Hydrogeological Map of the Republic of Croatia (Institute of Geology)

**2. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES
SECOND CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS**

CAVTAT - DUBROVNIK, 17-20.05.2000.

VODIČ EKSKURZIJA EXCURSION GUIDE-BOOK



**Urednici - Editors:
Igor VLAHOVIĆ & Ranko BIONDIĆ**

Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology

ZAGREB, 2000

SADRŽAJ CONTENTS

EKSKURZIJA A-1 - EXCURSION A-1

JELASKA, V., BENČEK, Đ., MATIČEC, D., BELAK, M. & GUŠIĆ, I.: Geološka povijest i strukturna evolucija Vanjskih Dinarida (Geological History and Structural Evolution of the Outer Dinarides).....	1
---	---

EKSKURZIJA B-1 - EXCURSION B-1

BULJAN, R., IVIČIĆ, D., JURAK, V., MARKOVIĆ, T., PAVIŠA, T., RENIĆ, A. & ŠESTANOVIĆ, S.: Hidrogeološki i inženjerskogeološki prikaz odabranih lokaliteta u području Dubrovačkog primorja (Hydrogeological and Engineering Geological Aspects of Some Localities in the Dubrovnik Area).....	13
---	----

EKSKURZIJA B-5 - EXCURSION B-5

VELIĆ, I., SOKAČ, B., BENČEK, Đ., FUČEK, L., HUSINEC, A., JURAČIĆ, M., MATIČEC, D., OŠTRIĆ, N. & VLAHOVIĆ, I.: Otok Mljet - jurski i kredni platformni karbonati i recentni sedimenti (The Island of Mljet - Jurassic, Cretaceous and Recent Deposits).....	33
---	----

EKSKURZIJA C-2 - EXCURSION C-2

IVIČIĆ, D., BAHUN, S., BULJAN, R., BOŽIČEVIĆ, S., PAVIČIĆ, A., PAVIŠA, T. & RENIĆ, A.: Hidrogeologija i geomorfologija krša Vanjskih Dinarida (Hydrogeology and Karst Geomorphology of the Outer Dinarides).....	55
--	----

Ekskurzija A - 1 - Excursion A - 1

Geološka povijest i strukturna evolucija Vanjskih Dinarida

Geological History and Structural Evolution of the Outer Dinarides



Geološka povijest i strukturna evolucija Vanjskih Dinarida

Geological History and Structural Evolution of the Outer Dinarides

Vladimir **JELASKA**¹, Đuro **BENČEK**², Dubravko **MATIČEC**², Mirko **BELAK**¹ & Ivan **GUŠIĆ**¹

Geodinamski okvir

“Hercinske događaje” nemoguće je rekonstruirati iz današnje građe Vanjskih Dinarida, međutim obilje krupnog klastičnog materijala u sastavu karbonsko-permskih naslaga Velebita nedvojbeno je potvrda o procesima postanka kontinentalne kore. Ta srednjokarbonska-donjopermska klastična sekvencija rezultat je trošenja okolnih emergiranih područja šireg “gondvanskog kraljika” u kojem je formirana današnja podloga Vanjskih Dinarida.

Tijekom gornjeg perma-donjeg trijasa taloženje je dominantno plitkovodno s time da u permu prevladavaju karbonati, dok donjotrijaske taložine postupno bivaju sve očiglednije obilježene sitnozrnastim klastitima i pjeskovitim dolomitima (sajske naslage) koje u mladim nivoima (kampil) potiskuju glinoviti vapnenci. U to vrijeme tadašnji pasivni kontinentalni rub prvotnog Tetisa, u kojem su paleogeografski gledano smješteni spomenuti plitkovodni okoliši, karakterizira taloženje crvenih klastita i evaporita. Evaporitna permsko-trijaska sekvencija bitan je dekolmanski element u kasnijim (tercijarnim) kinematskim procesima u širem području mediteranske regije. Površinske nalaze crvenih klastita i evaporita bilježimo uz “Zrmanjsku transversalu” na potezu Dmiš - Knin - Srb.

Srednji trijas je u znaku razvoja karbonatnih platformi u Tetisu. U građi Vanjskih Dinarida to se očituje tako da prvotnu šelfnu siliciklastičnu sedimentaciju skitskih naslaga zamjenjuje taloženje algalnih (diplopornih) vapnenaca.

Dezintegracijski procesi trijaskih karbonatnih platformi počinju u Tetisu riftnom tektonikom s pridruženim bazaltnim magmatizmom. Neke platforme (vidimo ih u građi južnih Alpa) bivaju okončane blok-tektonikom tijekom norik-lijasa, od kada su “oceanizirane” unutar većih bazenskih prostora. U mezozojskoj sukcesiji Vanjskih Dinarida zapisana je trijaska riftna tektonika koja je zapravo svjedočanstvo dezintegracije šireg

platformskog prostora. Na segmentiranom elementu prvotnog mikrokontinenta (Adrijska ili Apulijska ploča) tijekom norik-reta bilježimo inicijaciju dugotrajne plitkovodne karbonatne sedimentacije. Već u donjoj juri prostor je individualiziran, te nadalje funkcionira kao intraoceanska platforma s kraćim i dužim taložnim diskontinuitetima i povremeno značajnom okolišnom diferencijacijom (intraplatformni bazeni), sve do eocena (lutecijska transgresija - foraminiferski paleogenski vapnenci). Dakle, karbonatnu sukcesiju norik-eocen u taložnom smislu definiramo kao mega-sekvenciju, a paleogeografski gledano predstavlja tzv. jadransko-dinarsku karbonatnu platformu (ADCP u smislu JELASKA et al., 1994). Njene sukcesije dominantni su građevni element u Vanjskim Dinaridima, a uzevši geodinamski (trajanje) ta je platforma jedinstvena u Tetisu.

Najmlade naslage ADCP predstavljaju “paleogenski foraminiferski vapnenci”. Subsekventni eocenski klastiti sadržavaju čestice kojima su izvorišta već izdignuta područja: upitno je radi li se o ponegdje otvorenoj podlozi same platforme ili je podrijetlo klasta iz strukturnih jedinica “euroazijskog” afiniteta kojima je platforma tijekom kredne subdukcije bila značajno približena? Dakle, emergiranjem nakon lutecijske transgresije završila je paleogeografska povijest ADCP-e. Daljnja taložna historija počinje zapravo eocenskom flišnom sukcesijom koja generalno nekonformno leži na stratigrafski različitim platformnim jedinicama. Uz tu flišnu formaciju u Vanjskim Dinaridima razlikujemo još dvije klastične jedinice: Prominske naslage i Jelar breče. Neogene brakično-slatkovodne naslage su lokalno razvijene.

Orogenetski procesi tijekom Paleogena rezultiraju definitivnim konsolidiranjem (priraštanjem) platformnog prostora (ADCP) s jedinicama tzv. Unutrašnjih Dinarida. Ključnu ulogu u generiranju navlačnog sustava jugozapadne vergence u Vanjskim Dinaridima pripisujemo kontrakciji područja nekadašnje karbonatne plat-

¹Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

forme, što je posljedica kompresije po pravcu sjeveroistok - jugozapad tijekom Neogena (zaključno s gornjim miocenom). Efekti neotektonske aktivnosti su daljnje izdizanje Dinarida, ali pod novim pravcem djelovanja regionalnog stresa, sjever-jug, što se očituje kroz reak-

tiviranje postojećih strmo postavljenih reverznih rasjeda dinarskog pružanja u rasjede horizontalnog kretanja, retrogradnu rotaciju struktura, te formiranje novih struktura s pružanjem približno istok - zapad.

Geodynamic framework

The Outer Dinarides are commonly referred to as the external units of the Dinarides orogen. They consist of three mega-sequences:

- a) Middle Carboniferous - Middle Permian clastics;
- b) Upper Permian - Ladinian platform carbonates and clastics with associated volcanics;
- c) Norian(?) - Rhaetian to Lutetian isolated carbonate platform (in terms of paleogeography: "Adriatic-Dinaridic Carbonate Platform" - ADCP).

It is impossible to reconstruct the consequences of the "Hercynian" tectonism, but the appearance of abundant coarse clastics in the Middle Carboniferous - Middle Permian sequence of Mt. Velebit can serve as an indication that at that time the continental crust was created. The Middle Carboniferous-Middle Permian clastic cycle resulted from the weathering of the surrounding emerged areas. The Late Permian was a period of typical shallow-water sedimentation, with prevailing carbonates. In the Lower Triassic, marine conditions became gradually more and more pronounced and fine-grained clastics, sandy dolomite, and limestones

were deposited. During the Middle Triassic, the previous sedimentation was replaced by algal *Diplopore* limestones. This Upper Permian - Middle Triassic cycle ended with tectonism. The Middle Triassic rifting accompanied with basalt magmatism is conventionally considered as the beginning of the Alpine orogeny. Thus, after the Middle Triassic dynamics, an extensive period of platform carbonate sedimentation was initiated (Norian - Rhaetian) over a large area.

The ADCP was individualized as an isolated intraoceanic platform during the Early Jurassic and lasted until Lutetian transgression.

The Outer Dinarides emerged after the Lutetian. Sedimentary history continued in the Middle Eocene with the deposition of *Flysch*, which is generally unconformable on the various platform units. Conventionally, three clastic units are recognized over the entire terrain: 1) the *Flysch* Formation, 2) the *Promina* Formation and 3) the *Jelar Breccia* Formation. Neogene brackish to fresh-water sediments are local. During the Middle Eocene, after an initial folding phase, the subsequent final collision with the Sava-Pannonian terrains began.

Literatura

- JELASKA, V., GUŠIĆ, I., JURKOVŠEK, B., OGORELEC, B., ČOSKOVIĆ, V., ŠRIBAR, L. & TOMAN, M. (1994): The Upper Cretaceous geodynamics evolution of the Adriatic-Dinaric carbonate platform(s). - *Géologie Méditerranéenne*, 21/3-4, 89-91.

Postaja 1: Zrmanja-Vrelo

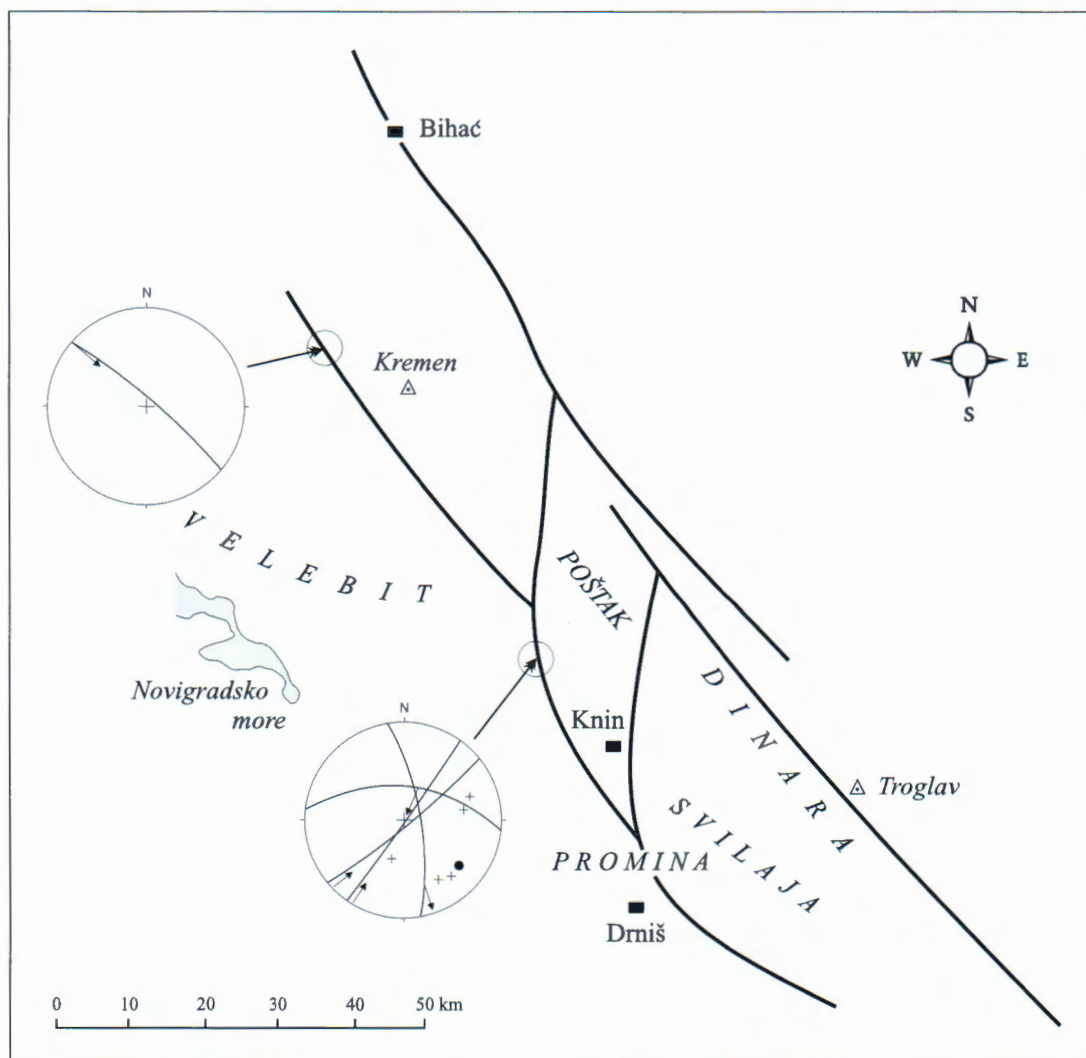
Objekt: "Zrmanjska transverzala" (ZrT)

Teme:

- 1) Panoramska stratigrafija Poštaka: trijas - jura - donja kreda;
 - 2) Geotektonski značaj "zrmanjske transverzale" ("knižanska transverzala"; "plitsko-karlovački rasjed"; "unski rasjed"; sl. 1).
- **Strukturne jedinice u dodiru:** Kremen, južni Velebit i Promina na zapadnoj strani transverzale, a Poštak, Dinara i Svilaja s istočne strane transverzale.

- **Tumačenja:** ŠIKIĆ (1964) u svojoj analizi horizontalnih kretanja u Dinaridima ZrT-u interpretira kao desni tektonski element značajnog protezanja; CHOROWICZ (1977) govori o utjecaju ZrT-e na strukturne jedinice u dalmatinskoj zoni, te drži da se ZrT proteže čak do Beča prekidajući ofiolitnu zonu u području Banovine i pridajući joj time karakter transformnog reasjeda; DIMITRIJEVIĆ (1982) prekid ofiolitne zone objašnjava drugačijim događajima generiranim unutar "zagrebačke zone".

"Zrmanjskoj transverzali" prethodni autori pripisuju i stanoviti paleogeografski značaj (vremenski



Sl 1 Shematizirana skica površinskog pružanja rasjeda (transverzala) sa dijagramima snimljenih struktura. Na lokaciji Ondić prikazana je orijentacija regionalnog subvertikalnog rasjeda s mjerenim desnim kretanjem. Na postaji Zrmanja-Vrelo prikazane su popratne strukture horizontalnog rasjedanja: Riedel rasjedi, reverzni rasjedi i borane strukture. Tumač dijagrama: —) trasa rasjeda sa strelicom koja označava smjer kretanja krovinskog krila; +) polovi padnih pravaca slojeva boranih struktura; ●) b-os boranja.

Fig. 1 Sketch map of surface stretching of faults ("Zrmanja transverse") with diagrams of measured structures. At the Ondić locality the orientation of the regional subvertical fault with measured dextral movement is presented. At the Zrmanja-Vrelo stop the accompanying structures of horizontal faulting are presented: Riedel faults, reversed faults and folded structures. Legend for diagrams: —) fault traces with arrow representing direction of the hanging-wall movement; +) bed dipping directions of folded structures; ●) b-axis of folding.

različiti prekidi u sedimentaciji zapadno i istočno od transverzale).

Literatura

- CHOROWICZ, J. (1977): Étude géologique des Dinarides le long de la structure transversale Split-Karlovac.- Thèse Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, 322 str.
- DIMITRIJEVIĆ, M. (1982): Dinarides: an outline of the tectonics.- Earth Evolution Sciences, 1, 4-23, Berlin.
- ŠIKIĆ, D. (1964): Horizontalna kretanja u Dinaridima (Horizontal movements in the Dinarides).- Zbornik radova 25 god. Rud odj. Tehnol. fak. Sveučilišta u Zagrebu (1939-1964), 129-143, Zagreb.

Postaja 2: profil Sutina - Zelovo Sutinsko

Objekt: Geologija trijasa i jure u reverznom čelu Svilaje.

Teme:

1) Karbonatno-siliciklastične šelfne naslage skita (južni tetiski afinitet); litostratigrafska granica između sajskih i kampilskih naslaga (pejzažni kontrasti); diskonformnica između skita i anizika ("otarničke breče");

2) Piroklastiti srednjega trijasa - zapis riftne tektonike Adrijske mikroploče (M. Belak);

3) Donja granica karbonatne mega-sekvencije mlađega mezozoika Vanjskih Dinarida: diskonformnica između srednjeg trijasa i retaj; postupnost sukcesije u juri;

4) Gornja jura: "kladokoropsis vapnenci" i konformni prijelaz u lemeške naslage - napušteni dnevni kopovi u lemeškim rošnjacima; panoramska geologija Svilaje.

Kristaloklastični i vitroklastični tufovi (*pietra verde*) s proslojcima silicificiranih dolomita, vapnenaca, tufita i rošnjaka

Mirko BELAK

1. Kratak prikaz magmatske aktivnosti u Vanjskim Dinaridima

U području Vanjskih Dinarida magmatske stijene, kronostratigrafski vezane pretežno za srednji trijas, dolaze kao manje pojave.

Najsjeverozapadniji izdanci (unutar područja Republike Hrvatske) trijaskih magmatskih stijena u Vanjskim Dinaridima nalaze se kod Fužina u Gorskom Kotaru kao manja tijela hornblenda andezita (GRIMANI et al., 1973). Prateći orografsku os Dinarida prema jugoistoku, veću masu magmatskih stijena nalazimo u centralnom dijelu istočnog područja Senjske drage (MAMUŽIĆ & MILAN, 1973). Glavni dio te mase izgrađen je od andezita s podređenom količinom dacita, dok je manji dio predstavljen bazaltima (LUGOVIĆ & MAJER, 1983). Sjeverozapadno od Gospića kod Donjeg Pazarišta dolaze manje pojave bazalta i olivinskog bazalta (SOKAČ et al., 1976). Te olivinske bazalte LUGOVIĆ et al. (1998) smatraju kasno kenozojskim postkolizijskim vulkanitima. Na više lokaliteta u Kosovom polju, Petrovom polju i u dolini rijeke Cetine nalazimo spilitizirane dijabaze (IVANOVIĆ et al., 1978), a sjeverno od željezničke postaje Stara straža kod Sv. Nikole blizu Knina nalazimo izdanke albitiziranih dijabaza (BARIĆ, 1957). Starost navedenih dijabaza nije određena, jer su oni na većini lokaliteta prekriveni kvartarnim sedimentima. IVANOVIĆ et al. (1978) pretpostavljaju da su te stijene permotrijaske starosti ili nešto starije, jer permotrijaski klastiti kod Drniša sadržavaju fragmente dijabaza i identične teške minerale kao dijabazi, no po kemijskom i mineralnom sastavu te su stijene slične i trijaskim eruptivima. Bazične efuzivne stijene na južnim padinama planine Svilaje u području potoka Suvaja u predjelu Zelovskih staja, koje su se izljevale preko srednjotrijaskih dolomita (RAIĆ et al., 1984), nalazimo u dva nivoa. Jedan je u aniziku, a drugi u ladiniku (ŠČAVNIČAR et al., 1984). Efuzivi su udruženi s piroklastičnim stijenama. U okolici Sinja na desetak lokaliteta

dolaze spilitizirani dijabazi i andezitbazalti (RAIĆ et al., 1984). Na otoku Visu, u uvali Komiškog zaljeva, nalaze se izdanci eruptivnih stijena, koje su izgrađene od augitskog andezita i spilitkeratofira (BOROVIĆ et al., 1977). Otoci Jabuka i Brusnik izgrađeni su od krupnozrnatih spilitiziranih dijabaza (RAFFAELLI, 1977). Ove stijene vjerovatno pripadaju srednjem trijasu, no zanimljive su K-Ar izotopne starosti magmatskih stijena otoka Jabuke koje se kreću od 200 do 215 Ma (BALOGH et al., 1994), što odgovara granici trijas/jura.

2. Geološko-petrografski opis tufova (*pietra verde*) i proslojaka sedimentnih stijena

Vulkanogeni srednji trijas na jugozapadnim padinama Svilaje vrlo detaljno opisuju ŠČAVNIČAR et al. (1984). Utvrdili su vulkansku aktivnost koja je pratila karbonatnu sedimentaciju u aniziku i ladiniku, a formirani vulkanogeno-sedimentni kompleks je debeo oko 500 m. Karakter vulkanizma mijenjao se od bazičnog u aniziku i dijelu ladinika do neutralno-kiselog u nastavku ladinika, što se manifestira u različitim kemijskom i mineralnom sastavu starijih i mlađih vulkanoklastita. Prvi utjecaj vulkanske aktivnosti zabilježen je nakon anizičkih "Otarnik" breča, u vidu piroklastita i prvog izljeva bazalta. Drugi izljev bazalta markira mlađi dio vulkanogeno-sedimentne formacije (ŠČAVNIČAR et al., 1984).

Izdanci srednjotrijaskih vulkanoklastičnih naslaga otkriveni su u napuštenom kamenolomu (sl. 2). Naslage pripadaju tzv. "glavnoj tufnoj zoni" s "*pietra verde*". Kad se govori o tufovima u Vanjskim Dinaridima pod tim se obično podrazumjevaju ove naslage. Mnogi autori ove naslage smatraju tipičnim za ladinik, no naša preliminarna istraživanja (provedena u okviru pripreme za kongresnu ekskurziju) na temelju biostratigrafije bentičkih foraminifera ukazuju da ove stijene pripadaju gornjem aniziku s mogućnošću prelaza u ladinik (ili gornji anizik-ladinik). Time detaljnija kronostratigrafi-



Sl. 2 Kamenolom tufova (*pietra verde*) s udruženim sedimentima.
Fig. 2 Tuff quarry (*pietra verde*) with accompanied sediments.

ja vulkanogenog srednjeg trijasa ostaje problem daljnjih istraživanja.

Geološki stup snimljen je u središnjem dijelu kamenoloma (sl. 3). Naslage su dobro uslojene i padaju prema sjeveru pod kutom od oko 35°. Struktura se pruža istok-zapad i tektonski spušta prema zapadu uz sustave normalnih rasjeda.

Na južnoj strani kamenoloma snimljene su stijene koje su podina prvog tufnog paketa. Donji dio **intervala I** je izgrađen od dobro uslojenih, tamnosivih do sivih silicificiranih kristaličnih dolomita s interslojnim polimiktnim sitnozrnatim brečama, te laminama crnog rožnjaka. Silicifikacija je potpuno nepravilna, gnjezdasta, lećasta ili tanko slojevitog oblika. Rekristalizirana zrna dolomita veličine su oko 0,04 mm. U dolomitnom međuprostoru je organska supstanca i autigene nakupine pirića. Gornji dio intervala je tufitičan i paralelno laminiran, također jako silicificiran, rekristaliziran i bogat organskom supstancom, te sadrži zrnca i nakupine pirića. Lamine crnog rožnjaka izgrađene su od kriptokristalastog kvarca s obično kalcitiziranim radiolarijama i sitnozrnatim nakupinama pirića, mjestimično su dolomitizirane i kalcitizirane. Neposredna tufna podina sinsedimentacijski je deformirana (slampirana).

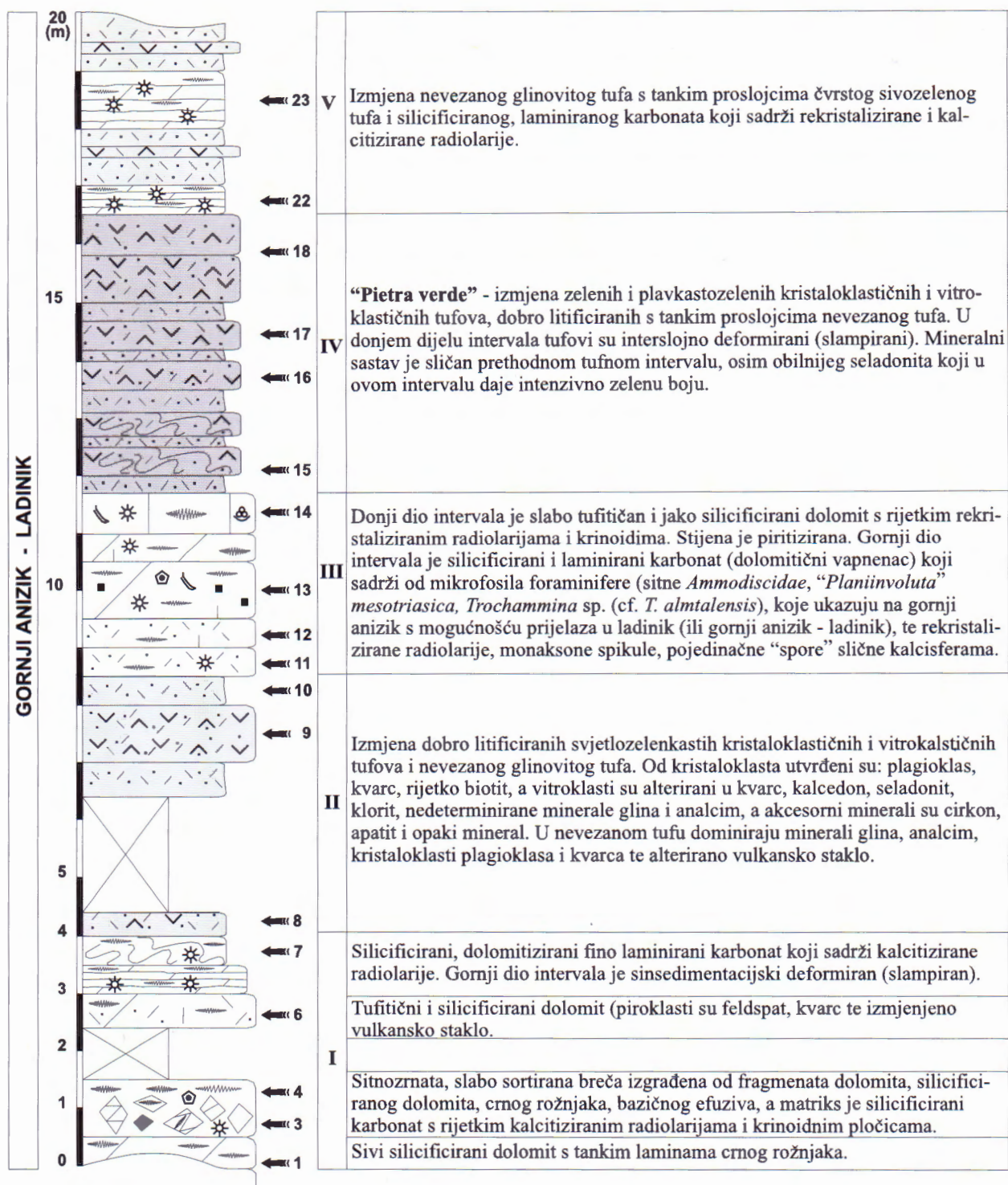
Na početku sjeverne fronte kamenoloma nalazi se tufni **interval II** koji je izgrađen od izmjene dobro uslojenih, čvrstih, svjetlozelenkastih kristaloklastičnih, vitroklastičnih tufova (sl. 4 i 5) i proslojaka nevezanog vulkanoklastičnog materijala. Postoje svi prelazi modalnog odnosa stakla i kristaloklasta, kao i granulometrijskih izmjena od fino pelitnih veličina do krupnozrnatih psamitskih veličina. Kristaloklasti su predstavljani plagioklasima i kvarcom, te vrlo rijetkim biotitom. Vitroklasti su izmijenjeni u kvarc, kalcedon, seladonit, klorit, te nedeterminirane minerale glina i analcim. Akcesorni sastojci su cirkon, apatit i opaki minerali. Stijene su zahvaćene procesima kalcitizacije, dolomitizacije i piritizacije.

Interval III je u donjem dijelu tufitični, jako silicificirani kristalinični dolomit, a vršni dio je finolaminirani i silicificirani karbonat (dolomitični vapnenac). Svi litološki varijeteti u intervalu sadržavaju organsku supstancu i autigeni pirit. Stijena je također i sekundarno piritizirana. U gornjem dijelu paketa (uzorak 14) pojedine lamine sadrže mikrofosile. Od foraminifera prisutne su sitne *Ammodiscidae*, "*Planinivoluta*" *mesotriasiaca* BAUD, ZANINETTI & BRÖNNIMANN, *Trochammina* sp. (cf. *Trochammina almtalensis* KOEHN-ZANINETTI), koje ukazuju na gornji anizik s mogućnošću prijelaza u ladinik (ili gornji anizik-ladinik), te rekristalizirane radiolarije, monaksone spikule i pojedinačne "spore" slične kalcisferama.

Interval IV su intenzivno zeleni pjegasti tufovi poznati u literaturi kao "*pietra verde*". Tufovi su dobro uslojeni (debljina slojeva od 5 cm do 20 cm), čvrsti, kristaloklastični i vitroklastični (sl. 5), s raznim prijelazima između krajnjih članova, koji se izmjenjuju s proslojcima nevezanog tufa debljine 2 do 5 cm. Donji dio intervala je interslojno deformiran (slampiran). Mineralni sastav je sličan tufnom intervalu II, osim obilnijeg sadržaja seladonita koji ovom tufnom intervalu daje intenzivno zelenu boju.

Interval V odlikuje se izmijenom okerastog nevezanog glinovitog tufa s tankim proslojcima čvrstog tufa i jako silicificiranog i paralelno laminiranog karbonata koji sadržava obilne kalcitizirane i rekristalizirane radiolarije. Stijena sadrži organsku supstancu, autigeni i sekundarni pirit, a uočavaju se dijagenetski procesi dolomitizacije i kalcitizacije.

ŠČAVNIČAR et al. (1984) su mineraloški analizirali cijeli vulkanogeni srednji trijas na jugozapadnim padinama Svilaje. U "glavnoj tufnoj zoni" odredili su kristaloklaste plagioklasa kao andezine, od akcesornih minerala u pojedinim uzorcima (uz gore navedene minerale) determinirali su i barit, a od opâkih minerala određeni su pirit, markazit, ilmenit i hematit. Kemijska istraživanja koja su proveli isti autori pokazuju da je sadržaj SiO₂ oko 75% i veći je od očekivanog na osnovi neutralnih plagioklasa, što pripisuju dijagenetskim procesima alteracije i silicifikacije tih tufova.



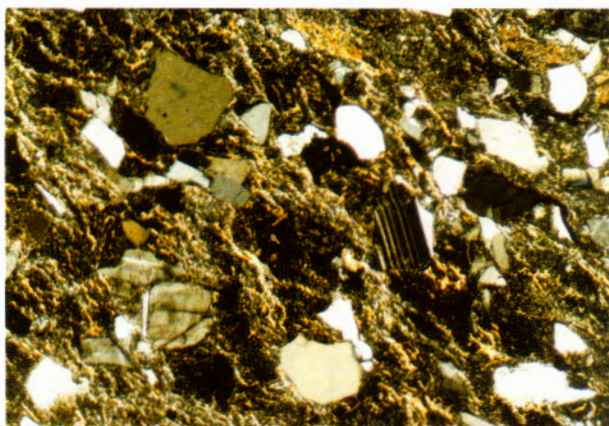
Sl. 3 Geološki stup snimljen u napuštenom kamenolomu.

Fig. 3 Geological column measured in the abandoned quarry.

Snažna silicifikacija sedimenata i tufova usko je povezana s vulkanskom aktivnošću koja zasićuje morsku vodu vulkanogenim SiO_2 i time stvara uvjete za silicifikaciju karbonata, te razvoj mikrofosila s kremičnim skeletom (ŠČAVNIČAR et al., 1984). Unutar naslage snimljenog stupa silicifikacija se odigravala sinsedimentacijski (npr. istovremena silicifikacija kalcitnih če-

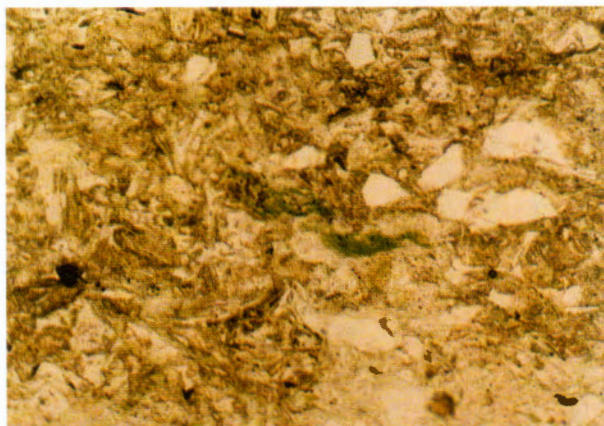
stica i kemijska precipitacija SiO_2 kod lamina crnih rožnjaka), te tijekom diagenetskog otapanja i reprecipitacijom kremične kiseline (kalcitizacija radiolarija, “nepravilna tijela” kriptokristalastog kvarca i fibroznog kalcedona u karbonatima).

Naslage sadrže organsku supstancu i autigeni pirit, što karakterizira anoksičnu, reduktivnu taložnu sredinu.



Sl. 4 Mikroskopski snimak vitrokristaloklastičnog tufa. Uzorak 9, 32x, N+.

Fig. 4 Microphotograph of vitrocristaloklastičnog tufa. Sample 9, 32x, N+.



Sl. 5 Mikroskopski snimak kristalovitroklastičnog tufa. Uzorak 18, 32x, N-.

Fig. 5 Microphotograph of kristalovitroklastičnog tufa. Sample 18, 32x, N-.

Fosilni sadržaj u stijenama je značajniji za nešto dubokovodnije marinske sredine, ali nije pouzdan indikator batimetrije jer može biti donasan i u plitkovodnije dijelove bazena. Na snimljenom profilu dijagenetski i post-dijagenetski procesi (silicifikacija, dolomitizacija, kalcitizacija i procesi alteracije vulkanskog stakla) su u značajnoj mjeri izbrisali primarne strukturne i teksturne karakteristike stijene, te za sada taložni mehanizmi još nisu determinirani.

Sinsedimentacijske breče u intervalu I i interslojne teksture podvodnog klizanja (slamp teksture) uz prateću vulkansku eksplozivnost (koja je ovisno o intenzitetu rezultirala tufom odnosno tufovitom) jasno indiciraju na jaku ekstenzijsku tektonsku aktivnost (sin-riftnu fazu), duboke lomove duž kojih je dolazilo do subsidencije sedimentacijskog bazena.

Paleogeografski, ovi srednjotrijaski tufovi s udruženim sedimentima mogu se smjestiti u intrašelfni prostor s formiranim minornim strukturnim depresijama (*simple graben*). Također naslage su mogle biti taložene u prostoru šelfne padine velikih strukturnih depresija (kontinentalni riftni bazen) (za definicije *simple graben* i kontinentalni rift vidi OLSEN, 1995).

Literatura

- BALOGH, K., COLANTONI, P., GUERRERA, F., MAJER, V., RAVASZ-BARANYAI, L., RENZULLI, A., VENERI, F. & ALBERINI, C. (1994): The medium-grained gabbro of the Jabuka Islet ("Scoglio del Pomo", Adriatic Sea).- *Giornale di Geologia*, 3a, 56/2, 13-25, Bologna.
- BARIĆ, Lj. (1957): Eruptivi iz okolice Sinja u Dalmaciji uz kraći osvrt na eruptivne pojave kod Knina, Vrljke i Drniša.- II Kongr. geol. Jugosl., 255-262, Sarajevo.
- BOROVIĆ, I., MARINČIĆ, S., MAJCEN, & MAGAŠ, N. (1977): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za listove Vis K33-33, Jelsa K33-34, Biševo K33-45.- Inst. geol. istraž. Zagreb (1968), Sav. geol. zavod, Beograd, 67 str.
- GOLUB, Lj. & VRAGOVIĆ, M. (1975): Eruptivne stijene dalmatinskih otoka (Vis, Jabuka i Brusnik).- *Acta geol.*, 41, 19-63, Zagreb.
- GRIMANI, I., ŠUŠNJAR, M., BUKOVAC, J., MILAN, A., NIKLER, L., CRNOLATAČ, I., ŠIKIĆ, D. & BLAŠKOVIĆ, I. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Crikvenica L33-102.- Inst. geol. istraž. Zagreb (1963), Sav. geol. zavod, Beograd, 47 str.
- GRIMANI, I., JURIŠA, M., ŠIKIĆ, K. & ŠIMUNIĆ, A. (1975): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Knin L33-141.- Inst. geol. istraž. Zagreb (1966), Sav. geol. zavod, Beograd, 61 str.
- IVANOVIĆ, A., SIKIRICA, V. & SAKAČ, K. (1978): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Drniš K33-9.- Inst. geol. istraž. Zagreb (1972), Sav. geol. zavod, Beograd, 59 str.
- LUGOVIĆ, B. & MAJER, V. (1983): Eruptivi Senjske drage (Vratnika) kod Senja (SR Hrvatska, Jugoslavija).- *Geol. vjesnik*, 36, 157-181, Zagreb.
- LUGOVIĆ, B., ALTHERR, R., MARJANAC, T. & MEYER, H.P. (1998): Orogenic signatures in Late Cenozoic volcanic rocks from the northern External Dinarides, Croatia.- *Acta Vulcanologica*, 10/1, 55-65.
- MAMUŽIĆ, P. & MILAN, A. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Rab L33-114.- Inst. geol. istraž. Zagreb (1966), Sav. geol. zavod, Beograd, 39 str.
- OLSEN, K.H. (1995): Continental rifts: evolution, structure, tectonics.- *International Lithosphere Program Publication No. 264*, Elsevier, Amsterdam, 466 str.
- RAFFAELLI, P. (1977): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Jabuka K33-31.- Inst. geol. istraž. Zagreb (1968), Sav. geol. zavod, Beograd, 63-67.
- RAIĆ, V., PAPEŠ, J., SIKIRICA, V. & MAGAŠ, N. (1984): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Sinj K33-10.- Geoinženjering Inst. za geologiju Sarajevo i Geol. zavod OOUR za geol. i paleont. Zagreb (1982), Sav. geol. zavod, Beograd, 52 str.

SOKAČ, B., ŠČAVNIČAR, B. & VELIĆ, I. (1976): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Gospić K33-127.- Inst. geol. istraž. Zagreb (1967), Sav. geol. zavod, Beograd, 64 str.

ŠČAVNIČAR, B., ŠČAVNIČAR, S. & ŠUŠNJARA, A. (1984): Vulkanogeno-sedimentni srednji trijas na područ-

ju potoka Suvaje (Svilaja pl., Vanjski Dinaridi).- Acta geol., 14/2, 35-82, Zagreb.

VRAGOVIC, M. & GOLUB, Lj. (1969): Hornblenda andezit (porfirit) Gornjeg Benkovca kod Fužina (Gorski kotar).- Acta geol., 36, 55-66, Zagreb.

Postaja 3: Zadvarje - Gornja Brela

Objekt: Kotišina breče - resedimentirani vapnenci

Kotišina breče (4 na sl. 6) se doimlju poput masivnih, rekristaliziranih vapnenaca. Slojne dodire, ponegdje, markiraju centimetarski - decimetarski proslojci laminiranih mikrita. Izgled na breču opaža se zahvaljujući različito obojenim litoklastima, koji su tek povremeni sastojak i to pretežito u mlađim nivoima sukcesije.

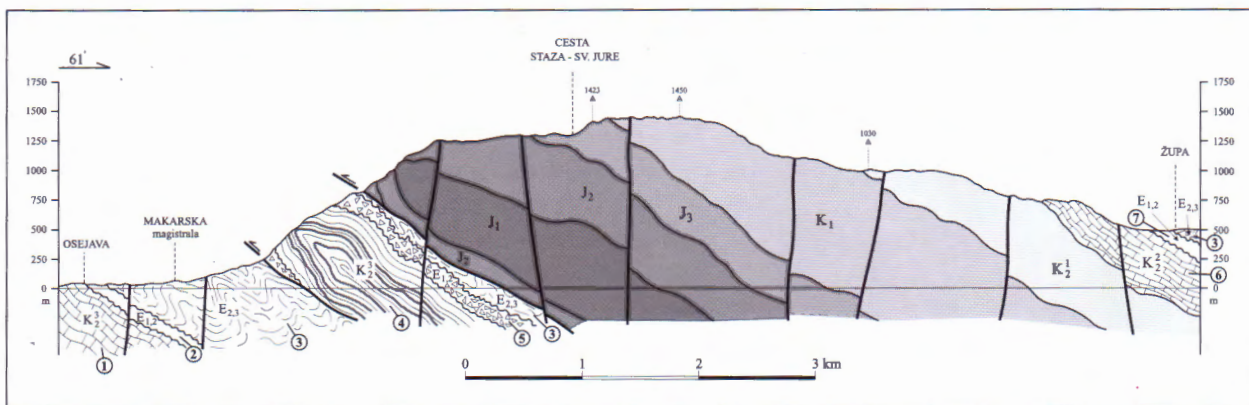
S obzirom na litofacijsna obilježja razlikujemo dva tipa tih rekristaliziranih karbonatnih breča: *klast-potporne pektone* i *matriks potporne vekstone-pektone*.

Prvi tip oskudan je na sadržaju mulja i grada je teško prepoznatljiva. Razaznaju se litoklasti i bioklasti. Dade se prepoznati peloidno-skeletne vekstone kakvi su tipični u formaciji Gornjega Humca (turon-santon). Matriks je predstavljen karbonatnim siltom, koji potječe od smravljenih većih bioklasta. Ovaj klastični tip litofacijsa ponegdje pokazuje obilježja svojstvena Bouma Ta intervalima. Pelagičke interkalacije (sadrže planktonske foraminifere) u pravilu su tanke.

Drugi tip karbonatnih breča stratigrafski je veoma znakovit, budući da vertikalno zoniranje bioklasta obuhvaća raspon od mladog senona (siderolitine i orbitoidi) do lutecija (bogata foraminiferska asocijacija s dominirajućim alveolinama i orbitolitima).

Interpretacija

Budući da breče Kotišina ne nalazimo u međusobnom proslojavanju sa plitkovodnim vapnencima, nego nasuprot, unutar sukcesije breča nađe se povremenih pelagičkih proslojaka (globotruncanide, odnosno u mulju iz viših nivoa globorotalije), to se daje zaključiti da su u pitanju tzv. "off-slope" taložni mehanizmi. "Hranidbeni" sustav, pretpostavljamo, mogao je uključivati brojne kanale - manje kanjone uzduž padine, već u senonu emergiranog bloka (područje današnjeg Zabio-kovlja). Karbonatni debriti, doneseni detritus, naglo su se taložili u podnožju padine, gdje je pretaloženi materijal gomilan u nizu manjih ali i međusobno dodirujućih lepezastih tijela ("base-of-slope apron").



Sl. 6 Geološki profil Makarska - Župa. Tumač: 1) rudistid vapnenci; 2) foraminiferski vapnenci; 3) fliš; 4) vapnenci Kotišine s pelagičkim elementima; 5) breče Kotišine s lećama i proslojcima foraminiferskih vapnenaca; 6) rudistno-hondrodontni vapnenci s keramosferinama u vrhu sukcesije; 7) Kozinske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage u fliš.

Fig. 6 Geological cross-section Makarska - Župa. Legend: 1) rudistid limestones; 2) foraminiferal limestones; 3) flysch; 4) Kotišina limestones with pelagic elements; 5) Kotišina breccia with lenses and interlayers of foraminiferal limestones; 6) rudistid-chondrodonta limestones with *Keramosphaerina* at the top of the succession; 7) Kozina layers, foraminiferal limestones and transitional layers to the flysch.

Postaja 4: Makarska, rt Osejava

Objekt: Diskonformni dodir foraminiferskih paleogen-skih vapnenaca (u krovu) i peritajdalnih mastriht-skih vapnenaca (u podu). Taložni diskontinuiteti u

sukcesiji mastrihta obilježeni korama trošenja. Analogija s odnosima na otocima Braču i Hvaru te obalnom području kod Stona.

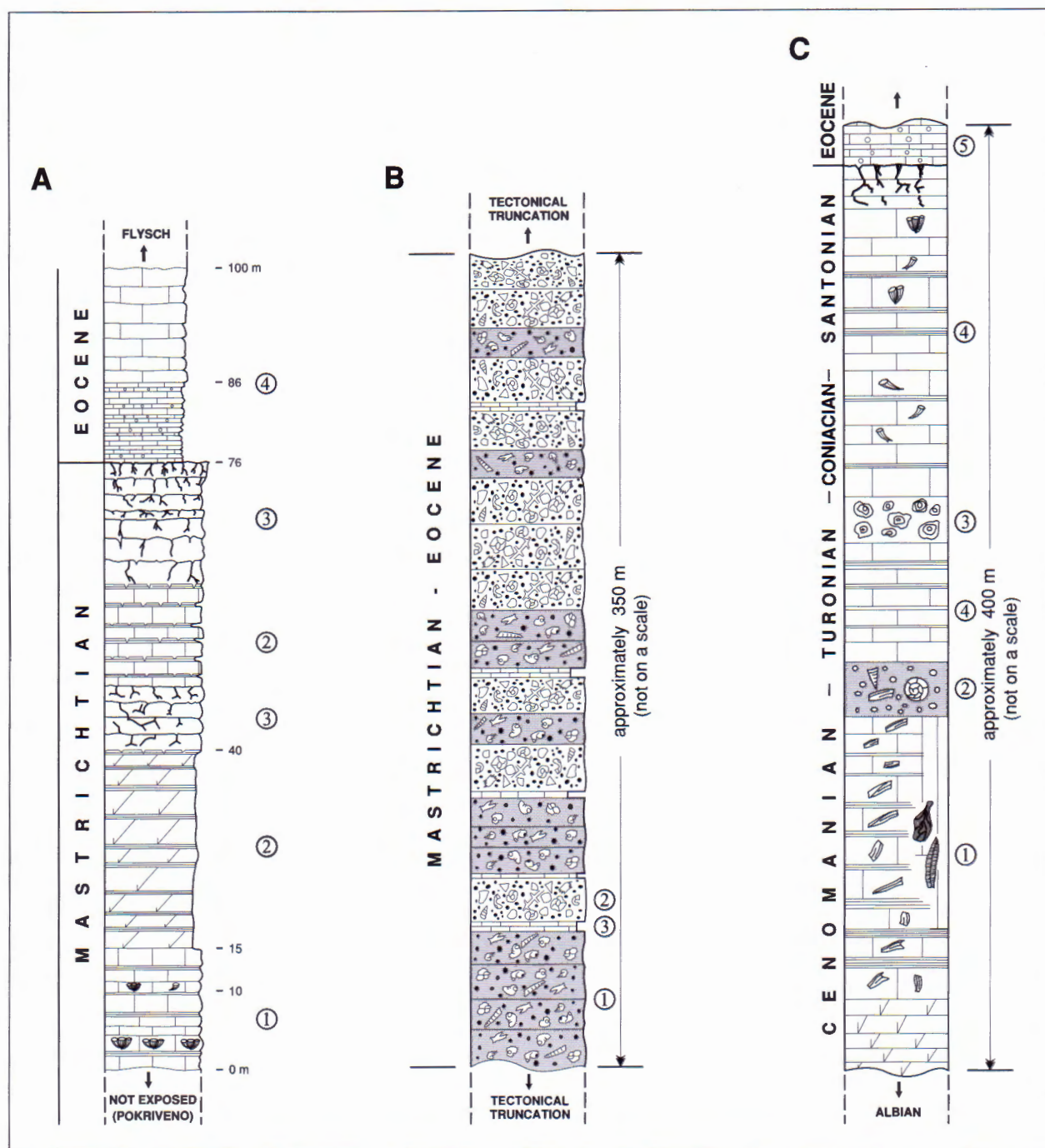
Postaja 5: profil cesta Gornje Igrane - Kozica

Objekt: Platformni razvoj krede. Alb - kerogeni laminirani i pločasti vapnenci. Gornja kreda u tipičnom platformnom razvoju. Litostratigrafska analogija s kredom srednjo-dalmatinskih otoka. Taložni prekid u nivou *Murgella lata* i *Keramosphaerina tergestina*. Na tome transgresivni dodir paleogenskih vapnenaca.

Komentar

Usporedbom ovih dvaju lokaliteta vidimo da su na Osejavi (sl. 7, stup A) paleogenske naslage u transgre-

sivnom dodiru s vapnencima mastrihta za razliku od Kozice (sl. 7, stup C) gdje je kredna podloga santonska. Sukcesija s resedimentiranim vapnencima tipa Kotišine (sl. 7, stup B) prostorno je smještena između lokaliteta A i C. U paleogeografskoj rekonstrukciji slika u mastrihtu bi ovako mogla biti dočarana: peritajdalni, subtajdalni okoliš (Osejava), generalno sjeverno od toga smješten je intraplatfornni bazen - korito (Kotišina), kojem je emergirani blok Zabiokovlja (Kozica) tektonski okvir.



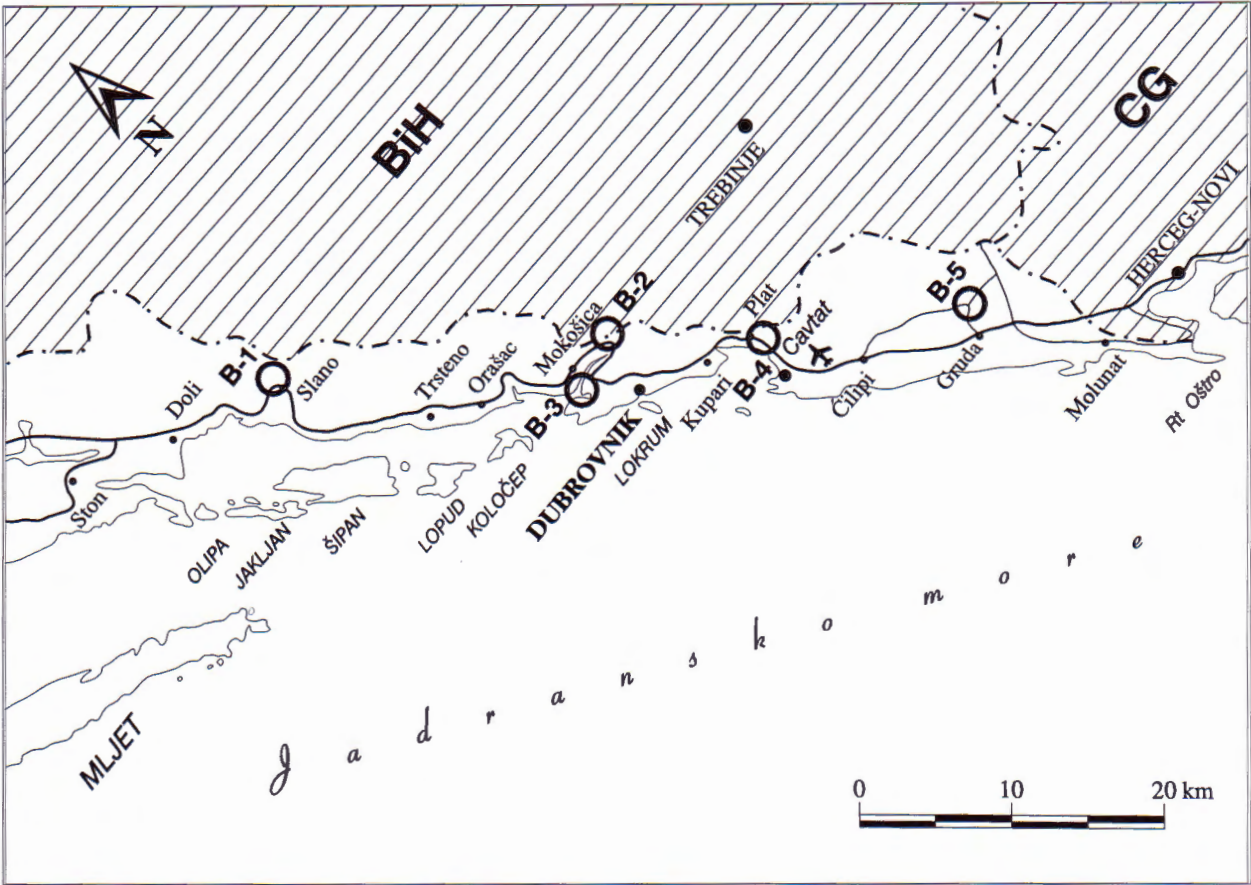
Sl. 7 Tumač stupova: **Stup A (Osejava)**: 1) rudisti vapnenci (buketi radiolitida); 2) dolomitizirani metarski tajdalni ciklusi; 3) korodirani i rekristalizirani vapnenci; 4) foraminiferski vapnenci. **Stup B (Kotišina)**: 1) matriks-potporni vekston-pekstoni; 2) klast-potporni pekstoni; 3) interkalacije pelagičkih madstona (planktonske foraminifere). **Stup C (Kozica)**: 1) peritajdalni ciklusi (hondrodonte, paštrikele); 2) bioklastični vekstoni s kalcisferama u muljnom matriksu, prealveoline; 3) onkoidni vapnenci; 4) ciklusi oplićavanja; 5) foraminiferski vapnenci.

Fig. 7 Legend for geological columns: **Column A (Osejava)**: 1) rudist limestones (radiolitid bouquets); 2) dolomitized meter-thick tidal cycles; 3) corroded and recrystallized limestones; 4) foraminiferal limestones. **Column B (Kotišina)**: 1) matrix-supported wackestone-packstones; 2) clast-supported packstones; 3) intercalations of pelagic mudstones (with planktonic foraminifera). **Column C (Kozica)**: 1) peritidal shallowing-upward cycles (with chondrodonts and pastrickellas); 2) bioclastic wackestones with calcispheres in micrite matrix, prealveolines; 3) oncolitic limestones; 4) shallowing-upward cycles; 5) foraminiferal limestones.

Ekskurzija B - 1 - Excursion B - 1

Hidrogeološki i inženjerskogeološki prikaz odabranih lokaliteta u području Dubrovačkog primorja

Hydrogeological and Engineering Geological Aspects of Some Localities
in the Dubrovnik Area



	2. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES Second Croatian Geological Congress	CAVTAT - DUBROVNIK 17 - 20. 5. 2000.	Vodič ekskurzija Excursion Guide-Book	B-1	13 - 32	ZAGREB 2000
---	--	--	--	------------	----------------	--------------------

Hidrogeološki i inženjerskogeološki prikaz odabranih lokaliteta u području Dubrovačkog primorja

Hydrogeological and Engineering Geological Aspects of Some Localities in the Dubrovnik Area

Renato **BULJAN**¹, Darko **IVIČIĆ**¹, Vladimir **JURAK**², Tamara **MARKOVIĆ**¹,
Tomislav **PAVIŠA**³, Ante **RENIĆ**¹ & Slobodan **ŠESTANOVIĆ**⁴

Postaja 1: Zdenzi u zaleđu Slanog - lokalitet Nereza

Stop 1: The pumping station at Nereza

Renato **BULJAN** & Ante **RENIĆ**

Abstract

The location of Nereza in the hinterland of Slano is specific since the water is extracted from wells located within flysch deposits, which represent a tectonic window within a carbonate thrust, which encircles the whole bay of Slano (Fig. 1). Due to erosion of the impermeable parts of the flysch beds, carbonate layers within the flysch rock complex are in contact with the carbonate hinterland, which supplies them with water as a consequence of thrusting. The existence of radial sub-vertical faults within the flysch beds allows a considerable influx of seawater, and salinization of the aquifer during the dry season, when the pressure of water from the hinterland is lowered.

The plan for the reconstruction of the water extraction facilities at Nereza includes the construction of a larger number of pumping wells with a controlled pumping regime with an automatic shutdown mechanism when an elevated level of salinization is registered.

Hidrogeološka istraživanja u zaleđu mjesta Slano (BAĆ, 1972) rezultirala su kaptiranjem zdenaca B-3 i B-4a, udaljenih oko 1000 m sjeverozapadno od središta mjesta na lokalitetu Nereza, a zatim i njihovim uključanjem u vodoopskrbni sustav Slano. Područje Nereza grade naslage fliša koje predstavljaju tektonsko okno, gdje su gornjoeocenske flišne naslage okružene navučenim trijasko-jurskim karbonatnim sedimentima (BOJANIĆ & IVIČIĆ, 1984; sl. 1). Vapnenci i dolomiti u nepravilnoj izmjeni, dobre do srednje vodopropusnosti, izgrađuju rubni dio čela navlake koja periferno okružuje cijeli Slanski zaljev. Geofizičkim mjerenjima unutar flišnog kompleksa registrirano je nekoliko karbonatnih proslojaka koji, uz hidrogeološka obilježja i hipsometrijski položaj naslaga fliša, te prisutne radialne subvertikalne rasjede imaju ključnu ulogu kod usmjeravanja i tečenja podzemne vode iz zaleđa. Dio vode iz navučenog karbonatnog dijela, zbog erodiranog fliša u podlozi

kao posljedice tangencijalnih pokreta, drenira se prema proslojcima dobro provodnih vapnenaca smještenih unutar flišnog kompleksa naslaga.

Za potrebe vodovoda Slano voda se crpi iz dva zdenca na lokalitetu Nereza. Zdenac B-4a je dubine 178 m, a izbušen je u naslagama fliša u kojima su u izmjeni lapori, pješčenjaci i raspucani okršeni vapnenci. Po dubini zdenca vapnenci su nabušeni na četiri razine. Isti litološki sastav probušenih naslaga s manjim odstupanjem je i u piezometarskoj bušotini PB-4a, dubine 168 m, lociranoj 6 m jugoistočno od zdenca B-4a. Zdenac B-3, dubine 80,5 m, je do dubine 45,6 m izbušen u laporima, glinama i pješčenjacima, a ispod te dubine do dna izbušen je u okršnim vapnencima.

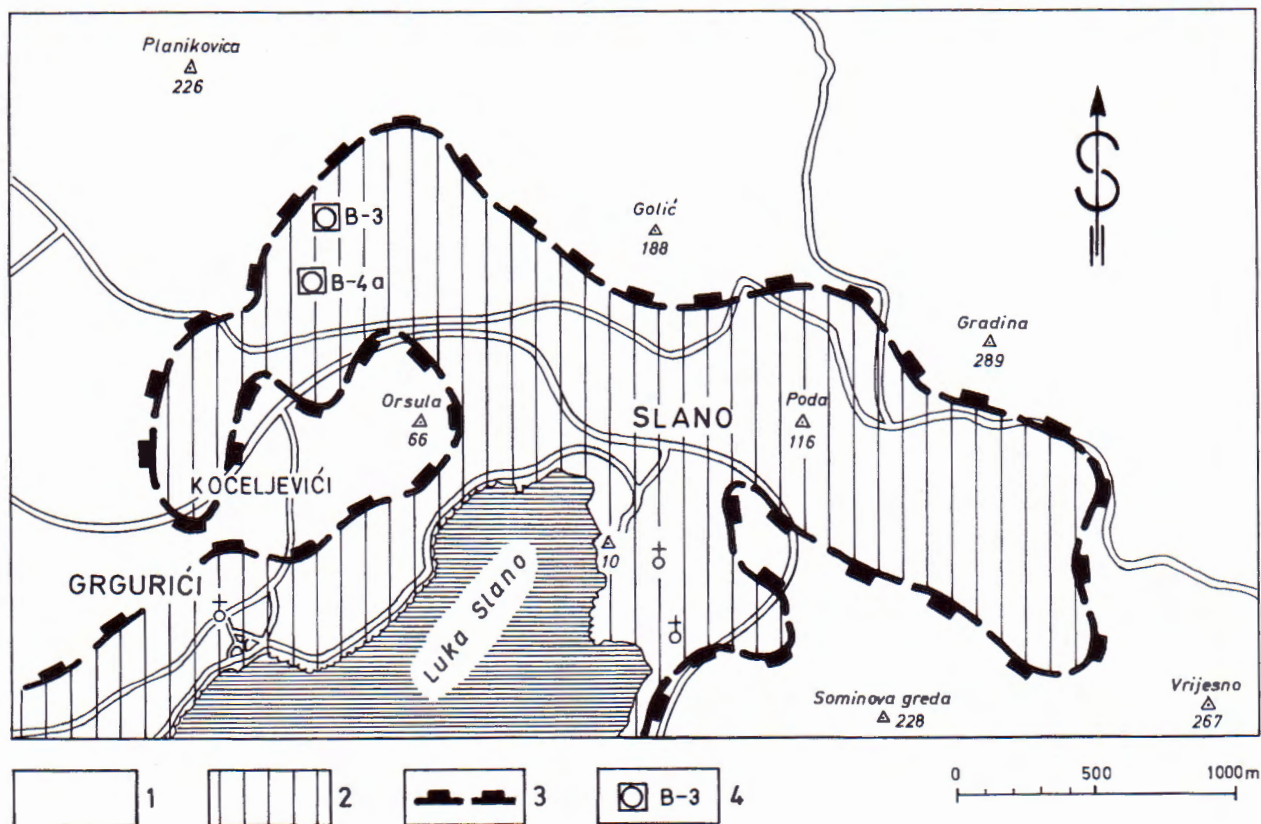
Analize vode tijekom višegodišnje eksploatacije, a naročito uslijed stalnog povećanja eksploatacije zbog rastućih potreba, pokazale su sve veći porast saliniteta (max. do 700 mg Cl/l) u ljetnim sušnim razdobljima i to

¹ Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

³ Hrvatska elektroprivreda, Hidroelektrana "Dubrovnik", A. Starčevića 51, HR-20000 Dubrovnik, Hrvatska.

⁴ Građevinski fakultet, Sveučilište u Splitu, Matice Hrvatske 15, HR-21000 Split, Hrvatska.



Sl. 1 Hidrogeološka skica područja crpilišta Nereza kraj Slanog. Legenda: 1) dobro do srednje vodopropusne karbonatne naslage (T_3, J_1): izmjena vapnenaca i dolomita; 2) slabo vodopropusne naslage fliša ($E_{2,3}$): lapori, vapnenci, siltiti i pješčenjaci; 3) navlaka karbonatnog kompleksa naslaga; 4) zdenci B-3 i B-4a.

Fig. 1 The simplified hydrogeological map of the Nereza pumping facilities near Slano. Legend: 1) well to intermediate permeable carbonate rocks (T_3, J_1): alternation of limestone and dolomite; 2) low permeable flysch deposits ($E_{2,3}$): marls, limestone, sandstone, and siltite; 3) carbonate rock complex thrust; 4) the extraction wells B-3 and B-4a.

je najveći problem ovog crpilišta. Kako za Slano i okolna naselja i turističke sadržaje osigurati dovoljne količine pitke vode?

Obzirom da je voda vezana za podinske strukture (fliška serija) i da su vodonosne dvije ljuske vapnenaca unutar vodonepropusnih naslaga fliša, sigurno je da je barem jedan od tih vodopropusnih proslojaka otvoren prema utjecaju mora. Šansa za relativno jednostavno rješenje bila bi veza gornje ljuske s morem, jer to je obzirom na geološku gradnju moguće izolirati. No, probna crpljenja su pokazala donose zaslanjene vode iz donje ljuske, što znači da su višegodišnja povećana crpljenja bitno smanjila slatkovodnu leću i da zona miješanja konusno prodire prema crpnim zdencima. Potvrđuju to i efekti pojačanog zaslanjenja tijekom prvog nailaska velikih voda, koje "uzburkaju" zonu miješanja, koja se kasnije relativno brzo stabilizira na većim dubinama i ne utječe više na kakvoću crpljene vode.

Očito se u ovom slučaju radi o stalnom prisustvu morske vode u dubokim dijelovima krškog vodonosni-

ka u labilnoj ravnoteži sa slatkom vodom. Rješenje ne treba tražiti u presijecanju kontaktne zone slatke i slane vode već u dobrom rasporedu brojnih crpnih točaka i dobrom upravljanju sustavom (GOATTI & BIONDIĆ, 1985), koji mora sadržavati ograničenje eksploatacije radi sprječavanja konusnog izdizanja zaslanjene vode u uvjetima slabljenja pritiska slatke vode.

Literatura - References

- BAC, J. (1972): Istražni i kaptažni radovi na prostoru Grgurići-Sladenovići-Budima.- Fond struč. dok. HGF, Sarajevo.
- BOJANIĆ, L. & IVIČIĆ, D. (1984): Hidrogeološka studija područja Metković-Dubrovnik-Konavle.- Fond struč. dok. Instituta za geol. istraž., Zagreb.
- GOATTI, V. & BIONDIĆ, B. (1985): Hidrogeološki radovi na širem području kaptaže u Slanom.- Fond struč. dok. Instituta za geol. istraž., Zagreb.

Postaja 2: Izvorište Ombla

Stop 2: The spring area of Ombla

Renato **BULJAN** & Tomislav **PAVIŠA**

Izvorište Ombla (sl. 2) je najveći krški vodni objekt južnog Jadrana. To je tipično krško izvorište nastalo na kontaktu karbonatnih naslaga navučenih na debeli kompleks eocenskih flišnih naslaga. Fliš je u zoni izvorišta erodiran do razine mora s Omblom u najnižoj točki, dok se bočno na istok i na zapad hipsometrijski izdiže i preko 150 m. Naslage fliša predstavljaju potpunu hidrogeološku barijeru za vode iz zaleda. Debljina tih naslaga ispred izvorišta Ombla veća je od 350 m (bušotina OF-1; RENIĆ, 1993). Seizmičkim refleksijskim profiliranjem (ANDRIĆ, 1995) konstatirana je na lokacijama Dračevo selo i Rožat, 1 km zapadno od Omble, debljina flišnih naslaga preko 500 m. Izvorište Omble čine tri koncentrirane zone istjecanja: Glavni izvor, Baba i Crkvice, s tim da na Glavni izvor istječe preko 80% vode izvorišta. Pri niskim vodostajima pojedini izvori Omble funkcioniraju nezavisno, tj. voda istječe na različitim razinama.

Na temelju dosadašnjih spoznaja, površina slijeva Omble nakon izgradnje hidrosustava Trebišnjice obuhvaća oko 600 km² (MILANOVIĆ, 1977). Jedini stalan tok unutar slijeva je rijeka Trebišnjica. Veći dio slijeva sadrži mnoštvo plitkih ponikava i relikte brojnih ponora, jama i pukotina uslijed čega su osnovni prihranjivači karbonatnog kolektorskog prostora zaleda izvorišta padaline koje se dispergirano infiltriraju u podzemlje i razgranatom hidrografskom mrežom slijevaju do zone izviranja. Slijev Omble prema zapadu graniči sa slijevom izvora Palata u Malom Zatonu, a s istočne strane sa slijevom izvora Zavrelje u Mlinima. Srednja godišnja protoka Omble iznosi $Q_{sr}=24.4 \text{ m}^3/\text{s}$. Minimalna izmjerena izdašnost Omble je $Q_{min}=3.0 \text{ m}^3/\text{s}$, a maksimalna $Q_{max}=138.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (ŽUGAJ & BONACCI, 1994). Dugogodišnja meteorološka motrenja (podaci Energoinve-

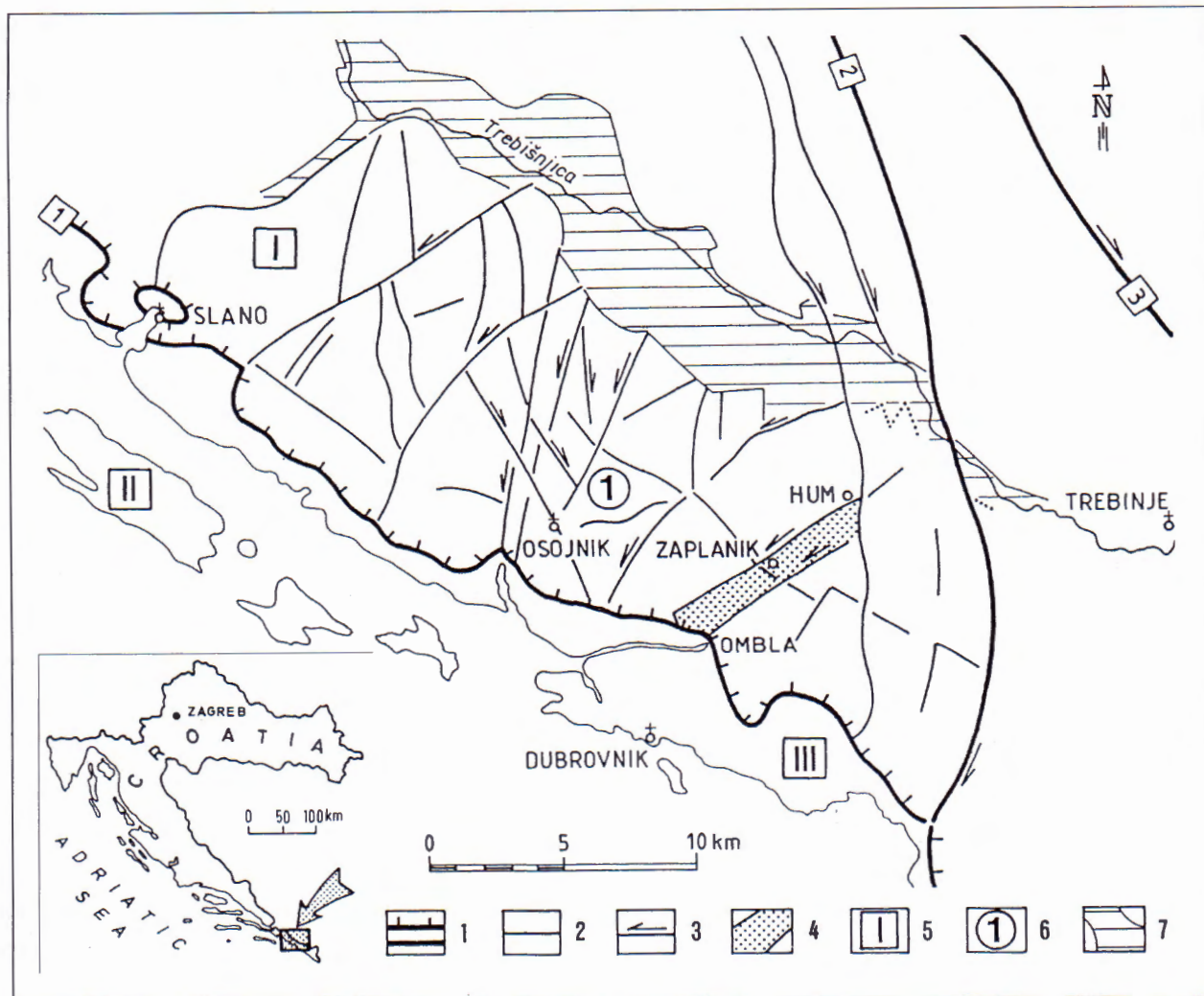
sta, Sarajevo) pokazuju da je područje slijeva bogato padalinama. Prosječno godišnje padne od 1.400 mm kiše u priobalju do preko 2.200 mm u planinskom dijelu slijevnog područja. Potpuno sušno razdoblje može potrajati i preko 90 dana.

Na području slijeva Omble izdvojene su karbonatne naslage gornjotrijaske, jurske, kredne i eocenske starosti, eocenske flišne naslage i različite naslage kvartara (MARKOVIĆ, 1971, 1975). Karbonatne naslage apsolutno dominiraju u građi područja slijeva. Dinaridskog su pružanja sa smjerom nagiba slojeva prema SI, najčešće pod kutovima 20-50°. U hidrogeološkom smislu razlikuje se kompleks dobro propusnih naslaga vapnenaca s pukotinsko-disolucijskom poroznošću, koje sadrže slabije vodopropusne zone dolomita, od klastičnih flišnih naslaga koje imaju hidrogeološku funkciju potpune barijere. Tip poroznosti dominantno zastupljenih vapnenaca uvjetuje dobru permeabilnost koja rezultira znatnim kolektorskim mogućnostima karbonatnih naslaga slijeva. Njihove hidrogeološke odlike, uz tektoniku koja je dominantno pripremila, unaprijed odredila i bila ključna za nastanak privilegiranih smjerova podzemnih tokova, omogućuju formiranje i evoluciju izvora u naslagama ove hidrogeološke sredine. Dio jedinstvenog karbonatnog kompleksa naslaga predstavljaju i leće, proslojci i zone dolomita koji su zbog litoloških značajki slabije okršeni. Zbog slabije vodopropusnosti zone dolomita značajne su za usmjeravanje tokova podzemne vode unutar dobro vodopropusnih vapnenaca. Uska priobalna zona klastičnih flišnih naslaga proteže se izvan slijevnog područja Omble kao i sljevova susjednih izvora Palate i Zavrelja, no zbog svog postojanog prostiranja i znatne debljine ona ima presudnu ulogu u formiranju spomenutih sljevova jer odvajaju kompleks nasla-



Sl. 2 Čelo navlake Dinarika iznad izvorišta Ombla.

Fig. 2 Front of the overthrust of Dinaricum above Ombla spring.



Sl. 3 Regionalna strukturalna skica. Legenda: 1) najvažniji rasjedi regionalnog strukturalnog sklopa: rasjed čela navlake Dinarika (1), Slivnički rasjed (2), Zubački rasjed (3); 2) ostali važniji rasjedi; 3) rasjedi s naznakom pomaka krila; 4) zona rasjeda Hum - Ombla; 5) regionalne strukturalne jedinice: Dinarik (I), Adriatik (II), Epiadriatik (III); 6) strukturalna jedinica Hutovo - Slano - Brgat; 7) zona ekstenzije.

Fig. 3 Regional structural sketch. Legend: 1) the most important faults of the regional structural fabric: fault of the overthrust of the Dinaricum (1), Slivnica fault (2), Zubak fault (3); 2) other more important faults; 3) faults with marked displacement; 4) zone Hum - Ombla; 5) regional structural units: Dinaricum (I), Adriaticum (II), Epiadriaticum (III); 6) structural unit Hutovo - Slano - Brgat; 7) extension zone.

ga s akumulacijskim i permeabilnim odlikama od zone istjecanja za vode iz zaleđa na razini mora. Neposredno na nju navučeni su dolomiti trijasa iz čela navlake karbonatnog kompleksa naslaga koji dodatno potvrđuju njenu funkciju barijere. Vode iz zaleđa, do Jadranskog mora, mogu se prazniti jedino preljevanjem preko ove barijere. U ovom dijelu dubrovačkog priobalja i u Rijeci Dubrovačkoj nema vrulja, jer nije moguća izravna hidrogeološka komunikacija kroz flišne naslage do mora. Ovakva kontinuirana flišna zona onemogućava dispergirano istjecanje podzemne vode iz okršanih naslaga zaleđa, već uvjetuje koncentrirano pražnjenje zaleđa preko nekoliko izvora. Flišne naslage s funkcijom potpune hidrogeološke barijere pružaju se od Slanog do Konavoske Ljute, a na njihovom kontaktu s karbonatnim kompleksom naslaga nalazi se niz izvora poput onih u Slanom, Trstenu, Orašcu, Zatonu (Palata), Komolcu (Ombla i Slavjan), Mlinima (Zavrelje), kod Duboke

Ljute (Robinzon), u Konavlima (Ljuta) i još puno manjih. Najveću izdašnost imaju izvori koji su smješteni hipsometrijski najniže.

Jedan od glavnih hidrogeoloških problema bila je odredba smjerova dotoka podzemne vode iz unutarnjosti do izvorišta Ombla. Kako tektonika i strukturalni sklop u litološki jednoličnoj sredini imaju dominantnu i presudnu ulogu na formiranje mreže podzemnih kanala u kršu, rješavanju hidrogeoloških odnosa pristupilo se tek nakon detaljne strukturalne razrade.

Strukture regionalnog strukturalnog sklopa su pružanja SSZ-JJI do SZ-JI. Odnosi naslaga i ocrti rasjeda na površini ukazuju na reversno-navlačne pripovršinske strukturalne odnose. U strukturalnom sklopu dominantan je navlačni kontakt regionalne strukturalne jedinice Dinarik na Epiadriatik (HERAK, 1991). Iza čela navlake konkordantni slijed i pretežito monoklinalni nagib slojeva prema SI izdvajaju strukturalnu jedinicu Hutovo - Slano -

Brgat (PRELOGOVIĆ et al., 1994). Veći dio slijeva Omble nalazi se unutar nje. Ključna je činjenica znatno rasjedanje jedinice. Pri tom se, osim nizova reversnih rasjeda od kojih najveći dijele pojedine strukture, ističu rasjedi smicanja s desnim tektonskim pomacima prema JI duž zona Slivničkog i Zubačkog rasjeda i relativno široka zona rasjeda pružanja SI-JZ na potezu Hum-Ombla, koja se naslanja na zonu Slivničkog rasjeda. Zamjetan je njezin lijevi tektonski transport. Zona rasjeda Hum-Ombla sastoji se od više paralelnih rasjeda i ogranka, generalnog pružanja $50\text{--}230^\circ$, strmog i često suprotnog (antitetik) nagiba rasjednih ploha $70\text{--}85^\circ$. Ona siječe reversne rasjede i dopire do čela navlake Dinarika. Takva tektonska kinematika, uz povoljnu orijentaciju prema regionalnom stresu (pružanja $12\text{--}192^\circ$) i dominantno lijevi tektonski pomak, omogućava stalno širenje zone rasjeda Hum-Ombla (sl. 3), kontrakciju prostora i usjedanje pojedinih segmenata uglavnom duž snopova rasjeda suprotnog nagiba koji čine dvostruku ekstenzijsku strukturu (ekstenzijski dupleks; DAVIS, 1984).

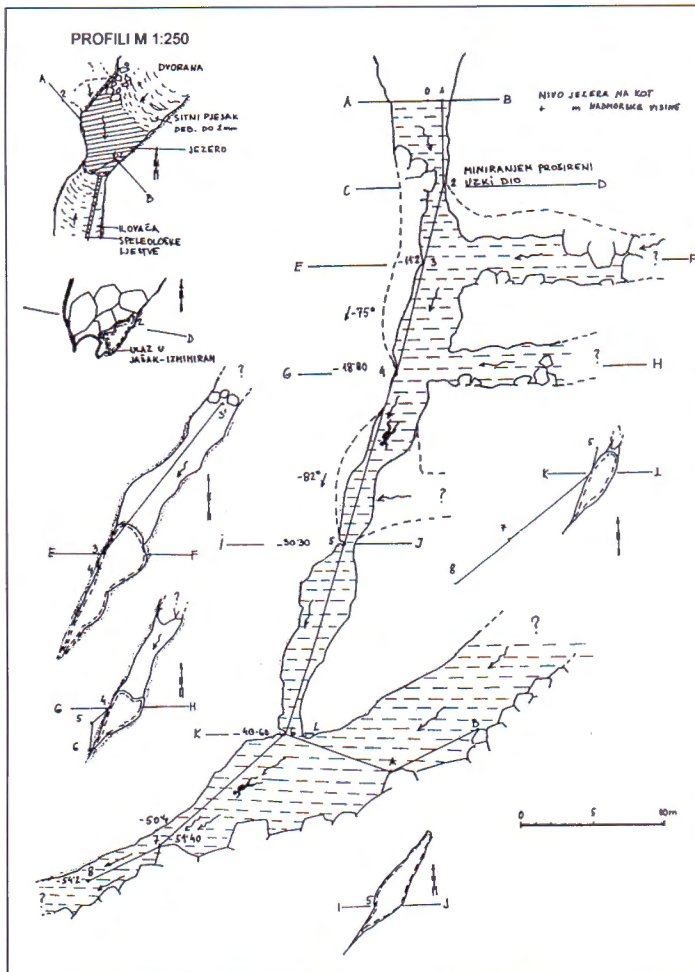
Svi hidrogeološki, geofizički i hidrološki pokazatelji ukazali su da se najveći dio podzemnih voda najprije slijeva u zonu rasjeda Hum-Ombla. Ta zona u čitavoj svojoj širini predstavlja glavni drenažni prostor promatranog hidrogeološkog sustava (BULJAN, 1999). Na potezu Začula-Zaplanik-Orah postoji uska i duboko okršena zona (dubine okršenosti i preko 250 m) kojom najznačajnije količine vode koncentrirano pod pritiskom protječu prema mjestu pražnjenja podzemnog hidrogeološkog sustava slijeva Omble. Analize hidrograma izvora i nivograma bušotina (Q-H dijagrama) pokazale su da se podzemni retencijski prostor zaleda Omble i glede režima tečenja može podijeliti na dva dijela (MILANOVIĆ, 1977; JOVIĆ, 1997). Područje uzvodno od Zaplanika obuhvaća podzemni prostor u kojem se laminarnim tečenjem dominantno akumuliraju veće količine vode. Taj prostor bi nakon stvaranja uspora u zaledu Omble trebao predstavljati podzemnu akumulaciju. Područje nizvodno od Zaplanika predstavlja uski i duboko okršen prostor (zona rasjeda Hum-Ombla) unutar kojeg, uslijed postojanja privilegiranih tokova kroz krške kanale do zone istjecanja, voda teče turbulentnim tokom pod pritiskom (kod velikih voda i do 50 cm/s ; PAVIŠA, 1998).

Lokacija izvorišta Omble je strukturno uvjetovana. Nastala je unutar ekstenzijskog dupleksa na sjecištu zone rasjeda Hum-Ombla i čela navlake karbonatnih i flišnih naslaga. Nakon formiranja zone istjecanja, uslijed permanentnog neotektonskog izdizanja karbonatnih naslaga u zoni čela navlake Dinarika i erodiranja naslaga fliša, došlo je do spuštavanja zone istjecanja na razinu mora. Zbog toga su zone paleoistjecanja Omble danas izdignute. U neposrednom zaledu izvorišta izdvojena su, unutar zone rasjeda Hum-Ombla, tri važna rasjeda koji su granični strukturnim podblokovima. Sva tri podbloka pokazuju različite dinamičke odlike: smjer pomaka, promjenu orijentacije lokalnog stresa, te aktivnost

graničnih zona podblokova (PRELOGOVIĆ & BULJAN, 1995). Posebno se ističe zona rasjeda nazvanog Pločice, na površini markiranog siparištem duljine preko 150 m (sl. 2 i 6). Podaci su pokazali da se dva strukturna podbloka s istočne strane rasjeda Pločice pomiču u prostoru duž normalnih rasjeda pod kutom zakosa $20\text{ do }30^\circ$ lijevo, dolje, dok se strukturni podblok sa zapadne strane pomiče reversno duž rasjeda Pločice pod kutom zakosa $100\text{ do }130^\circ$ lijevo, gore (BULJAN & PRELOGOVIĆ, 1997).

Opsežnim speleološkim, geološkim i geofizičkim istraživanjima nastojalo se prostorno odrediti krške kanalske provodnike vode do zone istjecanja. Glavni dovodni kanal vode izvorišta je sifonskog oblika. To je uzlazni izvor, speleološki istražen do -35 m dubine (KRAŠOVAC, 1985). Iza izvora je velika izvorišna špilja (duljine preko 80 m, širine 40 m i visine 8 m) koja predstavlja neposredno zaledu izvorišta. U zaledu izvorišta aktivni kanalski provodnici vode prostorno su smješteni ispod zone istjecanja na razini mora i dosežu dubinu od -150 m . Speleološkim istraživanjima Viline pećine (KRAŠOVAC, 1989) otkriveno je tzv. Veliko jezero, proširena šupljina na 520 m od izvorišta Omble. Razina vode u Velikom jezeru je približno na istoj razini kao i izvorište. Iz njega se strmo spušta kanal čije se dno nalazi na dubini od -54 m (sl. 4) i dalje prema Omblu spaja se s većim dovodnim kanalom iz zaleda koji se nastavlja na veliku šupljinu iza Glavnog izvora. Dimenzije kanala na dubini od -54 m su manje od šupljine iza Glavnog izvora, što ukazuje da se vjerojatno radi o tek jednom od kanala drenažnog toka. Pretpostavlja se da su sve šupljine neposrednog zaleda izvorišta međusobno povezane. To nije do kraja dokazano, no značajno je da se kroz sve otkrivene šupljine osjeća jako strujanje zraka. Strukturnim istraživanjima je utvrđeno da se četiri glavna nivoa šupljina u čelu navlake Dinarika (Viline pećine i aktivnih provodnika vode, sl. 5) prostorno po vertikali pružaju duž zone rasjeda Pločice (sl. 6). Šupljine su po vertikali pomaknute, što odgovara valovitom svijanju rasjeda Pločice u prostoru. Hidrološke analize hidrograma istjecanja na Omblu u odnosu na razinu vode unutar slijeva (PAVIŠA, 1993) ukazale su na tri zone jače okršenosti u vertikalnom smislu i unutar slijeva između Omble i Popovog polja.

Osnovni prihranjivač karbonatnog kolektorskog prostora zaleda izvorišta Omble su padaline čije se vode infiltriraju u podzemlje dispergirano po slijevu kroz okršene stijene na površini. Kako je propusnost koncentriranih tokova ograničena (približno $35\text{ m}^3/\text{s}$; MILANOVIĆ, 1989), reakcije hidrauličkog sustava slijeva Omble na padaline u domeni dinamičkih rezervi su izrazito brze, a amplitude razina vode velike. To ukazuje na izuzetnu protočnost glavne drenažne zone (zone rasjeda Hum-Ombla) neposrednog zaleda izvorišta. Pri obilnijim padalinama, u vrijeme velikih voda, za manje od 10 sati razina vode u podzemlju naraste i preko 100 m, a izdašnost na Omblu može se povećati u 24 sata za čak $120\text{ m}^3/\text{s}$. Amplitude razina vode su osjetno manje

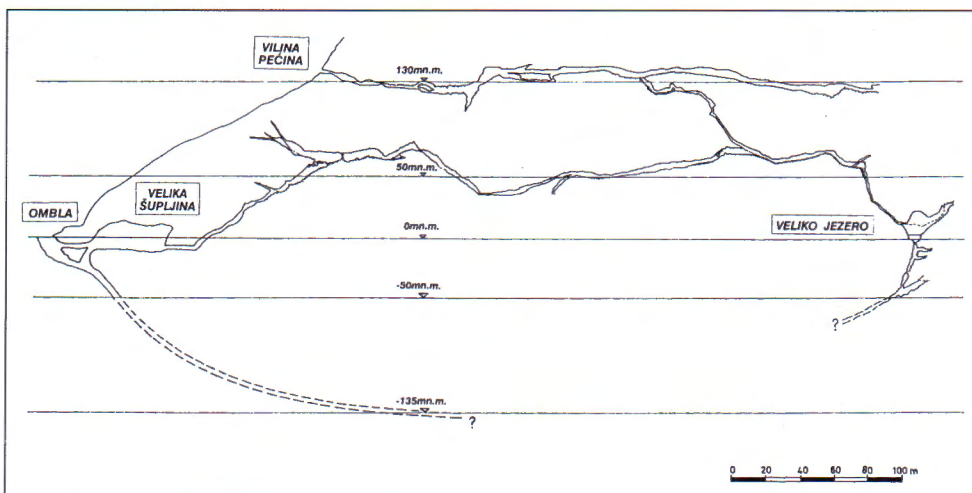


Sl. 4 Skica speleološkog istraživanja kroz krški kanal Velikog jezera (preuzeto od KRAŠOVAC, 1989).

Fig. 4 Sketch of the speleological research through karst channel of lake "Veliko jezero" (from KRAŠOVAC, 1989).

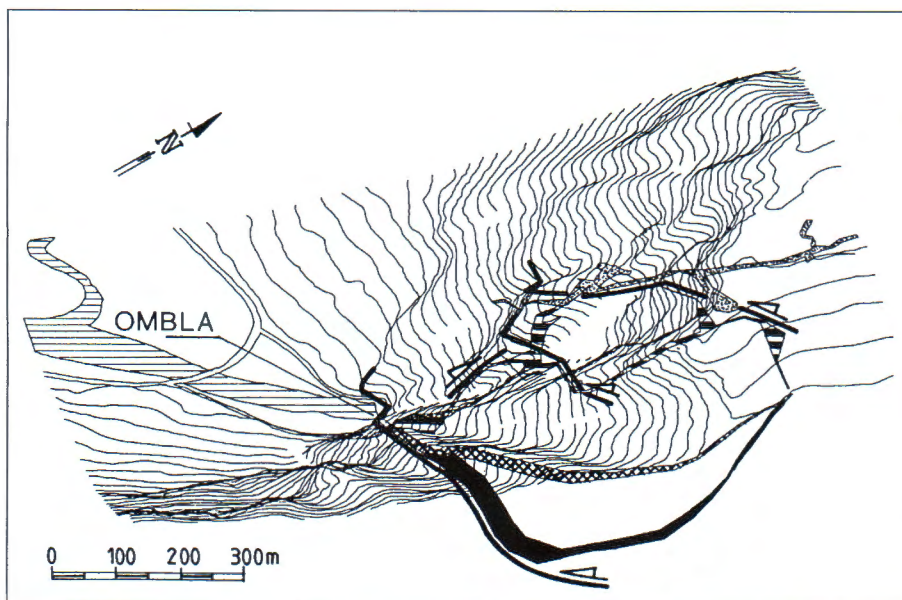
idući prema granici slijeva sa zapadne i s istočne strane glavne drenažne zone. U kišnom razdoblju godine podzemne vode u dijelu slijeva između Omble i Trebišnjice se toliko dignu da se mogu uočiti na području Trebinjske šume u inače suhim jamama, na dubini 10-15 m od površine terena (nadmorska visina Trebinjske šume je oko 270 m n.m.). Prestankom padalina prekinut je glavni priljev vode u podzemni retencijski prostor i razina vode u njemu se vrlo brzo snižava. Zbog izuzetno dobre

hidrauličke povezanosti potrebno je samo 60 do 120 minuta nakon padalina da sustav reagira povećanjem specifične izdašnosti Omble. Osim toga, primijećen je visok stupanj korelacije hidrograma Omble i nivograma piezometarskih bušotina u zaleđu. To ukazuje da se analizirani vodni objekti nalaze u dijelu podzemnog kolektorskog prostora s hidrogeološkim značajkama koje omogućavaju vrlo bliske hidrauličke veze. Takve odlike imaju hidraulički sustavi pod pritiskom. Ovakav hidra-



Sl. 5 Otkriveni nivoi krških šupljina u zaleđu Omble.

Fig. 5 Discovered levels of karst cavities in Ombla spring hinterland.



Sl. 6 Usporedba položaja rasjeda Pločice i četiri nivoa podzemnih šupljina.

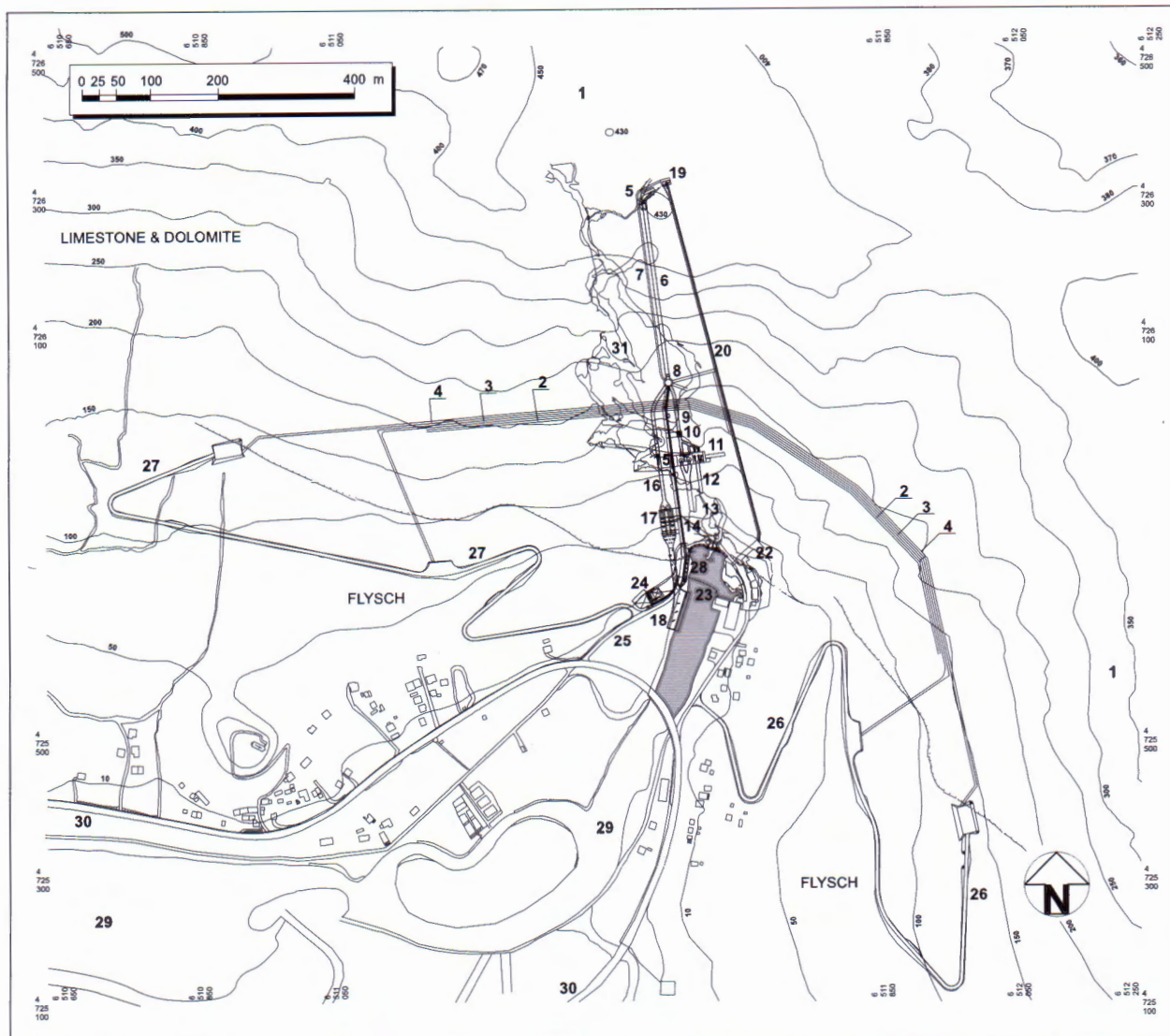
Fig. 6 The comparison of the Pločice fault zone position and four levels of subsurface cavities.

ulički sustav s velikom osjetljivošću omogućuje da se promjene na hidrogramima Omble i na nivogramima bušotina registriraju gotovo u isto vrijeme iako su udaljeni kilometrima, s tim da se prvo povećava istjecanje vode na Ombli, a tek nakon toga su pod pritisak dospjeli viši dijelovi sustava.

Ideja o podzemnoj brani i akumulaciji u zaleđu Omble pojavila se spoznajom o srednjoj godišnjoj izdašnosti Omble i o poroznosti i propusnosti karbonatnog kompleksa naslaga. Ključno je pri tom postojanje nepropusne flišne barijere koja se bočno od izvorišta izdiže iznad predviđene kote uspora, što je važno zbog vododrživosti bokova akumulacije. Izgradnjom brane predviđa se podizanje razine podzemne vode. Akumulacijski prostor obuhvaća podzemne šupljine i kanale vezane za sustave rasjeda, pukotina i okršenost karbonatnih naslaga. Pregradni profil projektiran je približno 200 m unutar karbonatne stijenske mase do visine 130 m n.m., odnosno maksimalne visine 410 m od donjeg

kontakta karbonatnih i flišnih naslaga do vrha brane i duljine preko 1.000 m. Njezini bokovi će se naslanjati na flišne naslage, koje se istočno i zapadno od izvorišta nalaze na visinama do 300 m. Svi vitalni objekti hidroelektrane također su projektirani u podzemlju. Time bi strmac iznad izvorišta Ombla i okolni krajobraz ostali maksimalno očuvani.

Projektno rješenje hidroelektrane Ombla (SEVER, 1998; sl. 7) osniva se na povećanju tlaka podzemne vode uslijed umjetno stvorenog uspora u podzemlju. Uspor se predviđa ostvariti jednorodnom injekcijskom zavjesom radenom iz tri injekcijske galerije na kotama 5, 65 i 134 m n.m. Osim toga, u svim aktivnim i fosilnim podzemnim kanalima projektirani su posebni betonski čepovi. Uzvodno od brane doći će do izdizanja razine vode iznad današnjeg prirodnog stanja. Takav koncept osiguranja vododrživosti zasnovan je na mjerenim podacima vodopropusnosti stijenske mase i protoka u glavnom dovodnom kanalu, koji pokazuju da je



Sl. 7 Pregledna skica objekata HE Ombla. Legenda: 1) podzemna akumulacija; 2) injekcijska zavjesa-galerija br. 1; 3) injekcijska zavjesa-galerija br. 2; 4) injekcijska zavjesa-galerija br. 3; 5) zahvat vode za hidroelektranu u Velikoj špilji; 6) dovodni tlačni tunel; 7) pristupni tunel do vodozahvata; 8) vertikalno okno; 9) tlačni cjevovod; 10) zatvarač tlačnog cjevovoda; 11) strojarnica; 12) odvodni tunel; 13) slapište strojarnice u Izvorišnoj špilji; 14) pristupni tunel; 15) rasklopno postrojenje i transformatori; 16) tunel temeljnog ispusta; 17) zatvaračnica temeljnog ispusta sa slapišnim komorama; 18) preljerna komora temeljnog ispusta; 19) zahvat za vodovod u Velikoj špilji; 20) vodovodni tunel; 21) tunel zahvata za vodovod u fosilnoj špilji; 22) crpna postaja; 23) Izvorsko jezerce; 24) zgrada komande; 25) pristupna cesta do hidroelektrane; 26) pristupna cesta na lijevom boku; 27) pristupna cesta na desnom boku; 28) parkiralište i pristupni plato; 29) Rijeka Dubrovačka; 30) Jadranska magistrala; 31) fosilne špilje.

Fig. 7 Review sketch of the Ombla power plant facilities. Legend: 1) underground reservoir; 2) grout curtain and gallery no. 1; 3) grout curtain and gallery no. 2; 4) grout curtain and gallery no. 3; 5) intake structure (for HPP) in Large cave; 6) headrace tunnel; 7) intake structure access tunnel; 8) vertical shaft; 9) penstock; 10) penstock gate house; 11) power house; 12) tailrace tunnels; 13) powerhouse spillway in Spring cave; 14) access tunnel; 15) switchyard and transformers; 16) bottom outlet tunnel; 17) bottom outlet gate house with dissipations chambers; 18) bottom outlet spillway chamber; 19) water supply intake structure in Large cave; 20) water supply tunnel; 21) water supply intake tunnel in fossil cave; 22) pumping station; 23) Spring pond; 24) control building; 25) access road to the HPP; 26) left flank access road; 27) right flank access road; 28) parking lot and access platform; 29) Rijeka Dubrovačka; 30) Adriatic highway; 31) fossil cave.

stijenska masa duž profila zavjese slabo propusna i da više od 90% vode do izvorišta teče glavnim drenažnim kanalom. Razina vode u akumulaciji, najvećim će se dijelom godine održavati na 130 m n.m. U tijeku razdoblja suše, kad minimalna protoka padne ispod $4 \text{ m}^3/\text{s}$, numerički hidrološki model (JOVIĆ, 1997) upućuje da će minimalna kota uspora iznositi oko 70 m n.m.

Specifičnost te hidroelektrane jest da se dovodni tlačni tunel hidroelektrane spaja na glavni dovodni ka-

nal Omble u Velikom jezeru, oko 300 m uzvodno od profila injekcijske zavjese (sl. 4). Evakuacija velikih voda vršit će se kroz temeljni ispušt s dva konusna zatvarača od kojih svaki može propustiti maksimalni stogodišnji protok, a voda iz turbina ispuštat će se u veliku izvorišnu špilju. Svi ostali objekti imaju određene posebnosti, ali zadržavaju osnovne karakteristike klasičnih podzemnih hidroenergetskih objekata. Hidroelektrana Ombla imat će četiri proizvodne jedinice s pratećom

opremom, dvije s Francis turbinama za nazivni protok $Q_i=24 \text{ m}^3/\text{s}$ i sinkronim generatorima po 30 MVA, te dvije za protok $Q_i=6 \text{ m}^3/\text{s}$ i generatorima po 8 MVA. U prosječnoj hidrološkoj godini ostvarit će se proizvodnja od 223 GWh električne energije.

Dubrovački vodovod se vodom opskrbljuje iz Omble koja je kao izvor za vodoopskrbu grada Dubrovnika postala interesantna još u 19. stoljeću. Zbog razvoja grada i porasta potrošnje, vode dobivene gravitacijskim tokom iz izvora Slavjan (velika Onofrijeva česma) nisu bile dostatne. Prvi projekt crpne stanice načinjen je 1887., a crpilište je po tom projektu izgrađeno tek 1926. godine, s kapacitetom 60 l/s. Današnja crpna stanica Dubrovačkog vodovoda smještena je na mjestu one s početka 20. stoljeća, na izvorištu Omble ispred strmca navlake Dinarika. Voda se crpi neposredno iznad Glavnog izvora. Kapacitet vodocrpilišta je 500 l/s, ugrađene su dvije pumpe maksimalnog kapaciteta 250 l/s. Voda iz Omble prepumpava se u vodospreme smještene na tri razine. Vodosprema na najvišoj visini je ona na brdu Srđ iznad Dubrovnika. Izgradnjom hidroelektrane crpna postaja Dubrovačkog vodovoda premjestit će se u Veliko jezero, uzvodno od podzemne brane.

Voda Omble ima tipične značajke vode krških izvora. Temperatura joj varira od 11,3 do 11,8°C. Promjene temperature vode su spore i male, a ovise o godišnjim dobima. Ona ne oscilira u tijeku dana. To je neutralna do slabo alkalna voda. Prosječni pH je 7,48 i neznatno varira. Prema svom osnovnom ionskom sastavu pripada skupini kalcijsko-hidrogenkarbonatnih voda. Dobro je zasićena kisikom, nije opterećena organskim materijama i ne sadrži amonijak. Voda je u prosjeku potpuno bistra 328 dana godišnje (87%). Razdoblja zamućenja vode Omble vezana su za nagle i obilne padaline u zaleđu. Do zamućenja dolazi u samom početku nailaska vodnog vala. Nakon prolaska "pika" vodnog vala mutnoća se naglo smanjuje i ubrzo nestaje. Zabilježena su dva slučaja velike zamućenosti vode Omble, ali su oba prestala unutar jednog dana. Tvrdća vode je između 8,1 i 12,1 DIN-a, što je svrstava u umjereno tvrde vode.

Izgradnjom podzemne akumulacije, osim proizvodnje električne energije, postići će se ekonomičnija i kvalitetnija opskrba kvalitetnom vodom grada Dubrovnika i okolice, bez uporabe crpki i sa smanjenim problemom vezanim uz povećanu mutnoću vode u vrijeme obilnih padalina.

The spring area of Ombla

The spring area of Ombla (Fig. 2) is the largest karst water object in the southern Adriatic region. This typical karst spring area occurs on the boundary between Mesozoic carbonate rocks which thrust onto a thick Eocene flysch complex. The flysch beds in the spring area are eroded to sea level and Ombla is the lowest point. The flysch beds laterally to the east and west rise more than 150 m above sea level. The spring area of Ombla consists of three zones of concentrated discharge: Glavni izvor (The Principal spring), Baba, and Crkvića; the Principal spring yields 80% of the water discharged at Ombla. During low water levels the springs function independently and the water is discharged at different levels.

After the construction of the hydro-system Trebišnjica the surface area of the Ombla spring catchment is about 600 km² (MILANOVIĆ, 1977). The largest part of the catchment contains numerous shallow sinkholes and the remnants of ponors (swallow holes), pits and fissures, which enables direct infiltration of rainwater into the underground. The average annual yield of the Ombla spring area is 24.4 m³/s. The minimum yield measured was 3.0 m³/s and the maximum 138 m³/s (ŽUGAJ & BONACCI, 1994).

The terrain of the Ombla catchment basin consists of Upper Triassic, Jurassic, Cretaceous and Eocene carbonate rocks, Eocene flysch deposits and different types of Quaternary deposits (MARKOVIĆ, 1971, 1975). Carbonate rocks prevail in the catchment area. They have a typical Dinaric strike and bed inclination towards the NE, with dip angles from 20-50°. In a hydrogeological sense it is possible to differentiate a complex of very permeable carbonate rocks with fissure-dissolution porosity with sporadic occurrence of dolomitic layers and a complex of impermeable clastic flysch rocks which function as a full barrier.

One of the major problems was the determination of the directions of the groundwater flow through which the supply

of water from the hinterland to Ombla occurs. Since the tectonic and structural framework in a lithologically uniform environment have a major impact on the formation of the subsurface channel network, it was necessary to determine the structural relationships prior to the hydrogeological relationships.

The regional structures have a strike ranging from NNW-SSE to NW-SE. The position of the deposits and the reflections of the faults on the surface indicate reverse faulting-thrusting near-surface structural relationships. The structure is dominated by the thrust contact of the regional structural unit the Dinaricum onto the Epiadriaticum (HERAK, 1991). Behind the crest of the nappe, the concordant succession and the monocline bed inclination towards NE, distinguish the structural unit Hutovo-Slano-Brgat (PRELOGOVIĆ et al., 1994). The Ombla catchment basin is situated within this unit. The major feature of the unit is faulting. Besides the major role of the series of reverse faults, which determine the individual structures, of prime importance are transcurrent faults with dextral tectonic displacement towards the SE along the fault zones of the Slivnički fault and Zubački fault and the relatively wide fault zone striking NE-SW along the line Hum-Omba (Fig. 3). Sinistral tectonic transport of the zone is evident. The fault zone Hum-Omba consists of several parallel faults and their branches with a general strike direction 50-230° and a steep to opposite (antitectonic) fault plane dip angles from 70-85°. It cuts through the reverse faults and reaches the crest of the Dinaricum nappe. This type of tectonic kinematics, together with the favourable orientation in regard to the regional stress (12-92° direction) and the prevailing sinistral tectonic dislocation, permitted the continuous extension of the Hum-Omba fault zone, the contraction and subsidence of individual segments along the series of faults with antitectonic inclination thus forming an extensional duplex structure (DAVIS, 1984).

- HERAK, M. (1991): Dinaridi i mobilistički osvrt na genezu i strukturu.- *Acta geologica*, 21/2, 35-117, Zagreb.
- JOVIĆ, V. (1997): HE Ombla, numerički model ponašanja podzemne akumulacije u prirodnim i projektom definiranim uvjetima.- *Fond struč. dok. Aquarius Engineering*, Split.
- KRAŠOVAC, M. (1985): Speleoroničko istraživanje Rijeke Dubrovačke - Omble.- *Fond struč. dok. Geološkog zavoda*, Ljubljana.
- KRAŠOVAC, M. (1989): Elaborat o hidrogeološkim istraživanjima zaleđa izvora Ombla kod Dubrovnika.- *Fond struč. dok. Geološkog zavoda*, Ljubljana.
- MARKOVIĆ, B. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100.000. List Dubrovnik K34-49.- *Zavod za geol. geofiz. istraž.* Beograd (1966), Sav. geol. zavod Beograd.
- MARKOVIĆ, B. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100.000. Tumač za list Dubrovnik K34-49.- *Zavod za geol. geofiz. istraž.* Beograd (1966), Sav. geol. zavod Beograd, 43 str.
- MILANOVIĆ, P. (1977): Hidrogeologija karsne izdani Ombla.- *Geološki glasnik*, 22, Sarajevo.
- MILANOVIĆ, P. (1989): HE Ombla, idejni projekt, geološki elaborat. Knjiga I-V.- *Fond struč. dok. Energoprojekt*, Beograd.
- PAVIŠA, T. (1993): Analiza ponašanja podzemne akumulacije Ombla u prirodnim uvjetima.- *Fond struč. dok. Elektroprivrede Hrvatske*, Dubrovnik.
- PAVIŠA, T. (1998): Podzemna akumulacija u krškom terenu.- *Hrvatske vode*, 66, 14-25, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E. & BULJAN, R. (1995): HE Ombla, lokacija pregrade i objekata, strukturni model.- *Fond struč. dok. Instituta za geol. istraž.*, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E., BULJAN, R. & FRITZ, F. (1994): HE Ombla, strukturna istraživanja.- *Fond struč. dok. Instituta za geol. istraž.*, Zagreb.
- RENIĆ, A. (1993): HE Ombla, geološka odredba jezgre istražne bušotine OF-1 i ocjena vodopropusnosti flišne barijere u području izvora Ombla.- *Fond struč. dok. Instituta za geol. istraž.*, Zagreb.
- SEVER, Z. (1998): HE Ombla, idejni projekt.- *Fond struč. dok. Hrvatske elektroprivrede, Elektroprojekt*, Zagreb.
- ŽUGAJ, R. & BONACCI, O. (1994): HE Ombla, hidrološka obrada.- *Fond struč. dok. Hrvatske elektroprivrede*, Zagreb.

Postaja 3: Most preko Rijeke Dubrovačke

Stop 3: The bridge over the Rijeka Dubrovačka

Vladimir JURAK & Slobodan ŠESTANOVIĆ

Abstract

The bridge over the Rijeka Dubrovačka is designed as a suspension bridge with 141.50 m high pylon as the main support. The total length of the bridge complete with the abutments is 518.23 m, total width between the cornices is 12.60 m while the height from the sea level to the bottom of the supporting structure is 50.0 m at the midspan.

The location of the bridge over Rijeka Dubrovačka and the access road on its west side is built of carbonate rocks. The following rocks have been determined: Senonian rocks (K_2^3) consisting of stratified limestones and massive dolomites on the west side of the bridge; on the east side of the bridge the upper part of Senonian (Maastrichtian) has been determined and is represented by: massive dolomites (K_2^3), massive limestones and dolomites in alternation (K_2^3), massive limestones with rudists (K_2^3) and platy limestones and dolomites in alternation (K_2^3). The Palaeocene-Eocene rocks (Pc, E) contain kozina, miliolidic, alveolinid and nummulitic limestones (Fig. 8).

The investigated area belongs to a regional structural (morphostructural) unit of the Adriatic. According to recent findings, interlayer faults and tectonic narrowing of the area, represented by an overturned fold, can be interpreted as the consequence of stress during the subduction of Adriatic micro-plate under the Dinaric.

If GSI is applied for the engineering-geological classification of the rock mass for foundation purposes, the following can be concluded: the fault zone and the surface zone (weathered surface, in places up to 4.50 m thick) have GSI from 20 to 40 and are therefore classified as the rock mass of poor quality. Platy limestones and dolomites in alternation (K_2^3) have GSI between 40 and 60 and are classified as rock mass of fair quality. Limestones with rudists (K_2^3), layered limestones and massive dolomites (K_2^3) and Palaeocene-Eocene limestones (Pc, E) have GSI between 60 and 80 (good quality).

The area of Dubrovnik is located in a zone for which, with 63% probability, the maximum earthquake intensity of 9 grades of MCS scale is expected in a recurrent period of 500 years. For seismic calculation of the bridge structure, the maximum average acceleration of 0.35 g for the east bank and 0.38 g for the west bank are adopted.

According to the study conducted by Hydrometeorological Institute, expected maximum velocities of bura (north-eastern wind), north-western wind and sirocco are 50 m/s, 38 m/s and 33 m/s, respectively.

Most preko Rijeke Dubrovačke skraćuje cestovnu vezu Dubrovnika sa Splitom i južnim područjima za više od 10 km. S istočne strane (dubrovačke) most se veže na postojeću Jadransku turističku cestu (JTC) na koti oko 51 m n.m., a na zapadnoj strani (splitskoj) je za povezivanje s JTC izgrađeno oko 800 m pristupne ceste s jednim vijaduktom duljine oko 100 m i jednim zasjekom visine oko 15 m. Most je koncipiran kao viseća konstrukcija kojoj je glavni oslonac pylon, visine 141,50 m. Ukupna duljina mosta s krilima upornjaka iznosi 518,23 m, ukupna širina između vijenaca 12,60 m, a visina od razine mora do donjeg ruba nosive konstrukcije iznosi u sredini 50,30 m (ŠAVOR, 1999).

Područje na kojemu će se izgraditi most preko Rijeke Dubrovačke i pristupna cesta sa zapadne strane u cijelosti izgrađuju karbonatne naslage. Inženjerskogeološka istraživanja za potrebe temeljenja pilona na istočnoj strani te stupa mosta i pristupne ceste na zapadnoj strani obavila je ekipa Fakulteta građevinskih znanosti Sveučilišta u Splitu (ČAGALJ & ŠESTANOVIĆ, 1980; ČAGALJ et al., 1984; ŠESTANOVIĆ et al., 1984). Nakon toga je geotehnička istraživanja obavio tadašnji OOUR Fakultet građevinskih znanosti Sveučilišta u Zagrebu (JAŠAREVIĆ, 1988). Prema MARKOVIĆ (1971, 1975), NATEVIĆ & PETROVIĆ (1963) i NATEVIĆ (1965) najstarije naslage su senonske (K_2^3), a potom slijede paleocensko-eocenske naslage (Pc, E), kao što je prikazano na sl. 8 (JURAK et al., 1989).

Na zapadnoj strani senonske su naslage neraščlanjene (K_2^3), a zastupljene su slojevitim vapnencima i masivnim dolomitima, dok je na istočnoj strani raščlanjen najgornji dio senona (mastiht). Tu su izdvojeni masivni i bankoviti dolomiti ($^1K_2^3$), bankoviti vapnenci i dolomiti u izmjeni ($^2K_2^3$), bankoviti vapnenci s rudistima ($^3K_2^3$) i pločasti vapnenci i dolomiti u izmjeni ($^4K_2^3$). Paleocensko-eocenskim naslagama (Pc, E) pripadaju kozinski, miliolidni, alveolinski i numulitni vapnenci.

Istraženo područje pripada regionalnoj strukturnoj (morfostrukturnoj) jedinici Adriatik (HERAK, 1995). Međuslojni rasjedi i tektonsko suženje prostora, predstavljeno prebačenom borom, mogu se, u skladu s novijim spoznajama, interpretirati kao rezultat tlakova nastalih podvlačenjem Jadranske mikroploče pod Dinarik, analogno interpretaciji PRELOGOVIĆA et al. (1999) za sličnu situaciju na širem području Splita.

Pylon mosta je predviđen na istočnoj strani, u intenzivno razlomljenoj zoni pločastih vapnenaca i dolomita u izmjeni ($^4K_2^3$; sl. 9). Terenski istraživački radovi u tom dijelu obuhvatili su istraživačko bušenje s determinacijom jezgre, određivanje RQD indeksa, određivanje stišljivosti presiometrom, određivanje vodopropusnosti metodom Lugeona i geofizička istraživanja, a u laboratoriju su obavljena sva potrebna ispitivanja koja su, s podacima prikupljenim na terenu, poslužila za nelinearni izračun kod analize temeljenja pilona (JAŠAREVIĆ & MATASOVIĆ, 1989). JURAK et al. (1989) su, na osnovi podataka terenskih i laboratorijskih istraživanja

u široj zoni temeljenja pilona, a uvažavajući teksturne značajke stijenske mase, izdvojili tri geotehničke cjeline i rasjednu zonu (prva cjelina obuhvaća relativno kompaktnu stijensku masu ($^3K_2^3$), druga manje kompaktnu masu ($^4K_2^3$), a treća koru raspadanja). Rasjedna zona u pojedinim elementima prema značajkama izjednačuje se s korom raspadanja. Koristeći RMR razredbu (BIENIAWSKI, 1976), prva cjelina je svrstana u III. kategoriju, druga u IV., a treća i rasjedna zona u V. Analizom rezultata inženjerskogeoloških, geofizičkih i laboratorijskih istraživanja na zapadnoj strani, u slojevitim vapnencima i masivnim dolomitima (K_2^3), stijenska masa prema RMR razredbi pripada III. kategoriji.

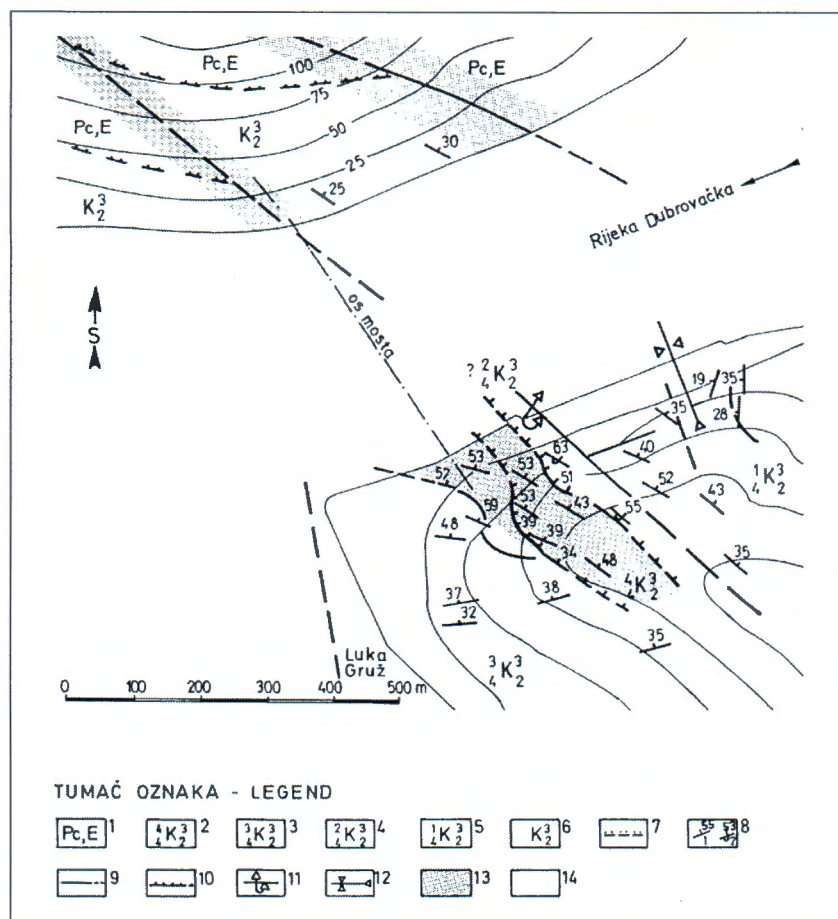
Ako za inženjerskogeološku razredbu stijenske mase sa stajališta temeljenja primijenimo GSI (geološki indeks čvrstoće) u skladu s preporukama (HOEK, 1995; HOEK et al., 1995, 1998; BRAUN, 1998), onda u području inženjerskogeološkog/geotehničkog modela slijedi: rasjedna zona i površinski dio naslaga (kora raspadanja, mjestimično debela i do 4,50 m), imaju GSI od 20 do 40 i stoga ih svrstavamo u grupu slabih stijenskih masa, pločasti vapnenci i dolomiti u izmjeni ($^4K_2^3$) izvan rasjedne zone imaju GSI između 40 i 60 i svrstavamo ih u kategoriju povoljnih stijenskih masa. Masivni i bankoviti dolomiti ($^1K_2^3$), bankoviti vapnenci i dolomiti u izmjeni ($^2K_2^3$), bankoviti vapnenci s rudistima ($^3K_2^3$), slojeviti vapnenci i masivni dolomiti (K_2^3) te Pc, E vapnenci imaju GSI između 60 i 80 (dobre stijenske mase). U zoni rasjeda na zapadnoj strani, vapnenci i masivni dolomiti na lokaciji stupa (K_2^3), imaju GSI između 20 i 40 (loše stijenske mase) (sl. 9 i 10, tablica 1).

Zbog loših fizičko-mehaničkih značajki stijena u rasjednoj zoni na istočnoj strani, na lokaciji upornjaka u koji je upet rasponski sklop te na lokaciji stupa na prilaznom dijelu mosta na zapadnoj strani, koji se također nalazi u rasjednoj zoni, temeljenje je u oba slučaja izvedeno na 40 pilota dubokih 12 m, promjera 120 cm (ŠAVOR, 1999).

Glede kategorizacije prema stupnju stabilnosti (VULIĆ, 1994), lokacije na kojima je predviđeno temeljenje pilona i upornjaka na istočnoj strani te stupa na zapadnoj strani, obje u zonama rasjeda, pripadaju uvjetno stabilnim terenima. Naime, u prirodnim uvjetima padine su stabilne, a kod zasijecanja je moguća pojava odronjavanja i klizanja dijelova stijenske mase po diskontinuitetima. Tereni izvan rasjednih zona uglavnom su stabilni.

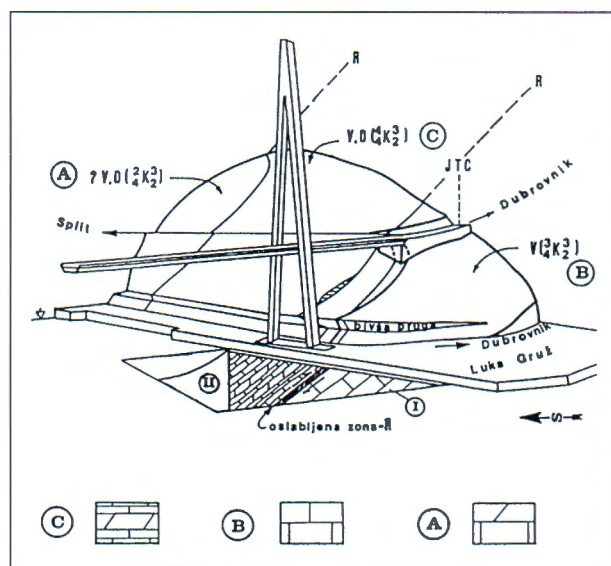
Područje Dubrovnika se nalazi u zoni za koju se, uz 63% vjerojatnosti, očekuje maksimalni intenzitet potresa 9° MCS ljestvice u povratnom periodu 500 godina (JORGIC et al., 1987). Za seizmički proračun konstrukcije mosta usvojeno je najveće prosječno ubrzanje 0,35 g za istočnu obalu i 0,38 g za zapadnu obalu (ŠAVOR, 1999).

Prema studiji Hidrometeorološkog zavoda, na području mosta očekuju se najveći udari bure brzine 50 m/s, sjeverozapadnog vjetrova 38 m/s i juga 33 m/s.



Sl. 8 Shematizirana inženjerskogeološka karta (geologija iz JURAK et al., 1989). Tumač oznaka: 1) kozinski, miliolidni, alveolinski i numulitni vapnenci; 2) pločasti vapnenci i dolomiti u izmjeni; 3) bankoviti vapnenci s rudistima; 4) bankoviti vapnenci i dolomiti u izmjeni; 5) masivni i bankoviti dolomiti; 6) slojeviti vapnenci i masivni dolomiti; 7) tektonsko-erozijska granica; 8) položaj sloja (1 - normalan, 2 - prebačen); 9) rasjed; 10) reversni rasjed; 11) prebačena antiklinala; 12) dio brahisinklinala; 13) geološki indeks čvrstoće GSI = 20-40 (slabo - rasjedna zona); 14) geološki indeks čvrstoće GSI = 60-80 (dobro).

Fig. 8 Schematic engineering-geological map (geology from JURAK et al., 1989). Legend: 1) kosina, miliolidic, alveolitic and nummulitic limestones; 2) platy limestones and dolomites in alternation; 3) massive limestones with rudists; 4) massive limestones and dolomites in alternation; 5) massive dolomites; 6) stratified limestones and massive dolomites; 7) geological boundary - transgressive; 8) dip of bed (1 - normal, 2 - overturned); 9) fault; 10) reverse fault; 11) overturned anticline; 12) part of brachysyncline; 14) Geological Strength Index 20-40 (poor: fault zones); 15) Geological Strength Index 60-80 (good).

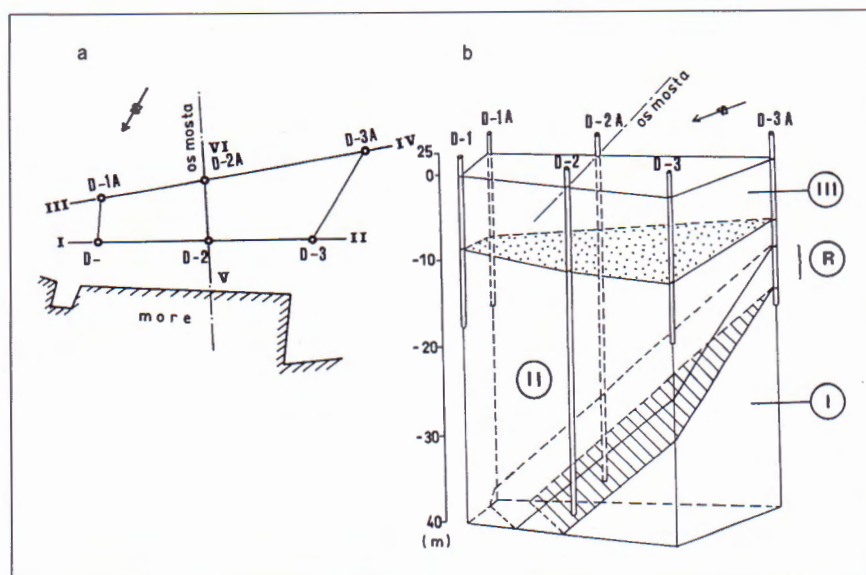


Sl. 9 Geološka građa područja budućeg mosta i oslanjanje mosta preko pilona na geološki sklop. Kvazihomogeni blokovi: C - pločasti vapnenci u izmjeni s bankovitim dolomitima, slojne plohe mehanički aktivne (smicanje), stijena visokog stupnja "izdijeljenosti", drobinska i sitnoblokovska raspucanost; B - bankoviti do masivni vapnenci, uočljiva subortogonalnost u mreži diskontinuiteta, krupnoblokovska do sitnoblokovska raspucanost; A - bankoviti vapnenci i dolomiti u izmjeni (? vjerojatna pripadnost članu $2K_2^3$), krupnoblokovska do sitnoblokovska raspucanost.

Fig. 9 The geology in the vicinity of the bridge and the bridge pylon support in regard to the geological structure. Quasi-homogenous blocks: C - platy limestones and dolomites in alternation, bedding planes are mechanically active, disrupted and fine-block fissuring; B - massive limestone, visible sub-orthogonal discontinuity network, coarse to fine-block fissuring; A - massive limestones and dolomites in alternation (? probably a part of the $2K_2^3$ unit), coarse to fine-block fissuring.

Literatura - References

- BIENIAWSKI, Z.T. (1976): Rock mass classification in rock engineering.- U: BIENIAWSKI, Z.T. (ur.): Proceedings of the Symposium, 1, 97-106, Balkema, Cape Town.
- BRAUN, K. (1998): Legenda za izradu osnovne inženjerskogeološke karte Republike Hrvatske mjerila 1:100.000.- Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 35 str.
- ČAGALJ, M. & ŠESTANOVIĆ, S. (1980): Geotehnički istražni radovi za most preko Rijeka Dubrovačke.- Fond stručne dokumentacije IGH, PC Spliti.
- ČAGALJ, M., ŠESTANOVIĆ, S., BOŠNJAK, D. & SAMARDŽIJA, I. (1984): Izvještaj o geotehničkim istražnim radovima na širem dijelu trase pristupnih cesta za most preko



Sl. 10 Inženjerskogeološki/geotehnički model na mjestu temeljenja pilona; a - tlocrt, b - blok dijagram. I - zbog teksturnog obilježja relativno kompaktnija stijenska masa; II - zbog teksturnog obilježja manje kompaktna stijenska masa; III - zona raspadanja; R - rasjedna zona, međuslojnog rasjeda sa zdrobljenom stijenom.

Fig. 10 The engineering geological and geotechnical model at the position of the pylon foundation; a - orthogonal projection; b - block diagram. I - textural features indicate a relatively more compact rock mass; II - textural features indicate a less compact rock mass; III - weathering zone; R - fault zone, inter-layer fault with crushed rock.

Inženjerskogeološki element	Usvojene brzine elastičnih valova (m/s) V_p V_s		Geološki indeks čvrstoće (GSI)	Geotehnička sredina
Zona raspadanja	2800	1350	20 - 40	III
Zbog teksturnog obilježja manje kompaktna stijenska masa	4000	1750	40 - 60	II
Zbog teksturnog obilježja relativno kompaktnija stijenska masa	4700	2000	60 - 80	I
Rasjedna zona međuslojnog rasjeda sa zdrobljenom stijenom	2900	1400	20 - 40	R

Tablica 1 Geotehničke sredine inženjerskogeološkog/geotehničkog modela.

Table 1 The geotechnical conditions of the engineering geological and geotechnical model.

- ko Rijeke Dubrovačke.- Fond stručne dokumentacije IGH, PC Split.
- HERAK, M. (1995): Konceptijski doseg geologije Hrvatske.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija, Zbornik radova, 1, 25-33, Zagreb.
- HOEK, E. (1995): Strength of rock and rock masses.- News Journal ISRM, 2/2, 4-16, Lisboa.
- HOEK, E., KAISER, P.K. & BAWDEN, W.F. (1995): Support of underground excavations in hard rock.- Balkema, Rotterdam/Brookfield, 215 str.
- HOEK, E., MARINOS, P. & BENISSI, M. (1998): Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation.- Bull. of Engineering Geology and the Environment, 57, 2.
- JASAREVIĆ, I. (1988): Geotehnički elaborat, knj. I. Most preko Rijeke dubrovačke.- Fond stručne dokumentacije IGH, Zagreb.
- JASAREVIĆ, I. & MATASOVIĆ, N. (1989): Procjena geotehničkih parametara stijenskog masiva za potrebe numeričkih simulacija temeljenja.- Zbornik VII. jug. simp. za meh. stij. i podz. rad., 271-275, Beograd.
- JORGIĆ, M., ŠUPIĆ, V., KUK, V., HADŽIJEVSKI, D., PEKEVSKI, V., RIBARIĆ, V. & VUKAŠINOVIĆ, M. (1987): Seizmološke karte SFRJ mjerila 1:1.000.000 za povratne periode uz 63% vjerojatnoće.- Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.
- JURAK, V., NOVOSEL, T., MITROVIĆ, G. & KRSNIK, M. (1989): Ocjena kvalitete stijenske mase za potrebe temeljenja mosta preko Rijeke Dubrovačke.- Zbornik VII. jug. simp. za meh. stij. i podz. rad., 33-38, Beograd.
- MARKOVIĆ, B. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Dubrovnik K34-49.- Zavod za geol. geofiz. istraž. Beograd, Sav. geol. zavod Beograd.
- MARKOVIĆ, B. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Dubrovnik K34-49.- Zavod za geol. geofiz. istraž. Beograd, Sav. geol. zavod Beograd, 43 str.
- NATEVIĆ, LJ. (1965): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Trebinje K34-47.- Institut za geološka istraživanja, Sarajevo, Sav. geol. zavod Beograd, 46 str.
- NATEVIĆ, LJ. & PETROVIĆ, V. (1963): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Trebinje K34-47.- Institut za

geološka istraživanja, Sarajevo, Sav. geol. zavod Beograd.

PRELOGOVIĆ, E., KUK, V., MARIĆ, K. & SKOKO, D. (1999): Sustav odvodnje otpadnih voda Split/Solin. Seizmološka i seizmotektonska istraživanja.- Fond stručne dokumentacije RGNF Zagreb i PMF Zagreb, Zagreb.

ŠAVOR, Z. (1999): Most preko Rijeke Dubrovačke.- Ceste i mostovi, 45/3-4, 69-74, Zagreb.

ŠESTANOVIĆ, S., ČAGALJ, M., BOŠNJAK, D., JAKOV-LJEVIĆ, S. & SAMARDŽIJA, I. (1984): Inženjerskogeološka i geofizička istraživanja područja uz trasu pristupnih cesta za most preko Rijeke Dubrovačke.- Zbornik VIII. jug. simp. o HG i IG, 2, 369-375, Budva.

VULIĆ, Ž. (1994): Upute za izradu Osnovne inženjerskogeološke karte Republike Hrvatske, mjerilo 1:100.000.- Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 65 str.

Postaja 4: Izvorište Robinson (Duboka Ljuta)

Stop 4: The Robinson spring (Duboka Ljuta)

Renato BULJAN & Tamara MARKOVIĆ

Abstract

The Robinson spring is a typical upward karst spring that occurred on the tectonic boundary between permeable carbonate rocks overthrust onto impermeable flysch rocks (Fig. 11). On the location of discharge this contact is deeply eroded and submerged below the sea. The marine influence is higher during the dry season, and in these conditions the fragile relationship between fresh and seawater is emphasized, making it the major problem of the spring. A major problem is the lower yield as a consequence of the hydrotechnical interventions performed within the influent channel of the Dubrovnik hydroelectric plant at Plato. This will cause the rise of chloride concentrations at the present rate of exploitation. The plan for the reconstruction of the Robinson water exploitation facility includes the construction of a grout curtain, the purpose of which is to prevent further salination of fresh water and to create fresh backwater in the hinterland.

Izvorište Robinson u Dubokoj Ljutoj kraj Plata (sl. 11) je tipično uzlazno krško izvorište nastalo na tektonskom kontaktu dobro vodopropusnih karbonatnih naslaga navučenih na kompleks eocenskih flišnih naslaga (BOJANIĆ & IVIČIĆ, 1984). Izvorište je stalno i kaptirano, a voda se koristi za vodoopskrbu priobalja od Kupara do Čilipa. Minimalna količina vode koja istječe na izvorištu je 165,6 l/s, a maksimalna cca 2 m³/s. Temperatura vode je 13°C. Poslije naglih kiša voda se zamuti, no mutnoća ubrzo nestaje.

Slijevno područje izvorišta Robinson izgrađeno je od karbonatnih naslaga trijasa, jure i krede (MARKOVIĆ, 1971, 1975). Zalede izvorišta tvore gornjotrijaski dolomiti koji mjestimice prelaze u dolomitične vapnenice. Njihova debljina procijenjena je na 300 m. Pravu debljinu je teško odrediti, jer je zbog navlačne tektonike reducirana i erodiran dio naslaga. Dalje u normalnom slijedu taložene su vapnenačke naslage jure i krede. Generalni smjer nagiba karbonatnih naslaga je 40-50°, prema sjeveroistoku, pod kutevima nagiba 25-35°. Dominantni sustavi pukotina i rasjeda zaleđa izvorišta Robinson jesu 105-295° (sustav paralelan s klivažem aksijalne ravnine strukture) i 25-205° (sustav okomit na strukturu os "b").

Slijevno područje izvorišta Robinson ograničeno je prema sjeverozapadu razvodnicom prema slijevu izvorišta Ombla. To je dijelom zonarna razvodnica, uvjetovana razinom vode u podzemlju, a dijelom linijska duž Slivničkog rasjeda koji ima značajnu hidrogeološku

ulogu, jer drenira vode iz zaleđa i prihranjuje izvorišno područje. Sa sjeveroistočne strane slijev Robinsona je ograničen razvodnicom postavljenom neposredno jugoistočno od izvora, a vezana je na orografske značajke terena i položaj zona dolomita.

Najznačajniji hidrogeološki problem izvorišta Robinson je duboko erodiran i morem potopljen kontakt vodopropusnih i vodonepropusnih naslaga na mjestu izviranja. Zbog toga izvorište je pod direktnim utjecajem mora, koji se bitno povećava u sušnim razdobljima, posebice ljetnim, kada se značajno smanji pritisak slatke vode iz karbonatnog podzemlja.

Tijekom kvartara je razina mora bila za stotinjak metara niža od današnje, što je pogodovalo da erozijski procesi u zoni izvorišta do znatne dubine devastiraju flišnu barijeru i stvore duboko usiječeno korito vodotoka. Dizanje razine mora nakon zadnje oledbe u kvartaru potopilo je to korito, a time i kontakt vodopropusnih i vodonepropusnih naslaga. Na taj način je more došlo u direktan kontakt s okršanim karbonatnim vodonosnikom. Morska voda kao specifički teža od slatke podzemne vode već je u vrijeme dizanja razine mora prodrla u kopneni dio krškog vodonosnika. U takvim uvjetima do punog izražaja je došao labilni odnos slatke i slane vode i to je danas glavni problem ovog izvorišta.

Značajan problem je i količina istjecanja slatke vode na izvorištu, koja je promjenjiva ovisno o hidrološkim uvjetima, ali i zbog hidrotehničkih zahvata provedenih unutar slijeva Robinsona. Tijekom sušnih razdoblja bit-



Sl. 11 Kaptažni objekt Robinzon.

Fig. 11 The abstraction structure Robinzon.

no se smanjuje dotok slatke vode i raste utjecaj mora, koji se manifestira povišenjem saliniteta izvorske vode. To je problem još od vremena početka korištenja izvorišta za vodoopskrbu Cavtata. Dovodni tunel hidroelektrane Dubrovnik u Platu, odnosno gubici vode iz tunela duljine 16.600 m između akumulacije Trebinje (brana Gorica) i Plata, znatno su poboljšali situaciju na izvorištu povećanjem količine izviranja slatke vode, pa je i crpilište lakše pokrivalo rastuće potrebe Cavtatskog područja. Međutim, sanacija dovodnog tunela, započeta 1998. godine, ponovno vraća izvorište u prirodno stanje, što znatno smanjuje dotoke slatke vode, a potrebe za vodoopskrbom se stalno povećavaju.

Za rješenje naznačene problematike neophodno je krenuti s projektom sanacije vodocrpilišta Robinzon, jer će dosadašnja količina crpljenja sigurno izazvati povećanje sadržaja klorida, a to znači nedovoljnu količinu pitke vode za važno turističko područje Cavtata. U projektu sanacije crpilišta važno je polučiti spoznaje o dinamičkim uvjetima izvorišta - zonu kontakta (dinamičkom ravnoteži) slatke i slane vode i definirati geometriju sustava - dubinu erodiranog kontakta vodopropusnih i vodonepropusnih naslaga. Graditeljskim objektom, izvedbom injekcijske zavjese, nastojat će se spriječiti prodor mora u zalede. Pri tom je važno da injekcijska zavjesa bude dovoljno duboka i da cjelovito brtvi u kontaktu s propusnim naslagama na bokovima, što treba spriječiti dopunjavanje zaslanjenog dijela okruženog karbonatnog vodonosnika morem ili lateralni upliv morske vode u zonu izviranja.

Literatura - References

- BOJANIĆ, L. & IVIČIĆ, D. (1984): Hidrogeološka studija područja Metković - Dubrovnik - Konavle.- Fond struč. dok. Instituta za geol. istraž., Zagreb.
- MARKOVIĆ, B. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100.000. List Dubrovnik K34-49.- Zav. za geol. geofiz. istraž. Beograd, Sav. geol. zavod Beograd.
- MARKOVIĆ, B. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100.000. Tumač za list Dubrovnik K34-49.- Zav. za geol. geofiz. istraž. Beograd, Sav. geol. zavod Beograd, 43 str.

Postaja 5: Izvorište Konavoska Ljuta

Stop 5: The Konavoska Ljuta spring

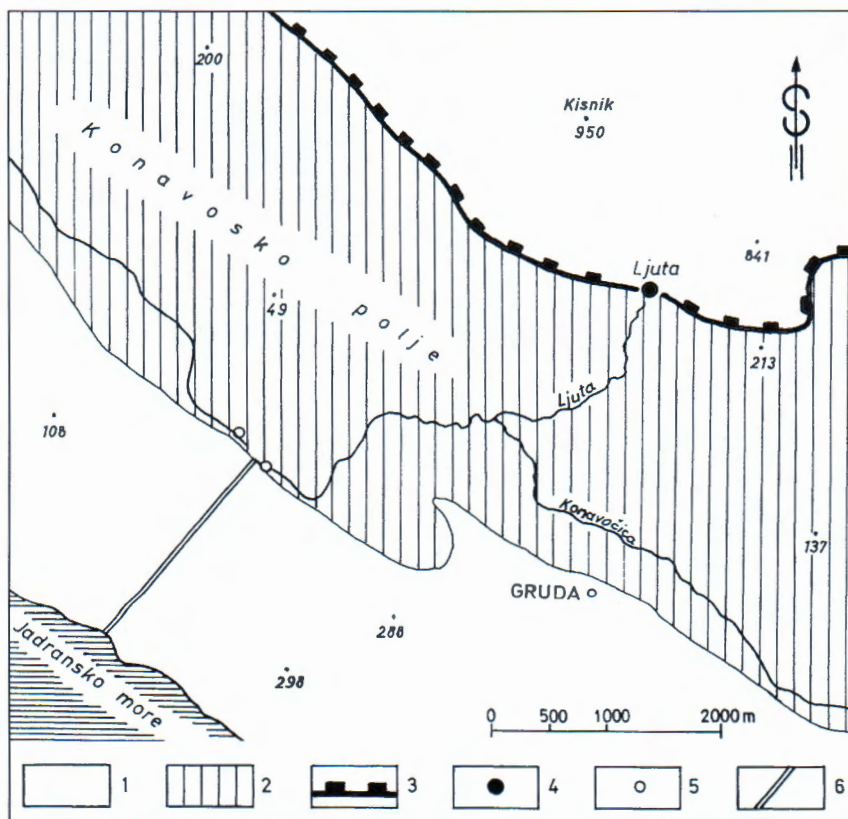
Renato BULJAN & Darko IVIČIĆ

Abstract

The Konavoska Ljuta is the most important spring area in the Konavle region, and it occurs at the boundary between carbonate rocks and clastic flysch rocks. The water is discharged in a diffuse manner from massive thick-bedded upper Triassic dolomites that are a part of the crest of nappe up to 500 m high. The catchment of the Konavoska Ljuta has a fan like geometry, which embodies the carbonate terrain of the Dinaricum and covers an area of 90 km². The lateral divide cone depressions with the Ljuta located at the lowest elevation point of the thrust boundary between the permeable and impermeable rocks causes the water from the catchment to be discharged at this point. During normal hydrological conditions 500-600 l/s of water is discharged during the minimum and during high waters discharge is 5-6 m³/s. The spring is used for the water supply to Grude and surrounding settlements.

Konavoska Ljuta je najveće i najznačajnije izvorište područja Konavala. Nalazi se na SI rubu istoimenog polja, kod sela Ljuta i zaseoka Arbanasi (sl. 12). To je krško izvorište nastalo na tektonskom kontaktu debelog karbonatnog kompleksa naslaga navučenog na klastične naslage fliša (BOJANIĆ & IVIČIĆ, 1984). Ljuta izvire

na 110 m n.m. kao preljevno, uzlazno izvorište u polukružnoj ljevkastoj zoni izviranja u čijem je zaleđu strmac čela navlake karbonatnog kompleksa naslaga predstavljen gornjotrijaskim dolomitima. Dolomiti su pretežno masivni do debeloslojeviti, rijetko dobroslojeviti i čine monoklinalnu strukturu sa smjerom nagiba prema



Sl. 12 Hidrogeološka skica područja Konavoskog polja: 1) dobro do srednje vodopropusne karbonatne naslage (T_3 , $J_{1,2}$); izmjena vapnenaca i dolomita; 2) slabo vodopropusne naslage fliša ($E_{2,3}$); lapori, pješčenjaci, siltiti i vapnenci; 3) navlaka karbonatnog kompleksa naslaga; 4) izvorište Ljuta; 5) ponor; 6) odvodni tunel.

Fig. 12 The simplified hydrogeological map of Konavosko polje: 1) well to intermediate permeable carbonate rocks (T_3 , $J_{1,2}$); alternation of limestone and dolomite; 2) low permeable flysch deposits ($E_{2,3}$); marls, sandstone, siltite and limestone; 3) carbonate rock complex thrust; 4) Ljuta spring area; 5) ponor; 6) effluent tunnel.

SI, pod kutom od 40 do 50° (MARKOVIĆ, 1971, 1975). Strmac čela navlake doseže visinu do 500 m, a u njegovom području postoji čitav niz poprečnih i dijagonalnih rasjeda različitih obilježja. Poseban značaj ima Zubački rasjed, s desnim subhorizontalnim pomakom, koji se pruža od poluotoka Molunat na razini mora, preko Graba, prema Bileći. U zaleđu strmaca, sve do sjeverne granice slijeva Ljute, konkordantno se nalaze monoklinalno položene karbonatne naslage jurske i kredne starosti, pretežito zastupljene vapnencima, a mjestimice vapnencima u izmjeni s dolomitima. Podinu navlake karbonatnog kompleksa naslaga čine eocenske klastične flišne naslage zastupljene laporima, pješčenjacima, siltitima i laporovitim vapnencima. Debljina im nije utvrđena, ali se pretpostavlja da je značajna, jer su zbog navlačne tektonike izoklinalno borane. Analogno flišnom pojasu koji se pruža od Slanog sve do Bokotorskog zaljeva, za očekivati je da predstavljaju potpunu hidrogeološku barijeru tečenju vode iz karbonatnog zaleđa.

Slijev Konavoske Ljute prostorno zauzima površinu od približno 90 km². Lepezasto obuhvaća široki karbonatni prostor dijela navlake Dinarika u zaleđu izvorišta. Razvodnica s južne strane, prema Konavoskom polju, prati najviše vrhove karbonatnih naslaga i odgovara orografskoj razvodnici, a ljevasto se spušta prema hipsometrijski najnižoj točki navlačnog kontakta vodopropusnih i vodonepropusnih naslaga. Takav strukturni položaj, s tektonski najniže spuštenim strukturnim blokom i uslijed toga najdublje erodiranom flišnom barijerom, uvjetovao je da na tom mjestu koncentrirano istječu sla-

tkе vode iz zaleđa. Sjeverna granica slijeva Ljute određena je na temelju podzemnog trasiranja iz ponora Bravenik, smještenog uz sjeveroistočni rub krškog polja Dubrava, u zoni Zubačkog rasjeda. Zapadna i istočna granica slijeva određene su, u nedostatku egzaktnijih podataka, na temelju strukturno-tektonskih i morfoloških odlika područja. Može se konstatirati da sve vode iz okršenog karbonatnog zaleđa SI dijela Konavoskog polja koncentrirano istječu na Ljutu. U vrijeme obilnijih kiša su Konavoska Ljuta i Rijeka Konavočica, zbog ograničenog kapaciteta ponora u dnu polja kojima se bujične vode dreniraju do mora, izazivale česte poplave. Probijanjem odvodnog hidrotehničkog tunela od polja do mora 1985. godine znatno je smanjeno razdoblje i površina plavljenja polja (GOATTI, 1987). U hidrološki uobičajenim uvjetima na izvorištu istječe kod malih voda oko 500-600 l/s, a kod velikih voda oko 5-6 m³/s. Prema raspoloživim podacima, ekstremna maksimalna protoka bila je 31 m³/s, a minimalna 78 l/s. Izvorište je kaptirano za potrebe mjesta Grude i sela Radovčić, a koristi se i za navodnjavanje. S obzirom na veliku slijevnu površinu koja se drenira na izvorištu Ljuta, uz izgradnju adekvatnog kaptaznog objekta, na ovom izvorištu bi se mogle zahvatiti, za ovo područje, značajne količine slatke podzemne vode.

Literatura - References

BOJANIĆ, L. & IVIČIĆ, D. (1984): Hidrogeološka studija područja Metković-Dubrovnik-Konavle.- Fond struč. dok. Instituta za geol. istraž., Zagreb.

GOATTI, V. (1987): Melioracijsko uređenje Konavoskog polja.- Fond struč. dok. Instituta za geol. istraž., Zagreb.

MARKOVIĆ, B. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100.000. List Dubrovnik K34-49.- Zav. za geol. geofiz. istraž. Beograd, Sav. geol. zavod Beograd.

MARKOVIĆ, B. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100.000. Tumač za list Dubrovnik K34-49.- Zav. za geol. geofiz. istraž. Beograd, Sav. geol. zavod Beograd, 43 str.

Ekskurzija B-5 - Excursion B-5

Otok Mljet - jurski i kredni platformni karbonati i recentni sedimenti

The Island of Mljet - Jurassic, Cretaceous and Recent Deposits

Otok Mljet - jurski i kredni platformni karbonati i recentni sedimenti

The Island of Mljet - Jurassic, Cretaceous and Recent Deposits

Ivo **VELIĆ**¹, Branko **SOKAČ**¹, Đuro **BENČEK**¹, Ladislav **FUČEK**¹, Antun **HUSINEC**¹,
Mladen **JURAČIĆ**², Dubravko **MATIČEC**¹, Nenad **OŠTRIĆ**¹ & Igor **VLAHOVIĆ**¹

Uvod

Otok Mljet pripada skupini južnojadranskih otoka, a pruža se približno usporedno s poluotokom Pelješcem od kojega je odvojen Mljetskim kanalom. Dugačak je 36 km, širok do 4,8 km, a ukupna mu je površina 100,4 km². Više od 70% površine zauzima šuma, pa je Mljet, uz Lastovo, najšumovitiji jadranski otok. Zbog svojih prirodnih ljepota njegov je zapadni dio, ukupne površine 3.100 ha ili 11,3% površine, 1960. godine proglašen nacionalnim parkom, unutar kojega se nalaze šume hrasta crnike (*Quercus ilex*) i alepskoga bora (*Pinus halepensis*) te dva slana "jezera" (Veliko i Malo jezero). Na krajnjem istočnom dijelu otoka na kvartarnim pijescima, raste park-šuma čempresa (*Cupressus sempervirens*) i pinija (*Pinus pinea*). Posebna prirodna osobitost Mljeta su njegove blatine i slatine, mjesta koja su za visokih voda poplavljena, a nakon povlačenja vode u zaostalim lokvama i kanalima talože se glinoviti materijali i prah. Među materijalnim ostacima iz rimskoga razdoblja najbolje je proučena Polača (lat. *palatium*), utvrđen ljetnikovac, primjerak veoma dobro očuvane antičke arhitekture (V. stoljeće). Na otočiću u Velikom jezeru nalazi se benediktinski samostan iz XII. stoljeća

s crkvom Sv. Marije. Ekskurzijske postaje 4, 5 i 6 nalaze se unutar područja nacionalnoga parka (sl. 1).

Podatke o geološkoj građi otoka Mljeta nalazimo na listovima Osnovne geološke karte (OGK) 1:100.000 Korčula (KOROLIJA et al., 1976) i Ston (KOROLIJA et al., 1982), tumaču za listove Lastovo, Korčula i Palaču (KOROLIJA et al., 1977), te u radovima VELIĆ et al. (1989) i GUŠIĆ et al. (1995). Prema podacima iz citiranih radova otok je izgrađen od gornjojurskih i donjokrednih do cenomanskih platformnih vapnenaca i dolomita. Taj je kontinuiran i neporemećen slijed naslaga pružanja ISI-ZJZ - usporedno s pružanjem otoka - nagnut prema sjeveroistoku. U hidrogeološkom, a i geomorfološkom pogledu, najznačajniji je debeli kompleks jursko-krednih dolomita koji je stiješnjen između vodopropusnijih gornjojurskih i donjokrednih vapnenaca. Te naslage imaju ulogu relativne hidrogeološke barijere, koja većinu površinskih voda koje poniru u vapnencima usmjeruje prema SI. Kvartarni sedimenti sastoje se od pleistocenskih pijesaka na JI dijelu otoka i holocenskih sedimenata u ponikvama i uvalama, od kojih su neke povremeno ili stalno poplavljene.

Postaja 1: Stratigrafski slijed alb-cenoman (Sobra)

Stop 1: Stratigraphic succession from the Albian to the Cenomanian (Sobra)

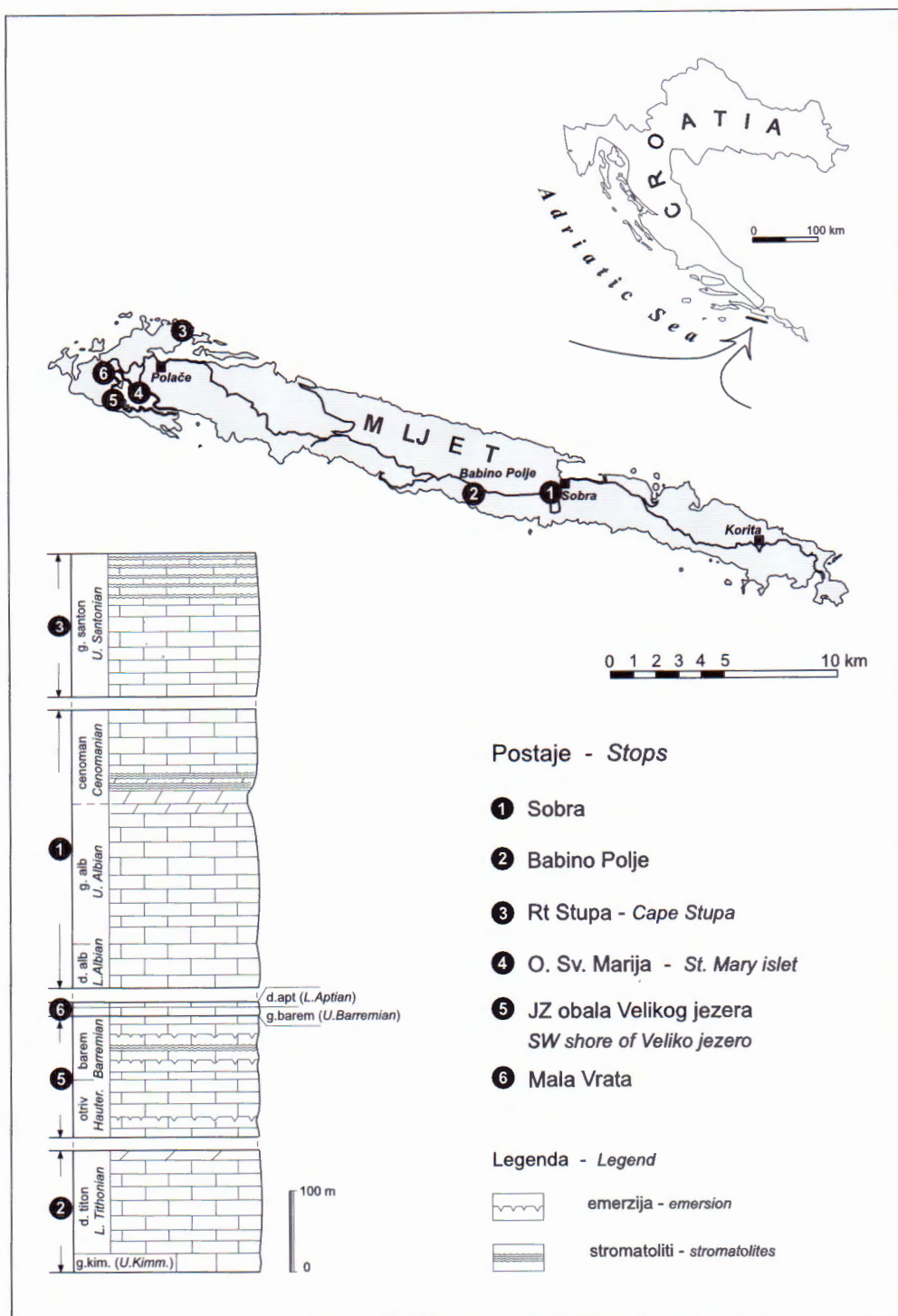
Abstract

This profile presents a 500 m thick succession of the Albian and Cenomanian shallow-water deposits, i.e. transition from the Early to Late Cretaceous (Fig. 2).

The Lower Albian deposits were formed in the protected shoal and lagoonal settings and are represented by predominantly micritic limestones with variable portions of calcareous mud, pellets, peloids, oncoids and skeletal grains (green algae, ostracods, gastropods and benthonic foraminifera). They are interbedded with thin layers of intraclastic-skeletal grainstones/rudstones (with sparse ooids) which were deposited in the shallow agitated water. There are no index fossils, except for the foraminifera *Pseudonummoloculina heimi* (BONET) and *Cuneolina pavonia* D'ORBIGNY which occur for the first time during the Early Albian.

¹ Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Zemljovidni položaj
ekskurzije s geološkim
stupom.

Fig. 1 Location map of the
excursion with geological
column.

The subsequent 210 m of the succession is characterized by mudstones and fenestral mudstones irregularly alternating with peloid wackestone-packstones and peloid-intraclastic-skeletal packstone-grainstones with bivalves (*Chama* sp.), benthonic foraminifera, gastropods and hydrozoans. Mudstones and peloid wackestone-packstones were formed in the low-energy subtidal environment, while peloid-intraclastic-skeletal packstone-grainstones (Fig. 4) deposited during periodical storms. Rather rare stromatolites are of peritidal origin. The primitive orbitolinids "*Valdanchella decourtii*" DECROUEZ & MOULLADE (Fig. 5) and *Neoragia insolita* (DECROUEZ & MOULLADE) (Fig. 6) in association with calcareous alga *Salpingoporella turgida* (RADOIČIĆ) clearly indicate the Late Albian age.

The Early to Late Cretaceous transition is marked by approximately 100 m thick sequence of well-bedded to massive late-diagenetic dolomites, sporadically containing relics of micritic limestones without fossil remains.

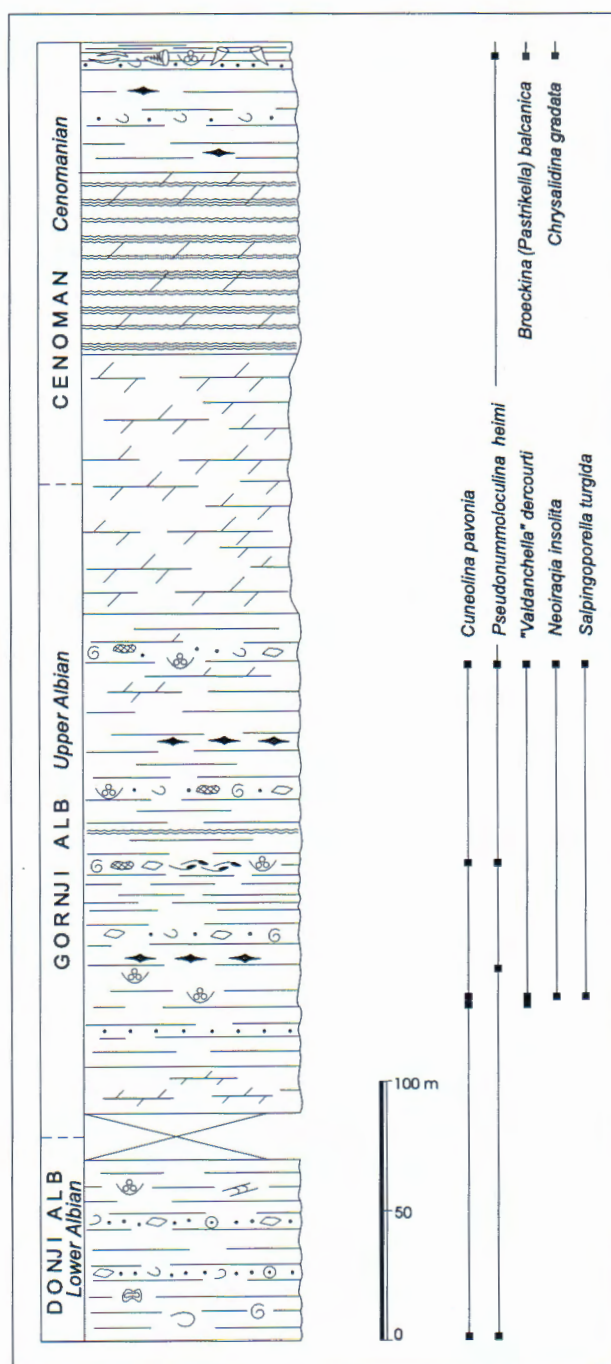
Dolomites are overlain by more than 125 m thick Cenomanian deposits. The basal 70 m is characterized by an irregular alternation of late-diagenetic dolomitised limestones (mostly stromatolitic with infrequently micritic laminae) and non-laminated micritic limestones. Deposition took place in the peritidal setting. The following 40 m, composed of an irregular alternation of

mudstones, fenestral mudstones and peloid-skeletal packstone-grainstones (Fig. 7), was formed in the shallow and protected environment. The rhythmic alternation of rudistid floatstone-rudstones with pachydont bivalves, horizontally laminated mudstones, intraclastic-peloid wackestones (Fig. 8) and skeletal-peloid packstone-grainstones characterizes the uppermost part of the succession. The Cenomanian age is implied by findings of foraminifera *Broeckina* (*Pastrikella*) *balcanica* CHERCHI et al. (Fig. 9) and *Chrysalidina gradata* d'ORBIGNY, which occur for the first time in the terminal part of the succession.

Puteljkom koji vodi od zadnjih kuća u sjevernom dijelu mjesta Sobra prema sjevernoj obali poluotoka s vrhom Veja gora, otkrivene su naslage stratigrafskog raspona gornji alb-cenoman, tj. prijelaz iz donje u gornju kredu, u debljini od oko 430 m (sl. 2). U podini tih naslaga stariji je dio alba predstavljen sa 70-ak metara vapnenaca istaloženih u zaštićenom plićaku i lagunarnom okolišu. Dominiraju mikritni vapnenci koji sadrže promjenljive udjele vapnenačkoga mulja, peleta, peloida, onkoida, te skelete zelenih alga, ostrakoda, gastropoda i bentosnih foraminifera. Unutar ovoga litofacijesa nalaze se tanji proslojci intraklastično-skeletnih grejnston/radstona koji rjeđe sadrže i ootide, a taloženi su u plićaku s pokretljivijom vodom. Donji je alb mikrofossilno izrazito siromašan, ne toliko učestalošću primjeraka koliko brojem zabilježenih vrsta. Orbitoline, kao ni druge provodne bentosne foraminifere, nisu utvrđene. Stoga je, pored superpozicije, za pouzdano utvrđivanje stratigrafskoga položaja važan nalaz vrsta *Pseudonummoculina heimi* (BONET) i *Cuneolina pavonia* D'ORBIGNY, koje se po prvi puta pojavljuju u donjoalbskom slijedu naslaga.

U sljedećih 210 metara slijeda obuhvaćenog ovom postajom prevladavaju madstoni i fenestralni madstoni koji se nalaze u nepravilnoj izmjeni s peloidnim vekston-pekstonima i peloidno-intraklastično-skeletnim pekston-grejnstonima sa školjkašima (*Chama* sp.), bentosnim foraminiferama, gastropodima, a rjeđe i bioklastima hidrozoja. Slojevi su srednje debeli do debeli (20-80 cm), a mjestimice su izražene laminirana i fenestralna građa, vrlo rijetko i stromatoliti. Udio kasnodijagenetskih dolomita raste idući u mlađe naslage. Madstoni i peloidni vekston-pekstoni istaloženi su u niskoenergijском subtajdalnom okolišu, a tijekom povremenih oluja taloženi su peloidno-intraklastično-skeletni pekston-grejnstoni (sl. 4), dok su vrlo rijetke stromatolitne lamine nastale u peritajdalnom okolišu. Opisane naslage vrlo su slične istodobnima iz susjednih područja Biokova (SOKAČ et al., 1978), dubrovačkoga zaleđa i otoka Korčule (VELIĆ et al., 1979; VELIĆ & SOKAČ, 1980). Njihovu starost dokazuju nalazi primitivnih orbitolinida "*Valdanchella*" *dercourtii* DECROUEZ & MOULLADE (sl. 5) i *Neoiraqia insolita* (DECROUEZ & MOULLADE) (sl. 6), koje su u području Dinarida tipične za naslage gornjega alba (VELIĆ et al., 1979; VELIĆ & SOKAČ, 1983; VELIĆ, 1988). U drugim područjima Sredozemlja njihov je stratigrafski raspon nešto veći, tako da u Apeninima one dosežu donji (CHIOCCINI et al., 1984), a u Helenidima (Argolidi) i srednji cenoman (DECROUEZ & MOULLADE, 1974). Osim navedenih vrsta determinirane su i druge bentosne foraminifere, prvenstveno ataksofragmiide i miliolide, šire-

ga stratigrafskog raspona. Od alga značajan je nalaz vrste *Salpingoporella turgida* (RADOIČIĆ). U krškom



Sl. 2 Geološki stup albsko-cenomanskih naslaga kod Sobra sa stratigrafskom distribucijom najznačajnijih vrsta. Za legendu vidi sl. 3.

Fig. 2 Geological column of the Albian and Cenomanian deposits near Sobra with stratigraphic distribution of the index taxa. For legend see Fig. 3.

	bentosne foraminifere <i>benthonic foraminifera</i>		cijanobakterijske lamine <i>cyanobacterial laminae</i>
	alge - <i>algae</i>		LLH-stromatoliti - <i>LLH-stromatolites</i>
	školjkaši (općenito) <i>bivalves (in general)</i>		SH-stromatoliti - <i>SH-stromatolites</i>
	<i>Chama</i> sp.		peleti i peloidi - <i>pellets and peloids</i>
	gastropodi - <i>gastropods</i>		intraklasti - <i>intraclasts</i>
	ostrakodi - <i>ostracods</i>		crne valutice - <i>black pebbles</i>
	<i>Aeolisaccus</i> sp.		ooidi - <i>ooids</i>
	hidrozoi - <i>hydrozoans</i>		fenestre - <i>fenestrae</i>
	<i>Baccinella irregularis</i>		bioturbacije - <i>bioturbations</i>
	onkoidi - <i>oncoids</i>		emerzija s glinovito-laporovitim materijalom <i>emersion with clayey-marly material</i>
	rudisti - <i>rudists</i>		kasnodijagenetski dolomit <i>late-diagenetic dolomites</i>

Fig. 3 Legenda za geološke stupove.

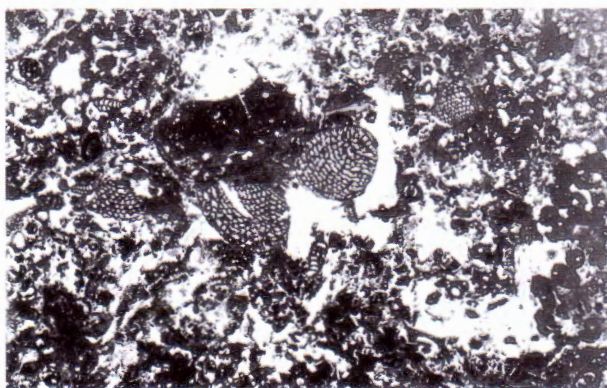
Fig. 3 Legend for geological columns.

području Dinarida naslage sličnog mikrofosilnog sadržaja izdvajane su kao cenozone "Valdanchella" dercourti (VELIĆ, 1977; VELIĆ & SOKAČ, 1978), zatim kao zona *Neoiraqia insolita* (VELIĆ, 1988) ili kao raspon-ska zona "Valdanchella" dercourti (VELIĆ et al., 1995; HUSINEC et al., 2000).

Prijelaz iz donje u gornju kredu predstavljen je stotinjak metara debelom zonom dobro i debelo uslojenih do masivnih kasnodijagenetskih dolomita koji mjestimice sadrže relikte mikritnih vapnenaca. Pojava zone izgrađene od kasnodijagenetskih dolomita na granici gornjega alba i cenomana vrlo je česta u mnogim dijelovima Dinarida (VELIĆ et al., 1979; TIŠLJAR et al., 1983).

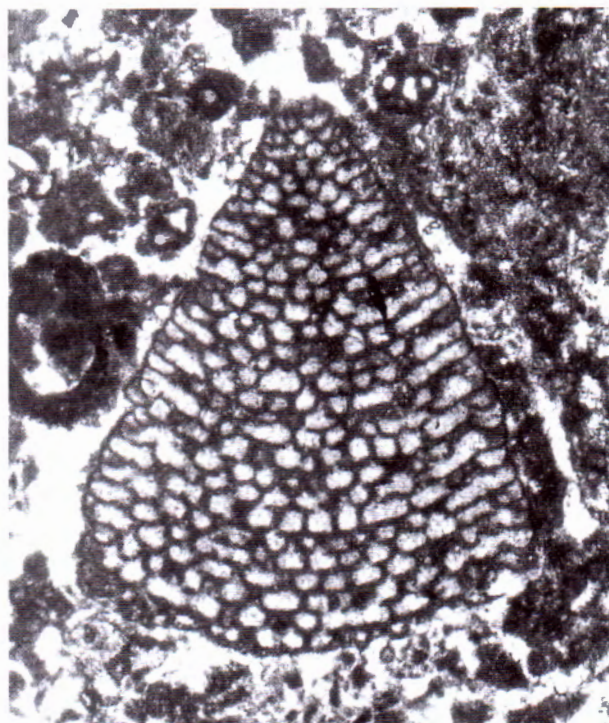
U krovini dolomita nastavlja se više od 125 m debeli kontinuirani slijed naslaga unutar kojega se mogu razlikovati tri superpozicijske cjeline. Donji dio izgrađen je od 70-ak m debelih laminiranih naslaga unutar kojih se izmjenjuju deblji ili tanji paketi kasnodijage-

netski dolomitiziranih laminiranih vapnenaca, uglavnom izgrađenih od stromatolitnih, rjeđe i mikritnih lamina, s nelaminiranim mikritnim vapnencima. Taj je dio slijeda taložen pretežito u peritajdalnim okolišima. Srednji dio paketa, debljine približno 40 m, čini izmjena 20 do 60 centimetara debelih slojeva madstona, fenestralnih madstona i peloidno-skeletnih pekston-grejnstona (sl. 7), taloženih u plitkom i zaštićenom okolišu. Unutar vrlo siromašne mikrofosilne zajednice nalaze se uglavnom neprovodne miliolide. Gornji dio izgrađen je



Sl. 4 Skeletno-peloidno-intraklastični pekston-grejnston s primitivnim orbitolinama, gornji alb, 6x.

Fig. 4 Skeletal-peloid-intraclastic packstone-grainstone with primitive orbitolinids, Late Albian, 6x.

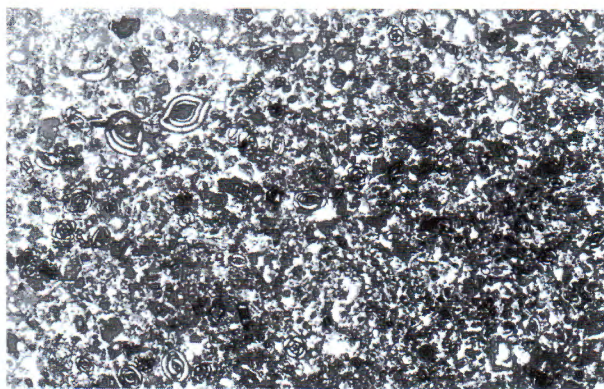


Sl. 5 - Fig. 5 "Valdanchella dercourti" DECROUEZ & MOULLE, 34x.



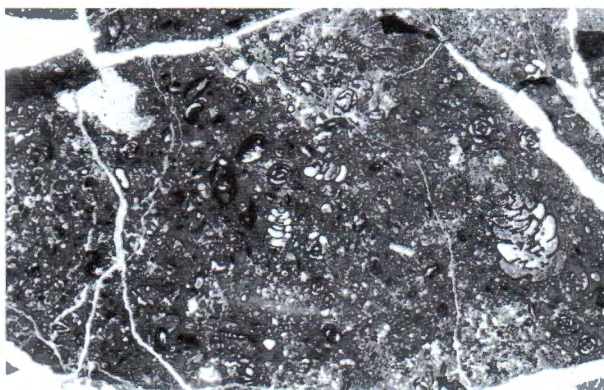
Sl. 6 - Fig. 6 *Neoragia insolita* (DECROUEZ & MOULLADE), 37x.

od ritmičke izmjene rudistnih floatston-radstona s pahodontnim školjkašima, horizontalno laminiranih madstona i intraklastično-peloidnih vekstona (sl. 8), te skeletno peloidnih pekston-grejnstona. Bentosne foraminifere zastupane su imperforatnim oblicima od kojih su najčešće miliolide, nezazatide, ataksofragmiide i soritide. Za utvrđivanje starosti najznačajniji je nalaz vrsta *Broeckina (Pastrikella) balcanica* CHERCHI, RADOIČIĆ & SCHROEDER (sl. 9) i *Chrysalidina gradata* d'ORBIGNY, koje su na Jadranskoj karbonanoj platformi u zajednici s ostalim utvrđenim oblicima vezane uz srednji i gornji cenoman (GUŠIĆ & JELASKA, 1990; VELIĆ & VLAHOVIĆ, 1994).



Sl. 7 Peloidno-miliolidni grejnston, cenoman, 6x.

Fig. 7 Peloid-miliolid grainstone, Cenomanian, 6x.



Sl. 8 Skeletno-peloidni vekston s *Chrysalidina gradata* d'ORBIGNY a *Broeckina (Pastrikella) balcanica* CHERCHI et al., ?srednji cenoman, 6x.

Fig. 8 Skeletal-peloid wackestone with *Chrysalidina gradata* d'ORBIGNY and *Broeckina (Pastrikella) balcanica* CHERCHI et al., ?Middle Cenomanian 6x.



Sl. 9 - Fig. 9 *Broeckina (Pastrikella) balcanica* CHERCHI et al., 21x.

Postaja 2: Slijed iz gornjojurskih (kimeridž-titon) u donjokredne plitkovodne karbonate (Profil Pražnji rat - Babino Polje - Veli grad)

Stop 2: Stratigraphic succession from the Upper Jurassic (Kimmeridgian-Tithonian) to the Lower Cretaceous shallow-water carbonates (Pražnji rat - Babino Polje - Veli grad profile)

Abstract

The Kimmeridgian and Tithonian limestones are the oldest strata found on the island and they form basal 150 m of this succession (Fig. 10). They are represented by predominantly mudstones, less frequent are wackestones (Fig. 11) and floatstones/rudstones (Fig. 12) with algal oncoids, while LLH-stromatolites and peloid-skeletal packstones are very sparse. Sedimentation took place in the low-energy, subtidal settings of protected shoals and lagoons. The lowermost approximately 25 m is of the Kimmeridgian age, which is confirmed by findings of foraminifera *Praekurnubia crusei* REDMOND and alga ?*Salpingopora*.

rella sellii (CRESCENTI) (Fig. 13). The alga *Clypeina jurassica* (FAVRE) in association with foraminifera *Parurgonina caelinensis* CUVILLIER, FOURY & PIGNATY characterizes the Tithonian part (125 m thick) of the succession of Jurassic limestones.

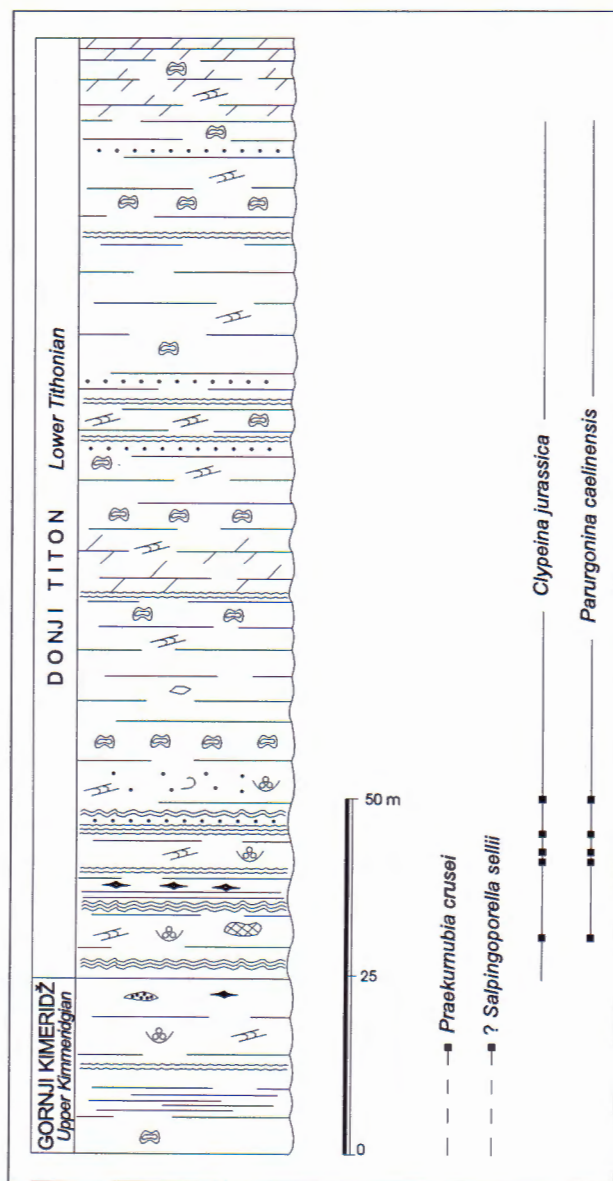
Concordantly overlying limestones is a thick sequence of the Uppermost Jurassic to Lower Cretaceous macrocrystalline and microcrystalline dolomites with minor relics of micritic limestones.

The boundary between dolomites and Neocomian limestones implies more or less continuous sedimentation, although sporadic traces of bauxites have been found. The Hauterivian deposits shall be described in detail at Stop 5.

Od morske obale (Pražnji rat) preko Babinog Polja do najvišeg vrha otoka Mljeta (Veli grad - 513 m) otkrivene su plitkomorske karbonatne naslage stratigrafskog raspona gornji kimeridž - otriv (sl. 10).

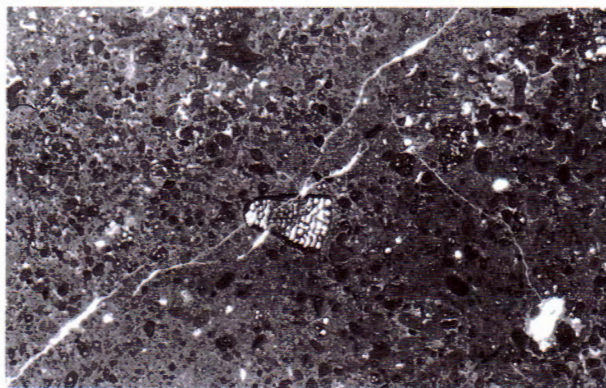
Vapnenci kimeridža i titona najstarije su naslage na otoku i izgrađuju početnih 150-ak m ovoga slijeda. Prevladavaju madstoni, a rjeđi su vekstoni (sl. 11) i flout-

stoni/radstoni (sl. 12) s onkoidima tipa algalnih lopti (*algal balls*). Većinom su to srednje do debljeslojevite naslage (0,30-100 cm), no ima i vrlo debelih slojeva (debljine do 2 m). Unutar ovih vapnenaca, nešto češće u njihovom starijem dijelu, nalaze se LLH-stromatoliti, a rjeđe su izmjene lamina madstona, fenestralnog madstona i sitnozrnastog peletnog vekston-pekstona. U središnjem dijelu ima i peloidno-skeletnih pekstona. Pojavljuju se tanji slojevi i nepravilni ulošci kasnodijagenetskih dolomita s reliktima dolomitiziranih vapnenaca. Strukturno-teksturna obilježja ovih naslaga ukazuju da su pretežito taložene u mirnim, niskoenergijskim, sub-tajdalnim okolišima zatvorenih plicaka i laguna. Okolišne značajke nisu pogodovale bujnijem razvitku biljnoga i životinjskoga svijeta, o čemu svjedoči i vrlo siro-



Sl. 10 Geološki stup jurskih naslaga kod Babinog Polja sa stratigrafskom distribucijom najznačajnijih vrsta. Za legendu vidi sl. 3.

Fig. 10 Geological column of the Jurassic deposits near Babino Polje with stratigraphic distribution of the index taxa. For legend see Fig. 3.



Sl. 11 Peloidno-intraklastični vekston s *Parurgonina caelinensis* CUVILLIER, FOURY & PIGNATY, donji titon, 6x.

Fig. 11 Peloid-skeletal wackestone with *Parurgonina caelinensis* CUVILLIER, FOURY & PIGNATY, Lower Tithonian, 6x.



Sl. 12 Algalni radston izgrađen od kršja alge *Clypeina jurassica* (FAVRE), gornji kimeridž, 6x.

Fig. 12 Algal rudstone composed of *Clypeina jurassica* (FAVRE) detritus, Upper Kimmeridgian, 6x.

mašna fosilna zajednica koja se sastoji od svega nekoliko vrsta bentosnih foraminifera i alga. Donjih približno 25 metara slijeda stratigrafski pripada kimeridžu, na što ukazuju nalazi foraminifere *Praekurnubia crusei* REDMOND i alge *?Salpingoporella sellii* (CRESCENTI) (sl. 13). U naslagama su utvrđene i brojne druge bentosne foraminifere (većinom ataksofragmiide i miliolide bez većeg stratigrafskog značaja), te ostaci cijanobakterija. Mladi dio gornjojurskih vapnenaca (~125 m) obiluje nalazima alge *Clypeina jurassica* (FAVRE), a od foraminifera su utvrđene ataksofragmiide i lituolide širega stratigrafskog raspona. Ipak, za taj je stratigrafski nivo značajniji nalaz vrste *Parurgonina caelinensis* CUVILLIER, FOURY & PIGNATY, koja je dosta česta. Naslage takvih obilježja su u području Vanjskih Dinariada izdvojene u biozonu *Clypeina jurassica* s. str. (VELIĆ, 1977).

Kontinuirano na klipniskim vapnencima slijedi debeli paket uslojenih kasnodijagenetskih makrokristalastih i mikrokristalastih dolomita. Unutar njih mjestimice su sačuvani manji proslojci i leće mikritnih vapnenaca. Najstariji dio dolomita najvjerojatnije pripada gornjemu titonu budući da podinski vapnenci pored zelene alge *C. jurassica* ne sadrže druge mikrofosile koji bi ukazivali na gornji titon. U prilog tome govori i razmjerno mala debljina klipniskih vapnenaca. Debeli paket dolomita na prijelazu iz jure u kredu utvrđen je i u drugim dijelovima Jadranske karbonatne platforme (npr. Gorske kotaru i Lici). Vjerojatno i dolomiti iz podine neokoma na susjednoj Korčuli (TIŠLJAR et al., 1983) dijelom pripadaju najmlađemu malmu.

U donjoj kredi nastavlja se platformni režim sedimentacije, ali u još plićim okolišima. Granica između



Sl. 13 - Fig. 13 *?Salpingoporella sellii* (CRESCENTI), 66x.

podinskih dolomita i neokomskih vapnenaca (na ovome je profilu dokumentiran otriv) uglavnom ukazuje na kontinuiranu sedimentaciju, iako mjestimice ima i sekundarnih pojava boksita. Više riječi o otrivskim naslagama bit će na Postaji 5 ove ekskurzije.

Postaja 3: Najmlađe mezozojske naslage otoka Mljeta: gornjosantoniski platformni vapnenci (Rt Stupa)

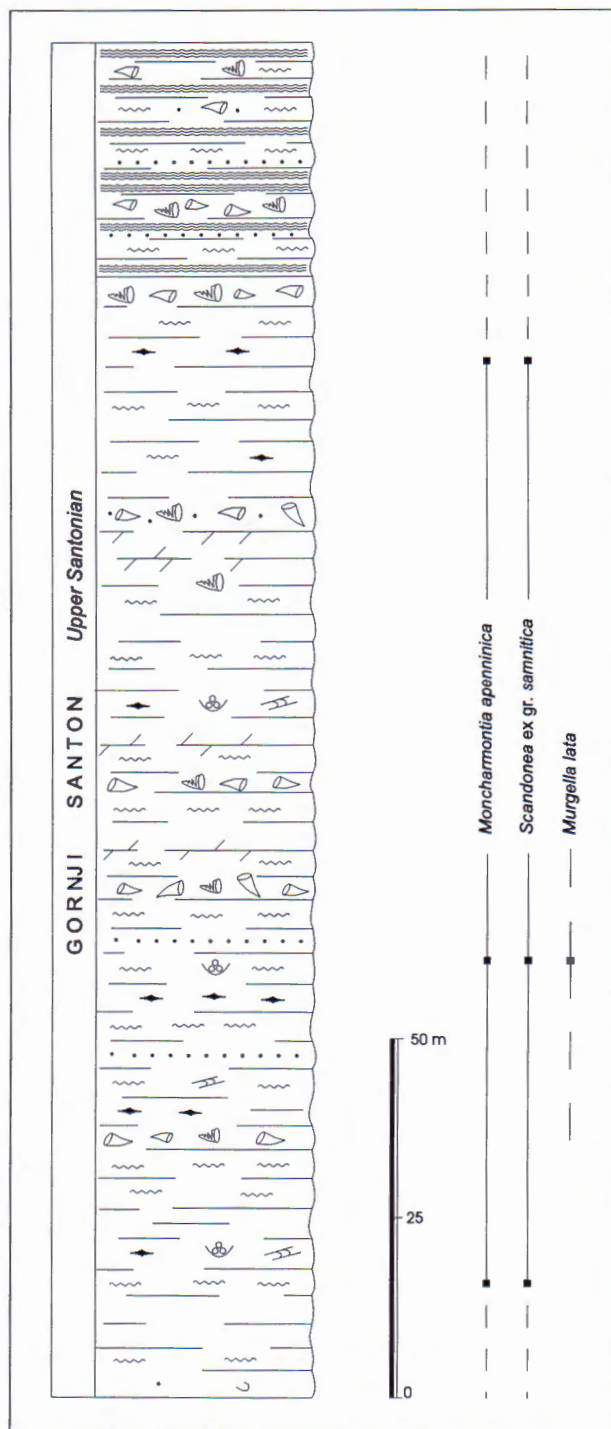
Stop 3: The youngest Mesozoic rocks on the island of Mljet: the Upper Santonian platform limestones (Cape Stupa)

Abstract

An irregular alternation of mudstones, *Aeolisaccus* wackestone-packstones with *Thaumatoporella* and rudistid floatstones characterizes the first 160 m of the succession (Figs. 14 and 15). Foraminifera are rather sparse with predominance of *Scandonea* ex gr. *samnitica* DE CASTRO (Fig. 16), while the most important for deducing the Late Santonian age is *Murgella lata* (LUPERTO SINNI) (Fig. 17). The oligotypic character of the thanatocoenoses suggests depositional processes in shallow areas of the carbonate platform, characterized by restricted circulation. Fragments and molluscan skeletons were transported from the shallow areas with agitated water due to the destruction of smaller reefs. The last 30 m of the succession is made of laminated limestones, characterized by an alternation of cyanobacterial laminae, mudstones and peloid wackestone-packstones, probably deposited in the intertidal environment.

Na rtu Stupa kod Polača, otkrivene su najmlađe mezozojske naslage otoka Mljeta u ukupnoj debljini od približno 190 metara (sl. 14). Ti plitkomorski karbonati nalaze se u rasjednom kontaktu s cenomanskim vapnencima čije su temeljne značajke već prikazane na Postaji 1 ove ekskurzije.

Utvrđena je međusobna izmjena četiri glavna facijesa: madstoni, colisakusni vekstoni (rjede pekstoni) s *thamatoporelami* (sl. 15), rudistni floutstoni i laminiti. Slojevi su debljine uglavnom 20 do 50 cm, rjede i do 1 m. Prvih 160 m naslaga čini nepravilna izmjena slojeva madstona, colisakusnih vekstona i rudistnih floutstona,



Sl. 14 Geološki stup gornjosantonjskih naslaga na rtu Stupa sa stratigrafskom distribucijom najznačajnijih vrsta. Legenda na sl. 3.

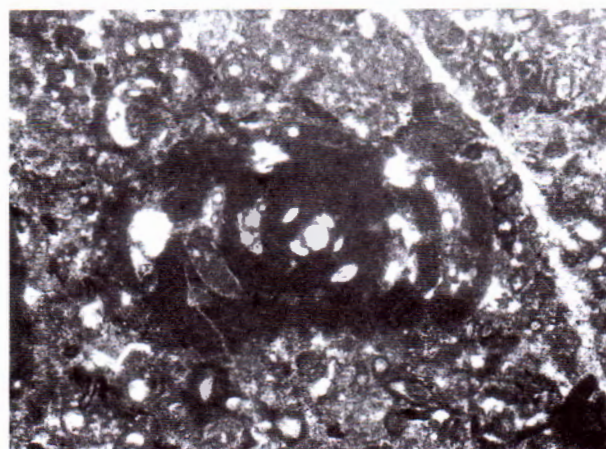
Fig. 14 Geological column of the Upper Santonian deposits near Stupa cape with stratigraphic distribution of the index taxa. For legend see Fig. 3.

a mjestimice ima i pojava kasnodijagenetske dolomiti-zacije. Unutar vekstona utvrđena je razmjerno siromaš-na mikrofosilna zajednica koja se sastoji od eolisakusa, taumatoporela, a rjeđe i bentosnih foraminifera od kojih dominiraju presjeci *Scandonea ex gr. samnitica* DE CASTRO (sl. 16). Ipak, kako je determinirano malo vrsta koje pomažu u odredbi starosti, od osobitog je zna-

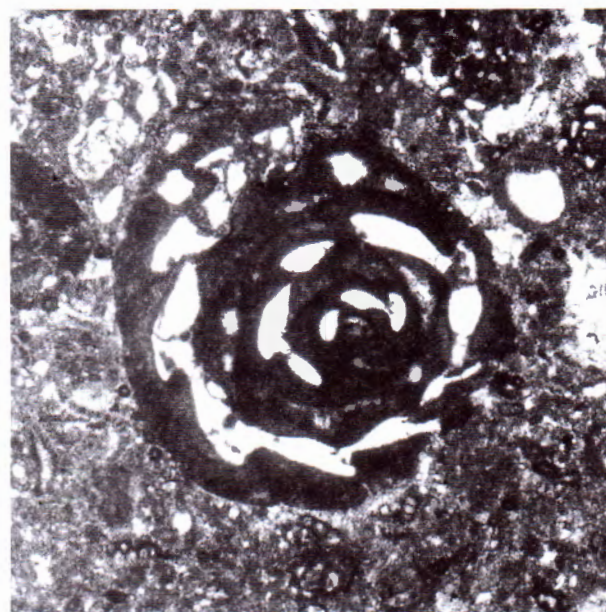


Sl. 15 Eolisakusni vekston-pekston s taumatoporelama, gornji santon, 6x.

Fig. 15 *Aeolisaccus* wackestone-packstone with *Thaumatoporella* sp., Upper Santonian, 6x.



Sl. 16 - Fig. 16 *Scandonea samnitica* DE CASTRO, 33x.



Sl. 17 - Fig. 17 *Murgella lata* (LUPERTO SINNI), 35x.

čaja nalaz foraminifere *Murgella lata* (LUPERTO SINNI) (sl. 17), koja je na Braču i Dugom otoku provodna za gornji santon (GUŠIĆ & JELASKA, 1990; FUČEK

et al., 1990). Oligotipski karakter tanatocenoze ukazuje na taložne procese u plitkim područjima karbonatne platforme obilježenim vrlo ograničenom cirkulacijom vode. Usljed razaranja manjih grebena povremeno je dolazilo do premještanja sitnoga kršja i krupnijih fragmenata školjaka iz plićaka s pokretljivijom vodom. U posljednjih 30-ak metara ovoga stupa prevladavaju vapnenci laminirane teksture, vjerojatno taloženi u intertaj-

dalnom okolišu, u kojima se izmjenjuju cijanobakterijske lamine s proslojcima madstona i peloidnih vekston-pekstona.

Tijekom taloženja ovih pretežito muljem bogatih taloga, karakterističnih za plitki okoliš zaštićene platforme, uvjeti za život bentosnih organizama i dalje su bili iznimno nepovoljni o čemu svjedoči njihov gotovo potpuni izostanak.

Postaja 4: Sedimenti i recentna sedimentacija u Mljetskim jezerima

Stop 4: Sediments and recent sedimentation in the Mljet Lakes

Mladen JURAČIĆ

Veliko i Malo jezero (Mljetska jezera) smješteni su na zapadnoj strani otoka Mljeta (sl. 18). Radi svojih ekoloških i znanstvenih posebnosti uzrok su proglašenja nacionalnog parka 1960. godine i njegov temeljni fenomen. To su poluzatvorene, relativno duboke depresije (46, odnosno 29 m duboke), odvojene od otvorenog mora uskim i plitkim pragom, odnosno kanalom Soline. Budući da su površinski povezana s morem i imaju slanu vodu to nisu jezera. Međutim teško bi ih se moglo nazvati i lagunama, jer se lagune obično definiraju kao *plitka* poluzatvorena vodena tijela (PHLEGER, 1969), "čija dubina rijetko prelazi nekoliko metara" (KJERFVE & MAGILL, 1989). Stoga se za slična, ili površinski potpuno odvojena vodena tijela s morskom vodom, koja nalazimo uz istočnu Jadransku obalu (jezero Mir na Dugom otoku, Zmajevu oko kod Rogoznice) predlaže naziv *morska jezera*.

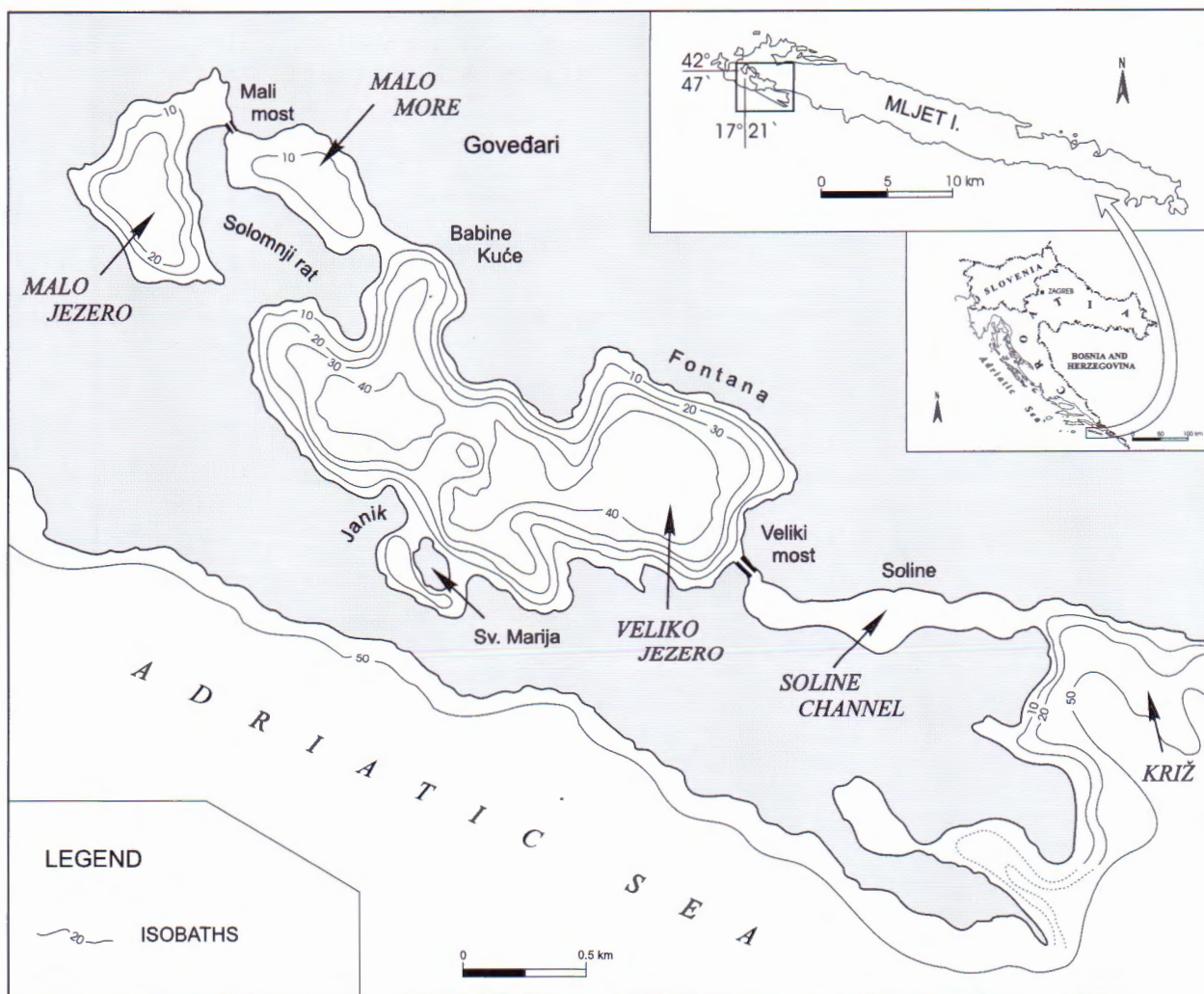
Pretežni dio izmjene voda s otvorenim morem u današnjim klimatskim prilikama u Mljetskim jezerima odvija se kroz vrlo plitke i uske prolaze. Veliki most, prolaz između kanala Soline i Velikog jezera je 10 m širok i 2,5 m dubok, dok je Mali most, prolaz između Velikog i Malog jezera još manji: 2,5 m širok i 0,5 m dubok (STRAŽIČIĆ, 1979). Izmjena voda uvjetovana je strujama morskih mijena, i vezana samo za površinski vodeni sloj. Zbog ljetnog zagrijavanja površinske vode dolazi do uslojavanja vode u jezerima i povremeno do stagnantnih uvjeta koji dovode do podzasićenja kisikom ili čak do anoksije u pridnenoj vodi (BULJAN & ŠPAN, 1976; CARIĆ & JASPRICA, 1995). Stoga su tu stresni uvjeti za život organizama (BENOVIĆ & ONOFRI, 1995; BAJRAKTAREVIĆ et al., 2000; PEHARDA, 2000).

Postanak jezera

Na temelju morfologije jezera, te poznavajući geodinamski razvoj šireg područja, može se pretpostaviti i u osnovnim crtama rekonstruirati način i vrijeme nas-

tanka Mljetskih jezera. Depresije u kojima su danas jezera tipične su krške forme (ponikve i dolci) razvijene u mezozojskim vapnencima i dolomitima. Može se pretpostaviti tektonska predispozicija lokacije udubljenja, te subaerski krški korozijski proces. Dakle, nastanak dubokih ponikvi morao se događati u vrijeme kad je i njihovo dno bilo iznad morske razine. U geološkom rasponu od nastanka vapnenaca do danas u ovom prostoru vjerojatno je bilo više takvih razdoblja. Proces geomorfološkog oblikovanja vapnenačkih terena u uvjetima vlažne klime relativno su brzi, te stoga možemo pretpostaviti da su razdoblja u neposrednoj geološkoj prošlosti za vrijeme kojih je morska razina bila niže od današnje, znatno utjecala na morfogenezu.

U pleistocenu (razdoblje kvartara od prije 1,65 milijuna godina do prije 10 tisuća godina) morska je razina višekratno znatno oscilirala, i za vrijeme oledbi bila je niža i do 140 m od današnje. U svakom slučaju za vrijeme posljednje oledbe (Würm) prije 18.000 godina, morska je razina bila približno 120-125 m niže od današnje (FAIRBANKS, 1989). Stoga je vrlo vjerojatno da su ponikve u kojima se danas nalaze jezera preoblikovane, ako ne i oblikovane, upravo za vrijeme posljednje oledbe. U to su doba krški korozijski procesi vjerojatno bili vrlo izraženi, a oborinske vode s otopljenim karbonatima podzemno su otjecale prema moru koje je tada bilo jugozapadno od otoka Mljeta. Općenito je prihvaćeno mišljenje da je morska razina naglo i skokovito rasla od prije 18.000 do približno prije 6.000 godina (prosječno 1 cm/god., ali sa skokovima i >4,5 cm/god. - BLANCHON & SHAW, 1995), nakon čega je brzina porasta morske razina znatno opala. Tijekom starijeg holocena, u razdoblju između 10.000 i 6.000 godina prije današnjice, stvorili su se uvjeti kada su Mljetska jezera mogla biti prava slatkovodna jezera (slično današnjem Vranskom jezeru na Cresu) (JURAČIĆ et al., 1995; WUNSAM et al., 1999). Tada je naime morska razina, razina vode temeljnica, odnosno erozijska baza, porasla iznad



Sl. 18 Položaj i batimetrija Mljetskih jezera (prema VULETIĆ, 1953).

Fig. 18 Location and bathymetry of Mljet Lakes (after VULETIĆ, 1953).

dna ponikvi i time spriječila otjecanje oborinskih voda. Ovisno o klimatskim prilikama (humidno/aridno) moglo je doći do otjecanja slatkovodne jezerske vode prema moru, ili obrnuto, do prodiranja morske vode u jezera.

Dodatni povoljni uvjet za nastanak morskih jezera nastao je relativno nedavno (u posljednjih oko 2.000 do 4.000 godina), kada je morska razina dosegla približno današnju razinu i omogućila površinsku izmjenu voda jezera i mora uslijed struja morskih mijena kroz kanal Soline. Moguće je i pretpostaviti da je površinska veza između otvorenog mora (kanal Soline) i Velikog jezera, te između Velikog i Malog jezera napravljena čak djelovanjem čovjeka, mogućim prokopavanjem uskih prevlaka (STRAŽIČIĆ, 1979). Novi rezultati istraživanja pripovršinskih sedimenata u solinskom kanalu pokazuju da su prije 4.600 godina u tom području vladali slatkovodno/brakični uvjeti u kojima je raslo močvarno bilje (*Chara/Nitella*) i živjeli puževi karakteristični za slatku i brakičnu vodu (*Lymnea stagnalis*, *Ventrosia cissana*) (GOVORČIN, 2000).

Sedimenti i sedimentacija u mljetskim jezerima

Vrlo su zanimljivi sedimenti i današnji sedimentacijski uvjeti u Mljetskim jezerima. Tako u Malom jezeru u plićim dijelovima do dubine od 20 m prevladavaju grubozrnati (šljunkovito-pjeskoviti) sedimenti, dok se u dubljem dijelu (do maksimalne dubine Malog jezera od 29 m) nalaze sitnozrnati muljevi, kako je već ustanovio VULETIĆ (1953). Sličan raspored površinskih sedimenata nalazimo i u Velikom jezeru.

Posebna odlika okoliša taloženja u Malom jezeru su anoksični uvjeti. Prema literaturnim navodima (VULETIĆ, 1953), u vodi dubljod od 19 m nema otopljenog kisika, odnosno nalazi se otopljeni H_2S . U kasnijim istraživanjima, međutim, nisu registrirani anoksični uvjeti u vodenom stupcu sve do najdubljeg dijela Malog jezera (dubina 29 m). Stoga se može zaključiti da se anoksični uvjeti u vodenom stupcu pojavljuju epizodno. U sedimentnoj jezgri je registrirana mikrolaminacija u kojoj se izmjenjuju tamni i svijetli prosljoci (do 7 parova u 1

mm!). Prvi su put registrirani već u radu VULETIĆ (1953), a detaljno ih je opisao i SEIBOLD (1958). Obojica smatraju da su to varve, tj. da jedan par slojeva odgovara jednoj godini.

Tamni prosljoci prema dosadašnjim istraživanjima imaju povišenu koncentraciju organskog materijala (organski detritus, vjerojatno terigenog porijekla) i u njima se pojavljuje i pirit (FeS_2) (VULETIĆ, 1953). Takvi su slojevi karakteristični za taloženje u anoksičnim uvjetima. SEIBOLD (1958) smatra da nastaju tijekom jeseni i zime kada kiše spiru terigeni biljni materijal.

Procijenjena brzina sedimentacije od oko 2,6 mm/god. u Malom jezeru na temelju distribucije ^{137}Cs u sedimentu (JURAČIĆ et al., 1995) upućuje međutim na mogućnost da lamine predstavljaju niz epizodnih događaja koji nisu strogo sezonski ograničeni, već su vezani za pojedine epizodne događaje ("cvat" fitoplanktona, jake oborine).

U vodenom stupcu Velikog jezera danas vladaju oksični uvjeti (sa zabilježenim povremenim pojavama anoksije), dok se dublje u sedimentima nalazi također mikrolaminacija koja upućuje da su anoksični uvjeti češće vladali u neposrednoj geološkoj prošlosti. VULETIĆ (1953) je na temelju nalaza proslojaka vulkanskog stakla u dubljim jezgrama Velikog jezera procijenio brzinu sedimentacije na 1,03-3,17 mm/god., što je vrlo blisko procijenjenoj brzini sedimentacije u Malom jezeru od 2,6 mm/god.

Drugi vrlo zanimljivi aspekt sedimentacije u Mljetskim jezerima su svijetli prosljoci koje nalazimo u izmjeni s tamnim prosljocima (nastalim taloženjem u anoksičnim uvjetima). Već je u prvim istraživanjima sedimentata u Mljetskim jezerima VULETIĆ (1953) ukazao na postojanje aragonita u sedimentima i smatra da svijetle prosljoke mikrolaminiranih sedimentata čini aragonitni mulj ("*drewit*") koji se sastoji od slobodnih kristala, te da se on danas taloži samo u Malom jezeru. Njegovo taloženje povezuje s vodom zasićenom s H_2S . No SEIBOLD (1958, str. 109) opovrgava Vuletića, te na temelju rentgenske analize koju je napravio Rüdorff tvrdi da se radi o kalcitu, te navodi čak da se radi o romboed-

rijskim kristalima kalcita duljine do 8 μm . No, naknadna su istraživanja SONDI et al. (1995, 2000) potvrdila da se radi o argonitu koji vjerojatno precipitira tijekom tzv. zabilježenja (*whittings*) jezerske (morske) vode. Aragonitni štapići nađeni su i u uzorcima suspendiranog materijala u Malom i Velikom jezeru. Naravno, uz aragonitne štapiće u sedimentima su prisutni i raznovrsni kalcitni i Mg-kalcitni ostaci organizama.

Taloženje aragonita do sada je bilo registrirano samo u tropskim i subtropskim morima (Bahamsko otočje, Florida, Perzijsko-Arapski zaljev; na pr. BATHURST, 1975; TUCKER & WRIGHT, 1990) ili u alkalnim slatkovodnim jezerima (THOMPSON et al., 1997). Dugotrajna je dilema (SHINN et al., 1989) je li taloženje aragonitnih štapića uvjetovano fizikalno-kemijskim (na pr. MILLIMAN et al., 1993) ili biološkim procesima (na pr. STOCKMAN et al., 1967; THOMPSON et al., 1997).

U kanalskom području (Soline) danas se na dnu nalaze biogeni karbonatni pijesci koji formiraju simetrične riplove (valne brazde) "valne dužine" 3-6 m koji nastaju uslijed relativno jakih struja morskih mijena u plitkom kanalu, dok se u otvorenom moru ispred Mljetskih jezera na dubini mora od 38 m nalaze krupnozrnati biogeni, vrlo loše sortirani pijesci (sa znatnim udjelom čestica većih od 2 mm), koji se nalaze ispod valne baze lijepog vremena (JURAČIĆ et al., 1995).

Može se zaključiti da je sedimentacija u Mljetskim jezerima znatna (sedimentni pokrov postoji na cijeloj površini dna jezera, osim na podmorskom uzvišenju sjeveroistočno od otočića Sv. Marije). Krupnijezrnati, pretežno biogeni sedimenti prevladavaju u plićem i priobalnom području, dok se u dubljim dijelovima nakuplja mulj kombiniranog biogenog i terigenog porijekla.

Radi dobivanja cjelovite slike o recentnim i subrecentnim sedimentima u Mljetskim jezerima bilo bi neophodno snimiti profile ultrazvučnim geološkim dubinomjerom (*sub-bottom profiler*), kako bi se odredila debljina holocenskih sedimentata, te eventualno postojanje starijih pleistocenskih sedimentata.

Sediments and recent sedimentation in the Mljet Lakes

Veliko and Malo jezero (Large and Small Lake, i.e. Mljet Lakes) are located in the western part of the Mljet Island (Adriatic Sea) (Fig. 18). Due to its scenic beauty, ecological peculiarities, and environmental values, this western part of the island was proclaimed a National Park in 1960. The Mljet Lakes are semi-enclosed, relatively deep depressions connected with the open sea by a narrow, shallow Soline Channel. Being connected with the sea, they contain saline water and, therefore, are not true lakes. However, due to their depth (46 and 29 m respectively) they can hardly be termed lagoons, because the latter are usually defined as *shallow* semi-enclosed water bodies (PHLEGER, 1969) "having depths that seldom exceed a couple of meters" (KJERFVE & MAGILL, 1989). Therefore for these, and other similar marine water

bodies, apparently disconnected with the sea, found along the eastern Adriatic coast (e.g. Mir Lake on Dugi otok, Dragoon (Rogoznica) Lake near Rogoznica), a term *marine lake* is proposed.

Most of the water exchange between the Mljet Lakes and the sea in present climatic conditions occurs through very shallow, narrow straits. The Veliki most (*Large Bridge*) strait between Soline Channel and Veliko jezero is 10 m wide and 2.5 m deep, whereas Mali most (*Small Bridge*), the strait between Veliko and Malo jezero is even smaller: 2.5 m wide and 0.5 m deep (STRAŽIČIĆ, 1979). Tidal currents drive the water exchange, and the mixing is constrained only to the surface layer. Due to the summer heating of the surface layer, water stratification develops which gives rise to temporary

stagnant conditions with hypoxia and even anoxia in bottom waters (BULJAN & ŠPAN, 1976; CARIĆ & JASPRICA, 1995). Therefore, stress producing environmental factors for organisms are encountered (BENOVIĆ & ONOFRI, 1995; BAJRAKTAREVIĆ et al., 2000; PEHARDA, 2000).

Lake formation

Lake morphology, along with the knowledge of the geodynamic evolution of the broader area, allows us to reconstruct how and when the lakes originated. Depressions in which marine lakes are located are typical karstic depressions (*dolina* and *uvala*) developed in Mesozoic limestones and dolomites. One can assume a tectonic predisposition of the location of depressions and a subaerial corrosional process in the development of depressions. Therefore, the formation of deep *dolinas* (sinkholes) occurred while their bottom was above sealevel. In time span since the formation of limestones there were several such periods. But, as the corrosional geomorphological processes in limestone terrains are quite fast in humid climatic conditions, it can be presumed that periods in the near geological history with lowered sealevel had an important role in their morphogenesis.

During Pleistocene (epoch within Quaternary period that lasted from before 1.65 million years to 10,000 years before present (yBP)) the sealevel repeatedly oscillated and during glacials was lower by up to 140 m. During the last glaciation (Würmian) before 18,000 years the global sealevel was approximately 120-125 m lower than present (FAIRBRIDGE, 1989). Most probably, *dolinas* in which are today's lakes, were remodelled, if not formed, during last glaciation. In those times karstic corrosional processes must have been intensive and sinking water with dissolved carbonates drained underground towards the sea which was SW from Mljet Island. It has been generally accepted that the sealevel rise was very fast and steplike from 18,000 to 6,000 yBP (with an average of 1 cm y^{-1} , but with jumps of over 4.5 cm y^{-1} - BLANCHON & SHAW, 1995), while afterwards the sealevel rise attenuated. During Lower Holocene, from 10,000 to 6,000 yBP, conditions were favourable for formation of Mljet freshwater lakes (similar to present-day Vrana lake on Cres Island) (JURAČIĆ et al., 1995; WUNSAM et al., 1999). The sealevel and the groundwater level (i.e. erosional base) rose above the bottom of *dolinas* and hindered subsurface draining of rainwater. Depending on climatic conditions (humid/arid) percolation of freshwater towards the sea or seawater towards the lakes could occur.

Additional preferable conditions for the formation of marine lakes originated relatively recently (in last 2,000 to 4,000 years), when sealevel reached approximately its current position and enabled surface exchange of water between lakes and the sea due to tidal currents through the Soline Channel. There is a possibility that the connection between the sea (Soline Channel) and Veliko Jezero, and between Veliko and Malo Jezero was done by men digging the narrow isthmus (STRAŽIČIĆ, 1979). New results of investigation of sub-bottom sediments in Soline Channel indicate that 4600 yBP there were freshwater/brackish conditions in which marshy plants (*Chara/Nitella*) flourished and freshwater/brackish snails lived (*Lymnea stagnalis*, *Ventrosia cissana*) (GOVORČIN, 2000).

Sediments and sedimentation in Mljet Lakes

Sedimentation conditions and sediments encountered in Mljet Lakes are rather interesting. In Malo jezero in shallower

parts up to the depth of 20 m coarse-grained (gravelly-sandy) sediments prevail, whereas deeper (up to the maximum depth of 29 m in Malo jezero) fine-grained mud is found (VULETIĆ, 1953). Similar sediment pattern is also found in Veliko jezero.

A peculiarity of the sedimentary environment in Mljet Lakes is anoxic conditions. After VULETIĆ (1953), in water deeper than 19 m in the Malo jezero there was no dissolved oxygen, and dissolved H_2S was found. However, during following investigations anoxic conditions in the water column were not encountered. It indicates episodic formation of anoxia. In sediment core from Malo jezero a microlamination with alternating dark and white laminae (up to 7 pairs in 1 mm!) was found. VULETIĆ (1953) was first to register them, and afterwards they were described in detail by SEIBOLD (1958). These authors interpreted the sediments as varve deposits, i.e. that one pair of laminae corresponds to one year.

Dark laminae have elevated concentrations of organic matter (organic detritus, presumably of terrestrial origin) and pyrite (FeS_2) (VULETIĆ, 1953). Such sediments are characteristic for sedimentation in anoxic conditions in water column. SEIBOLD (1958) presumed that they were deposited during autumn and winter when rainwater washes away terigenous plant material.

However, a sedimentation rate of 2.6 mm/y presumed after ^{137}Cs distribution in sediment from Malo jezero (JURAČIĆ, 1995), indicates that laminae were formed episodically, not necessary seasonally, but as a consequence of discrete episodic events (e.g. phytoplankton bloom, heavy rain).

Today, in water column in Veliko jezero oxic conditions prevail (however with instrumentally registered episodic hypoxic and anoxic events), whereas deeper in sediment core microlamination has been registered. It indicates that in the former period anoxic events occurred more frequently. VULETIĆ (1953) calculated sedimentation rate of 1.03 to 3.17 mm/y in Veliko jezero using tephra layers, which is in range with presumed sedimentation rate of 2.6 mm/y in Malo jezero.

Other interesting sedimentation characteristics in Mljet Lakes is the origin and nature of white laminae found in alternation with dark laminae in sediments. In first investigation of Mljet Lakes sediments, VULETIĆ (1953) indicated the existence of aragonite and presumed that white laminae consist of aragonite mud ("drewit") formed by single crystals, and that the deposition of aragonite is restricted to the Malo jezero. He connected aragonite deposition with water saturated with H_2S . However, SEIBOLD (1958, p. 109) refuted Vuletić, and according to the x-ray diffraction analysis performed by Rüdorff stated that the mineral present was calcite, and in rhomboedric crystals 8 μm long. New investigations (SONDI et al., 1995, 2000) confirmed that white laminae are composed of aragonite crystals, presumably precipitated during so called "whittings" of lake (sea) water. Aragonite needles were found in suspended matter samples both in Malo and Veliko jezero. However, along with aragonite needles, different calcite and Mg-calcite biogenous fragments were found in sediments.

Aragonite deposition, up to now, has been registered only either in tropical and subtropical seas (Bahamas, Florida, Persian-Arabic Gulf; e.g. BATHRUST, 1975; TUCKER & WRIGHT, 1990), or in alkaline freshwater lakes (THOMPSON et al., 1997). The long-lasting dilemma (SHINN et al., 1989) is whether precipitation of aragonite needles is physico-chemically induced (e.g. MILLIMAN et al., 1993) or biologically governed (e.g. STOCKMAN et al., 1967; THOMPSON et al., 1997).

In the shallow channel area (Soline Channel) on the sea bottom biogenous, well sorted carbonate sand is found, which forms symmetric ripples with "wavelength" of 3-6 m. They are formed most probably due to relatively strong tidal currents in the channel. In the open marine environment at the entrance to the Mljet Lakes at water depth of 38 m coarse-grained, biogenous, very poorly sorted sand (with substantial share of fragments larger than 2 mm) is found. It rests on the seabottom below wave base (JURAČIĆ et al., 1995).

One can conclude that the sedimentation rate in Mljet lakes is relatively high (sediment cover exists over the whole

bottom excluding only the submarine elevation NE of Sv. Marija islet). Coarse-grained, prevalently biogenous sediment prevail in shallower and coastal zone, whereas in deeper parts accumulation of mud, of both biogenous and terrigenous origin, occurs.

In order to obtain the whole picture of recent and subrecent sediments in Mljet lakes, it would be necessary to undertake sub-bottom profiling to determine the thickness of Holocene sediments, and find out if older Pleistocene sediments exist in deeper parts of the lakes.

Postaja 5: Prijelaz iz otrivskih u baremske platformne vapnence (jugozapadna obala Velikog jezera)

Stop 5: Transition from the Hauterivian into Barremian platform limestones
(SW shore of Veliko jezero)

Abstract

The Hauterivian and Barremian deposits are exposed along the local road encompassing the southwest shore of Veliko jezero (Fig. 19).

The initial 40 m of the succession are composed of well- and thick-bedded mudstones and fenestral mudstones, while peloid wackestone-packstones (less frequently grainstones) with fragments of algae, gastropods, bivalves and ostracods are less common. Two emersion horizons with calcareous intraclasts and clayey-marly material have been detected. The strata formed in the shallow and protected setting that was periodically exposed to subaerial weathering. Microfossil association suggests Hauterivian age and contains two important species of calcareous algae: *Clypeina ?solkani* CONRAD & RADOIČIĆ (Fig. 20) and *Salpingoporella annulata* CAROZZI.

The Hauterivian to Barremian transition is continuous with boundary placed at the first occurrence of alga *Salpingoporella melitae* RADOIČIĆ (Fig. 21, also see Fig. 19A) which is the index fossil for the Barremian, just like *Salpingoporella muehlbergii* (LORENZ) PIA that is found a few meters above in the succession. The Barremian strata are represented with the alternations of laminae and thin beds of mudstones (with frequent moldic-skeletal cavities of ostracods and bioturbations), fenestral mudstones, peloid wackestone-packstones and cyanobacterial laminae (Fig. 22). Emersion horizons occur relatively frequently. Less common are peloid-intraclastic-skeletal packstone-grainstones with fragments of gastropods and bivalves. Deposition took place in the environments characterized by shallowing-upwards cycles (from the shallow subtidal of protected shoals to the intertidal and supratidal).

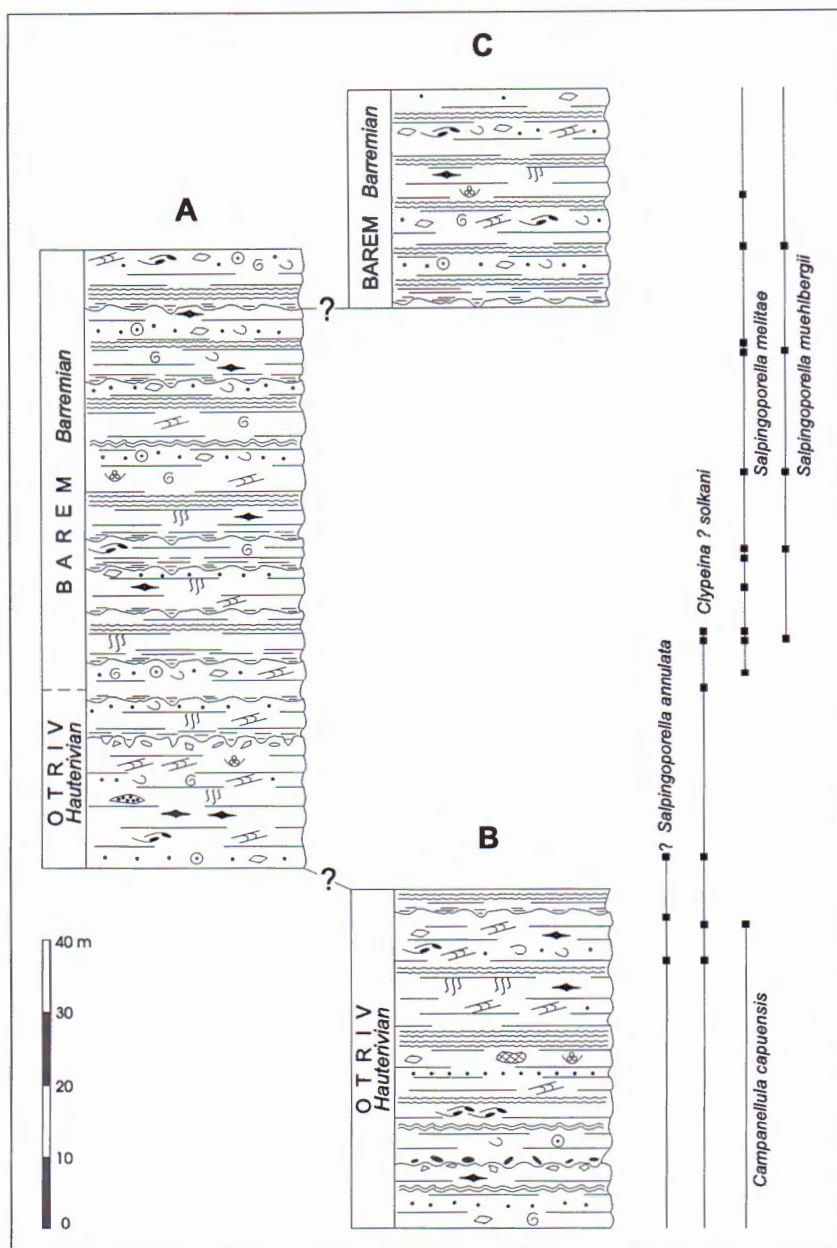
Owing to faulting, following around 60 m thick succession of the Barremian strata are again the Hauterivian deposits of more or less similar lithological characteristics like the Barremian limestones (see Fig. 19B), which implies a rather long duration of similar sedimentary environments. The Hauterivian age is documented with findings of foraminifera *Campanellula capuensis* (DE CASTRO) (Fig. 23) and alga *Salpingoporella annulata* CAROZZI. Subsequent strata are again of the Barremian age, but the boundary with the tectonic block composed of Hauterivian deposits is tectonic (Fig. 24, also see Fig. 19C).

Uz put koji vodi jugozapadnom obalom Velikog jezera, od pristaništa za otočić Sveta Marija do Malih vrata, otkrivene su naslage otriva i barema. Ovaj je slijed uslijed rasjedanja ponovljen (sl. 19).

Početnih 40-ak metara izgrađeno je uglavnom od dobro- i debeloslojevitih madstona i fenestralnih madstona, a manjim dijelom od peloidnih vekston-pekstona (rjeđe i grejnstona) s kršjem alga, gastropoda, školjkaša i ostrakoda (sl. 19A). Utvrđene su i dvije emerzijske pojave obilježene vapnenačkim intraklastima i zelenkastom glinovito-laporovitom tvari. Ovakve strukturne značajke upućuju na taloženje u plitkom i zaštićenom okolišu koji je povremeno izlagan subaerskom trošenju. Unutar ovih naslaga učestalo je rekristalizirano kršje vapnenačkih alga, pri čemu se relativno često nalaze presjeci vrste *Clypeina? solkani* CONRAD & RA-

DOIČIĆ (sl. 20), čiji je stratigrafski raspon od otriva do srednjeg-gornjeg barema (SOKAČ, 1996). Vjerojatni nalaz vrste *Salpingoporella annulata* CAROZZI, čiji stratigrafski raspon ne doseže barem (VELIĆ & SOKAČ, 1983), upućuje da se tu najvjerojatnije radi o vršnome otrivu. Za razliku od alga bentosne su foraminifere rijetke, a uglavnom su to uobičajeni donjokredni oblici širega raspona.

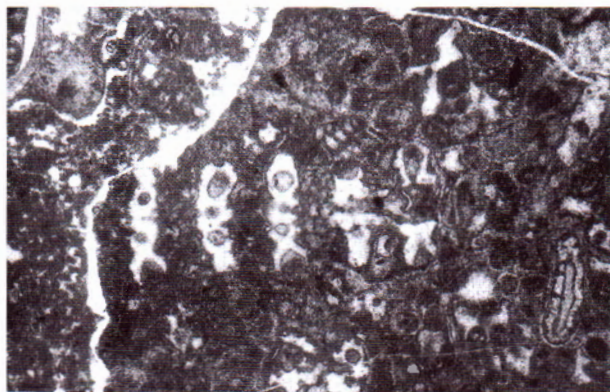
Prijelaz iz otriva u barem je kontinuiran, a sama granica postavljena je kod prvih nalaza alge *Salpingoporella melitae* RADOIČIĆ (sl. 21). Pored nje utvrđeno je i brojno rekristalizirano kršje drugih salpingoporela, od kojih je za barem provodna *S. muehlbergii* (LORENZ) PIA. I ovdje, kao što je to općenito slučaj u Krškim Dinaridima (VELIĆ & SOKAČ, 1983), foraminiferska zajednica ne sadrži provodne oblike. Litološki u slijedu



Sl. 19 Geološki stup otrivsko-baremskih naslaga duž JZ obale Velikog jezera sa stratigrafskom distribucijom najznačajnijih vrsta. Za legendu vidi sl. 3.

Fig. 19 Geological column of the Hauterivian and Barremian deposits along SW shore of Veliko jezero with stratigraphic distribution of the index taxa. For legend see Fig. 3.

prevladava izmjena lamina i proslojaka madstona, fenestralnih madstona i peloidnih vekston-pekstona, a nerijetke su i cijanobakterijske lamine (sl. 22). Unutar mad-



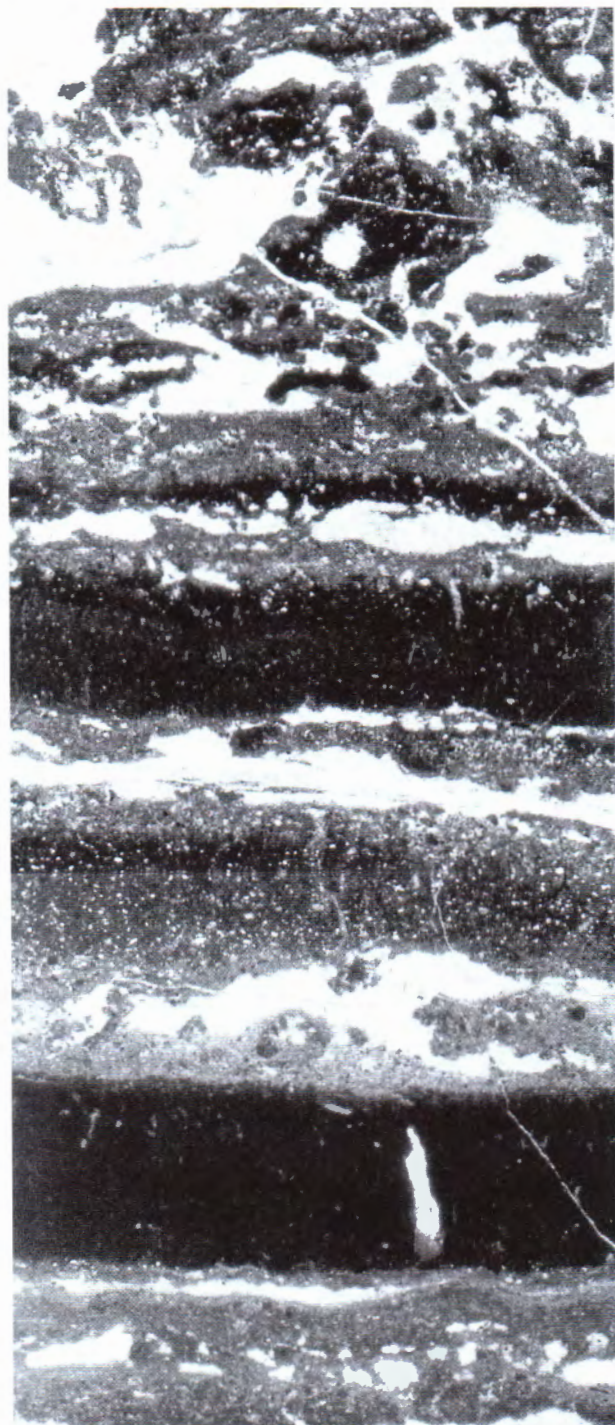
Sl. 20 - Fig. 20 *Clypeina ? solkani* CONRAD & RADOIČIĆ, 21x.

stona učestale su kalupno-skeletne šupljine ostrakoda, a nešto rjeđe su bioturbacije. Od drugih litotipova utvrđeni su peloidno-intraklastično-skeletni pekston-grejnstoni s fragmentima ljuštura gastropoda i školjkaša. Emerzijski horizonti su razmjerno česti u naslagama baremske starosti. Strukturno-teksturna obilježja ovoga dijela naslaga također ukazuju na taloženje u okolišima obilježenim ciklusima oplicavanja navise, od plitkoga sub-tajdala zaštićenih plićaka do intertajdala i supratajdala.

Nakon 60-ak m debeloga slijeda baremskih vapnenača slijedi manja zona bez izdanaka, nakon koje se pojavljuju vapnenci koji su na prvi pogled vrlo slični opisanom slijedu baremskih naslaga (sl. 19B). Međutim, među rekristaliziranim kršjem vapnenačkih alga i foraminifera utvrđene su vrste *Salpingoporella annulata* i *Campanellula capuensis* (DE CASTRO) (sl. 23), što ukazuje na otriv. Na taj je način detaljnom analizom utvrđeno da je kao posljedica rasjedanja došlo do po-

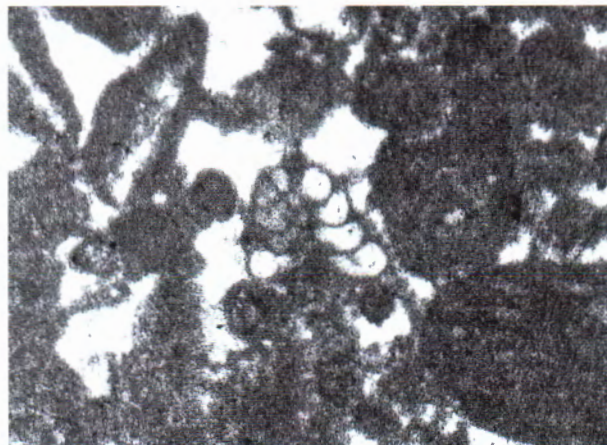


Sl. 21 - Fig. 21 *Salpingoporella melitae* RADOIČIĆ, 17x.

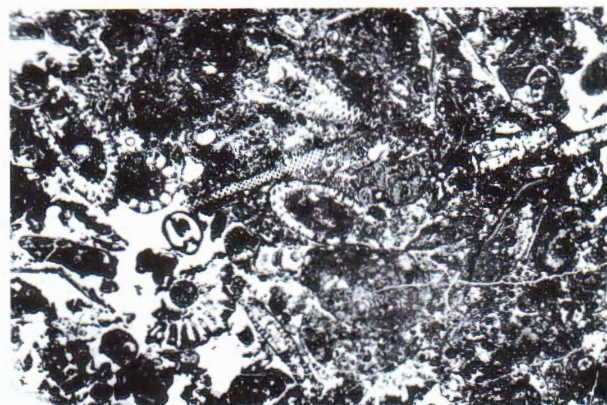


Sl. 22 Izmjena mikritnih, fenestralno-mikritnih, pelmikritnih i stromatolitnih lamina, barem, 11x.

Fig. 22 Alternation of micrite, fenestral micrite, pelmicrite and stromatolitic laminae, Barremian, 11x.



Sl. 23 - Fig. 23 *Campanellula capuensis* (DE CASTRO), 66x.



Sl. 24 Algalno-intraklastični floutston-radston s *Salpingoporella melitae* RADOIČIĆ, *Salpingoporella muehlbergii* (LORENZ) PIA, *Salpingoporella* sp. i *Actinoporella podolica*, barem, 6x.

Fig. 24 Algal-intraclastic floutstone-rudstone with *Salpingoporella melitae* RADOIČIĆ, *Salpingoporella muehlbergii* (LORENZ) PIA, *Salpingoporella* sp. and *Actinoporella podolica*, Barremian, 6x.

navljanja otrivskoga slijeda, a sudeći po litološkim značajkama najvjerojatnije dijela koji se nalazi u neposrednoj podini početne točke ove postaje. Nakon 60-ak m debljine ovih naslaga u rasjednom kontaktu ponovno slijedi barem sa svojom tipičnom, već opisanom litologijom i mikrofossilnim sadržajem (sl. 24, vidi i sl. 19C). Izrazita litološka sličnost otrivskih i baremskih naslaga otoka Mljeta ukazuje na dugotrajno održavanje sličnih taložnih uvjeta i okoliša.

Postaja 6: Kontinuirani prijelaz gornjobaremskih u donjoaptske naslage (Mala vrata)

Stop 6: The continuous transition from the Upper Barremian into the Lower Aptian deposits (Mala vrata)

Abstract

The Uppermost Barremian strata are predominantly laminated, made of the irregular alternation of micritic, pelmicritic, pelsparite and cyanobacterial laminae (Figs. 25 and 26). They were formed in the shallow intertidal environment that periodically emerged (traces of clayey-marly materials are sporadically found). Less frequent are peloid-skeletal packstone-grainstones with oncoids, fenestral fabric and sparse ooids. Deposition took place in the shallow environment with higher water-energy. The topmost part of the Barremian sequence is built of late-diagenetic dolomites, infrequently with numerous bivalve shells. Microfossil association is relatively rich, with *Pratulonella nerae* (DRAGASTAN et al.) and *Cylindroporella ivanovici* (SOKAČ & VELIĆ) indicating the Late Barremian.

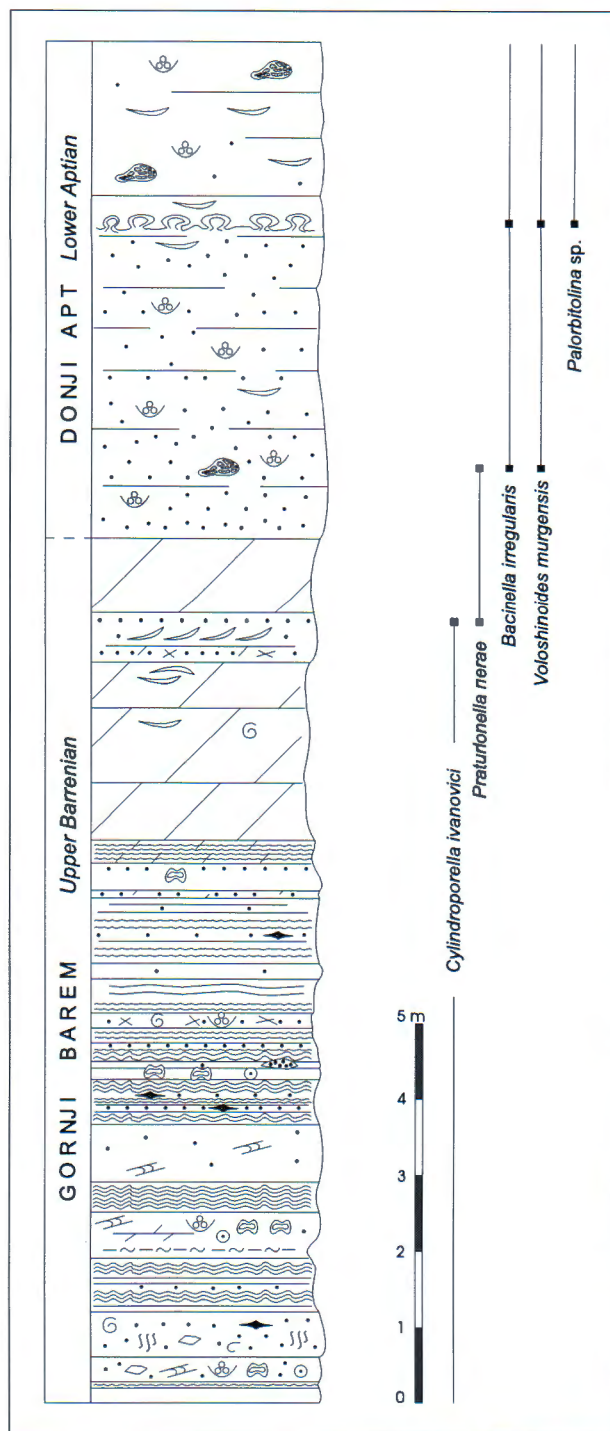
The first few meters of the Lower Aptian deposits are made of packstones and grainstones deposited in the high-energy shallow water. The subsequent strata are oncoid limestones with alga *Bacinella irregularis* RADOIČIĆ and fragments of bivalve *Toucasia* sp. (Fig. 27), which are characteristic for the contemporaneous deposits throughout the Dinarides. The typical Lower Aptian foraminifera *Palorbitolina lenticularis* (BLUMENBACH) is extremely rare.

Kod Malih vrata koja dijele Veliko od Malog jezera, u normalnoj superpoziciji na gornjobaremskim naslagama slijede donjoaptski vapnenci (sl. 25).

Vršni dio gornjobaremskih naslaga obilježen je nepravilnom izmjenom triju litotipova. Dominiraju stijene laminirane tekture, koje se sastoje od promjenljivog udjela mikritnih, pelmikritnih, pelsparitnih i cijanobakterijskih lamina (sl. 26). Debljina takvih stromatolitnih paketa je vrlo različita, pretežito od 8 do 60 cm, a nastali su u plitkom, intertjaldalnom okolišu. Ovaj se litotip često nalazi kao završni član ciklusa oplicavanja navise, pri čemu je dolazilo i do kratkotrajnih emerzija. O tome svjedoče i mjestimice vidljivi tragovi zacrnjenih taloga, zelenkastih obojenja te nejasni ostaci glinovito-laporovitih materijala. Nešto su rjeđi slojevi drugoga litotipa, debljine 0,33 do 0,75 m, izgrađeni od peloidno-skeletnih pekstona i grejnstona s onkoidima, rjeđe i ooidima, nerijetko obilježeni fenestralnom gradom. Oni sadrže promjenljivi udio foraminifera i alga, te kršje krupnih gastropoda nerinejskoga tipa i tankoljuštarnih školjakaša. Taložni okoliš bio je plićak s povišenom energijom vode. U vrhu baremskoga slijeda nalaze se kasnodijagenetski dolomiti koji mjestimice sadrže brojne ljuštore školjakaša. Mikrofosilna je zajednica bentosnih foraminifera razmjerno bogata, ali bez uže provodnih oblika. Ipak, da se tu radi o vršnome baremu može se zaključiti na temelju zajednice alga koja uključuje vrste *Pratulonella*

nerae (DRAGASTAN et al.) i *Cylindroporella ivanovici* (SOKAČ & VELIĆ), a koja se nalazi neposredno ispod "donjih orbitolinskih vapnenaca", baš kao što je to slučaj i na susjednom otoku Korčuli (SOKAČ, 1996).

Nakon nekoliko slojeva kasnodijagenetskih dolomita slijede donjoaptske naslage, predstavljene za dinaridsko područje tipičnim onkolitnim bačineljskim vapnencima (Fig. 26). Početak im je obilježen deblje uslojenim zrnastim varijetetima vapnenaca tipa pekston-grejnston, koji su taloženi u visokoenergijskom plićaku. Na njima slijedi muljeviti tip sedimenta za koji je pored razmjerno rijetkih presjeka alge *Bacinella irregularis* RADOIČIĆ karakteristično i kršje pahiodontnih školjakaša, vj. roda *Toucasia*. Ti su vapnenci taloženi u lagunama i/ili nešto dubljim dijelovima zaštićenih plićaka, a odgovaraju "donjim orbitolinskim vapnencima" *sensu* VELIĆ & SOKAČ (1976). Međutim, ovdje su, za razliku od ostaloga područja Krških Dinarida, nalazi orbitolinide *Palorbitolina lenticularis* (BLUMENBACH) iznimno rijetki, a preorbitoline uopće nisu utvrđene. Još se kao provodan oblik može uzeti i u ovim naslagama utvrđena foraminiferska vrsta *Voloshinoides murgensis* LUPERTO-SINNI & MASSE. Druge zabilježene foraminifere i alge imaju širi raspon, pa su bez većeg stratigrafskog značaja.



Sl. 25 Geološki stup gornjobaremsko-donjoaptskih naslaga kod Malih vrata sa stratigrafskom distribucijom najznačajnijih vrsta. Za legendu vidi sl. 3.

Fig. 25 Geological column of the Upper Barremian and Lower Aptian deposits near Mala vrata with stratigraphic distribution of the index taxa. For legend see Fig. 3.



Sl. 26 LLH-stromatolit. Izmjena tamnih mikritnih i pelmikritnih lamina sa svijetlim sparitnim laminama i laminoidnim fenestrama, gornji barem, 6x.

Fig. 26 LLH-stromatolite. Alternation of dark micritic and pelmicritic laminae, and light sparry laminae and laminoid fenestrae, Upper Barremian, 6x.



Sl. 27 Onkoidno (*Bacinella*)-bioklastični floatston s fragmentima hidrozoja, donji apt, 6x.

Fig. 27 Oncoïd (*Bacinella*)-bioclastic floatstone with hydrozoan fragments, Lower Aptian, 6x.

Literatura - References

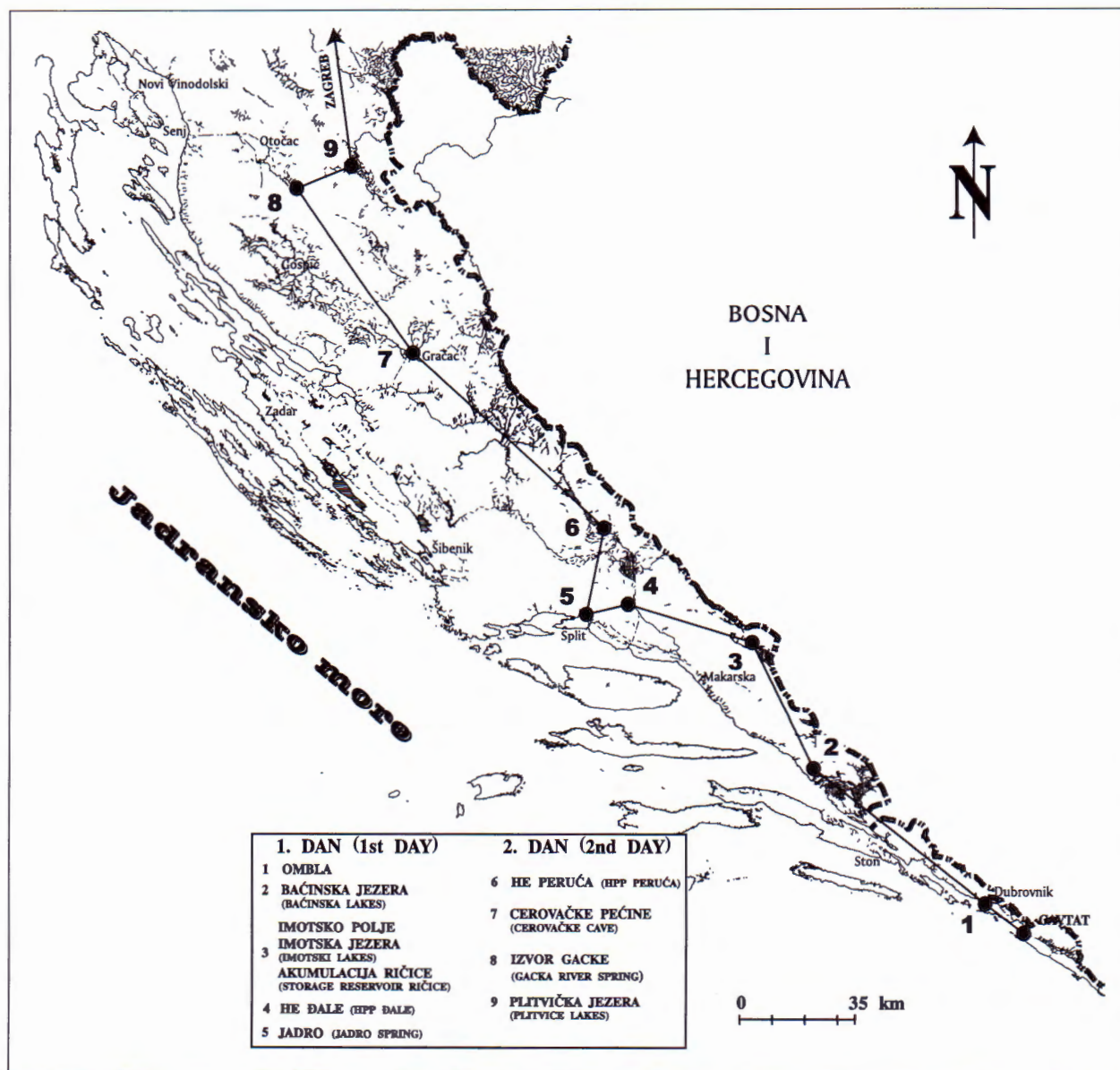
- BAJRAKTAREVIĆ, Z., ČOSOVIĆ, V., VANIČEK, V., & JURAČIĆ, M. (2000): Raznovrsnost bentičkih foraminiferskih zajednica s odabranih lokaliteta mljetskih jezera.- U: VLAHOVIĆ, I. & BIONDIĆ, R. (ur.): 2. hrvatski geološki kongres, Cavtat-Dubrovnik, Zbornik radova, 77-81, Zagreb.
- BATHURST, R.G.C. (1975): Carbonate sediments and their diagenesis.- 2. Izd., Developments in Sedimentology, 12, Elsevier, Amsterdam, 658 str.
- BENOVIĆ, A. & ONOFRI, V. (1995): Ekološke osobitosti Velikog jezera na otoku Mljetu.- U: DURBEŠIĆ, P. & BENOVIĆ, A. (ur.): Zbornik Prirodne značajke i društvena valorizacija otoka Mljeta. Ekološke monografije, 6, 511-521, Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb.
- BLANCHON, P. & SHAW, J. (1995): Reef drowning during the last deglaciation: evidence for catastrophic sea-level rise and ice-sheet collapse.- *Geology*, 23, 4-8.
- BULJAN, M. & ŠPAN, J. (1976): Hidrografska svojstva mljetskih jezera i susjednog mora.- *Acta Adriatica*, 6/12, 1-227, Split.
- CARIĆ, M. & JASPRICA, N. (1995): Koncentracija hranjivih soli i klorofila *a* u Velikom jezeru u razdoblju stratifikacije (1990).- U: DURBEŠIĆ, P. & BENOVIĆ, A. (ur.): Zbornik Prirodne značajke i društvena valorizacija otoka Mljeta. Ekološke monografije, 6, 447-451, Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb.
- CHIOCCHINI, M., MANCINELLI, A. & ROMANO, A. (1984): Stratigraphic distribution of benthic foraminifera in the Aptian, Albian and Cenomanian carbonate sequences of the Aurunci and Ausoni Mountains (southern Lazio, Italy).- *Benthos '83*, 2nd Int. Symp. Benthic Foraminifera (Pau, April 1983), 167-181, Pau & Bordeaux.
- DECROUEZ, D. & MOULLADE, M. (1974): Orbitolinidés nouveaux de l'Albo-Cénomanien de Grèce.- *Arch. Sc. Genève*, 27/1, 75-92.
- FAIRBANKS, G.R. (1989): A 17.000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep ocean circulation.- *Nature*, 324, 637-642.
- FUČEK, L., GUŠIĆ, I., JELASKA, V., KOROLIJA, B. & OŠTRIĆ, N. (1990): Stratigrafija gornjokrednih naslaga jugoistočnog dijela Dugog otoka i njihova korelacija s istovremenim naslagama otoka Brača (Upper Cretaceous stratigraphy of the SE part of the Dugi Otok Island and its correlation with the corresponding deposits of the Brač Island, Adriatic carbonate platform).- *Geološki vjesnik*, 43, 23-33, Zagreb.
- GOVORČIN, D.-P. (2000): Promjene taložnog okoliša u solinskom kanalu na otoku Mljetu na temelju istraživanja sedimenata jezgre.- Diplomski rad, Zajednički studij geologije PMF/RGNF, Sveučilište u Zagrebu, 73 str.
- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1990): Stratigrafija gornjokrednih naslaga otoka Brača u okviru geodinamske evolucije Jadranske karbonatne platforme (Upper Cretaceous stratigraphy of the Island of Brač within the geodynamic evolution of the Adriatic carbonate platform).- *Djela Jugosl. akad. znan. umjetn.*, 69, Zagreb, 160 str.
- GUŠIĆ, I., VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1995): Geološka građa otoka Mljeta (Geology of the Mljet island).- U: DURBEŠIĆ, P. & BENOVIĆ, A. (ur.): Zbornik Prirodne značajke i društvena valorizacija otoka Mljeta. Ekološke monografije, 6, 35-53, Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb.
- HUSINEC, A., VELIĆ, I., FUČEK, L., VLAHOVIĆ, I., MATIČEC, D., OŠTRIĆ, N. & KORBAR, T. (2000): Middle Cretaceous orbitolinid (Foraminifera) record from the islands of Cres and Lošinj (Croatia) and its regional stratigraphic correlation.- *Cretaceous Research*, 21/1, 155-171.
- JURAČIĆ, M., SONDI, I., BARIŠIĆ, D., VDOVIĆ, N. & PRAVDIĆ, V. (1995): Sedimenti i sedimentacija u mljetskim jezerima (Hrvatska).- U: DURBEŠIĆ, P. & BENOVIĆ, A. (ur.): Zbornik Prirodne značajke i društvena valorizacija otoka Mljeta. Ekološke monografije, 6, 107-116, Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb.
- KJERFVE, B. & MAGILL, K.E. (1989): Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons.- *Mar. Geol.*, 88, 187-199.
- KOROLIJA, B., BOROVIĆ, I., GRIMANI, I. & MARINČIĆ, S. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Korčula K 33-47 (Basic geological map of the SFRY, scale 1:100.000, Korčula sheet).- *Geol. zavod Zagreb* (1967-1968), Sav. geol. zavod Beograd.
- KOROLIJA, B., BOROVIĆ, I., GRIMANI, I. & MARINČIĆ, S. (1982): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000. List Ston K 33-48 (Basic geological map of the SFRY, scale 1:100.000, Ston sheet).- *Geol. zavod Zagreb* (1967-1968), Sav. geol. zavod, Beograd.
- KOROLIJA, B., BOROVIĆ, I., GRIMANI, I., MARINČIĆ, S., JAGAČIĆ, T., MAGAŠ, N. & MILANOVIĆ, M. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Korčula K 33-47 (Geology of the Korčula sheet).- *Geol. zavod Zagreb* (1967-1968), Sav. geol. zavod Beograd, 53 str.
- MILLIMAN, J.D., FREILE, D., STEINEN, R.P. & WILBERT, R.J. (1993): Great Bahama Bank aragonitic muds: mostly inorganically precipitated, mostly exported.- *J. Sediment. Petrol.*, 63, 589-595.
- PEHARDA, M. (2000): Školjkaši (*Bivalvia*, *Mollusca*) Malog jezera otoka Mljeta.- Magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 88 str.
- PHLEGER, F.B. (1969): Some general features of coastal lagoons.- U: AYALA-CASTANERAS A. (ur.): *Lagunas Costeras*. Univ. Nac. Autonomus de México, México, 5-26.
- SEIBOLD, E. (1958): Jahreslagen in Sedimenten der mittleren Adria.- *Geologische Rundschau*, 47, 100-117.
- SHINN, E.A., STEINEN, R.P., LIDZ, B.H. & SWART, R.K. (1989): Whitings, a sedimentologic dilemma.- *J. Sedimentary Petrology*, 59, 147-161.
- SOKAČ, B. (1996): Taxonomic review of some Barremian and Aptian calcareous algae (Dasycladales) from the Dinaric and Adriatic karst regions of Croatia.- *Geol. Croat.*, 49/1, 1-79.
- SOKAČ, B., VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1978): Model biostratigrafskog raščlanjivanja i analiza sredina taloženja u

- karbonatnim sedimentima donje krede Biokova (A model of stratigraphic subdivision and an interpretation of depositional environments in the Lower Cretaceous carbonate sediment of the Biokovo Mountain, South Croatia).- U: RAMOVIĆ, M., MOJIČEVIĆ, M., RAKIĆ, Lj. & KUBAT, I. (ur.): IX Kongres geologa Jugoslavije, Sarajevo 1978, Zbornik radova, 215-222, Sarajevo.
- SONDI, I., JURAČIĆ, M., SLAVKOVIĆ, R., & PRAVDIĆ V. (1995): Mineraloške i površinske fizikalno-kemijske značajke sedimenata mljetskih jezera.- U: DURBEŠIĆ P. & BENOVIĆ, A. (ur.): Zbornik Prirodne značajke i društvena valorizacija otoka Mljeta. Ekološke monografije, 6, 117-125, Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb.
- SONDI, I., JURAČIĆ, M. & MILAT, O. (2000): Sedimentation of aragonite in the Mljet Lakes (Mljet Island, Adriatic Sea).- U: VLAHOVIĆ, I. & BIONDIĆ, R. (ur.): 2. hrvatski geološki kongres, Cavtat-Dubrovnik, Zbornik radova, 387-390, Zagreb.
- STOCKMAN, K.W., GINSBURG, R.N. & SHINN, E.A. (1967): The production of lime mud by algae in south Florida.- J. Sediment. Petrol., 37, 633-648.
- STRAŽIČIĆ, N. (1979): Ljepote i znamenitosti Mljetskog jezera.- Priroda, 1979/5, 144-150, Zagreb.
- THOMPSON, J.B., SCHULTZE-LAM, S., BEVERIDGE, T.J. & DES MARAIS, D.J. (1977): Whiting events: biogenic origin due to the photosynthetic activity of cyanobacterial picoplankton.- Limnol. Oceanogr., 42/1, 133-141.
- TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1983): Flachwasserkarbonate der Unterkreide im dinarischen Karstgebiet entlang der jugoslawischen Adriaküste.- Zitteliana, 10, 201-206, München.
- TUCKER, M.E. & WRIGHT, V.P. (1990): Carbonate Sedimentology.- Blackwell Scientific Publ., Oxford, 482 str.
- VELIĆ, I. (1977): Jurassic and Lower Cretaceous assemblage-zones in Mt. Velika Kapela, Central Croatia.- Acta Geologica, 9/2, 15-37, Zagreb.
- VELIĆ, I. (1988): Lower Cretaceous benthic foraminiferal biostratigraphy of the shallow water carbonates of the Dinarides.- Revue de Paléobiologie, Vol. Spéc. 2 (Benthos '86), 467-475, Genève.
- VELIĆ, I., FRITZ, F. & VELIĆ, J. (1989): Geološke značajke otoka Mljeta.- U: Otok Mljet - ekološke i zdravstvene prilike, Razred za medicinske znanosti JAZU, 1-12, Zagreb.
- VELIĆ, I., MATIČEC, D., VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1995): Stratigrafski slijed jurskih i donjokrednih karbonata (bat-gornji alb) u zapadnoj Istri, ekskurzija A (Stratigraphic succession of Jurassic and Lower Cretaceous carbonates (Bathonian - Upper Albian) in Western Istria, Excursion A).- U: VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I. (ur.): 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Vodič ekskurzija (The First Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Excursion Guide-Book), 31-66, Zagreb.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1976): Izvještaj o geološkom kartiranju za Osnovnu geološku kartu na listu Ogulin-107 u 1975. godini (Report on geological mapping for the basic geological map of the sheet Ogulin-107 during 1975).- Geološki vjesnik, 29, 429-433, Zagreb.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1978): Biostratigrafska analiza jure i donje krede šire okolice Ogulina, središnja Hrvatska (Biostratigraphic analysis of the Jurassic and Lower Cretaceous in the wider region of Ogulin, central Croatia).- Geol. vjesnik, 30/1, 309-337, Zagreb.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1980): Biostratigrafska istraživanja donje krede Vanjskih Dinarida (II). Gornji alb otoka Korčule (Biostratigraphic investigations of the Lower Cretaceous of the Outer Dinarides (II). The Upper Albian of the island of Korčula).- Geol. vjesnik, 31, 185-190, Zagreb.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1983): Stratigraphy of the Lower Cretaceous index fossils in the Karst Dinarides (Yugoslavia).- Zitteliana, 10, 485-491, München.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J. & SOKAČ, B. (1979): Stratigraphy and depositional environments of the Lower Cretaceous in the Karst region of the Outer Dinarides (Yugoslavia).- Géobios, Mém. spéc. 3, 245-252, Lyon.
- VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (1994): Foraminiferal assemblages in the Cenomanian of the Buzet-Savudrija area (Northwestern Istria, Croatia).- Geol. Croat., 47/1, 25-43, Zagreb.
- VULETIĆ, A. (1953): Structure géologique du fond du Malo et du Veliko jezero, sur l'île de Mljet.- Acta Adriatica, 6/1, 1-64, Split.
- WUNSAM, S., SCHMIDT, R. & MÜLLER, J. (1999): Holocene lake development of two Dalmatian lagoons (Malo and Veliko Jezero, Isle of Mljet) in respect to changes in Adriatic sea level and climate.- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 146, 251-281.

Ekskurzija C-2 - Excursion C-2

Hidrogeologija i geomorfologija krša Vanjskih Dinarida

Hydrogeology and Karst Geomorphology of the Outer Dinarides



	2. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES Second Croatian Geological Congress	CAVTAT - DUBROVNIK 17 - 20. 5. 2000.	Vodič ekskurzija Excursion Guide-Book	C-2	55 - 92	ZAGREB 2000
---	--	--	---	------------	----------------	--------------------

Hidrogeologija i geomorfologija krša Vanjskih Dinarida

Hydrogeology and Karst Geomorphology of the Outer Dinarides

Darko **IVIČIĆ**¹, Stjepan **BAHUN**², Renato **BULJAN**¹, Srećko **BOŽIČEVIĆ**¹, Ante **PAVIČIĆ**¹,
Tomislav **PAVIŠA**³ & Ante **RENIĆ**¹

Uvod

Darko **IVIČIĆ**

Hidrogeološkom ekskurzijom proći će se područje klasičnog krša kojem pripada cjelokupni teritorij Republike Hrvatske južno od Karlovca. To je pretežito planinsko područje, s nacionalnim parkovima i zaštićenim rezervatima prirode. U tom predjelu podzemne vode koje istječu iz krškog podzemlja izuzetno su visoke kakvoće.

Hidrogeološki odnosi u direktnoj su ovisnosti o rasporedu strukturnih jedinica unutar Dinarida. Glavna zona prikupljanja vode su padalinama bogata planinska područja, a najveći krški izvori formirani su na rubovima Dinarika s jedne strane prema unutrašnjim Dinaridima, a s druge strane prema Adriyatiku.

Osnovne značajke krških sljevova su prostrane zone prikupljanja vode u planinskim područjima i vrlo kompleksni uvjeti izviranja na kontaktima s vodonepropusnim barijerama. Neki od njih su prikazani u ovom vodiču.

Postkongresna hidrogeološka ekskurzija trajati će dva dana i to:

Prvi dan (21. svibnja):

Cavtat - Baćinska jezera - Vrgoračko polje - Imotska jezera - Akumulacija Ričice - HE Đale - Izvor Jadro - Sinj

Drugi dan (22. svibnja):

Sinj - HE Peruća - Knin - Cerovačke pećine - Izvorište Gacke - Plitvička jezera - Zagreb

Tijekom Prvog dana ekskurzije proći će se od Cavtata preko Rijeke Dubrovačke uz kratki prikaz izvorišta Omble (Postaja 1) i hidrogeološke problematike Slanog (za one sudionike koji nisu bili na tim lokalitetima tijekom ekskurzije po dubrovačkom području prethodnog dana).

Nadalje, proći će se priobaljem uz prikaz hidrogeoloških odlika terena i značajnijih vodnih pojava i njihovih veza s ponornim zonama područja Trebišnjice i Popovog polja. Predviđen je kratki turistički obilazak Stona. Proći će se preko uvale Bistrine i uz Malostonski zaljev do delte Neretve, Baćinskih jezera i izvora Klokun (Postaja 2), zatim preko Vrgoračkog polja iznad ulaza u odvodni tunel iz područja Krotuše i preko Staševice, Vrgorca, Župe Vrgoračke i Turije do Imotskog polja. Posebnu točku predstavlja hidrogeološki prikaz polja i njegovih vodnih pojava s posjetom najznačajnijem izvorištu Opačac i Imotskim jezerima (Postaja 3).

Uz Prološko Blato obići će se na uzvodnom, gornjem horizontu brana i akumulacija Ričice, uz kratki prikaz prirodnih uvjeta njenog ostvarenja i postojećih problema s vododrživosti akumulacije (Postaja 3).

U nastavku proći će se krškom zaravni Lovreć - Ugljane i ući u slivno područje Cetine (u vodiču su opisane hidrogeološke odlike sliva rijeke Cetine).

Nakon ručka u Trilju, posjetit će se HE Đale (Postaja 4) i izvorište Jadro kod Splita (Postaja 5).

Sljedeći dan (nakon noćenja u Sinju u hotelu "Alkar"), vraćamo se ponovo u sliv Cetine na branu HE Peruća (Postaja 6), zatim preko Knina (izvor Krke i slap Krčić) odlazimo u posjet Cerovačkim pećinama kod Gračaca (Postaja 7). Putem ćemo se informirati o geološkim, inženjerskogeološkim i tehničkim podacima cestovnog tunela Sv. Rok.

Iz Gračaca se odlazi na izvorište rijeke Gacke u području Ličkog Lešća (Postaja 8), jednog od najbogatijih krških izvorišta izuzetno kvalitetne vode i, što je osobito važno, izvorišta s cjelokupnim slivom unutar područja Republike Hrvatske.

Konačno, završna postaja stručne hidrogeološke ekskurzije je kratki posjet Plitvičkim jezerima (glavni vidikovci; Postaja 9) i odlazak u Zagreb.

¹ Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Geološko-paleontološki zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Ulica kralja Zvonimira 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

³ Hrvatska elektroprivreda, Hidroelektrana "Dubrovnik", A. Starčevića 51, HR-20000 Dubrovnik, Hrvatska.

Postaja 1: Izvorište Omble

Stop 1: The spring area of Ombla

Renato **BULJAN** & Tomislav **PAVIŠA**

Za opis vidi Postaju 2 ekskurzije B-1.

For description of the Stop see Stop 2 of the Excursion B-1.

Postaja 2: Baćinska jezera i izvor Klokun

Stop 1: The lakes Baćinska jezera and the spring Klokun

Sliv izvora desne strane donjeg toka Neretve

The catchment basin on the right side of the lower course of the Neretva river

Darko **IVIČIĆ**

Abstract

The catchment basin on the right side of the lower course of the Neretva River extends over a wide region including Livanjsko polje and Duvanjsko polje. The Neretvansko polje is the final stage of the water flow from the karst region to the sea. Surface flow is restricted to the karst poljes in which the water emerges on their north sides and submerges on their south sides. During the rainy seasons the ponors cannot absorb the rapid influx of large quantities of water and as a consequence pre-ponor (swallow hole) retentions form. Within this basin the regions of the lakes Baćinska jezera, Imotsko polje and the Ričica reservoir are presented separately.

U morfološkom slijedu od visokog planinskog dijela i krških polja što se hipsometrijski spuštaju u dva niza od Livanjskog i Duvanjskog polja, preko Ričica, Posušskog i Imotskog polja, zatim Rastok polja i Vrgoračkog polja, Neretvansko polje predstavlja posljednju stepenicu u tečenju voda prije mora (sl. 1 i 2).

S južne strane opisanog prostora nalazi se izražena depresija doline Neretve, uglavnom visine 1-2 m n.m., s brojnim povremenim ili stalnim izvorima i velikim plavljenim površinama. Na desnoj strani Neretve izdvaja se nekoliko nizinskih proširenja okonturenih pobrđima. Od Ploča do Rogotina to je dio delte Neretve sa stalnim jezerima Parila i Vlaška i visinom okolnog terena od 0,5-1,0 m i s vodotokom Crne rijeke koja odvodi vodu iz područja Desne paralelno s Neretvom do mora.

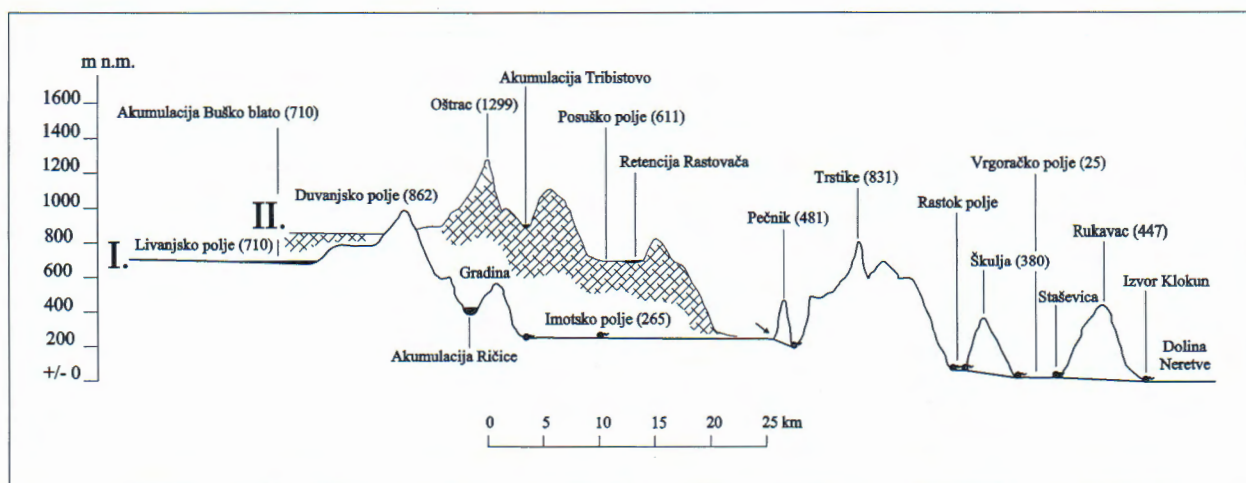
Spomenuto nizinsko područje Desne (0,8 do 1,5 m n.m.) "zatvoreno" je sa zapada pobrdom Istočna Plina, sa sjevera i sjeveroistoka visokim masivom Rujnice, a s istočne strane Donjom gorom. S južne strane ovaj prostor okonturjuje rijeka Neretva. U vlažnom dijelu godine područje je velikim dijelom plavljeno, obraslo trstikom i ispresjecano kanalima.

Od Kule Norinske do Metkovića (i dalje na istok) Neretva s južne strane okonturjuje područje Norinskog blata (1,2 do 2,0 m n.m.). Sa zapadne strane je brdo

Podrurnica, a sa sjevera pobrde Huma (od Borovaca, preko Vida i Pruda do Gabele).

Prostrani dio proširenog ušća Neretve pokriven je različitim kvartarnim naslagama koje se sastoje od slatkovodno-brakičnih i tipičnih barskih i aluvijalnih sedimentata. Zapaža se razlika u sedimentaciji između naslaga istaloženih u području utjecaja plime i oseke i onih uzvodno od rijeke Neretve. Uz rub obale istaložen je pretežno rastresiti materijal finijeg zrna (mulj, pijesak), a istočnije i dalje od obale aluvijalni i barski sedimenti (ilovine, gline, pijesci, šljunci, rastresiti gruboklastični materijal).

Područje sliva izvora desne strane donjeg toka Neretve zauzima veliki, isključivo krški prostor omeđen od Poljica na sjeverozapadu, razvodnicom prema Imotskom polju (BOJANIĆ et al., 1981) do južno od Drinovaca, zatim na jug do Metkovića i Neretvom do ušća u more. Najnovijim trasiranjem (SLIŠKOVIĆ, 2000) dokazana je veza ponora kod Runovića s izvorom Velika Banja kod Vrgorca, pa je tako i veliko slivno područje Imotskog polja posredno povezano s izvorima doline Neretve. Zapadna granica užeg sliva je unutar propusnih karbonatnih naslaga na potezu Poljica - Krstacije - Turija, a ima karakter podzemne zone i površinske razvodnice. Jugozapadna granica sliva ide od Turije do



Sl. 1 Shematski profil šireg zaleđa izvora Klokun.

Fig. 1 The simplified cross section of the wider hinterland of Klokun spring.

Dragljana kontaktom vapnenaca sa zonom nepropusnog fliša, zatim kroz propusnu karbonatnu sredinu preko Biokova do fliške barijere iznad Zaostroga i dalje kontaktom fliša i vapnenaca do južno od Gradca. Unutar ovog sliva moguće je razlikovati nekoliko manjih slivova: sliv izvora u području Kozice - Dragljane, sliv izvora Velika Banja, sliv izvora Vrgoračkog polja, sliv izvora Modro Oko i Prud i sliv izvora Baćinskih jezera (BOJANIĆ & IVIČIĆ, 1980).

Površinska hidrografska mreža vezana je za polja u kršu. U Imotskom polju to je vodotok Vrljike, u Vrgoračkom polju vodotok Matica koja za visokih voda poplavi polje, a prazni se preko niza ponora iz područja Staševice prema moru (sl. 3), a preko ponora Crni Vir prema izvorima u dolini Neretve, kao i tunelom na Baćinska jezera. U vlažnom dijelu godine i Rastok polje također poplavi, a ocjeđuje se preko ponora u Vrgoračko polje. Izgrađen je odvodni tunel u području Prologa i njegovim stavljanjem u funkciju, kao i povećanjem odvodnih kapaciteta s Vrgoračkog polja riješit će se problem poplavnih voda ovih polja.

Prema hidrogeološkim karakteristikama, stijene što izgrađuju prostor obuhvaćen ovim slivom svrstane su u pet osnovnih grupa. Naizmjeničnim osobinama označeni su kvartarni sedimenti istaloženi u poljima. Propusnim je označeno najveće područje izgrađeno pretežno od vapnenaca, zatim vapnenaca i dolomita i breča. Djelomično nepropusnim označeni su donjokredni dolomiti i vapnenci u uskom priobalnom pojasu od Ploča do Gradca. Gornjotrijaski dolomiti istog područja označeni su kao djelomično propusni, a fliške naslage su svrstane u nepropusne stijene. Prema hidrološkoj funkciji terena preko 95% ovog prostora pripada u propusno područje, dok dio kvartarnih i fliških naslaga ima funkciju nepropusne ("viseće") barijere. Potpunom podzemnom barijerom označeni su dolomiti gornjeg trijasa i donjeg lijsa.

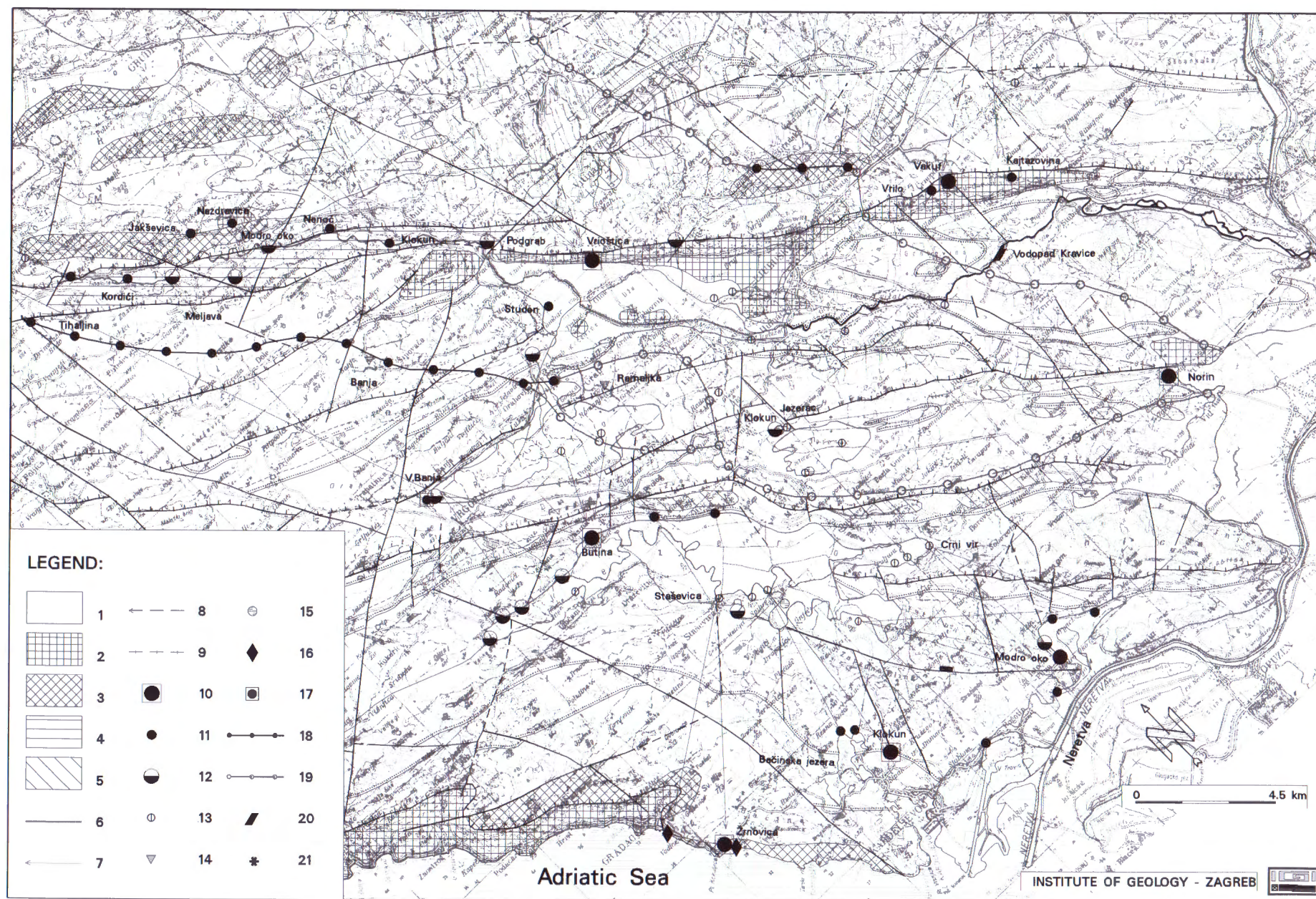
Veliki dio prikazanog područja je bez ikakvih pojava vode na površini. Izviranja su vezana za rubove krških polja, pa je moguće izdvojiti nekoliko zasebnih

grupa izvora. Izvori u području Kozice - Dragljane vezani su za fliške naslage prekrivene debelim naslagama sipara. To su stalni izvori relativno male izdašnosti (<1 l/s). Izvor-jama Velika Banja u krajnjem sjeverozapadnom dijelu Rastok polja ima sliv koji seže daleko u karbonatno zaleđe (Slivno - Krstacije - Runovići). Jama je kaptirana za vodoopskrbu Vrgorca s crnom količinom od 20 l/s. Rezultati bojenja Velike Banje dokazali su direktnu podzemnu vezu s izvorima Butina, Kruška i Studena u Vrgoračkom polju. Bojenjem poniruće vode u središnjem i jugozapadnom dijelu Rastok polja dokazana je veza s izvorima sjeveroistočnog dijela Vrgoračkog polja. Na povremene izvore krajnjeg sjeverozapadnog dijela polja voda dotječe iz smjera uvale Kokorići gdje postoji nekoliko jama koje povremeno izbacuju velike količine vode i uzrokuju plavljenje dna uvale. U sušnom razdoblju voda se spušta duboko u podzemlje. Najznačajnija je Betina u koju je ugrađena pumpa radi crpljenja vode za natapanje poljoprivrednih površina.

Posebno su interesantna Baćinska jezera i izvori uz rub Neretvanskog polja. Norin (Prud, sjeverozapadno od Metkovića) izvire u obliku jezerca u vapnencima na kontaktu s kvartarnim nanosom polja. Dobija vodu iz karbonatnog zaleđa na potezu Jezerac - Bijača - Prudska Draga, i iz smjera Hardomilje. Izvor je kaptiran za regionalni vodovod Neretva - Pelješac - Korčula. Izvor Modro oko (i ostali izvori u području uvale Desne), dobija vodu preko ponora u jugoistočnom dijelu Vrgoračkog polja i skupine ponora Crni Vir u istom polju i kapacitet ovih izvora ovisi o aktivnosti i kapacitetu ponora.

Literatura - References

- BOJANIĆ, L. & IVIČIĆ, D. (1980): Hidrogeološka studija područja Aržano - Brela - Metković. - Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- BOJANIĆ, L., IVIČIĆ, D. & BATIĆ, V. (1981): Hidrogeologija Imotskog polja s osvrtom na značaj u regionalnom smislu. - Geol. vjesnik, 34, 127-135, Zagreb.



SLIŠKOVIĆ, I., KAPELJ, S. & VIDOVIĆ, M. (1997): Zaštita izvora Norinske rijeke - Metković.- Hrvat. vode, 19, 147-159, Zagreb.

SLIŠKOVIĆ, I. (2000): Hidrogeološki radovi za HE Peć Mlini; Akumulacija Nuga (Imotsko polje).- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.

Sl. 3 Ponor uz desni rub korita rijeke Matice u Staševici.

Fig. 3 The ponor along the right bank of the Matica River at Staševica.



Baćinska jezera i izvor Klokun

The lakes Baćinska Jezera and the spring Klokun

Darko IVIČIĆ & Ante PAVIČIĆ

Abstract

A series of five mutually linked lakes are situated to the north of Ploče with a total surface of 1.4 km². The lakes are a crypto-depression with a maximum depth of 34 m. They are supplied with water both naturally (groundwater flow) and through a tunnel that leads from Krotuša in the Vrgoračko polje. The major spring Klokun is used for the water supply of Ploče and Gradac, while other springs are connected with the sea and the water has high salinity. To protect the surrounding agricultural lands from flooding a channel was built to drain the excess waters into the sea.

Baćinska jezera su morfološka depresija nepravilna oblika ispunjena vodom. Uz rub jezera nalazi se nekoliko izvora od kojih su značajniji Suše uz sjeverni rub Voćuše i najznačajniji izvor Klokun kaptiran za vodoopskrbu Ploča.

Uski pojas obalnog područja Baćinskih jezera prekrivaju naslage sedimenata istog sastava i porijekla kao i u Rastok i Vrgoračkom polju. To je pretežno jezerska kreda s kojom dolaze pomiješane pjeskovite gline i ilovine. Prema raspoloživoj paleontološkoj dokumentaciji (ERCEG-JOVIĆ, 1972) ne može se utvrditi kad je počela sedimentacija jezerskih naslaga, kao ni vrijeme početka stvaranja depresije jezera. Ona se najvjerojatnije odvijala u plitkoj i mirnoj slatkovodnoj sredini, a nalaz polena roda *Larix* upućuje na hladniju klimu od današnje.

Cjelokupno područje Baćinskih jezera izgrađuju naslage donje krede, koje se nalaze i u području ušća ri-

jeke Neretve, gdje unutar kvartara izgrađuju manje brežuljke (MAGAŠ et al., 1975).

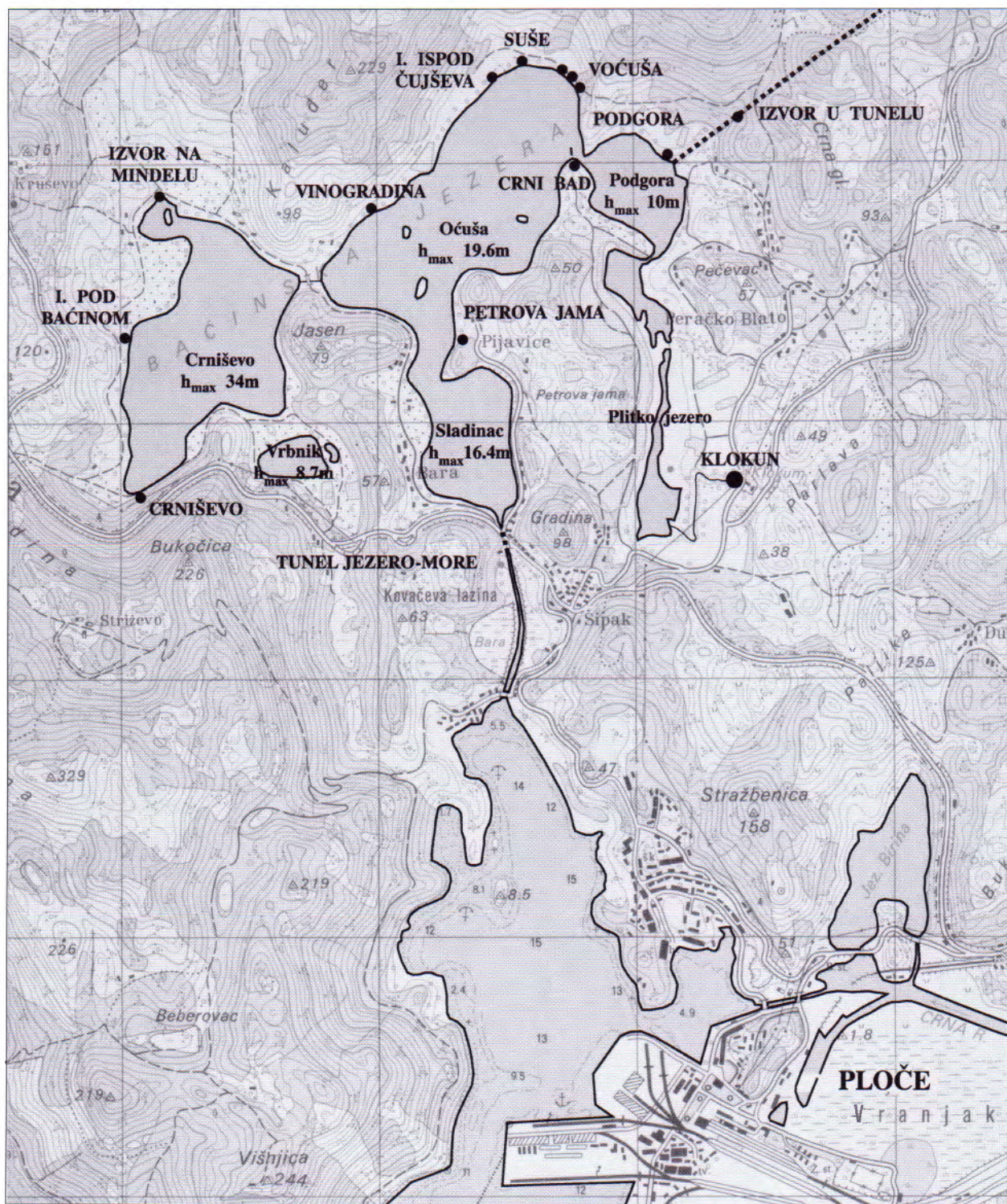
Baćinska jezera posebno su interesantno područje u geomorfološkom smislu, jer predstavljaju kriptodepresiju. Nalaze se sjeverno od Ploča i sastoje se od pet povezanih jezera ukupne površine od 1,4 km² i maksimalne dubine od 34 m (sl. 4).

Najistočnije je smješteno jezero Plitko (Podkušinac ili Vitani) izduženog oblika sjever-jug i najveće dubine od svega 5,5 m u koje utječe voda s izvora Klokun. Plitko jezero je kanalom spojeno s jezerom Podgora dubine do 10,1 m.

U jezero Podgoru tunelom dugačkim 2.120 m dotječu poplavne vode s Vrgoračkog polja iz područja Krotuše (sl. 5 i 6). Tunel je izgrađen još 1938. godine, a do njega vode dotječu prokopanim kanalom iz korita Matice. Odvodni tunel i kanal Prigon rekonstruirani su 1975. godine, a na Prigonu je izgrađena ustava koja je

Sl. 2 Hidrogeološka karta desne strane donjeg toka rijeke Neretve (SLIŠKOVIĆ et al., 1997). Legenda: 1) propusna područja; 2) potpuna topografska barijera; 3) potpuna podzemna barijera; 4) relativna podzemna barijera; 5) nepotpuna viseća barijera; 6) krško polje; 7) smjer kretanja podzemne vode; 8) pretpostavljeni podzemni tok; 9) odvodni kanal; 10) izvor >1000 l/s; 11) izvor 10-1000 l/s; 12) povremeni krški izvor; 13) ponor; 14) jama s vodom u dubini; 15) estavela; 16) bočati izvor; 17) bušeni bunar; 18) podzemna razvodnica; 19) podzemna zonalna razvodnica; 20) rasjed; 21) navlaka.

Fig. 2 Hydrogeological map of the right side of the lower course of the Neretva River catchment basin. Legend: 1) permeable area; 2) complete topographic barrier; 3) complete subsurface barrier; 4) relative subsurface barrier; 5) partial hanging barrier; 6) karst polje; 7) groundwater flow direction; 8) inferred groundwater flow direction; 9) effluent tunnel; 10) spring >1000 l/s; 11) spring 10-1000 l/s; 12) intermittent karst spring; 13) ponor (swallow hole); 14) pit with water; 15) estavelle; 16) brackish coastal spring; 17) drilled production well; 18) subsurface water divide; 19) subsurface water divide zone; 20) fault; 21) overthrust.



Sl. 4 Položaj Baćinskih jezera i izvora Klokun.

Fig. 4 The location of the lakes Baćinska jezera and the spring Klokun.

omogućila daljnje smanjenje plavljenih površina. Propusna moć današnjeg tunela je 50 m³. Prema podacima za ekstremno velikih voda, s povratnim razdobljem od 33 godine, plavljene površine Vrgoračkog polja smanjene su za 50%.

Izgradnjom pregradne građevine i regulacijom Matice u području Crnog Vira, na krajnjem jugoistočnom

dijelu polja, također je bitno smanjeno plavljenje poljoprivrednih površina, a da nije značajnije narušen vodni režim.

Među Baćinskim jezerima najveće je Oćuša (Voćuša) površine oko 0,55 km² i dužine od preko 1,2 km i dubine do 19,6 m. U priobalju ovog jezera nalaze se 3 stalna i 2 povremena izvora.



Sl. 5 Kanal matice prema odvodnom tunelu u Krotuši.

Fig. 5 The channel guiding water to the effluent tunnel at Krotuša.



Sl. 6 Poplavljeni dio polja pred tunelom u Krotuši.

Fig. 6 The flooded terrain at the entrance of the tunnel at Krotuša.

Jezero Sladinac ($0,165 \text{ km}^2$) ima najveću dubinu od 16,4 m. Smješteno je najbliže moru (cca 550 m), pa je radi spriječavanja plavljenja obradivih površina oko jezera 1913. god. prokopan tunel (dužine 124 m) i kanal kojim se odvođe velike vode iz jezera u more. Tunel je proširen 1940. God. s 3,6 na 7,0 m, ali je i taj rekonstruiran 1976. god. Zbog malog nadsloja od svega 10 m ispod Jadranske ceste, tijekom posljednje rekonstrukcije, propusna moć mu je povećana produbljenjem dna za cca 0,70 m bez "diranja" bokova. Također je na pojedinim dionicama u tunelu betonskom oblogom smanjen koeficijent trenja, pa je i na taj način povećan kapacitet tunela na maksimalnih 70 m^3 .

Radi spriječavanja prodora morske vode u Baćinska jezera izgrađen je na ulaznom dijelu tunela betonski preljevni prag apsolutne visine 0,80 m. Prije zadnje rekonstrukcije odvodnog tunela najviša zabilježena razina vode u jezerima bila je 3,18 m n.m. Izlaskom vode iz tunela voda otječe do mora kanalom kroz aluvijalno područje Bare.

Jezero Crniševo je, s obzirom na zemljopisni položaj, smješteno najzapadnije i drugo je po veličini s površinom od $0,43 \text{ km}^2$ i dužinom od 1,1 km. To je i najdublje jezero s maksimalnom dubinom od 34 m. Najvjerojatnije se radi o predponorskoj depresiji i ponoru preko kojega su vode otjecale u more u vrijeme kad mu je razina bila znatno niža od današnje.

"Prevođenje" voda iz Vrgoračkog polja preko Baćinskih jezera u more predstavlja za njih realnu opasnost. Naime, s tom vodom donosi se velika količina vapnenačkog mulja (jezerske krede), koja se taloži na dnu i mijenja životne uvjete u jezerima. Bilo bi izuzetno korisno i nužno da se vrši monitoring donosa mulja, ali i ostalih nečistoća (mineralnih gnojiva i zaštitnih sredstava s poljoprivrednih površina gornjeg polja) kako bi se poduzele odgovarajuće mjere i sačuvala čistoća ovih jezera, koja su još prije dvadesetak godina smatrana potencijalnim izvorima za vodoopskrbu šire regije.

Hidrogeološki odnosi u zaleđu Baćinskih jezera i izvora Klokun su veoma složeni. Najdublje recentno okr-

šavanje se zbilo do kraja pleistocena kada su se formirale depresije i Vrgoračko polje i Baćinska jezera. S obzirom da današnja najveća dubina jezera iznosi 34 m, i dubina okršavanja morala je biti sigurno do te dubine, i dublje, s obzirom na tadašnju razinu mora. Uzdizanjem razine mora u kvartaru promijenili su se i hidrološki uvjeti. Dolazi do "zagušenja" najdubljih kanala, a u depresijama se talože finoklastični (pelitični) slabopropusni sedimenti. Lokalno su se zadržale "veze" kroz okršenu karbonatnu podlogu. Iako nije dokazana direktna podzemna veza vode Klokuna i Baćinskih jezera ona sigurno postoji, barem u daljem zaleđu. Za pretpostaviti je da je i izvor Klokun jedan od "odušaka" u povezanosti podzemne vode "nagnute" prema moru. "Prekid" je uvjetovan jezerskim glinovitim taložinama.

Bušanjem zdenaca za vodoopskrbu pojedinih domaćinstava u Peračkom Blatu (cca 500 m sjeverno od izvora Klokun) dobivena je subarteška voda. Ovo upućuje da u tom dijelu terena nije "uska" veza između vode na površini i vode u podzemlju.

U jezeru Crniševo povećana je količina klorida, a izvor na Mindelu je veoma zaslanjen.

ŠTAMBUK-GILJANOVIĆ (1994) navodi da su vode slivnog područja Vrgorca i Baćinskih jezera, u koje su uvrštene i vode izvora Klokun, sličnog kemijskog sadržaja. Sastav vode oscilira, a za niskog vodostaja sadrže veliku količinu sulfata, koji je vezan za soli nekarbonatne tvrdice, pa imaju povećani isparni ostatak i ukupnu tvrdoću. Iz rezultata kemijskih analiza kaptiranih izvora tog područja SLIŠKOVIĆ et al. (1998) ističu da se tijekom hidroloških minimuma, kada je smanjeno procjeđivanje kroz pokrovni dio vodonosnika pretežito karbonatnog sastava i doprinosa CaHCO_3 tipa vode, povećava udio sulfatne komponente, tj. udio podzemne vode iz dubljih dijelova vodonosnika, koja je bila u kontaktu s naslagama gipsa i anhidrita.

Tijekom hidrogeoloških istražnih radova za određivanje slivnog područja izvora Klokun i Modro Oko, odnosno utvrđivanja povezanosti ponorskih područja južnog dijela Vrgoračkog polja s tim izvorima i njihovog



Sl. 7 Izvor Klokun.

Fig. 7 The Klokun spring.

razgraničenja, izvršeno je trasiranje podzemne vode iz područja Krotuše (IVIČIĆ & PAVIČIĆ, 1996). Utvrđena je jaka veza iz ponora Pod Spilom s izvorom Modro Oko i cijelim nizom izvora u području polja Desne u dolini Neretve, ali ne i s izvorom Klokun i drugim izvorima uz Baćinska jezera. Trasiranjem vode na ponoru kod Crpala, neposredno uz tok Matice (IVIČIĆ & PAVIČIĆ, 1997) utvrđena je veza na izvore uz Baćinska jezera: Klokun, Voćuša i izvor u odvodnom tunelu iz Krotuše u Baćinska jezera. Boja se pojavila i na izvoru Čeveljuša (kod Rogotina) uz pomak od 110 sati. Male prividne brzine tečenja od ponora do izvora (0,65 do 0,85 cm/s) upućuju na podzemnu retenciju koja se polako, ali koncentrirano, prazni preko izvora na kojima je detektiran traser.

Izvor Klokun (sl. 7) je kaptiran za vodoopskrbu Ploča, Gradca i okolnih mjesta. Za grad Ploče crpi se 100 l/s kroz 24 sata dnevno, dok se za Gradac crpi 40 l/s u vremenu od 14 sati dnevno. U crpnoj stanici instalirane su pumpe kapaciteta 100 l/s i dvije po 35 l/s. Ljeti se crpi svih 170 l/s, naravno kad ima dovoljno vode, jer kapacitet izvora varira od najmanjih 92 l/s do 2,5 m³/s.

Literatura - References

- ERCEG-JOVIĆ, B. (1972): Palinološke analize uzoraka s lista Ploče.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- IVIČIĆ, D. & PAVIČIĆ, A. (1996): Hidrogeološki istražni radovi za zaštitne zone izvora Klokun i Modro oko.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- IVIČIĆ, D. & PAVIČIĆ, A. (1997): Hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarne zaštite za izvor Klokun, bojenje ponora kod Crpala.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- MAGAŠ, N., MAMUŽIĆ, P., ŠČAVNIČAR, B. & GRIMANI, M. (1975): Geologija područja Baćinsko jezero-Ploče-Dobrogošće u južnoj Hrvatskoj.- Acta geologica, 41, 397-411, Zagreb.
- SLIŠKOVIĆ, I., KAPELJ, J., KAPELJ, S. (1998): Hydrogeological conditions and the necessity for sanitary protection of the Norinska river-Prud spring, Metković, Croatia.- Geol. Croatica, 51/1, 91-103, Zagreb.
- ŠTAMBUK-GILJANOVIĆ, N. (1994): Vode Dalmacije.- Zavod za javno zdravstvo Županije Splitsko-dalmatinske, Split, 263 str.

Postaja 3: Imotska jezera, Imotsko polje i akumulacija Ričica

Stop 3: The Imotski lakes, Imotsko polje and storage reservoir Ričice

Imotsko polje

The Imotsko Polje

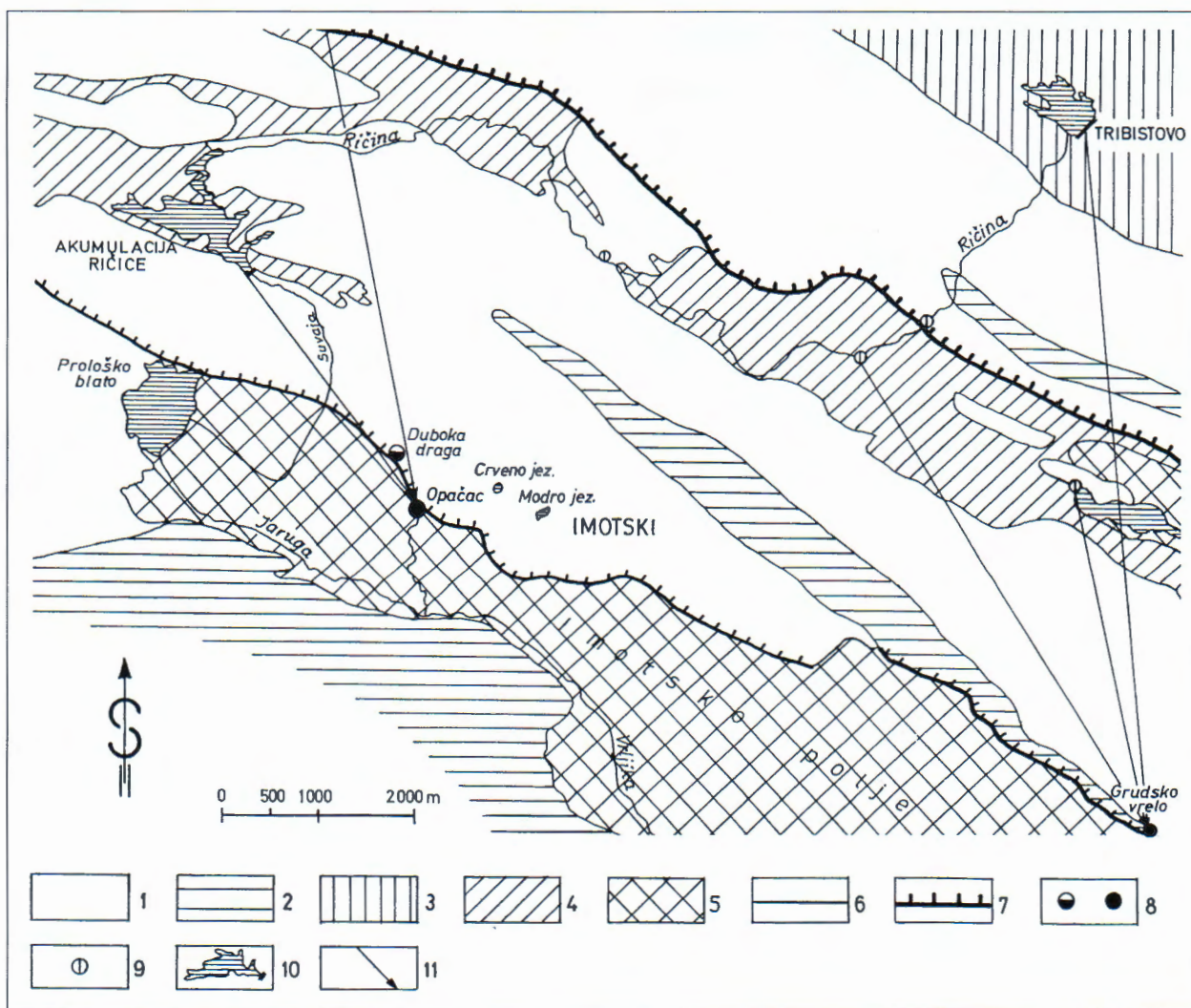
Darko IIVIČIĆ

Abstract

The karst polje Imotsko polje has a pronounced Dinaric strike and a complex hydrogeology and hydrology. The water in the polje is supplied by several permanent and intermittent springs located along the eastern side of the polje, and the intermittent stream Ričine (Šuvaja) that flows through Prološko Blato. The Vrljika stream collects and transports all these waters to the southern rim of the polje where the water is drained through a ponor. These waters reoccur in the Vrgoračko polje and the spring area of Tihaljine. Outside Imotsko polje there is a unique occurrence of lakes within Cretaceous limestones of which the lakes Modro and the Crveno jezero are the most spectacular.

Imotsko-Bekijsko polje proteže se u dinarskom smjeru u dužini od 33 km i širini 0,8-5 km i zauzima površinu od cca 92 km². Od toga se na teritoriju Republike

Hrvatske nalazi cca 65% površine i taj je prostor okonturen državnom granicom sa Bosnom i Hercegovinom od brda Volujak (istočno od Ričica) do Gorice gdje ge-



Sl. 8 Shematska hidrogeološka karta Imotskog polja. Legenda: 1) propusne karbonatne stijene; 2) djelomično nepropusne karbonatne stijene; 3) slabo propusne klastične naslage; 4) uglavnom nepropusne klastične stijene; 5) kvartarne naslage naizmjenične propusnosti; 6) geološka granica; 7) reversni rasjed; 8) izvor (povremen i stalan); 9) ponor; 10) akumulacija; 11) podzemna veza.

Fig. 8 The simplified hydrogeological map of Imotski polje. Legend: 1) permeable carbonate rocks; 2) partially impermeable carbonate rocks; 3) clastic rocks of low permeability; 4) mainly impermeable clastic rocks; 5) Quaternary deposits of alternating permeability; 6) geological boundary; 7) reverse fault; 8) spring (permanent or intermittent); 9) ponor (swallow hole); 10) reservoir; 11) underground connection.

neralno u smjeru sjever-jug presijeca polje. Jugozapadnu i južnu granicu relativno blizu i paralelno s poljem čine dolomitne naslage donjokredne starosti na potezu Klenovac-Runovići-Drinovci. Imotsko je polje na nadmorskoj visini od 260 do 270 m, a nagnuto je prema jugoistoku i okruženo brdima koja se izdižu do visine od preko 700 metara. Površinska hidrografska mreža vezana je isključivo za polje. Glavni vodotok je Trebižat, ali kroz Imotsko polje teče kao Vrljika i Matica i u jugoistočnom dijelu polja (BiH) ponire. S horizonta Posušskog polja dotječe povremeni vodotok Ričina koja kod Proložca ulazi u Imotsko polje pod imenom Suvaja i prije Kamenmosta spaja se s Vrljikom (sl. 8). Veliki dio Imotskog polja ranije su plavile bujične vode Suvaje (Ričine), što je spriječeno stavljanjem u funkciju akumulacije Ričice i izgradnjom sistema kanala u polju.

Geološke odlike

Prema Osnovnoj geološkoj karti, list Imotski (RAJ-IC et al., 1977) najstarije naslage koje izgrađuju prostor prikazanog dijela sliva su donjokredne starosti. U donju-gornju kredu svrstane su karbonatne naslage različitih facijelnih karakteristika unutar kojih se nije mogla izvršiti detaljnija podjela. Gornja kreda je zastupljena skoro isključivo uslojenim do gromadastim vapnencima i samo ponegdje s lećama dolomita i breča. Cenomansko-turonske naslage razvijene su u obliku vapnenaca različite uslojenosti. U području Imotskog, od Proložca do Gorice, i na cijelom graničnom potezu od brda Volujak do Gorice, istaloženi su vapnenci koji "leže" konkordantno na cenomanskim naslagama turonsko-senonske starosti. Na mezozojskoj karbonatnoj i okruženoj

podlozi transgresivno leže naslage paleogenske starosti. Liburnijske naslage obuhvaćaju transgresivne breče i miliolidne vapnence i redovito leže na paleoreljevu gornje krede, a taj je kontakt često "markiran" pojavama boksita. Ove naslage izgrađuju duge i uske zone male debljine (50-150 m) i predstavljaju bazu foraminiferskim vapnencima i često s njima čine litološku cjelinu. Tamo gdje nema liburnijskih slojeva, foraminiferski vapnenci dolaze na erodiranoj krednoj podlozi. Nalaze se kao manje pojave u nastavku eocenske sinklinale od Ričica prema Imotskom i Gorici. U sjeverozapadnom graničnom dijelu ovog sliva nalaze se klastične (fliške) naslage srednjeg do gornjeg eocena. Leže transgresivno na foraminiferskim ili gornjokrednim vapnencima, a sastoje se od lapora, laporovitih vapnenaca, pješčenjaka, breča i konglomerata. Na krajnjem sjeveroistočnom dijelu terena istaloženi su laporoviti vapnenci neogenske starosti, koji se ponegdje izmjenjuju s tankim ulošcima konglomerata. Kvarterne tvorevine istaložene u Imotskom polju sastoje se od glina (crvenice), pijesaka i šljunaka u različitim odnosima, a debljina im je i preko 100 m.

Hidrogeološka obilježja

Prema hidrogeološkim značajkama naslaga i njihovoj funkciji na slivnom području razlikuje se propusno područje i tri tipa hidrogeoloških barijera (BOJANIĆ et al., 1981). Potpunu topografsku barijeru predstavljaju naslage jednog dijela Imotskog polja, dok veći dio polja ima funkciju viseće barijere. Funkciju viseće barijere ima i krajnje sjeveroistočni dio terena izgrađen od miocenskih lapora i laporovitih vapnenaca. Imotsko polje je izraziti tip krškog polja uz čiji sjeveroistočni rub postoje brojne pojave izvora koji formiraju hidrografsku mrežu s glavnim vodotokom Vrljikom. Kvarterne su naslage polja debele i do 150 m i imaju važnu ulogu u raspodjeli podzemnih voda koje iz karbonatnog zaleđa gravitiraju polju. Prema podacima simultanog mjerenja vodostaja na vodnim pojavama u Imotskom polju vidljivo je da su hidrogeološki odnosi vrlo složeni. Sliv je potpuno asimetričan. Bojenjem su dokazane veze izvora u Imotskom polju s ponorima u udaljenom vapnenačkom zaleđu, čak u Duvanjskom i Roškom polju. Iako je na temelju postojećih podataka nemoguće definirati slivove pojedinih izvora ili grupa izvora, generalno se može pretpostaviti da podzemne vode područja zapadno i sjeverozapadno od linije Posušje - Tribistovo izviru uz rub sjevernog dijela Imotskog polja. To su izvori Opačac i Utopišće, cijeli niz povremenih jakih izvora u Donjim Vinjanima.

Sliv Imotskog polja je veliko izrazito krško područje čiji je veći dio na teritoriju BiH. Relativno velike količine oborina koje padnu na dobro propusnu površinu odlaze najvećim dijelom podzemno u smjeru mora i doline Neretve, a samo dio tih voda se pojavljuje na površini. Velike su oscilacije u količini voda s obzirom na hidrološka stanja. Iz provedenih mjerenja minimalna količina vode na izvoru Utopišće iznosi 200-250 l/s, a

maksimalna oko 3.000 l/s, a zajedno s vodom Duboke Drage, Jezerina i Jauka i preko 12 m³. Količina vode koju kod visokih vodostaja daje Duboka Draga znatno je veća od količine voda stalnih izvora. Također velike količine vode daju povremeni izvori u D. Vinjanima. Minimalni kapacitet najznačajnijeg izvora Opačca iznosi oko 800 l/s.

Danas se u vodoopskrbne svrhe koristi 225 l/s, a dovršenjem lokalnih vodovoda (magistralni vodovod je položen) s crpne stanice Opačac koristiti će se 300 l/s. U izgradnji je i vodovod s Mukišnice (uz Buško Blato) i njegovo povezivanje s imotskim vodovodom, čime će se zatvoriti vodoopskrbni "prsten" sjeverozapadnog dijela šireg područja Imotskog kraja.

Posebno interesantne hidrogeološke pojave predstavljaju Imotska jezera. Voda se nalazi u dubokim jamama (Crveno), odnosno ponikvama (Modro jezero). Iako se nalaze u dobro propusnoj sredini i na udaljenosti manjoj od 1 km, amplitude su im neujednačene. Razina vode u Modrom jezeru je ispod 239 m n.m. (jezero presuši), dok se u Crvenom ne spušta ispod 252 m n.m. Oscilacija razine vode u Modrom jezeru iznosi i preko 100 m, a u Crvenom svega 20-tak m. Prema najnovijim speleo-ronilačkim istraživanjima dno Crvenog jezera je na 6 m ispod razine mora. Različite oscilacije razina u ovim, ali i drugim jezerima uz polje, tumače se odvojenim hidrološkim sustavima, odnosno dotjecanjem i otjecanjem u Modrom jezeru kroz dno, a kod Crvenog jezera i kanalima u bokovima (SLIŠKOVIĆ & IVIČIĆ, 1999).

Još su interesantniji podaci o odnosima minimalnih razina vode u jezerima i na izvoru Opačac. Voda se u Modrom jezeru spusti za oko 30 m, a u Crvenom za oko 15 m ispod kote istjecanja izvora.

Veći dio relativno velikih količina oborinskih voda koje padnu na slivno područje brzo se infiltrira u podzemlje i otječe prema nižoj erozijskoj bazi. Dobro razvijeni podzemni "putevi" omogućuju prenošenje onečišćenja na velike udaljenosti, a kako je bojenjem dokazana veza izvora s horizonta Imotskog polja s udaljenim ponorima na području BiH, potrebno je osigurati međudržavnu suradnju u njihovoj zaštiti. Isto vrijedi i za očuvanje voda na nižim horizontima od onečišćenja s područja Imotskog. Grad Imotski ima izgrađen pročistač komunalnih otpadnih voda, ali je na njega dovedeno svega 20-tak % gradske kanalizacije, a ostali dio se ispušta u porozno tlo.

Najveći zagađivač vodotoka Vrljike je vinarija čije se otpadne vode opterećene otopljenim organskim tvarima, povišenim sadržajem KPK i BPK₅, te većom količinom dušika i fosfora ispuštaju u kanal Jarugu (Siju) kojim voda iz Prološkog Blata otječe u Vrljiku.

Literatura - References

- BOJANIĆ, L., IVIČIĆ, D. & BATIĆ, V. (1981): Hidrogeologija Imotskog polja s osvrtom na značaj u regionalnom smislu.- Geol. vjesnik, 34, 127-135, Zagreb.

RAIĆ, V., AHAC, A. & PAPEŠ, J. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Imotski K33-23.- Inst. geol. istraž. Sarajevo (1962-1967), Sav. geol. zavod Beograd.

SLIŠKOVIĆ, I. & IVIČIĆ, D. (1999): Hidrogeologija sliva i korištenje voda rijeke Trebižat.- 2. hrvatska konferencija o vodama, Zbornik radova, 589-595, Dubrovnik.

O postanku Crvenog i Modrog jezera kod Imotskog

On the origin of the Crveno and Modro Lakes near Imotski

Stjepan BAHUN

Abstract

In the Late Miocene, a rather large lake existed in the area around Imotski, with swallow-holes at its SW border. Through these swallow-holes the water flowed down to the existing erosional base. Subsequent neotectonic activity dissected the area and differential movements of blocks caused the dessication of the lake and the swallow-holes ceased to function. Later, collapse processes of the margins plugged the swallow-holes which were thus transformed into very deep potholes (the Crveno Lake) and/or huge dolines (the Modro Lake and some other large depressions).

Uvod

Krški oblici, bili oni površinski ili podzemni, uvijek fasciniraju brojnošću, veličinom i formom, pa nije čudno da su izazvali interes istraživača za način njihovog postanka. To se odnosi i na jedinstvene morfološke i hidrogeološke krške fenomene Crveno i Modro jezero kod Imotskog. Radi se o dvije impresivne, a istočno od njih i više manjih udubina u reljefu (sl. 9 i 10), sa stalnom vodom (Crveno jezero) i povremeno s vodom (Modro jezero).

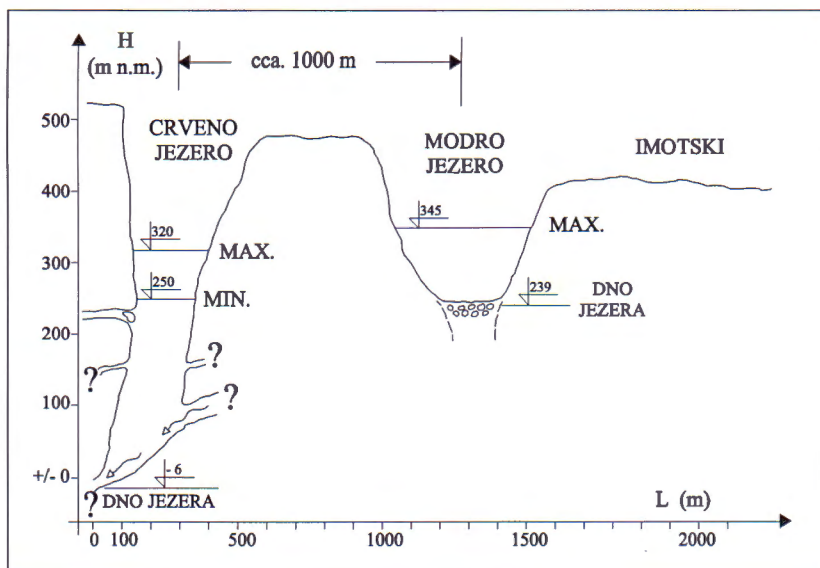
Crveno jezero opisivano je više puta, no podaci o njegovoj morfologiji nisu sasvim podudarni. Za površinsku morfologiju u ovom je prikazu korištena topografska karta M 1:10.000, a podaci o dubinama potječu iz rada PETRIKA (1960). Najviša kota objekta je na sjevernom rubu (oko 522 m), a najniža je južni rub (oko 430 m). Približno na visini od 500 m u pravcu sjeverozapad-jugoistok je najveći promjer (450 m), a u pravcu sjeveroistok-jugozapad najkraći promjer (400 m). Sjeverozapadna strana mu je gotovo vertikalna, dok jugoistočna ima nagib od približno 45°. U vrijeme snimanja ove karte kota vode u jezeru bila je 249,2 m i na toj koti jezero je u pravcu sjeveroistok-jugozapad bilo široko 210 m, a u pravcu sjeveroistok-jugozapad 180 m.

Prema GARAŠIĆU (2000) dno jezera je na -6 m, a prema ROGLIĆU (1938) maksimalna kota vode registrirana je na 320 m iznad mora. Najniža kota vode u jezeru spomenuta u dostupnim pisanim materijalima je 249,1 m n.m. izmjerena u navedenoj topografskoj karti 1:10.000. Može li ona biti i niža zasad je nepoznato, tako da sa svim navedenim podacima treba barataati kao s ograničeno pouzdanim.

Modro jezero nalazi se oko 550 m jugoistočno od Crvenog jezera u dijelu naselja Imotski. Najviše je na sjeveroistočnom rubu (oko 527 m n.m.), a najniže na južnom rubu (oko 385 m n.m.). Najuže je u pravcu sjeverozapad-jugoistok (350 m), a najšire u pravcu sjeveroistok-jugozapad (920 m). Sjeverozapadne i jugoistočne

strane su strme, južne padine su nešto blaže, a sjeveroistočne su najblaže. Kota vode u vrijeme snimanja karte 1:10.000 bila je 247,2 m n.m. i na toj koti jezero je u pravcu sjeveroistok-jugozapad bilo dugačko 230 m, a u pravcu sjeverozapad-jugoistok široko 90 m. Dno jezera je prema PETRIKU (1960) na oko 239 m n.m., a maksimalni vodostaj u jezeru prema ROGLIĆU (1938) je 345 m n.m.

Iz navedenih podataka proizlazi da su dosadašnji autori opisivali prvenstveno morfološke i hidrološke značajke Crvenog i Modrog jezera, a da od pretpostavki o načinu njihovog postanka postoji mišljenje CVIJICA (1926) i ROGLIĆA (1938) o urušavanju stropa većeg pećinskog prostora. Tome donekle proturiječi mišljenje BOŽIČEVIĆA (1971) da je terminološki gledano Crveno jezero jama. To dakako mijenja i interpretaciju o načinu postanka Crvenog i Modrog jezera. Treba istaći poznatu postavku da je današnja površinska krška morfologija, praktički bez površinskih tokova, prvenstveno posljedica modeliranja podzemnih šupljina koje su zbog snižavanja reljefa došle na površinu (BAHUN, 1968). Radi se, naime, o dva procesa koji teku paralelno. Prvi je korozijsko i erozijsko razaranje krškog podzemlja prvenstveno putem podzemnih voda, što rezultira akumuliranjem podzemnih krških oblika, tj. postojeće se podzemne forme granaju i povećavaju, ili se stvaraju novi oblici zbog čega karbonatno podzemlje postaje sve okršnije. Taj proces traje od trenutka izdizanja karbonatnih stijena iznad erozijske baze, a to je u našim krajevima bilo uglavnom završetkom paleogena. Drugi je proces opće snižavanje reljefa pod utjecajem egzogenih čimbenika (korozija, erozija vodom, vjetrom, ledom, abrazijom) zbog kojih akumulirane podzemne krške forme dolaze na površinu, pa započinje njihovo površinsko modeliranje u današnje oblike. Iz međusobnog odnosa ova dva procesa proizlazi da su podzemne krške forme starije i akumulirane, a površinski oblici da su mlađi, uvijek iznova uništavani i ponovno stvarani.



Sl. 9 Topografski profil Crvenog i Modrog jezera.

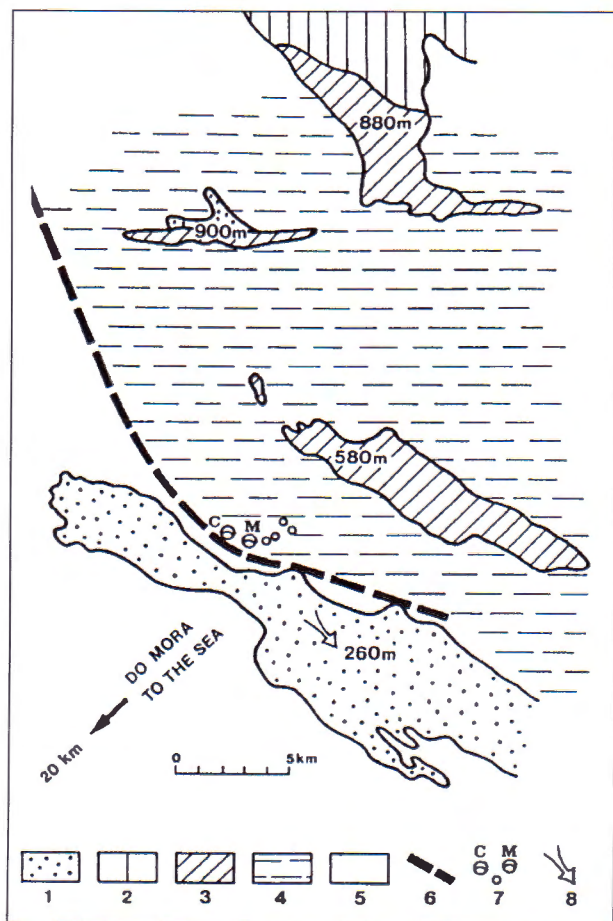
Fig. 9 Topographic profile across the Crveno and Modro Lakes.

Geološki uvjeti

Oba ova jezera nalaze se u karbonatnoj sredini, koja niti litološkim, niti tektonskim značajkama nije dala predispozicije za razvitak ovakvih formi na ovim mjestima. Jer, koji bi to čimbenici mogli u relativno homogenoj karbonatnoj sredini stvoriti šupljinu u čvrstoj stijeni danas duboku preko 500 m (a u prošlosti vjerojatno i dublju) u kojoj se nalazi Crveno jezero, odnosno de-

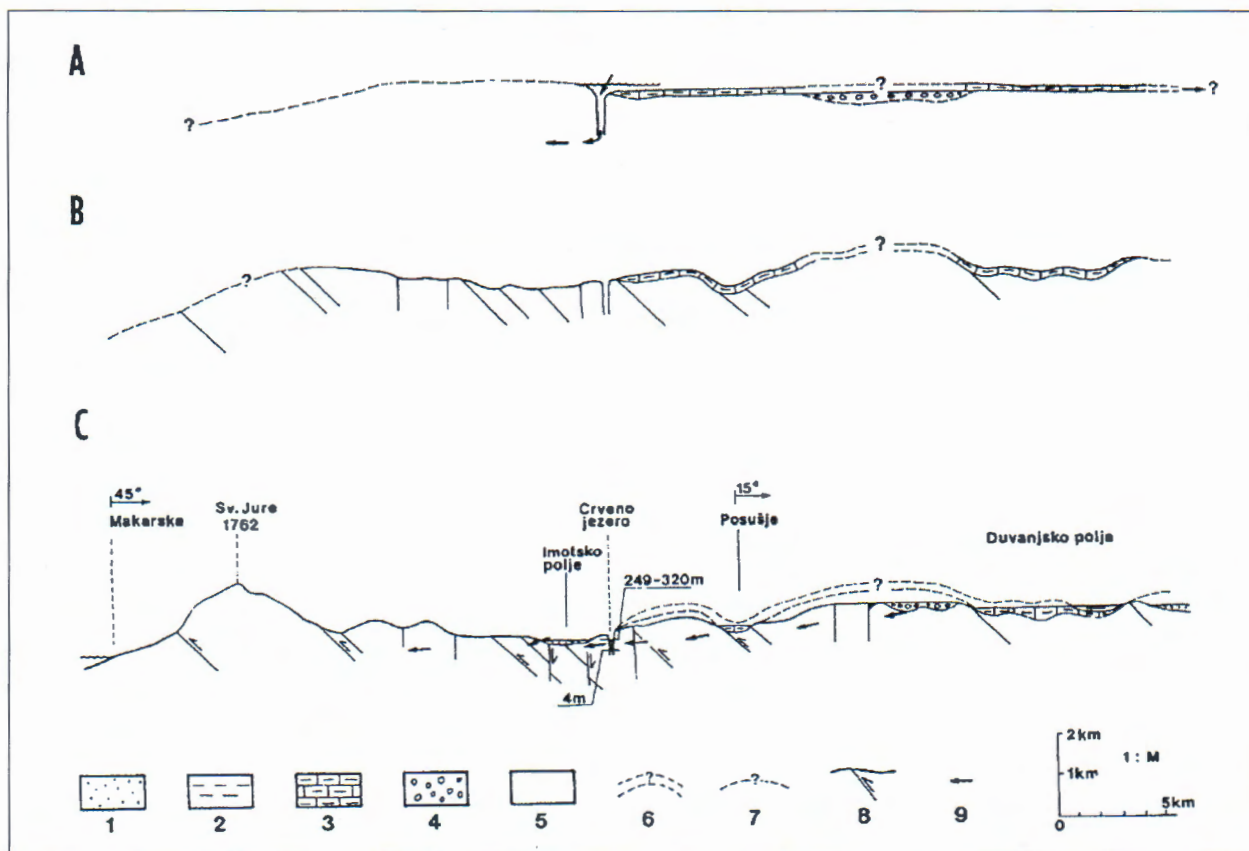
presiju duboku danas preko 250 m (a u prošlosti sigurno dublju jer je zatrpana urušnim materijalom s bokova) u kojoj se nalazi Modro jezero? Prihvatimo li da takve forme u kršu mogu nastati samo koncentriranom korozijom i erozijom karbonatnih stijena vodom, morali bismo pretpostaviti vjerojatno stalan i snažan podzemni tok koji bi mogao formirati veliku pećinu, strop koje bi se trebao prema CVIJICU (1926) i ROGLIĆU (1938) urušiti, pa bi zbog geomehaničkih osobina stijena trebalo očekivati formu koja je u pripovršinskim dijelovima uža od dijelova u dubini. S druge strane, međutim, na osnovi neposrednog istraživanja današnjih ponora poznato je da u zoni poniranja površinskih tokova postoje izrazito dugački vertikalni odsjeci podzemnih šupljina, kojima površinske vode naglo i u velikim količinama otječu u duboko krško podzemlje.

Razmotrimo li u vezi s iznesenim geološke uvjete u kojima su u prošlosti na mjestima današnjeg Crvenog i Modrog jezera površinske vode mogle ponirati u podzemlje, dolazimo do neogena iz kojeg potječu sedimenti rasprostranjeni na karbonatnoj podlozi sjeverno od oba jezera.



Sl. 10 Vjerojatan položaj dijela gornjomiocenskog jezera sjeverno od Imotskog polja. Legenda: 1) aluvij; 2) pliocen, bijeli lapori; 3) gornji miocen, lapori i laporoviti vapnenci s kongerijama; 4) vjerojatni jezerski prostor u neogenu; 5) vjerojatno kopno u neogenu; 6) vjerojatni položaj obale u neogenu; 7) Crveno jezero (C) i Modro jezero (M) i ostale depresije, vjerojatno ponori u neogenu; 8) vjerojatni smjer otjecanja iz jezera. Geološki podaci: RAIĆ et al. (1976).

Fig. 10 Probable position of a part of the Upper Miocene lake north of Imotsko polje. Legend: 1) aluvial deposits; 2) Pliocene, white marls; 3) Upper Miocene, marls and marly limestones with *Congerina* sp.; 4) probable lake area in the Neogene; 5) probable land in the Neogene; 6) probable position of the lake shore in the Neogene; 7) Crveno Lake (C) and Modro Lake (M), and other depressions, probably former swallow-holes; 8) probable direction of underground outflow from the lake. Geological data according to RAIĆ et al. (1976).



Sl. 11 Faze razvitka područja Crvenog i Modrog jezera. Legenda: 1) kvartarni nanos; 2) pliocenski bijeli lapori; 3) miocenski lapori s kongerijama; 4) Promina formacija; 5) karbonatne stijene jure i krede; 6) pretpostavljeni položaj miocenskih sedimenata; 7) pretpostavljeni reljef u miocenu; 8) reversni rasjedi; 9) smjer tečenja podzemnih voda; A) gornji miocen; B) pliocen-pleistocen; C) danas. Geološki podaci: RAIĆ et al. (1976).

Fig. 11 Development phases of the Crveno and Modro Lakes. Legend: 1) Quaternary deposits; 2) Pliocene white marls; 3) Miocene *Congeria*-bearing marls; 4) the Promina Formation; 5) Jurassic and Cretaceous carbonate deposits; 6) inferred position of Miocene deposits; 7) supposed relief in the Miocene; 8) reverse faults; 9) direction of subsurface water flow; A) Late Miocene; B) Pliocene-Pleistocene; C) Recent. Geological data according to RAIĆ et al. (1976).

Prema Osnovnoj geološkoj karti lista Imotski (RAIĆ et al., 1976), sedimenti miocena (lapori i laporoviti vapnenci s kongerijama) ustanovljeni su u području Posušja, pa sjeverozapadno od Vinjana postoji mali erozijski ostatak, zatim oko Roškog polja.

Prema sjeveroistoku počinje prostrani bazen istovjetnih naslaga u Duvanjskom polju. Također jedna manja pojava takvih sedimenata postoji u području Rakitnog (sl. 10). Budući da se na svim spomenutim lokalitetima radi o istovjetnim sedimentima (lapori i laporoviti vapnenci s kongerijama), može se zaključiti da su naslage s kongerijama ostaci nekada povezane cjeline, tj. produkti prostranog miocenskog jezera, daleko većeg od prostora na kojem su danas nađeni ovi sedimenti i povezanog s prostorom današnjeg Duvanjskog polja. Da bi tako moralo biti potvrđuju i biološki zakoni prema kojima je potreban prostor od najmanje 10 km², da bi se mogla razviti populacija jedne vrste ili roda. Navedeni lokaliteti s miocenskim sedimentima danas su na različitim visinama (Duvanjsko polje 880 m n.m., Roško polje 900 m n.m., Posušje 580 m n.m., Rakitno 900 m n.m.), što je posljedica tektonske dezintegracije nekad cjelovitog miocenskog bazena (sl. 11). Mali osta-

ci neogenskih lapora (kod Gruda) paleogeografski upućuju da je miocen istaložen, zatim da je taj dio izdignut i miocenski sedimenti gotovo do kraja erodirani, te da je nakon toga sve spuštено u položaj današnjeg Imotskog polja. To je moglo biti rubno područje miocenskog jezera što se u kontekstu ove rekonstrukcije svodi na isto (sl. 11A).

Postanak

Postojeća stalna i povremena, ili bivša jezera i polja u kršu nemaju površinsku odvodnju, već se ona odvija putem ponora na "nizvodnom" karbonatnom rubu, tako da nema značajnijih prigovora pretpostavci da su identični hidrogeološki odnosi mogli biti i u miocenu na ovom području. Položaj Crvenog i Modrog jezera kao i ostalih većih depresija podudara se s južnom obalom tog miocenskog jezera (sl. 10 i 11A). Uzme li se da su Imotska jezera i ostale adekvatne depresije bili ponori, a gledajući najizrazitiju formu od njih - Crveno jezero, izlazi da je u završnoj fazi praznjenja jezera visinska razlika između ulaza vode u ponor i erozijske baze morala biti znatna. Današnja je dubina Crvenog jezera,

naime, oko 500 m, no k tome se mora dodati iznos površinske erozije koja je snizila kotu ušća ponora, kao i podatak da današnja kota dna jezera od -6 m predstavlja gotovo sigurno dno jezera od urušenog materijala s bokova, a da stvarnog "dna" i nema, jer se šupljina morala nastavljati i dublje i bočno, u smjeru u kojem su ponorne vode podzemljem otjecale do tadašnje erozijske baze. Zbog toga se ne može zaključiti koliko je prethodna dubina ponora nadmašivala današnju dubinu od 500 m, tim više što je i nakon miocena tijekom neotektonskih pokreta erozijska baza bila više puta ispod današnje razine mora. Uzmemo li s tim u vezi u razmatranje podatak da je razina gornjomiocenskog mora bila za oko 100 m niža od današnje razine (HAQ et al., 1987), tadašnje miocensko jezero moralo je biti na visini većoj od 400-500 m. Kakva je u to vrijeme bila morfologija u prostoru između jezera i mora ne znamo, osim da tu, jugozapadno od površine koju je prekrivalo miocensko jezero, danas nema neogenskih sedimenata. Stoga, s obzirom da su i na širem području i u predmiocenskom razdoblju registrirani značajniji tangencijalni pokreti, možemo pretpostaviti da je čitavo područje jugozapadno od jezera i ponora u gornjem miocenu bilo morfološki više od okoline (sl. 11A). U daljnjem slijedu geoloških događaja nastavlja se izdizanje i područja jezera, tako da danas nalazimo miocenske naslage na višim kotama, pa čak i na visinama preko 900 m. Istodobno, a vjerojatno kasnije, moralo se desiti i spuštanje područja neposredno jugozapadno od jezera, pri čemu nastaje depresija današnjeg Imotskog polja (BOJANIĆ et al., 1981). Završno oblikovanje uslijedilo je erozijom, koja skida istaknute dijelove miocenskih naslaga. Konačno, kvartarna akumulacija zaravnjava Imotsko polje.

Prema tome početak formiranja ponora nastao je potkraj miocena, a njihovo funkcioniranje prestaje izdizanjem područja tadašnjeg jezera. To je bilo vjerojatno u pliocenu, jer pliocenski sedimenti, koji su ustanovljeni sjevernije u Duvanjskom polju, ovdje nedostaju. Od pliocena pak do danas ostaje dovoljno dugo vrijeme s višekratno povoljnim uvjetima da se iz vertikalnih šupljina urušavanjem bokova i zatrpavanjem dubljih dijelova ponora, formiraju udubljenja koja danas liče ogromnim ponikvama (Modro jezero), odnosno oblici koji po nekim klasifikacijama spadaju u jame (Crveno jezero).

Danas su pretpostavljene podzemne vodene veze od Imotskog polja do mora, no za vjerovati je da su za vrijeme pražnjenja miocenskog jezera putem ponora, podzemna otjecanja bila većim dijelom usmjerena prema jugu i jugoistoku, paralelno s geološkim strukturama, jer je tada područje neposredno uz jugozapadni rub jezera bilo i morfološki uzdignuto, a geološki činilo makar djelomičnu barijeru otjecanju na jugozapad. Tek nakon što se teren u području današnjeg Imotskog polja spustio, otvorile su se veće mogućnosti cirkulacije voda i u tom smjeru.

Rezultati analiza slijeda geoloških događaja, zatim današnjih hidrogeoloških odnosa i razvitka morfologije šireg područja Crvenog i Modrog jezera, omogućavaju

rekonstrukciju prema kojoj je u gornjem miocenu sjeveroistočno od današnjeg Imotskog polja postojalo prostrano jezero na visini većoj od 400-500 m. Između jezera i mora bilo je tada uzdignuto područje, na čijem su rubu iz jezera preko ponora otjecale vode na nižu stepenicu. Neotektonikom je diferencijalno poremećen teren, pa je područje nekadašnjeg jezera disecirano, tako da su neki dijelovi relativno dignuti do današnjih visina od 900 m, a neki relativno spušteni, kao npr. Imotsko polje, na današnje visine od 260 m. Takvim pokretima jezero je presušilo, ponori su ostali bez vode pa su razarani egzogenim utjecajima i obrušavanjem s bokova pretvoreni ili u ogromne ponikve (npr. Modro jezero) ili u duboke jame (npr. Crveno jezero). Stalne vode i njezine oscilacije u Crvenom jezeru i povremeno plavljenje Modrog jezera, danas su rezultat dinamike podzemnih krških voda, koje kroz podzemlje ovog područja iz viših dijelova na sjeveru i sjeveroistoku protječu do erozijske baze - Neretve na istoku, odnosno mora na jugu.

Za napomenuti je da su Crveno i Modro jezero, čak i za kršku morfologiju bizarni oblici. Međutim, s geološkog i hidrogeološkog stajališta ona ne predstavljaju izuzetne pojave u kršu, jer se uz opisanu rekonstrukciju postanka uklapaju u geološki i hidrogeološki razvitak šireg područja. Svoju morfološku grandioznost zadobila su, osim predisponiranosti čitavog terena za razvitak krške hidrogeologije, ponajprije velikim količinama voda u vrijeme postanka i izrazito velikim gradijentima između kota poniranja voda i najbliže lokalne erozijske baze.

Literatura - References

- BAHUN, S. (1968): On the formation of karst dolinas.- *Geol. vjesnik*, 22, 25-32, Zagreb.
- BOJANIĆ, L., IVIČIĆ, D. & BATIĆ, V. (1981): Hidrogeologija Imotskog polja s osvrtom na značaj u regionalnom smislu.- *Geol. vjesnik*, 34, 127-135, Zagreb.
- BOŽIČEVIĆ, S. (1971): Da li je Crveno jezero kod Imotskog naša najdublja jama?- *Priroda*, 58/6, 188, Zagreb.
- CVIJIC, J. (1926): *Geomorfologija II.*, Beograd.
- GARAŠIĆ, M. (2000): Speleohidrološka istraživanja Crvenog jezera kraj Imotskog u Dinarskom kršu (Hrvatska).- U: VLAHOVIĆ, I. & BIONDIĆ, R. (ur.): 2. hrvatski geološki kongres, Cavtat-Dubrovnik, Zbornik radova, 587-590, Zagreb.
- HAQ, B.U., HARDENBOL, J. & VAIL, P.R. (1987): Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic.- *Science*, 235, 1156-1167.
- PETRIK, M. (1960): Hidrografska mjerenja u okolini Imotskog.- *Ljetopis Jugosl. akad. znan. umjet.*, 64, 266-286, Zagreb.
- RAIĆ, V., AHAC, A. & PAPEŠ, J. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Imotski K33-23.- *Inst. geol. istraž. Sarajevo (1962-1967)*, Sav. geol. zavod Beograd.
- ROGLIĆ, J. (1938): Imotsko polje (fizičko geografske osobine).- *Posebna izd. Geogr. Društva*, 21, 1-125, Beograd.

Akumulacija Ričice

The reservoir Ričice

Darko IVIČIĆ

Abstract

The Ričice reservoir was created through the construction of a dam 45 m high on the course of the intermittent river Ričina to the north of Imotski. The larger part of the flooded area consists of low permeable rocks (marls, clayey limestones and sandstones). Permeable limestone and limestone breccia are located at several places along the right bank near the dam and in the upper course region of the reservoir. There is considerable water loss from the reservoir; therefore further investigations are necessary in order to produce technical solutions to prevent these losses.

Ostvarenje akumulacije Ričice omogućili su prirodni uvjeti u širem području sela Ričice u dolinskom protoru povremenog toka Ričine i njenog pritoka Vrbice (BOJANIĆ & IVIČIĆ, 1978). Zaplavni prostor je izgrađen u najvećoj mjeri od prominskih naslaga: kompleksa lapora, laporovitih vapnenaca i pješčenjaka. U cjelini ove naslage su vodonepropusne, tek je lokalno površinski rastresiti pokrivač jače ili slabije propustan, obično do male dubine, odnosno do primarne laporovite podloge. Spomenute naslage izgrađuju donji dio akumulacijskog prostora i dno i bokove (do određene visine na desnom boku), cijelu dolinu Vrbice i dijelove u uzvodnom prostoru akumulacije. Slabije propusnim stijenama označeni su bazalni brečokonglomerati i laporoviti vapnenci iz sastava prominskih naslaga. Nalaze se na desnom boku pregradnog profila i nizvodno od pregradnog mjesta. U graničnom području ovih naslaga sa starijim eocenskim vapnencima mjestimično se nalaze boksiti, pa i na samom mjestu brane u desnom boku. Tijekom izgradnje brane (sl. 12) hipsometrijski niže pojave boksita (područje neposredno iznad brane i uz pristupnu cestu) su zaštićene prskanim betonom.

Kontakt bazalnih brečokonglomerata i laporovitih vapnenaca s laporima u najvećem dijelu padine je prekriven obronačnim nanosom i siparom, a prema starijim foraminiferskim vapnencima nije definiran po cijeloj padini zbog nepristupačnosti stijenskih litica.

Naizmjenično propusnim naslagama ocijenjeni su riječni i obronačni nanos i konsolidirani sipar. Vodo-propusnost im je ovisna o litološkom sastavu i debljini, ali i o sastavu i "karakteru" podloge na kojoj su istaloženi. Ako se nalaze na laporima fliške serije, onda im je hidrogeološka funkcija vezana za podlogu i u cjelini predstavljaju nepropustan kompleks naslaga. Ukoliko "leže" na karbonatnoj podlozi onda zajedno s njima predstavljaju propusnu sredinu.

Vapnenci i vapnenačke breče koji izgrađuju više dijelove desnog boka, zatim dio terena u području Parlova, područje karbonatnih greda u predjelu "Kotao" (sl. 13) i mosta preko Ričine na cesti za Ričice predstavljaju propusne naslage. Tektonska ispucalost i razlomljenost, pukotine, kanali, kaverne i dr. potenciraju propusnost spomenutih naslaga. Strukturno-tektonskim snimanjem karbonatnih naslaga akumulacijskog prostora ustanovljeno je da su pojedini dijelovi predisponirani za moguće podzemno otjecanje vode u smjeru Imotskog polja. Putevi nisu razrađeni u smislu privilegiranih tokova, već se radi o propusnim zonama (BULJAN et al., 1997).

Upravo ovo područje smatramo "odgovornim" za gubitke iz akumulacije, koji onemogućuju punjenje akumulacije do predviđene maksimalne razine. Nažalost, predloženi način opažanja i mjerenja uz kontrolirano fazno ispuštanje vode iz akumulacije kroz temeljni is-



Sl. 12 Brana Ričice.
Fig. 12 The Ričice dam.



Sl. 13 Karbonatno područje "Kotao".
Fig. 13 The carbonate terrain "Kotao".

pust nije proveden prema programu. I dalje je odlučujuće pitanje mjesto i količina gubitaka, a onda je stvar tehničkog rješenja njihovog smanjenja.

Iznosimo neke zaključne napomene iz elaborata "Hidrološke obrade za potrebe akumulacije Ričica" (ŽUGAJ & PLANTIĆ, 1997):

"Glavna značajka otjecanja vode sa sliva krške rijeke Ričine su vrlo veliki gubici sa sliva i iz korita u podzemlje, tako da Ričina predstavlja vodom najsiromašniju rijeku u Dinarskom kršu.

Analizirajući vrijednosti gubitaka procjeđivanja u podzemlje, može se unatoč velikom osipanju rezultata zaključiti da gubici procjeđivanja logično rastu s porastom razine vode u akumulacijskom jezeru.

Ipak, analizirajući dnevne podatke procjeđivanja, može se zaključiti da se te količine kreću oko 50 l/s pri najnižim zabilježenim razinama vode u spomenutom razdoblju, odnosno pri kotama od 375,76 m n.m., pa sve do oko 800 l/s pri kotama od 393,60 m n.m.

Ranije definiran prosječni dotok u akumulacijsko jezero u hidrološkim obradama iznosio je oko 1,0 m³/s, a sadašnji prosječni dotok je svega 300 l/s. Kritičkim osvrtom na ranije hidrološke studije nisu ustanovljene bitne pogreške u proračunima. U ondašnjim, vrlo nestabilnim hidrološkim profilima provedeno je znatno manje mjerenja protoka vode nego u sadašnjim prilikama. Osim toga, nakon izgradnje akumulacije Tribistovo protoci vode Ričinom su dodatno smanjeni, a moguće gubitke vode duž korita su ostale iste".

Kratki prikaz tehničkih karakteristika brane i akumulacije:

<i>Visina brane</i>	$H_{br} = 45,00$ m
<i>Dužina brane u kruni</i>	$L = 200,00$ m
<i>Kota krune brane</i>	402,20 m n.m.
<i>Prag preljeva</i>	393,20 m n.m.
<i>Prag temeljnog ispusta</i>	367,00 m n.m.
<i>Najniža kota u akumulaciji</i>	360,00 m n.m.
<i>Zapremina akumulacije</i>	35,18 hm ³

Zaključno, kod malih i srednjih voda gubici vode iz akumulacijskog prostora vezani su za najuzvodniji karbonatni dio (kanjon) akumulacije. Kada razina vode u akumulaciji dosegne pojave karbonata u desnom boku pregrade dolazi do procjeđivanja i u tom dijelu akumulacije. Bez daljnjih istraživanja nemoguće je kvantificirati gubitke između ta dva prostora. Opća hidrogeološka slika je poznata, a daljnji istražni radovi su potrebni radi tehničkog rješenja otješenja gubitaka, kada će i programiranje radova biti u funkciji njegova ostvarenja.

Literatura - References

- BOJANIĆ, L. & IVIČIĆ, D. (1978): Akumulacija Ričice, hidrogeološki radovi.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- BULJAN, R., IVIČIĆ, D. & KAPELJ, S. (1997): Akumulacija Ričica, hidrogeološki istražni radovi u 1997. god.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- ŽUGAJ, R. & PLANTIĆ, K. (1997): Hidrološke obrade za potrebe akumulacije Ričica.- Fond struč. dok. Instituta za elektroprivredu, Zagreb.

Postaja 4: Hidroelektrana Đale

Stop 4: The "Đale" Hydroelectric Power Plant

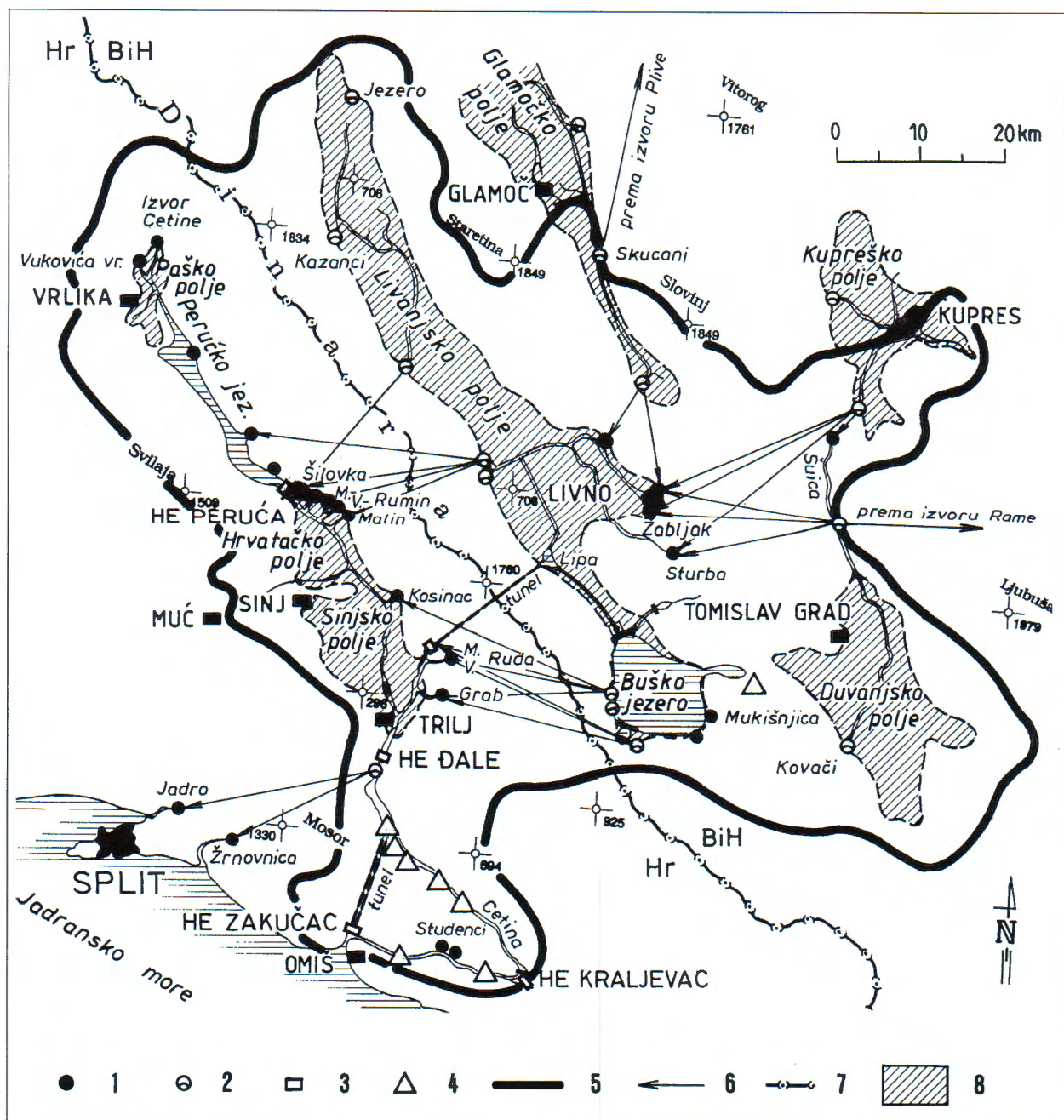
Slivno područje rijeke Cetine, korištenje voda i vodnih resursa

The catchment basin of the Cetina river

Ante RENIĆ

Abstract

The course of the Cetina River is 105 km long with an average annual flow at its outflow to the Adriatic sea of 102 m³/s. The surface of the catchment basin is approximately 3,869 km², of which 1,490 km² is the immediate orographic catchment, situated mainly on Croatian territory and 2,370 km² is the indirect orographic catchment which is mainly situated in Bosnia and Herzegovina. The waters from the Cetina river catchment basin are used for water supply, irrigation, fish production as well as recreational activities and tourism. The hydro-energetic potential of the catchment have been utilized to a large extent, the waters are utilized by five hydro-electric power plants and ten smaller ones are planned to be constructed in the future. During the post-congress excursion visits to the hydroelectric plants Peruća and Đale are planned as well as the Jadro spring that is directly linked with the submerging waters of the River Cetina.



Sl. 14 Slijevno područje rijeke Cetine. Legenda: 1) krški izvor; 2) ponor; 3) hidroelektrana; 4) mjesto potencijalne hidroelektrane; 5) granica slijeva Cetine; 6) utvrđena podzemna vodna veza ponor-izvor; 7) državna granica; 8) polje.

Fig. 14 The catchment area of the river Cetina. Legend: 1) karst spring; 2) ponor (swallow hole); 3) hydroelectric power plant; 4) potential hydroelectric power plant site; 5) boundary of the river Cetina catchment area; 6) underground water connection ponor-spring; 7) state boundary; 8) polje (field).

Rijeka Cetina je jedan od najznačajnijih vodotoka u krškom području Hrvatske. Njezin značaj ogleda se u obilnosti vode tijekom cijele godine, a koristi se za vođoposkrbu, hidroenergetiku i navodnjavanje poljoprivrednih kultura, te u manjoj mjeri za uzgoj konzumne ribe i u rekreacijske svrhe. Duljina toka Cetine od izvora do ušća iznosi 105 km. Slijevno područje Cetine (sl. 14) znatnim dijelom je na teritoriju Bosne i Hercegovine. Slijev je u gornjem toku Cetine izrazito asimetričan s vrlo malom površinom uz desnu obalu i prostranim

područjem slijeva izvora uz lijevu obalu. Na području Hrvatske najvećim dijelom je neposredni (orografski) slijev površine oko 1.490 km², a na području Bosne i Hercegovine je posredni (hidrogeološki) dio slijeva oko 2.370 km² (BAUČIĆ, 1967). Neposredni slijev obuhvaća područje Kijevske zaravni, sjeveroistočnih padina Svilaje, jugozapadnih padina Dinare i Kamešnice, Ugljansku i Zadvarsku zaravan, istočni dio Mosora, te područje sjeverno od Omiške Dinare i grebena Dovanj (Rogoznica) (BOJANIĆ, 1981). Tok Cetine započinje

od grupe veoma izdašnih krških izvora uz rub Paškog polja (Vukovića vrelo, Milaševo jezero, Preočko vrelo i dr.), nastavlja se na jugoistok kroz četiri polja u nizu, primajući velike količine voda koje dotječu kroz masiv Dinare na izvore uz lijevu obalu Cetine. Nizvodno u Koljanskom polju su Radonjina i Dragovića vrelo, u Ribaričkom polju Dabar, Kreševo i Zasiok, a nizvodno od polja su izvori Peruća, Majdan i Crno vrilo. Akumulacijskim jezerom HE Peruće, Koljansko i Ribaričko polje su potopljene. Nizvodno od brane HE Peruće uz rub Hrvatačkog polja su Veliki, Mali i Suhi Rumin, te Malin, a na rubu Sinjskog polja su Kosinac, Krenica, Ovrlja, Mala i Velika Rude i Grab. Kod Trilja Cetina napušta polja, teče generalno na jug, a korito joj je duboko usječeno u Ugljansku karbonatnu zaravan. Kod sela Biska mijenja smjer prema jugoistoku. Nizvodno od Blata na Cetini kanjon je usječen u Zadvarsku zaravan, koju kod Zadvarja napušta presjecajući oštri strmac uz južni rub Zadvarske zaravni, rušeći se preko slapa Velike Gubavice (48 m) i nastavlja teći generalno na zapad niže položenom dolinom ispod Podgrada, Kostanja i Smolonja prema svom ušću kod Omiša. Između Kostanja i Smolonja je izvoriste Studenci s nizom izdašnih krških izvora uz desnu obalu Cetine (RENIĆ, 1991).

Posredni dio slijeva obuhvaća krško područje jugozapadne Bosne u kojemu se ističu dvije reljefne cjeline. Visoko planinsko područje kojim dominiraju Kamešnica, Staretina, Golija, Cincar, Stožer i Malovan, te u graničnom jugoistočnom dijelu slijeva Ljubuša, Vran i Štitar. Između Livanjskog polja, Buškog blata i Duvanjskog polja su Krug planina, Tušnica, Grabovička planina i Midena planina. Druga cjelina su prostrana polja značajna za tečenje površinske i podzemne vode. To su Livanjsko, Srdevičko, Buško blato, Duvanjsko, te dijelovi Kupreškog, Glamočkog i Roškog polja. Zajedničko obilježje polja je prisutnost hidrografske mreže sa stalnim ili povremenim tokovima, periodička plavljenja polja u vrijeme velikih voda, izvori na uzvodnim i ponori na nizvodnim dijelovima, te otjecanja s polja isključivo preko ponora. Polja su u tri razine, a komunikacija voda između polja isključivo je podzemna. Iz tog prostranog posrednog dijela slijeva sve podzemne vode istječu preko navedenih izvora uz lijevu obalu Cetine, što je određeno velikim brojem obilježavanja podzemnih tokova (MAGDALENIĆ, 1971).

Za vodoopskrbu u slijevnom području Cetine koristi se voda Vukovića vrelo za vodovod Kijeva i Vrlike, izvora Šilovka za vodovod Hrvaca, izvora Kosinac za vo-

dovod Sinja, izvora Mala Ruda za regionalni vodovod sinjskog područja, te voda Jurjevića izvora na Studencima za vodovod Kostanja. Iz vodne komore HE Zakućac zahvaća se voda za regionalni vodovod Podstrana, Brač, Hvar, Šolta, Vis, a iz zahvata na HE Kraljevac za vodovod Makarske. Vodovod Livna koristi vode Bistrice (izvor Duman), a Tomislavgrada vode s nekoliko izvora nedaleko grada.

Za navodnjavanje poljoprivrednih površina koristi se voda Cetine u Sinjskom polju, a za uzgoj slatkovodne ribe dovodi se u ribogojilište voda s izvora Velika Ruda. U rekreacijske i turističke svrhe uključeni su dijelovi toka Cetine usporeni branama hidroelektrana, a posebno su atraktivni brzaci u kanjonskom donjem toku Cetine.

Hydroenergetski potencijali u slijevu Cetine do sada su u znatnoj mjeri iskorišteni, a predviđa se još izgradnja desetak malih hidroelektrana. U funkciji su HE Peruća koja preko turbina propušta akumulirane vode gornjeg toka Cetine, HE Orlovac koristi vode iz većeg dijela posrednog slijeva Cetine akumulirane u Buškom jezeru, HE Đale iskorištava energetska potencijal Cetine uzvodno od Sinjskog polja. Na HE Zakućac kod Omiša tunelom kroz Mosor dovode se vode koje proteku kroz postrojenja HE Đale i akumuliraju se u koritu Cetine do brane u Prančevićima. HE Kraljevac koristi vode koje se ispuštaju kao biološki minimum iz akumulacije Prančevići u tok Cetine, te sve vode iz slijevnog područja između HE Kraljevca i akumulacije Prančevići. Predviđa se izgradnja još nekoliko malih hidroelektrana nizvodno od akumulacije Prančevići i nizvodno od HE Kraljevca.

U sklopu postkongresne ekskurzije predviđen je obilazak HE Đale i HE Peruća, te crpilišta Jadro na koje ponorne vode Cetine imaju izravni utjecaj.

Literatura - References

- BAUČIĆ, I. (1967): Cetina. Razvoj reljefa i cirkulacija vode u kršu.- Radovi geogr. inst. Sveuč. u Zagrebu, 6, Zagreb.
- BOJANIĆ, L. (1981): Hidrogeološka studija područja Vrljika-Sinj-Omiš.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- RENIĆ, A. (1991): Jurjevića izvor - Studenci. Hidrogeološki odnosi.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- MAGDALENIĆ, A. (1971): Hidrogeologija sliva Cetine.- Krš Jugoslavije, 7/4, 89-170, Zagreb.

Hidroelektrana Đale

The "Đale" Hydroelectric Power Plant

Ante RENIĆ & Ante PAVIČIĆ

Abstract

The "Đale" hydroelectric power plant utilizes the waters from the upper course of the Cetina River. The reservoir has a volume of 3.7 million m³, and was created by the construction of a concrete dam 110 m long and 27.57 m high in the canyon of the Cetina River. The whole canyon of the Cetina River is incised into permeable carbonate rocks, so special attention was focused on the construction of the reservoir in a terrain with the highest possible level of retention. In over 30 boreholes high values of permeability were measured in the underlying bedrock, and during the dry season the groundwater level is considerably lower than the course bed of the Cetina river, therefore the Cetina river displays a so called "hanging" flow. During the rainy seasons the groundwater levels are above the water level in the Cetina River. To prevent higher water losses from the reservoir in the immediate surroundings, a grout curtain was constructed. The present day losses from the reservoir are estimated to be approximately 1 m³/s; the data analysis of hydrological measurements is in process. The water losses from the reservoir have a positive effect on the yield of the springs Jadro, Žrnovnica and Studenci.

Hidroelektrana Đale (sl. 15) nalazi se oko 4,5 km nizvodno od Trilja. To je pribranska elektrana s dva agregata čija je prosječna godišnja proizvodnja 157,5 GWh. Instalirani protok je 2 x 110 m³/s, a instalirana snaga je 2 x 20,4 MW. Koristi se voda Cetine koja je usporena betonskom branom ukupne dužine 110 m od čega je dužina lijevog boka gravitacionog dijela i prelijevnog polja 53,4 m, a dužina desnog boka sa strojarnicom i komandom 56,6 m. Visina brane od temelja prelijevnog polja do krune je 40,5 m, a visina od dna korita Cetine do krune brane je 27,57 m. Temeljni ispust brane je 5,25 x 5,25 m, a ukupni ispust evakuacijskih organa je 1.000 m³/s. Dvije turbine tipa "Kaplan" koriste pad od 21 m. Branom je usporen tok Cetine sve do Trilja, s kotom uspora 292 m n.m. Maksimalna zapremina akumulacije je 3,7 x 10⁶ m³, a za energetska iskorištenje akumulacije korisna zapremina je 2,95 x 10⁶ m³ (ELEKTROPROJEKT, 1986). Izgradnja hidroelektrane započela je u svibnju 1985., a puštena je u pogon u lipnju 1989. Izgradnji su prethodili opsežni istražni radovi u sklopu kojih su se vršila dugogodišnja hidrološka mjerenja, istražna bušenja, hidrogeološka kartiranja, obilježavanja podzemnih tokova, kao i brojni drugi istražni

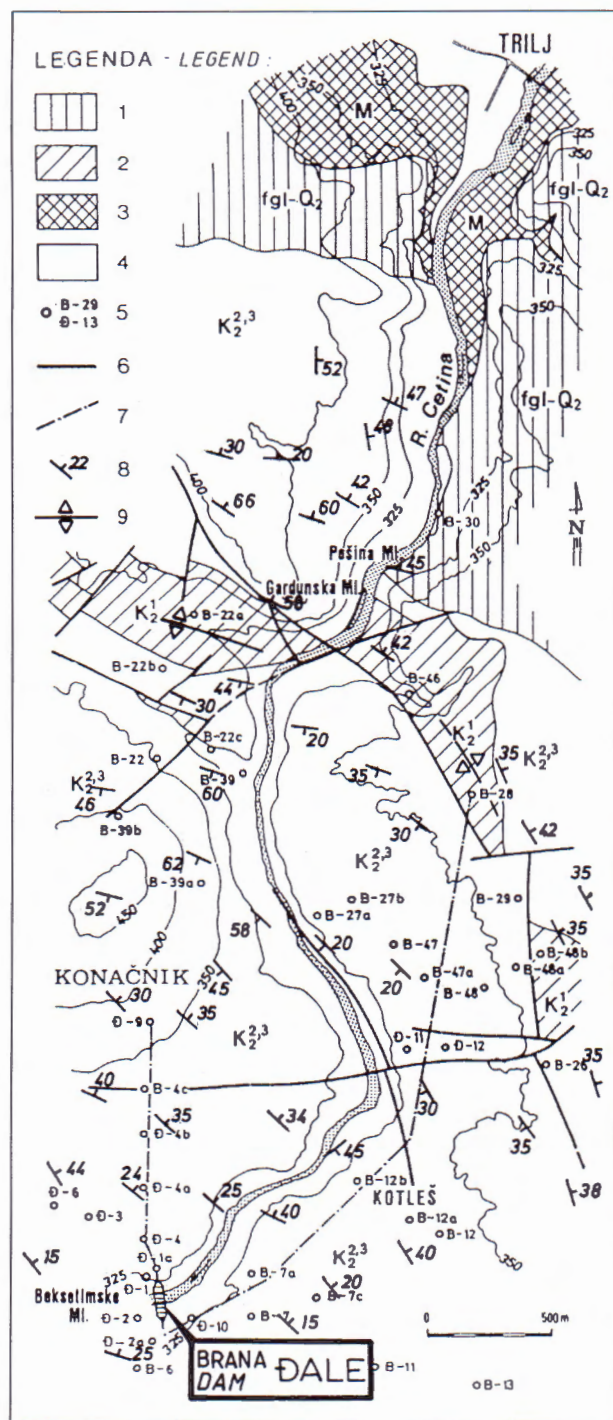
radovi. Akumulacija je ostvarena pregradom kanjon-skog dijela korita Cetine, usječenom većim dijelom u vodopropusne karbonatne naslage. Stoga je posebna pozornost usmjerena njenom ostvarenju s čim većim stupnjem vododrživosti (NIKOLIĆ & RALJEVIĆ, 1975a).

Korito Cetine od Trilja do današnje brane HE Đale većim je dijelom u kanjonu usječenom u rubni dio Ugljanske zaravni. Razina Ugljanske zaravni s visinama oko 370 m n.m. prati kanjon Cetine, a proteže se u uskom pojasu i uz desnu stranu kanjona. Područje grade sedimentne stijene gornje krede, neogena i kvartara. Pojedini dijelovi akumulacije su u stijenama različite litostratigrafske pripadnosti (RALJEVIĆ, 1985; RENIĆ & PAVIČIĆ, 1986), i različitih hidrogeoloških svojstava (sl. 16) po kojima je uže područje akumulacije podijeljeno u četiri zone. Najuzvodniji dio akumulacije od mosta u Trilju pa nizvodno oko 900 m je u miocenskim (M) slatkovodnim laporima i vapnovitim laporima. Ove naslage su u potpunosti vodonepropusne, pa u toj zoni nema mogućnosti gubitaka vode iz akumulacije. Laporu su uz lijevu obalu iznad kote uspora vode akumulacije prekriveni kvartarnim glaciofluvijalnim (fgl-Q₂) sedimentima, uglavnom konglomeratima s glinovito-laporovitim vezivom. Glavnina padalinske vode iz ovog dijela terena izravno otječe u akumulaciju, a samo manji dio se infiltrira plitko u podzemlje. Oko 900 m nizvodno od mosta u Trilju miocenski su lapori u kontaktu s gornjokrednim (K₂^{2,3}) naslagama koje grade teren u području akumulacije sve do Gardunske mlinice. Kontakt miocenskih i gornjokrednih naslaga je pokriven fluvio-glacialnim sedimentima. Gornjokredne naslage u ovom dijelu terena zastupljene su tankoslojevitim vapnencima s lećama dolomita, a grade sjeveroistočno krio antiklinale. Na bušotinama izbušenim bočno od kanjona Cetine mjerena vodopropusnost ovih naslaga imala je male vrijednosti (NIKOLIĆ & RALJEVIĆ, 1975b). Razina podzemne vode na piezometrima bočno od Cetine je prije ostvarenja akumulacije u sušnom dijelu godine bila neznatno ispod korita Cetine. U koritu Cetine i na obalama do kote koja je planirana za uspor



Sl. 15 Hidroelektrana Đale.

Fig. 15 Hydroelectric power plant Đale.



Sl. 16 Hidrogeološka karta akumulacije "Đale". Legenda: 1) stijene naizmjeničnih svojstava - konglomerat, glina, šljunak (fgl-Q₂); 2) djelomično nepropusne stijene - dolomiti i dolomitični vapnenci (K₂¹); 3) nepropusne stijene - lapor (M); 4) propusne stijene - vapnenci, lokalno dolomiti (K₂^{2,3}); 5) istražna i piezometarska bušotina; 6) rasjed - normalan ili neodređenih karakteristika; 7) injekcijska zavjesa; 8) položaj sloja; 9) os antiklinale.

Fig. 16 Hydrogeological map of the reservoir "Đale". Legend: 1) rocks of variable properties - conglomerates, clay, gravel (fgl-Q₂); 2) partially impermeable rocks - limestones, dolomitic limestones (K₂¹); 3) impermeable rocks - marls (M); 4) permeable rocks - limestones, locally dolomites (K₂^{2,3}); 5) exploratory and water observation borehole; 6) fault, normal or of not defined features; 7) grout curtain; 8) position of beds; 9) anticline axis;

akumulacije nije bilo speleoloških objekata niti izrazitih zijevnih pukotina. Prema tim pokazateljima, ovu uzvodnu zonu akumulacije od Gardunske mlinice do mosta u Trilju u cjelini se smatralo dovoljno vododrživom uz mogućnost neznatnih gubitaka vode u sušnom dijelu godine.

Uže područje Gardunske mlinice i dio terena neposredno nizvodno, posebno u lijevom boku akumulacije, grade dolomiti cenomanske (K₂¹) starosti. Zonu dolomita presijeca Cetina upravo na mjestu izrazitog poprečnog rasjeda. Pružanje slojeva dolomita u širem području desne obale generalno je okomito na tok rijeke, a na širem području lijeve obale pružanje slojeva dolomita mijenja smjer i dijagonalno je u odnosu na tok rijeke. Dolomiti su dio jezgre antiklinale. Vodopropusnost dolomita izmjerena u bušotinama imala je vrlo male vrijednosti (tek nešto veće u području rasjeda), a zbog položaja dolomita u strukturi i njihovog bočnog prostiranja jezgra ove antiklinale ima ulogu relativne hidrogeološke barijere. Relativno slabi tokovi podzemne vode sjeverno od jezgre antiklinale, u terenu malih vrijednosti vodopropusnosti, usporeni su antiklinalom i teku na istok odnosno jugoistok.

Oko 400 m nizvodno od Gardunske mlinice u kontaktu su cenomanski dolomiti s turon-senonskim (K₂^{2,3}) naslagama, vapnencima s tankim lećama i proslojcima dolomita. Ove naslage grade područje u kojemu je preostali dio akumulacije sve do brane HE Đale. Na preko trideset bušotina izbušenih u ovom dijelu terena izmjerene su gotovo redovito velike vrijednosti vodopropusnosti stijene, posebno na pojedinim etažama nižim od korita Cetine. Također su u sušnom dijelu godine zabilježene razine podzemne vode znatno niže od dna korita Cetine, posebno u području bušotine B-22, gdje se razina vode spušta na 200 m n.m. U vrijeme velikih voda razina podzemne vode na svim je bušotinama iznad dna korita Cetine.

Tijekom istraživanja izvedena su obilježavanja podzemnih tokova vode iz bušotina B-22c, B-48a i iz ponora kod Beksetine mlinice (Grabov mlin). Određene su izravne vodne veze iz ovih bušotina i ponora u roku od 5-8 dana s izvorima Jadro, Žrnovnica, ali i Studenci. Obilna kiša koja je pala u širem prostoru nakon obilježavanja podzemnih tokova vode kroz bušotinu B-48a naglo je podigla razinu vode u podzemlju iznad razine Cetine, pa je dio obojene vode iz područja bušotine B-48a istekao preko povremenih izvora uz lijevu obalu Cetine neposredno uzvodno i nizvodno od današnje brane HE Đale. Iz gore navedenog je vidljivo da je u vrijeme malih i srednjih voda razina vode u Cetini u prirodnim uvjetima prije izgradnje brane HE Đale bila znatno iznad razine vode u podzemlju. Prema tome, Cetina ima u tim hidrološkim uvjetima tzv. "viseći" tok. U vrijeme intenzivnih kiša razina vode u podzemlju naglo se podiže i iznad razine vode u Cetini, a posljedica je aktiviranje povremenih izvora uz obale Cetine.

Analiza dobivenih rezultata istraživanja upućivala je na gubitke vode iz akumulacije preko oba boka na ve-

ćem dijelu boka 400 m nizvodno od Gardunske mlinice, pa do brane hidroelektrane. U svrhu osiguranja nužne vododrživosti užeg područja akumulacije, načinjena je injekcijska zavjesa (ŠEFER, 1989). U desnom boku akumulacije početak injekcijske zavjese je u samom boku brane i dalje je trasa usmjerena na sjever kroz okršene vapnence znatne vodopropusnosti, sve do slabo vodopropusnog tektonskog bloka Konačnik. Tim smjerom trasa injekcijske zavjese omogućuje usporavanje tečenja podzemne vode na jugozapad prema izvorima Jadra i Žrnovnice. Dubina injektiranja prilagođena je podacima dobivenim mjerenjem vodopropusnosti, a dubina zavjese izvedena je do kote 235 m n.m.

Rješavanje vododrživosti lijevog boka izvedeno je zabrtvljenjem velikog dijela lijevog oboda akumulacije. Trasa injekcijske zavjese započinje od lijevog boka brane (tu se spaja sa zavjesom izvedenom u stijeni ispod temelja cijele brane) u smjeru sjeveroistoka, paralelna je s kanjonom Cetine do okuke Kotleš, gdje mijenja smjer i nastavlja se sve do zone cenomanskih dolomita, u kojoj su izmjerene znatno niže vrijednosti vodopropusnosti. Iako je u zoni trase zavjese razina podzemne vode u sušnom razdoblju znatno iznad kote 230 m n.m. načinjena je injekcijska zavjesa od kote uspora akumulacije (293 m n.m.) do kote 235 m n.m.

Podaci o razinama podzemne vode (HEP, 1953-1989), koja se kontinuirano do danas mjeri svaki peti dan u mjesecu na piezometarskim bušotinama s obje strane akumulacije "nizvodno i uzvodno" od injekcijskih zavjesa, kao i povremeni pregledi oboda akumulacije dali su ocjenu učinka injekcijske zavjese. Vidljivo je da se zavjesama relativno usporilo tečenje podzemne

vode, a izrazitih pokazatelja poniranja vode iz akumulacije u podzemlje nema. Koliki su stvarni gubici vode iz akumulacije odredit će se tek nakon detaljnih hidroloških mjerenja za koje su načinjeni programi. Današnja procjena projektanta akumulacije je da su gubici u granicama očekivanog i da iznose prosječno za cijelo područje akumulacije oko 1 m³/s, čime je akumulacija HE Đale pozitivno utjecala na izdašnost izvora Jadro, Žrnovnica i Studenci, posebno u vrijeme malih voda.

Literatura - References

- ELEKTROPROJEKT (1986): HE Đale, tehnička dokumentacija.- Fond struč.dok. Elektroprojekta, Zagreb.
- HEP (1953-1989): Podaci o mjerenju razine podzemne vode u području akumulacije Đale.- Fond struč.dok. Hrvatske elektroprivrede, Split.
- NIKOLIĆ, R. & RALJEVIĆ, B. (1975a): Vododrživost akumulacijskog bazena HE "Đale".- Zbornik X kongresa za visoke brane Jugoslavije, 123-129, Cavtat.
- NIKOLIĆ, R. & RALJEVIĆ, B. (1975b): Prilog idejnom projektu konsolidacije bazena i pregradnog mjesta HE Đale.- Fond struč.dok. Inst. "Geoexpert", Zagreb.
- RALJEVIĆ, B. (1985): HE Đale. Geološki odnosi područja akumulacije.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- RENIĆ, A. & PAVIČIĆ, A. (1986): HE Đale - glavni projekt. Područje akumulacije - geološke podloge.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- ŠEFER, I. (1989): Podaci o injektiranju zavjesa u području akumulacije "Đale".- Fond struč. dok. Geotehnike, Zagreb.

Postaja 5: Izvor Jadro

Stop 5: The Jadro spring

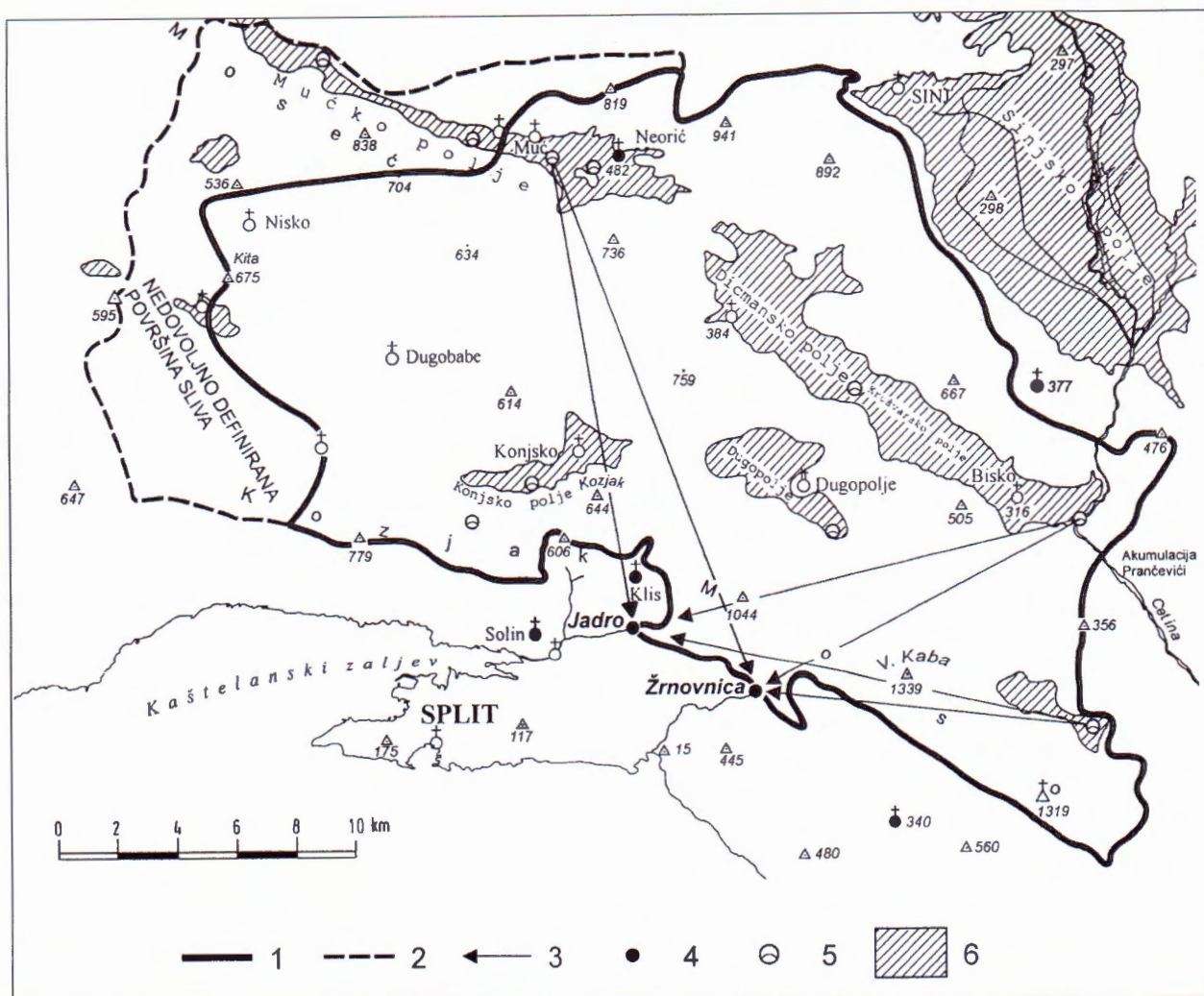
Ante PAVIČIĆ & Ante RENIĆ

Abstract

The karst spring Jadro is about 4 km from the sea, and is located approximately 35 m above sea level with an average discharge of 9 m³/s. The catchment area consists of permeable carbonate rocks: at the spring the water overflows a flysch barrier. The catchment basin is a joint basin for this spring and the Žrnovnica spring and it extends to the River Cetina, and therefore the catchment basin includes the terrain along the River Cetina upstream from the "Đale" reservoir. The water is used to supply the city of Split and the settlements along the coast from Trogir to Trstenik and Podstrane. The water supply network incorporates about 7.5 km of the old Diocletian's channel. At present approximately 2.5 m³/s of water from the Jadro spring is used for water supply.

Izvor Jadro ima najvećim dijelom zajednički sliv s izvorom Žrnovnica (sl. 17), a zauzima splitsku Zagoru i planine između priobalja i Zagore. Izvori se nalaze u podnožju planine Mosor. Jadro je na koti oko 35 m, a Žrnovnica na oko 90 m. Opća je morfološka karakteristika terena da već nakon nekoliko kilometara od mora

nalazimo planine u zapadnom dijelu visoke preko 600 m (Kozjak), a u istočnom i preko 1.300 m (Mosor). Reljef je izrazito raščlanjen. Između niza vrhova visine 550-680 m smještena su manja ili veća krška polja, uvale i zaravni na nadmorskim visinama od 300-350 metara. Najveća su polja Mučko (400 ha plodnog zem-



Sl. 17 Karta sliva izvora Jadra i Žrnovnice. Legenda: 1) hidrogeološka granica sliva, dokazana; 2) hidrogeološka granica sliva, nedovoljno dokazana; 3) utvrđena podzemna vodna veza; 4) stalan krški izvor; 5) povremeno aktivan ponor; 6) krško polje.

Fig. 17 Map of the catchment area of the springs Jadro and Žrnovnica. Legend: 1) hydrogeological boundary of the catchment area approved; 2) hydrogeological boundary of the catchment area insufficiently approved; 3) groundwater connection approved; 4) permanent karst spring; 5) intermittent ponor (swallow hole); 6) karst polje.

ljišta), Dicmansko (oko 300 ha), Dugopolje (190 ha) i Konjsko polje (150 ha). Biljni pokrov je oskudan, prevladava makija i mjestimice manji ostaci šuma hrasta medunca i bijelog graba. Samo su lokalno šume crnog bora, najviše sjeverno od zapadnog dijela Mučkog polja i u području Mosora.

Sliv izgrađuju sedimentne stijene taložene na karbo-natnoj platformi. Jurske naslage nalazimo u planini Mo-sor, gdje su istaloženi oolitični vapnenci debljine oko 750 m. Na jugozapadnim padinama Mosora donjokred-ne naslage razvijene su kao dolomiti ili breče debljine svega oko 20 m. U ostalim dijelovima Mosora donja kreda je zastupljena vapnencima unutar kojih su leće pločastih do škriljavih vapnenaca. Debljina ovih nasla-ga je oko 600 m. U gornjoj kredi starije naslage razvije-ne su kao uslojeni do gromadasti dolomiti, a grade jez-gre antiklinala. Na dolomite su taloženi pločasti vap-nenci, a lokalno i dolomiti, pa nalazimo bočne prijelaze u dobrouslojene vapnence s ulošcima dolomita. Mjesti-

mično su istaložene leće konglomeratičnih vapnenaca i vapnenci s rošnjacima. Mlađi član gornje krede zastup-ljen je uslojenim do gromadastim vapnencima, dolomiti su samo proslojci u vapnencima. U dijelu terena Dugo-polje - Dicmo gornja kreda je zastupljena vapnencima i gromadastim dolomitima. Ukupna debljina gornjokred-nih naslaga iznosi oko 1.500 m. Paleogenske naslage leže transgresivno na starijim stijenama. Eocenski vap-nenci započinju tzv. "liburnijskim naslagama" debljine do 50 m, na njima leže uglavnom dobro uslojeni fora-miniferski vapnenci, a debljina im je oko 250 m. Eo-censki fliš je zastupljen pretežno laporima, a izgrađuje samo maleni dio sliva sjeverno od Klisa. Vapnenačke breče i konglomerati najmlađi su član paleogenskih naslaga. Istaložene su oko Mučkog polja i Moseća. Kvartarne tvorevine nalazimo u krškim poljima i uvala-ma.

U području sliva najizrazitiji je regionalni rasjed Postinje - Gizdovac - Klis. Jugozapadno od njega domi-

niraju ljuskave strukture. Česte su i izoklinalne bore nagnute i polegle prema jugu-jugozapadu. Glavne uzdužne rasjede, koji su često reversnog karaktera ili navlake, siječe niz poprečnih i dijagonalnih rasjeda. Nalazimo više reduciranih antiklinala s dolomitima u jezgri, a pločastim vapnencima u krilima (lokalno i u jezgri). Flišolike naslage eocena su u jezgrama sinklinala. U Zagori (Vučevica, Blaca) one ne dosežu duboko u podzemlje, pa su nepotpune (viseće) barijere za podzemne vode u karbonatnim naslagama. U području Kaštelansko polje - Žrnovnica ove stijene sežu duboko ispod krajnje erozijske baze (mora), pa imaju funkciju potpune hidrogeološke barijere, koja je uvjetovala postanak izvora Jadro i Žrnovnica (FRITZ, 1979). Sjeveroistočno od transversalne dislokacije Postinje - Gizdavac - Klisteren izgrađuju i starije stijene (jura, donja kreda), što znači da su se naslage u tom području uzduž rasjeda relativno izdigle. Izoklinalne bore, ljuske i navlake sjeveroistočno od rasjeda su rjeđe, pa su i bore slabije reducirane i stoga šireg prostranstva.

Teren pripada orogenskom akumuliranom kršu u kojem su zastupljeni svi krški fenomeni. Rasjedi i pukotine omogućili su intenzivno okršavanje karbonatnih stijena. U Zagori su još relativno svježiji ostaci mreže površinskih tokova - današnje "suhe doline". Danas praktično sva oborinska voda, koja padne na površinu sliva, ubrzo ponire u podzemlje. Također u propusne stijene poniru i svi gravitirajući povremeni površinski tokovi s nepropusnih stijena (ponori u Mučkom polju, kod Blaca, Gizdavca, Dugopolja i dr.). Erozijska baza za te podzemne vode je najniži kontakt propusnih stijena Zagore s nepropusnim stijenama priobalja na koje je vezana geneza izvora Jadro i Žrnovnica. Unutar karbonatnih naslaga postoji više reduciranih antiklinala s dolomitima ili pločastim vapnencima u jezgri, koje vrše funkciju relativne barijere, a s dubinom raste njihova funkcija hidrogeološke barijere, pa one skreću vodu u smjeru paralelnom s pružanjem strukture. Zaobišavši barijeru, podzemna voda nastavlja svoj generalni smjer tečenja prema jugu.

Dosadašnja istraživanja pokazuju da je već nedaleko od izvora Jadera i Žrnovnice sliv zajednički (FRITZ et al., 1988). Sjevernu granicu sliva određuje navlaka Svi-laja koja je potpuna topografska i hidrogeološka barije-

ra sjeverno od Mučkog polja. Oborinske vode koje padnu na njezinu površinu stvaraju više povremenih bujičnih tokova koji se slijevaju u Mučko polje, gdje na kontaktu s propusnim stijenama poniru. Krajnji sjeveroistočni dio sliva doseže do nadomak Sinjskog polja i rijeke Cetine. Zapadna granica je određena na osnovi manje značajnih hidrogeoloških pokazatelja (pružanja struktura, dislokacija, morfoloških cjelina i dr.) kao zonarna podzemna razvodnica (unutar propusnih karbonatnih stijena), kojom ovaj sliv graniči sa slivom izvora Pantan. Južnu granicu sliva određuje kontakt propusnih stijena Zagore i nepropusnih stijena priobalnog pojasa. Istočna granica sliva nalazi se u terenu vrlo složenih hidrogeoloških odnosa. Trasiranjem vode ponora kod Postinja i Grabova mlina, u koji ponire dio voda Cetine, dokazana je veza tih voda s izvorom Jadro. Nakon izgradnje akumulacije Prančevići na rijeci Cetini izvor Žrnovnice više ne presušuje. Sliv Jadera i Žrnovnice odlikuje se karakteristikom da već u svom perifernom dijelu ima razrađene puteve tečenja podzemnih voda. Primjer za to su ponorne vode s Cetine i vode od ponora u Mučkom polju (kota oko 450 m n.m.) k izvorima, gdje površinski vodotoci kod Muća znatno i brzo utječu na kvalitetu voda i režim izvora.

Površina sliva izvora Jadro i Žrnovnice je određena s najmanje 300 km², a vjerojatno je i preko 500 km² (dotok vode s Cetine). BONACCI (1987) je "procijenio hidrološko-hidrogeološku površinu sliva izvora Jadro od 250 do 274 km²" (sl. 17). Na površinu sliva padne godišnje prosječno 1.400 mm oborina. Oko 2/3 ukupnih oborina padne u razdoblju rujana/ožujak.

Raniji prirodni uvjeti istjecanja vode na izvorima Jadera i Žrnovnica promjenjeni su izgradnjom akumulacija na rijeci Cetini i u njenom širem slivu. To se odnosi na gradnju akumulacije Peruće 1960. godine, Prančevići 1962. godine, potom akumulacije Buško Blato 1973. godine i akumulacije Đale 1989. godine. Najveće pozitivne razlike su nastupile upravo onda kada je voda najpotrebnija, od lipnja do listopada (tablica 1). BONACCI & ROJE-BONACCI (1997) navodi da analize (na doduše nepouzdanim podlogama i to isključivo na vodostajima Jadera pokraj Vidovića mosta) upućuju na zaključak da je došlo do blagog porasta minimalnih, srednjih i maksimalnih vodostaja Jadera na toj lokaciji u

MJESEC	I	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
MIN.	6,56	6,54	5,88	6,37	4,85	4,28	4,67	4,76	4,85	8,24
SR.	8,75	9,51	9,11	7,10	5,44	4,65	7,61	5,49	7,03	24,3
MAKS.	13,9	22,00	19,9	8,27	6,17	5,35	13,9	6,07	25,00	53,7
GODIŠNJI										
	minimum		4,28 m ³ /s		7. VIII. 1995					
	srednjak:		9,35 m ³ /s							
	maksimum:		53,7 m ³ /s		14. XII 1995					

Tablica 1 Karakteristični dnevni protoci izvora Jadro u 1995. godini (prema BONACCI & ROJE-BONACCI, 1997).

Table 1 The characteristic daily discharges of the Jadro spring in 1995 (according to BONACCI & ROJE-BONACCI, 1997).

RAZDOBLJE	NOVI KANAL	DIKLECIJANOV KANAL	OBA KANALA UKUPNO
I	1,95	0,46	2,41
II	1,95	0,46	2,41
III	2,00	0,48	2,48
IV	2,05	0,48	2,53
V	2,15	0,48	2,63
VI	2,20	0,50	2,70
VII	2,30	0,55	2,85
VIII	2,30	0,55	2,85
IX	2,20	0,50	2,70
X	2,10	0,48	2,58
XI	2,00	0,48	2,48
XII	1,95	0,46	2,41
GOD.	2,10	0,49	2,59

Tablica 2 Srednje mjesečne i godišnje količine vode u m^3/s koje se iz Jadra odvođe u vodovod Split 1995. god. (prema BONACCI & ROJE-BONACCI, 1997).

Table 2 Average monthly and annual quantities of water in m^3/s which were transported to the water supply of Split in 1995 (according to BONACCI & ROJE-BONACCI, 1997).

razdoblju od 1950. do 1985. godine. Nešto pouzdanijem mjerenju poslije 1994. godine prethodilo je razdoblje kada se nisu znali podaci o količinama vode koje se zahvaćaju i odvođe kanalom vodovoda.

S izvora Jadra vodovodom se opskrbljuje Split (tablica 2) i sva naselja u priobalju od Trogira do Podstrane. Za potrebe vodoopskrbe zahvat vode je na samom izvoru, na nadmorskoj visini 35 m n.m. Danas je na izvoru betonska brana, koja je na mjestu starog zahvata vode. Koliko je poznato, prvi dovod vode iz izvora Jadro do Dioklecijanove palače, tzv. Dioklecijanov kanal, sagrađen je u 3. stoljeću, a duljina mu je bila 9 km, od kojih je danas u upotrebi oko 7,5 km. Ide dobrim dijelom pod zemljom, na lokalitetu Harapovici vodi preko niskih svodova, dok je u Dujmovači na dužini od 180 m podignuto 28 lukova (t.zv. Suhi most; sl.18). Od čitavog vodovoda 670 m vodi preko svodova, koji su na najvišem mjestu 16,5 m iznad površine zemlje. Nekoliko se takvih svodova vidi i na lokalitetu Kobilice. Kanal ima mjestimice četverokutne otvore za čišćenje i ventilaciju. Prosječne su dimenzije otvora kanala $1,60 \times 0,75$ m, a

vodovod je mogao na dan dovesti preko $1,000.000 \text{ m}^3$ vode. Rezervoar se nalazio u blizini sjevernih vrata palače, a na Peristilu se granao prema istočnim i zapadnim vratima.

Nakon više stoljeća izvan upotrebe, kanal je prvi puta rekonstruiran od 1878. do 1880., kad je ponovo započeta vodopskrba grada Splita iz izvora Jadro. Slijedeća rekonstrukcija je bila od 1929. do 1930. (5,8 km) kada su izvedeni zidovi kanala od betona, a kanal pokriven betonskim pločama. Smanjena mu je dimenzija na 65×135 cm, a trasa je vođena podzemno i nadzemno (galerije i akvadukti). Tijekom 1941. i 1942. godine temeljito je popravljena dionica od km 6+300 do km 7+100, a poslije drugog svjetskog rata izvedeni su brojni manji zahvati i popravci. Propusna moć ovog kanala je promjenljiva, ovisi o padovima, a iznosi od 480 l/s do 900 l/s; na kraju kanala je manja nego na početku, što je ograničilo mogući zahvat na izvoru od 500 l/s. Novi kanal izveden je paralelno s Dioklecijanovim u duljini oko 3,3 km od zahvata na izvoru, a maksimalni kapacitet mu je od 2,5 do $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dio vode odvođi se na turbine male hidroelektrane Majdan, a dio se prelijeva preko četiriju prelivnih polja brane, kojom se regulira visina vode za potrebe vodoopskrbnog sustava, ali i hidroelektrane, koja ima svoju zasebnu branu i odvod. Kako cijeli sustav nije automatski upravljan ni povezan odgovarajućim mjernim uređajima, mjerenje količine preostalih protoka izvora Jadro (izvan zahvaćenih u dva vodovodna kanala), moguće je obaviti tek nizvodno od ponovnog povratka vode iz elektrane u prirodno korito.

Kvaliteta vode prati se i na Jadru i na Žrnovnici. Žrnovnica se praktički nikad jače ne zamućuje, dok je na Jadru zamućenje relativno često i intenzivno, a temperatura vode se kreće između $10-14^\circ\text{C}$. Vode su dobro zasićene kisikom, alkalitet i tvrdoća malo variraju. Voda Jadra je bakteriološki znatno manje onečišćena od Žrnovnice. Isto tako sadrži manje dušikovih i fosfornih spojeva od vode s izvora Žrnovnica. Na izvoru Jadra



Sl. 18 Akvadukt u Solinu.

Fig. 18 Aquaduct in Solin.

povremeno je povišena koncentracija mineralnih ulja i sadržaj fenola.

Izvori Jadro i Žrnovnica, kao temeljni objekti vodoopskrbe Splita i šire regije, zahtijevaju posebnu pozornost kod očuvanja kvalitete vode, za što je neophodna potreba svih mjera zaštite uz stalan monitoring.

Premda u slivu Jadra i Žrnovnice ne postoje veći загаđivači, ipak se kvaliteta vode pogoršava. Na crpilištu vodovoda postoji uređaj za kondicioniranje, a određene su i zone sanitarne zaštite. Velika opasnost od onečišćenja vode prijeti na potezu Muć - Gizdovac - Dugopolje i u području Klisa, gdje su dokazane prividne brzine tečenja podzemne vode u kišnom razdoblju 10-12 cm/s.

Literatura - References

- BONACCI, O. (1987): Studija. Funkcionalne sposobnosti vodoopskrbnog sistema grada Splita.- Fond struč. dok. Građevinskog fakulteta, Split.
- BONACCI, O. & ROJE-BONACCI T. (1997): Hidrološki vid određivanja biološkog minimuma rijeke Jadro.- Hrvat. vode, 5/21, 339-349, Zagreb.
- FRITZ, F. (1979): Općina Split. Hidrogeološka studija.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- FRITZ, F., PAVIČIĆ, A., RENIĆ, A. & KAPELJ, J. (1988): Izvori Jadro i Žrnovnica. Dio hidrogeoloških istražnih radova potrebnih za prijedlog zona sanitarne zaštite izvora.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.

Postaja 6: Hidroelektrana Peruća

Stop 6: The "Peruća" Hydroelectric Power Plant

Ante RENIĆ

Abstract

The "Peruća" hydroelectric power plant with its dam and reservoir is the first large hydro-energetic facility constructed in the Croatian karst. The plant utilizes the water from the upper course of the River Cetina, which has a catchment area of 1,380 km², with an average annual recharge of 42 m³/s. The reservoir contains 541 million m³ of water, and the reservoir retains water during rainy seasons thus protecting the settlements and agricultural lands in the lower course of the river. The construction of the 63 m high dam and the flooding of the Koljansko polje and the Ribaričko polje formed the reservoir. The Quaternary deposits of the poljes overly impermeable Neogene clay and marl beds, and the wider surroundings of the reservoir consist of Jurassic and Cretaceous carbonate rocks. The water retention of the reservoir in the vicinity of the dam was insured by the construction of a grout curtain 200 m deep and 1,600 m long. The dam was damaged during an explosion on the 28th of January 1993 when the Yugoslav army attempted to destroy it with 20-30 tonnes of TNT. The total subsidence of the crown of the dam as a consequence of this event was 4.0-4.5 m. The reconstruction of the dam was finished in 1996 and about 14% of the construction material of the dam was replaced.

Hidroelektrana Peruća s branom i akumulacijskim jezerom jedan je od značajnijih objekata hidroenergetskog sustava izgrađenog u slijevnom području Cetine (više o slijevu vidi u opisu Postaje 4 ove ekskurzije). Hidroelektrana koristi vode gornjeg toka rijeke od izvora na Paškom polju kod Vrljke do sela Bitelića iz pripadajućeg slijeva površine oko 1.380 km², sa srednjim godišnjim dotokom u akumulaciju od 42 m³/s. Ta količina vode je oko 40% od ukupnih vodnih količina rijeke Cetine od njenog izvora do ušća.

Pribranska hidroelektrana snage je 42 MW uz instalirani protok od 2 x 60 m³/s, a ima srednju godišnju proizvodnju električne energije od 120 GWh. Voda Cetine usporena je nasutom branom izgrađenom 1960. godine, čija visina je 63 m i dužina u kruni brane 450 m. U središnjem dijelu brane je glinena jezgra s bočnim filtarskim slojevima i potpornim zonama od lomljenog kamena.

Kota uspora jezera je 360 m n.m., odnosno najveći postignuti vodostaj je 361,20 m n.m., a volumen vode u

jezeru je 541 x 10⁶ m³. Osim primarne uloge, proizvodnje električne energije na HE Perući, akumulacijsko jezero ima svrhu zadržavanja velikih voda Cetine, čime štiti od poplava nizvodna naselja i poljoprivredne površine na Hrvatačkom i Sinjskom polju, a u sušnom dijelu godine povećava protočne količine vode u nizvodnom toku Cetine. Ujedno ima i ulogu kompenzacijskog bazena za nizvodne HE Đale i HE Zakućac.

Branu Peruća minirala je 28.01.1993. godine u 10 sati i 48 minuta bivša Jugoslovenska armija, aktiviravši 20-30 tona TNT. Razina vode u jezeru bila je na koti 356,20 m n.m. Najveći dio eksploziva postavljen je na tri mjesta u injekcijskoj galeriji, koja je potpuno uništena na dužini od oko 110 m, a na dužini od 260 m u betonu galerije nastale su pukotine. Eksplozija je najjači učinak imala na lijevom kraju brane, gdje je na kruni uz preljev nastao krater promjera 25-30 m, dubine oko 10 m, a uništen je desni zid, zapornica i most preko preljeva. U središnjem dijelu brane u dužini od oko 50 m nastalo je slijeganje od oko 2,5-3,0 m, a na desnom kraju



Sl. 19 Brana hidroelektrane Peruća nakon obnove.

Fig. 19 The dam of the Hydroelectric Power Plant Peruća after its renewal.

brane stvorio se krater promjera 25-30 m i dubine 6-7 m. Istjecanje vode iz jezera uzrokovalo je ispiranje materijala iz brane i dodatno slijeganje, pa je ukupno slijeganje brane bilo od 4,0-4,5 m. Bez obzira što su aktivirane velike količine eksploziva, razaranje brane nije bilo tako veliko da bi nastupilo trenutno istjecanje glavnine vode iz akumulacije i stvaranje velikog poplavnog vala s katastrofalnim učinkom na stanovništvo i objekte u nizvodnom dijelu toka Cetine.

Radovi na obnovi brane započeli su 01.08.1993. godine sanacijom injekcijske galerije, a u ožujku 1994. započelo se s uklanjanjem 120.000 m³ materijala gornjeg dijela brane, što je oko 14% njenog ukupnog volumena. Već u srpnju 1993. godine počela je proizvodnja električne energije na prvom, a u studenom 1993. i na drugom agregatu. Sanacija brane završena u svibnju 1996. (sl. 19), a načinjena su poboljšanja u odnosu na prvotno stanje, povećan je protočni kapacitet preljeva s 340 na 420 m³/s i povišena krana brane s 363 na 364,5 m n.m. (ANON., 1994).

Akumulacijsko jezero Peruća prvo je veliko jezero ostvareno u kršu Hrvatske. Izgradnjom brane potopljene su Koljansko i Ribaričko polje, te kanjonski dio toka Cetine usječen u vapnenačku zonu kojom su polja odjeljena. Dno Koljanskog polja je na 335 m n.m., a Ribaričkog na 320 m n.m.

Podlogu polja najvećim dijelom grade glinovito-laprovite neogenske naslage, a u najuzvodnijem dijelu akumulacije na Koljanskom polju kod Garjaka prema Vrlici na površini su veće pojave crvenih pješčenjaka, silita, pelita i šupljikavih breča perm-trijaske starosti (BOJANIĆ, 1981). Neogenske naslage taložene su u jezerskim bazenima - paleodepresijama, koje su u prošlosti imale veću rasprostranjenost, a sve paleodepresije u orografskom udubljenju Cetine bile su povezane u jedinstveno jezero od Paškog polja do Trilja. Kasnijim egzogenim procesima neogenski sedimenti dijelom su erodirani, a ostatke nalazimo osim u poljima i kao ispuhe u ponikvama i brojnim pukotinama i šuplinama, hipsometrijski na znatno većoj visini od današnjih po-

lja. Neogenske naslage u poljima su poremećene, slojevi su blago borani, a vidljive su mjestimice na rubovima polja iznad kote uspora akumulacije. U poljima su na ove starije naslage istaložene aluvijalne naslage Cetine.

Rubove polja najvećim dijelom prate karbonatne zaravni koje ih znatno nadvisuju (BAUČIĆ, 1967). Najuzvodnija zaravan uz akumulaciju Peruća je Ježevička zaravan prosječne visine 420 m n.m. Njezin jugoistočni nastavak je zaravan Laktac, a dalje od doline Dabar, 5,5 km uzvodno od brane Peruća nastavlja se Bitelička zaravan s prosječnom visinom 430 m n.m. Sjeveroistočno od niza zaravni je masiv Dinare. Cijelo područje od akumulacije Peruća preko vrhova Dinare do Livanjskog polja pripada tektonskoj jedinici Dinara, koju grade vapnenci i u manjoj mjeri dolomiti jurske i kredne starosti (PAPEŠ et al., 1982). S hidrogeološkog gledišta ove naslage su sekundarno propusne i sve podzemne vode s Livanjskog polja podzemno dotječu kroz masiv Dinare do kontakta s donjotrijaskim, odnosno neogenskim naslagama polja uz Cetinu (MAGDALENIĆ, 1971). Ove naslage u podlozi polja imaju funkciju potpune hidrogeološke barijere, pa su izdašni uzlazni izvori locirani uz taj kontakt.

Jugozapadno od akumulacije Peruća prema padinama Svilaje pripoljske zaravni su Dubrava na oko 450 m n.m. i Derven s visinama oko 440 m n.m. Ovo područje dio je tektonske jedinice Svilaja (IVANOVIĆ et al., 1977), izgrađene iz vapnenaca i dolomita jure i krede, te klastita i dolomita trijasa. Prostorni raspored ovih naslaga unutar sinklinorija koji grade daje Svilaji ulogu hidrogeološke barijere, pa je i razvodnica između cetinskog slijeva i slijeva Krke postavljena po najvišem bilu Svilaje. Postanak polja u nizu, od kojih su Koljansko i Ribaričko danas potopljena akumulacijom Peruća, predispiniran je tzv. cetinskim rasjedom, koji je granica između tektonskih jedinica Svilaje i Dinare.

Brana je izgrađena na toku Cetine kroz uski kanjon usječen u vodopropusnim vapnencima zone između Ribaričkog i Hrvatačkog polja. Vododrživost stijene u podlozi brane i terenu bočno od brane osigurana je injekcijskom zavjesom dubine do 200 m i ukupne dužine 1.600 m. Gubici vode iz akumulacije su zanemarivi, a njihov pokazatelj je povećanje izdašnosti u sušnom dijelu godine izvora Šilovka, koji je uz lijevu obalu Cetine oko 500 m nizvodno od brane.

Literatura - References

- ANON. (1994): Brana Peruća.- Brošura Hrvatskog društva za velike brane za konferenciju "Sanacija brane Peruća" u Splitu 1995, Zagreb.
- BAUČIĆ, I. (1967): Cetina. Razvoj reljefa i cirkulacija vode u kršu.- Radovi Geogr. inst. sveuč. u Zagrebu, 6, Zagreb.
- BOJANIĆ, L. (1981): Hidrogeološka studija područja Vrlika-Sinj-Omiš.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- IVANOVIĆ, A., SIKIRICA, V., MARKOVIĆ, S. & SAKAČ, K. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List

Drniš K33-9.- Inst. geol. istraž. Zagreb (1967-1972), Sav. geol. zavod Beograd.

MAGDALENIĆ, A. (1971): Hidrogeologija sliva Cetine.- Krš Jugoslavije, 7/4, 89-170, Zagreb.

PAPEŠ, J., MARINKOVIĆ, R., RAIĆ, V., MAGAŠ, N. & SIKIRICA, V. (1982): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Sinj K33-10.- Geoinženjering - Inst. za geol. Sarajevo (1968-1980) i Geološki zavod OOUR za geologiju i paleontologiju Zagreb (1971-1976), Sav. geol. zavod Beograd.

Postaja 7: Cerovačke pećine, Gračac

Stop 7: The "Cerovačke pećine" Caves near Gračac

Srećko BOŽIČEVIĆ

Abstract

The "Cerovačke pećine" caves, near Gračac in the Lika province were discovered during the construction of the Gračac-Knin railway in 1912. The caves are located along the north slopes of the Crnopac in the southern part of the Velebit Mountains. The caves were discovered, investigated and partly protected by Nikola Turkalj who supervised the railway construction. The entrance to the Lower cave is situated below the first railway tunnel; the Middle cave lies in the level of the railway tracks, while the Upper cave lies above the railroad under the Kesića cliffs. Tours are possible in the major channels of the Lower and Upper cave in a total length of 4,100 m, which makes them the longest caves prepared for tourist tours in Croatia.

Na putu od Knina prema Plitvičkim jezerima 4 km prije Gračaca od glavne ceste odvaja se put što vodi do podnožja Crnopca i željezničke pruge koja na ovom dijelu prolazi obroncima Velebita. Ispod prvog željeznikog tunela nalazi se otvor Donje Cerovačke pećine, a iznad njega otvor Gornje Cerovačke pećine. Uz samu prugu između dva tunela ulaz je u Srednju Cerovačku pećinu koja nije uređena za posjet turista i izletnika.

Zaustavljamo se kod prihvatnih kućica odakle uz pratnju vodiča odlazimo do otvora Donje i Gornje pećine.

Cerovačke pećine ili Turkaljeve - nazvane po njihovom prvom otkrivaču i istraživaču - formirane su u tercijskim paleogenskim brečama duž Velebitskog rasjeđa na kojem je u geološkoj prošlosti došlo do spuštavanja današnjeg Gračackog polja, a time i do postupnog razvoja prvo sustava Gornje, kasnije Srednje te Donje pećine ispod kojih su danas aktivni ponori smješteni na rubu polja ispod padina Crnopca. Bojenjem je utvrđena veza s niže položenim vodotokom Zrmanje.

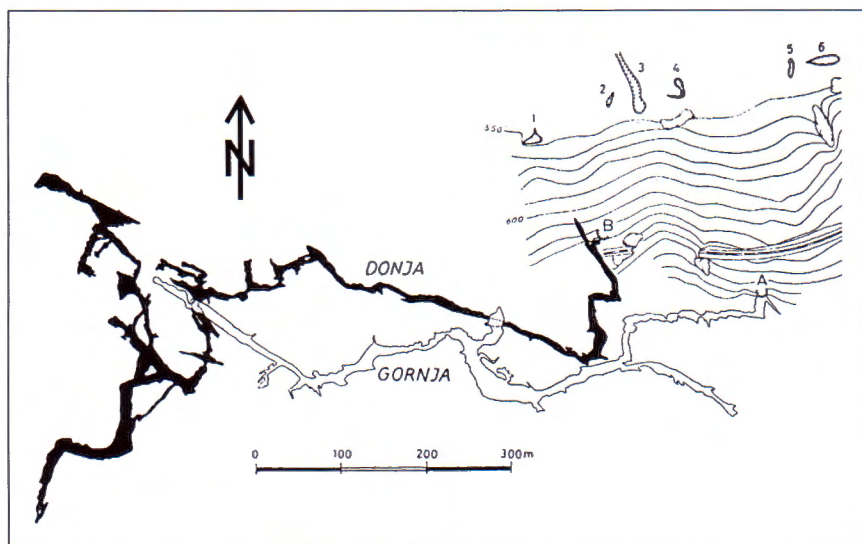
Cerovačke pećine, Donja, Srednja i Gornja, s do sada poznatom ukupnom dužinom od preko 4.100 metara ubrajaju se još uvijek među najinteresantnije pećine na području Hrvatske. Preko 1.100 m prohodnih kanala Donje pećine i oko 850 m kanala Gornje zaista je prava "galerija" ili "muzej" u prirodi koja nam omogućuje da nekoliko sati uživamo u svemu onome što nam ovo podzemlje pruža (sl. 20).

Otkrivene su prilikom gradnje željezničke pruge od Gračaca prema Cerovcu, prvoj maloj stanici prema Kninu. Po toj su stanici i pećine dobile ime. Jedna od njih nalazi se iznad željezničke pruge (Gornja pećina), a druga ispod nje (Donja pećina). Gradnju pruge na tom sektoru izvodio je ing. Turkalj. On se zainteresirao za te

pećine, pa ih je dao urediti, a ulaze je zatvorio željeznim vratima (BOŽIČEVIĆ, 1988). Neki su zato te pećine nazivali Turkaljeve pećine. Ispod njih leži malo selo Kesići, pa ih narod iz tog sela naziva "pećine na litici Kesića". Mi ćemo ih zvati Cerovačkim pećinama, jer je taj naziv ušao u znanstvenu, stručnu i popularnu literaturu (MALEZ, 1965).

Već sama hidrogeološka uloga danas vidljivih ponora na rubu polja u podnožju pećina treba zainteresirati prirodoslovce te hidrogeologe i privući ih za njihovo promatranje, kako u sušnom razdoblju godine, a tako i u vrijeme kad ponori počinju "gutati" pridošle površinske vode. Tektonskim pomacima polje se spušta i dio masiva uzdiže, a u tami nakon erozijskog i korozijskog rada ponirajuće vode počinju se odvijati drugi procesi: stvaranje sigastih prevlaka i nakupina uz obilno procjeđivanje vode kroz naslage s površine terena u podzemlje. Rezultat tog rada vidljiv je danas, a koliko je on bio obilan pokazuju i mnoga suženja u Donjoj pećini, koja nam prijače da nastavimo kroz nekad oblikovane podzemne kanale i dvorane prema sistemima još nižih kanala kroz koje danas teku vode iz polja u smjeru Zrmanje. Ulaskom u pećine pruža nam se mogućnost uvida u mnoštvo morfoloških detalja koji će pokazati današnji izgled rezultata erozijskog i korozijskog rada ponirućih voda u "nedavnoj" geološkoj prošlosti koje su se kroz sada prohodne kanale gubile u taj dio Velebitskog masiva. Erozijski oblici u početnim kanalima Donje pećine do prvog mosta uz proširene dvorane u Gornjoj pećini i završnim dijelovima Donje dokaz su "podatnosti" tercijskih breča u kojima je sve to oblikovano u samom podzemlju.

Kalcitne nakupine u jednoj i drugoj pećini svojom brojnošću i veličinom oblika, i samih kalcitnih saljeva



Sl. 20 Međusobni odnos Gornje i Donje Cerovačke pećine (projekcija njihovih tlocrta na topografsku osnovu). Legenda: A) ulaz u Gornju pećinu; B) ulaz u Donju pećinu; 1) Lukačeva jama; 2) Dolinice ponor; 3) Nižanića ponor; 4) Mlinište ponor; 5) Munižabin ponor; 6) Kesića ponor.

Fig. 20 The mutual relationship between the Upper and Lower Cerovačke pećine caves (the orthogonal projection onto the topographic surface). Legend: A) the entrance to the Upper cave; B) the entrance to the Lower cave; 1) Lukačeva jama (pit); 2) Dolinice ponor (swallow hole); 3) Nižanića ponor; 4) Mlinište ponor; 5) Munižabin ponor; 6) Kesića ponor.

dokaz su ne samo intenzivnog procjeđivanja površinskih voda u nastale podzemne šupljine, već i dugovječnosti nastanka svih sigastih formi. Presjeci prelomljenih siga, kao i uslojeni komadi kalcitnih saljeva pokazuju nam tragove zbivanja u samom podzemlju iz raznih faza njihova nastanka. Mjesta fosilnog otjecanja vode iz Gornje pećine prema kanalima Donje, kao i tragovi tog poniranja u Donjim pećinama dokaz su postupnog rada ponornih voda u ovom špiljskom sustavu, te prirodnog spuštanja razine podzemnih voda. Medvjeda brušenja kao i nalazi kostiju špiljskog medvjeda na koje možemo naići pri našem kretanju uz uređene staze dio su interesa paleontološke struke, dok za biologe u tami pećine ima interesantne podzemne faune koju treba i dalje promatrati i ispitivati.

Zanimljivo je napomenuti da smo do 1890-tih godina s područja našeg krša od Učke do Dubrovnika imali na desetke pisanih i objavljenih putopisnih, popularnih i znanstvenih radova koji su s oduševljenjem opisivali izuzetnosti naših krajolika, upozoravali na raritet i bogatstvo naše flore te donosili prve opise tada istraženih naših špilja, jama i ponora. Niti poniranje Otuče i Ričice pod obronke Velebita nije tada privlačilo pažnju prvih putopisaca, kao da je kamenjar bijelih hridina Crnopačkih vrhova bio prevelika "divljina" i za sve njih. Gradnja ličke pruge od Ogulina preko Plaškog, Vrhovina, Perušića i Gospića do Gračaca rađena je u etapama i sve više omogućavala da se upoznaju i ti predjeli naše Like. Od Gračaca do Knina trasa je pruge bila planirana usjecanjem u sjeverne obronke južnog dijela Velebita uz izradu brojnih podzidova, probijanje usjeka i nekoliko tunela. Ova zahtjevna dionica rađena je od 1912. godine, a pod nadzorom ing. Turkalja. U dijelu pruge prije prvog tunela seljaci ga upozoravaju na mali špiljski otvor pod samim podzidom pruge.

Tako Turkalj voden znatiželjom i brigom za sigurnost pruge ulazi 30. listopada 1913. u tamu nepoznate pećine i počinje ju istraživati. Zapaža da ulazni kanal ima smjer prema planiranom tunelu, pa započinje s de-

taljnim geodetskim snimanjem da utvrdi njegov položaj i odredi visinu od poda do stropa šupljine kako bi se uvjerio u sigurnost budućeg tunela. Utvrđena debljina stijena dokazala je sigurnost za tunel i prugu. Poslije toga je sve dublje ulazio u tamu tog podzemlja i bivao sve oduševljeniji onime što je vidio. Seljaci su ga odveli i do otvora špilje iznad buduće pruge ispod litice Kesića neposredno uz iskop vodovodnog cjevovoda što je rađen za odvod vode od Otrića do Gračaca. Turkalj je bio oduševljen i ovdje nadenim, pa je svoje slobodno vrijeme koristio za što potpunije upoznavanje unutrašnjosti ovih špilja i za uređivanje prvih staza i prolaza. Na ulaze on postavlja zaštitna vrata, a fotografiranjem detalja u tami nastoji da se njihova unutrašnjost što bolje zaštititi i sačuva. Mještani Gračaca i okolice nakon toga još su dugo ove pećine nazivali Turkaljevima pećinama. Svoje otkriće Turkalj je za javnost obznanio tek god. 1914. u tadašnjim novinama "Obzor", upozoravajući na njihovu ljepotu, vrijednost i zanimljivost pronađenih životinjskih kostiju, zalažući se za njihovo očuvanje od nepotrebne devastacije. Završetkom izgradnje pruge Cerovačke pećine postupno padaju u zaborav, a samo poneki kratkotrajni pokušaj ponovne turističke obnove i uređivanja pobuđuje interes za njih.

Zbog svoje izuzetne geomorfološke građe i složenosti brojnih pećinskih kanala i dvorana, zanimljivih arheoloških, antropoloških i paleontoloških nalaza te velikog bogatstva u kalcitnim ukrasima, ove su pećine 11. prosinca 1961. godine zaštićene kao geomorfološki spomenik prirode.

Nažalost, Cerovačke pećine nisu bile sustavno štićene i čuvane, tako da su u nekim detaljima dosta devastirane, pa kada ih je konačno 1979. godine elektrificirala tadašnja Šumarija Gračac, učinjen je važan korak za njihovu zaštitu i ukazivanje na ljepotu tih najduže uređenih špilja Hrvatske. Tada one dobivaju svoj plakat, prospekt, razglednice, seriju značaka i ostale suvenire koji su bili prodavani u Motelu "Cerovačke pećine" izgrađenom na podnožju brda uz kuće Kesića. Elektrifi-

kacija i uređenje staza nije izvedeno na ispravan način. Prije Domovinskog rata, zajedno s Institutom za turizam Hrvatske, Institut za geološka istraživanja izradio je prijedlog za probijanje prolaza između Gornje i Donje pećine, a po kosini tunela od polja do razine ulaza u Gornju pećinu planirano je postavljanje uspinjače za posjetitelje.

Poslije akcije "Oluja" u Gračacu se pojavio iseljenik iz Australije, g. V. Jurić koji je počeo ulagati svoja sredstva da uredi pristup do pećina, te da ih elektrificira i ponovo omogući njihovo posjećivanje za sve zainteresirane ljubitelje podzemnih izuzetnosti u našoj Lici.

Literatura - References

- BOŽIČEVIĆ, S. (1988): Prilog historijatu otkrića Cerovačkih pećina kod Gračaca u Lici.- Naš krš, 24-25, 159-167, Sarajevo.
- MALEZ, M. (1965): Cerovačke pećine.- Speleološko društvo Hrvatske, 1, 1-41, Zagreb.

Postaja 8: Izvorište rijeke Gacke

Stop 8: The spring area of the Gacka river

Ante PAVIČIĆ

Abstract

The drainage basin of the Gacka river spring area is a typical karst catchment basin with predominantly subsurface flow. The river spring consists of several karst springs located at the edge of the polje some 460 m above sea level. The water discharged is supplied from an extensive catchment area of approximately 500 km², which contains mountainous terrains, and several smaller karst poljes. Structural tectonic analysis suggests that the spring formation was initiated by the opening of the terrain and the formation of a pull-apart type structure, which has features reminiscent of an extension zone. The whole setting is a consequence of regional stress. The abundance and the quality of water from the Gacka river springs make them a strategic water source in the Dinaric karst region and its catchment basin is located completely within Croatian territory. The existence of a vast natural subsurface retention in the hinterland of the springs allows a constant uniform outflow of water. At the location of the water pumping station at Čovići Podgora the ratio between the minimal, intermediate and high flows in the period between 1972 and 1994 was 1 : 6 : 26 (2.28 : 14.0 : 59.9 m³/s).

Izvorište Gacke sastoji se iz nekoliko jakih krških izvora smještenih uz rub polja, oko 460 m iznad morske razine (sl. 21). Na njima se drenira voda iz širokog slivnog područja (oko 500 km²), kojem pripada planinski teren i nekoliko manjih krških polja.

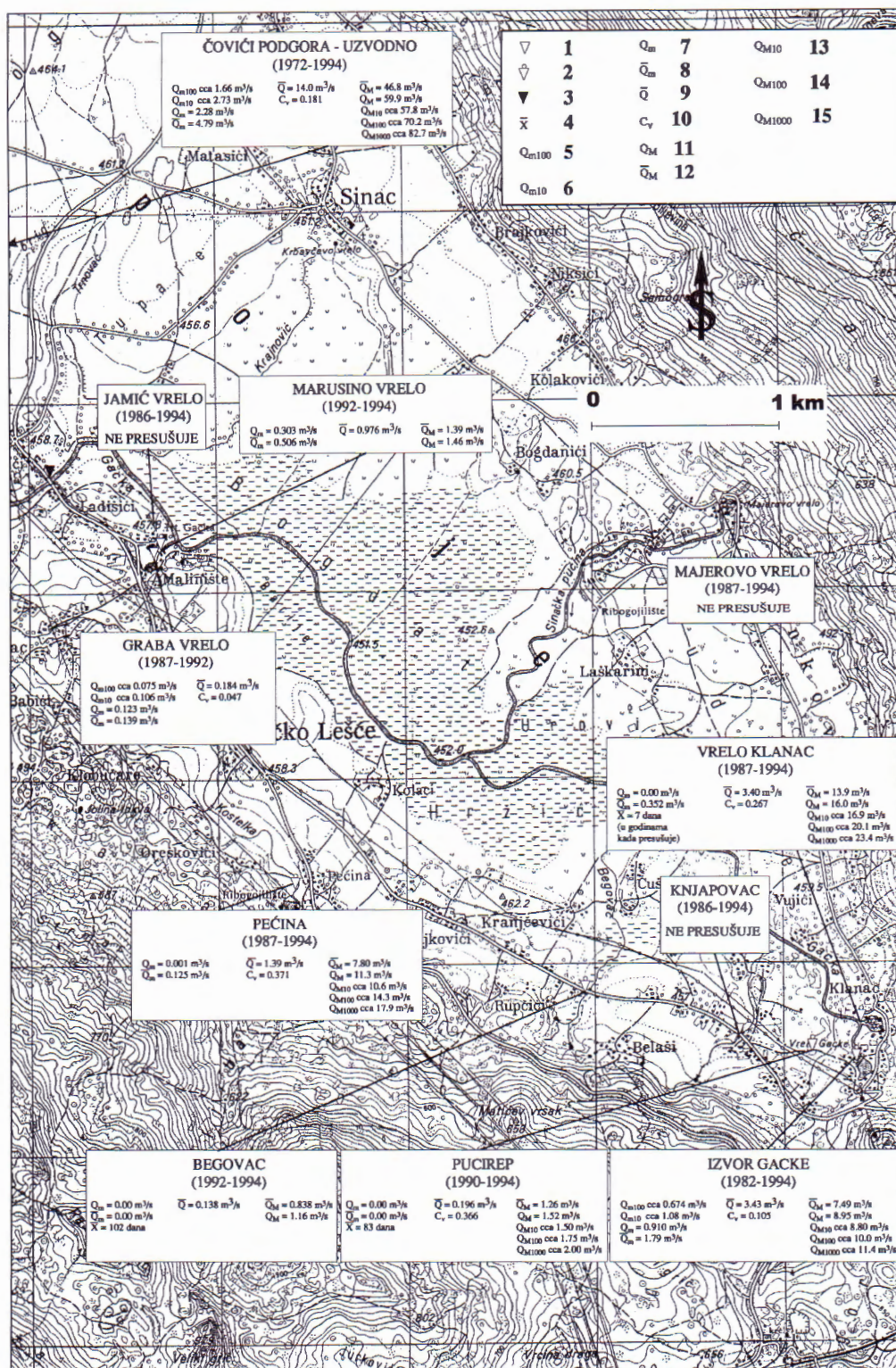
Sliv izvorišta Gacke je tipičan krški sliv s pretežno podzemnim tečenjem. Stalnih značajnih površinskih tokova osim rijeke Gacke i Babinog potoka nema. Manji tokovi u gorskom dijelu sliva, Čanak i Kozjan, lokalnog su karaktera i s dubljom podzemnom vodom su povezani preko ponora. Povremeni površinski vodotoci su potoci Mizimovac i Jaruga u Perušićkom polju koji u sušnoj sezoni ne odražavaju nivo podzemne vode.

Nasuprot izvorišnog dijela rijeke Gacke, koja je bogata vodom tijekom cijele godine, estavele i ponori se javljaju u donjem dijelu rijeke gdje je Gacka "viseći" tok tijekom većeg dijela godine kada je podzemna voda nekoliko desetaka metara ispod korita rijeke.

Obilježavanjem podzemnih voda na ponoru Babinog potoka dokazane su brze veze (9,17 m/s) sa šireg područja Vrhovinskog polja s Majerovim vreloom. Dio vode otječe na Glavni izvor (Tonkovića vrelo) i Klanac, koje glavninu voda primaju iz središnjeg dijela sliva na

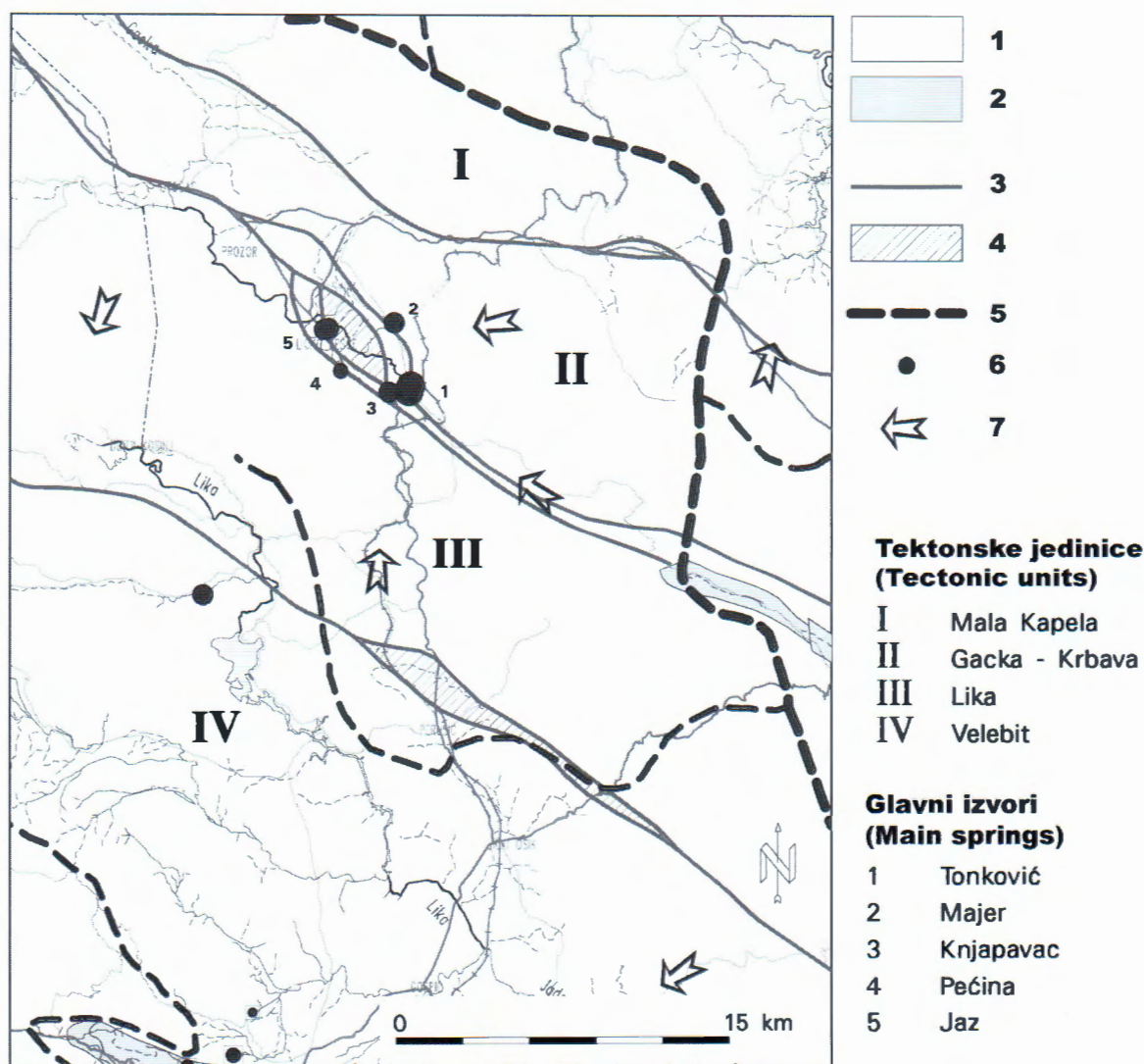
liniji Kozjan - Čanak - izvori, uzduž regionalnog rasjeda. Relativno manje prividne brzine tečenja podzemne vode (oko 2 cm/s) iz ovog smjera, utvrđene obilježavanjem na vodotoku Kozjan, možemo povezati s retencijom u zaleđu izvorišta.

Najveći dio sliva izvorišnog dijela Gacke izgrađen je iz propusnih ili djelomično nepropusnih karbonatnih stijena - vapnenaca, vapnenaca i dolomita u izmjeni i vapnenačkih breča različitih litostratigafskih članova od lijasa do paleogena. Pojava jakih krških izvora u izvorištu Gacke do sada je povezivana prvenstveno s hidrogeološkom funkcijom nepotpune barijere, koju ima relativno spuštenu tektonski blok izgrađen iz Jelar naslaga (BAHUN & FRITZ, 1975; BIONDIĆ, 1981; PAVIČIĆ et al., 1984). Provedenom strukturno-tektonskom analizom (PAVIČIĆ et al., 1995) potvrđeno je da su ranije formirane strukture pod djelovanjem regionalnog stresa na pravcu sjever-jug rotirane. To je rezultiralo stvaranjem regionalnih rasjeda, među kojima su za tečenje vode značajniji horizontalni transkurentni rasjedi. Među njima je najizraženiji regionalni rasjed Žuta Lokva - Otočac - Udbina. Uzduž tako orijentiranog horizontalnog rasjeda, uz ranije orijentirane strukture SZ-JI uz



Sl. 21 Prikaz količina površinskih voda u slivu Gacke uzvodno od Čovića: 1) vodomjerna postaja (vodokaz); 2) vodomjerna postaja (vodokaz + vodomjerna); 3) vodomjerna postaja (limnigraf); 4) prosječni godišnji broj sušnih dana; 5) minimalni godišnji protok 100-godišnjeg povratnog razdoblja; 6) minimalni godišnji protok 10-godišnjeg povratnog razdoblja; 7) najmanji zabilježeni minimalni godišnji protok; 8) prosječni minimalni godišnji protok; 9) srednji godišnji protok; 10) koeficijent varijacije vremenskog niza srednjih godišnjih protoka; 11) prosječni maksimalni godišnji protok; 12) najveći zabilježeni maksimalni godišnji protok; 13) maksimalni godišnji protok 10-godišnjeg povratnog razdoblja; 14) maksimalni godišnji protok 100-godišnjeg povratnog razdoblja; 15) maksimalni godišnji protok 1000-godišnjeg povratnog razdoblja.

Fig. 21 Review of surface water quantity within the Gacka River catchment area, upstream of Čovići: 1) water-level gauge; 2) water-level gauge with records; 3) water-level gauge (limnigraph); 4) mean annual number of dry days; 5) minimal annual discharge during a 100 year period; 6) minimal annual discharge during a 10 year period; 7) lowest recorded minimal annual discharge; 8) mean minimal annual discharge; 9) mean annual discharge; 10) variation coefficient of sequence of mean annual discharge; 11) mean maximal annual discharge; 12) highest recorded maximal annual discharge; 13) maximal annual discharge during a 10 year period; 14) maximal annual discharge during a 100 year period; 15) maximal annual discharge during a 1000 year period.



Sl. 22 Hidrogeološka karta slivnog područja izvorišta rijeke Gacke. Legenda: 1) propusne karbonatne stijene; 2) nepropusni klastiti; 3) rasjed; 4) pull-apart strukture; 5) podzemna razvodnica; 6) izvor; 7) smjer tečenja podzemne vode.

Fig. 22 Hydrogeological map of the Gacka River catchment area. Legend: 1) permeable carbonate rocks; 2) impermeable clastics; 3) fault; 4) pull-apart structure; 5) groundwater divide; 6) spring; 7) groundwater flow direction.

aktivnost najmladeg regionalnog stresa, dolazi od otvaranja prostora, formiraju se strukture tipa *pull-apart*, koje imaju karakteristiku ekstenzijske zone.

Posljedica toga je iniciranje nastanka Gackog polja, dreniranje podzemne vode prema polju i pojava izvora u izvorištu.

Spomenuti regionalni transkurentni rasjed uz zapadni rub Gackog polja uvjetuje generalni smjer tečenja podzemne vode prema izvorima u slivu. Tečenje okomito na taj rasjed je otežano, tako da on određuje granicu unutar sliva. Ta granica odvaja izvore uz zapadni rub polja (Pečina, Knjapovac, Pucirep), koji su povezani s tektonskom jedinicom III (Lika), od izvora u jugoistočnom (Tonković i Klanac) i istočnom rubnom dijelu polja (Majerovo vrelo) koji je povezan s strukturnim jedinicama I i II (Mala Kapela i Gacka-Krbava) (sl. 22).

Ovi izvori se ne razlikuju samo u režimu istjecanja već i u kemijskom sastavu (PAVIČIĆ et al., 1997).

Postojanje jakih krških izvora u centralnom dijelu Gackog polja (Jaz, Graba, Jamić) hidraulički povezanih s udaljenim dijelom sliva sukladno je s naprijed opisanim kompleksnim tektonskim odnosima u polju. Pritjecanje vode k tim izvorima odvija se "izoliranim" podzemnim krškim kanalima unutar rasjedne zone paralelnih rasjeda uzduž kojih je formirana *pull-apart* struktura (sl. 22).

Trasiranje u slivu potvrđuje povezanost podzemnog tečenja i pojave izvora sa strukturno-tektonskom građom terena.

Sliv izvorišta rijeke Gacke zauzima područje od Čovića (uzvodno od zone estavela) površine oko 490 km². Prosječna godišnja visina oborina je na slivu procjenje-



Sl. 23 Izvor rijeke Gacke (Tonkovića vrilo).

Fig. 23 The spring of the Gacka River (Tonkovića vrilo).

na na 1.350 mm, a prosječni otjecajni koeficijent, prema toj procjeni, iznosi 0,65. Srednji protok Gacke na vodnoj postaji Čovići Podgora iznosi $14 \text{ m}^3/\text{s}$. Gacka je najbogatija vodom u travnju ($Q_{\text{SR. ČOVIĆI}} = 19,2 \text{ m}^3/\text{s}$), a najsiromašnija u kolovozu (na istom vodomjeru $8,46 \text{ m}^3/\text{s}$).

Izvorište Gacke bogatstvom i kvalitetom vode predstavlja strateške rezerve u krškom području Dinarida, a sliv mu se u potpunosti nalazi unutar granica Hrvatske. Položaj sliva, njegova slaba naseljenost i dosadašnja sačuvanost omogućavaju planiranje razvitka regije i očuvanje kvalitete vode, koja se zasada samo djelomično neposredno koristi za vodoopskrbu grada Otočca i okolnih naselja (oko 100 l/s, izvor Tonkovića vrilo - sl. 23).

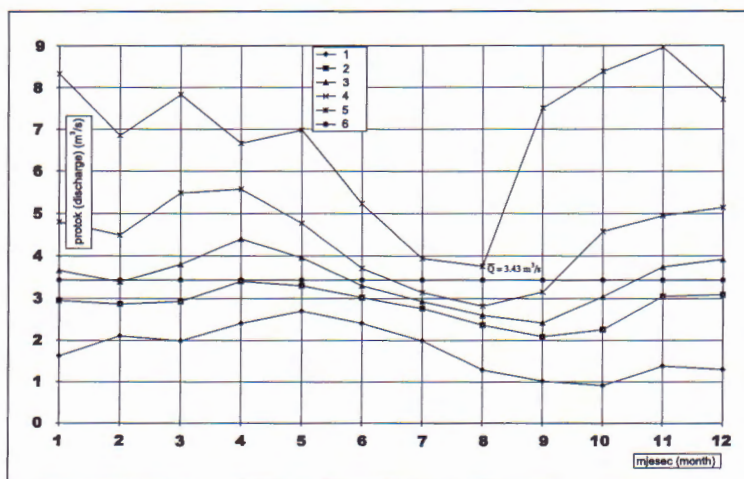
Postojanje prostrane prirodne podzemne retencije u zaleđu izvorišne zone utječe na vrlo ujednačen tok. Na lokaciji v.p. Čovići Podgora odnos između minimalnih, srednjih i maksimalnih protoka u razdoblju od 1972. do 1994. iznosi 1:6:26 ($2,28; 14,0; 59,9 \text{ m}^3/\text{s}$). Hidrološka istraživanja su pokazala da je aktivni volumen podzemne retencije $410 \times 10^6 \text{ m}^3$ (ŽUGAJ, 1981). Unutar tog volumena vrše se sezonska punjenja i pražnjenja podzemne retencije, s prosječnim volumenom punjenja i

pražnjenja od $103,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. Za usporedbu, ukupni korisni volumen akumulacijskog jezera Peruća u slivu rijeke Cetine iznosi $565 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Za ilustraciju izdašnosti izvorišta dajemo prikaz mjesečnog istjecanja na Tonkovića vrilu (sl. 24).

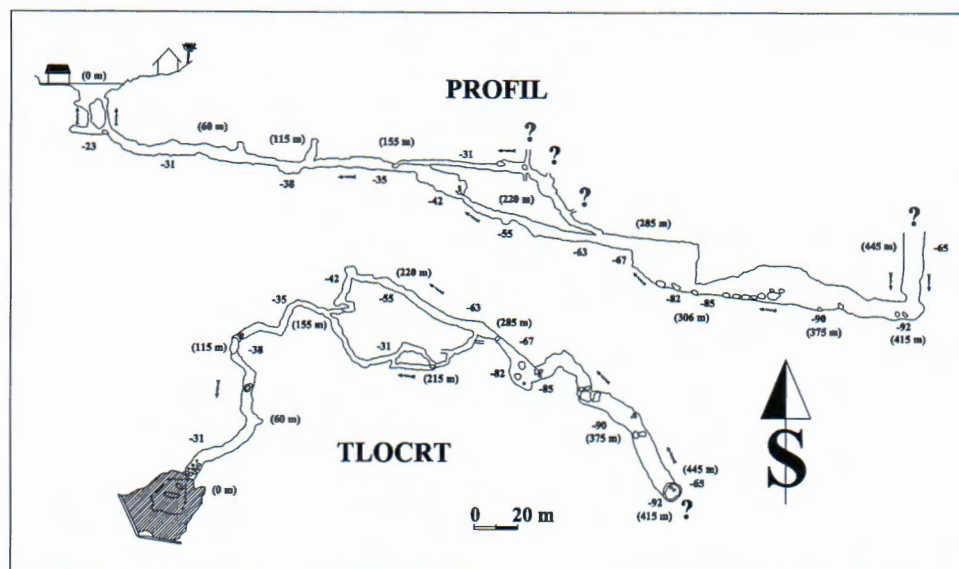
Interesantne podatke o retencijskom prostoru u zaleđu izvora prikupila je speleoronilačka ekspedicija "Croatia '98" (GARAŠIĆ, 2000). Članovi ekspedicije zaronili su u izvor Majerovo vrelo i u njegovu zaleđu otkrili podzemne krške kanale (sl. 25). Dosad otkriveni kanali upućuju na sustave podzemnih prostora koji svojim dimenzijama, dužinom, a prvenstveno dubinom od preko 90 m ispod površinske razine izvora, ukazuju na složenost hidrogeoloških odnosa u podzemlju. To je u skladu s utvrđenim brzinama tečenja podzemne vode od preko 10 cm/s , i postojanjem podzemne retencije u slivu. Ovakva povezanost podzemnih krških kanala i otvoreni podzemni prostori do velike dubine upućuju na velike mogućnosti korištenja vode crpljenjem u zaleđu izvora. Ujedno, postoji i opasnost od brzog prenošenja zagađenja na krške izvore i akumuliranu vodu u prostranoj podzemnoj retenciji. Ti su podaci posebno interesantni za tumačenje razvoja geomorfologije i hidrogeoloških odnosa u širem području Like u starijem kvartaru, što može biti od izuzetne koristi za rješavanje korištenja vode (hidroenergetika, vodoopskrba) i njezine zaštite.

Na području cijelog sliva izvorišnog dijela rijeke Gacke izvedena su hidrogeološka istraživanja za prijedlog zona sanitarne zaštite i načinjen je "Prijedlog Odluke o zonama sanitarne zaštite izvorišta rijeke Gacke" koji je pred usvajanjem. Dosadašnjim radovima, zahvaljujući strukturno-tektonskoj analizi terena i trasiranju podzemne vode, bilo je moguće unutar sliva relativno dobro definirati dio terena odakle dotječu vode na izvore Tonkovića vrelo, Klanac i Majerovo vrelo od sliva izvora uz zapadni rub polja (Pucirep, Knjapovac, Begovac i Pećinu). U ovu posljednju grupu izvora uključeni su i jaki krški izvori Marusino vrelo (Jaz), Graba te izvor Jamić. Do danas nije u potpunosti riješen "mehanizam" dotjecanja vode na ove izvore, ali je sigurno da vodu dobivaju iz udaljenih dijelova sliva uzduž "izoli-



Sl. 24 Mjesečne vrijednosti protoka na izvoru rijeke Gacke (Tonkovića vrilo). Legenda: 1) najmanji zabilježeni minimalni mjesečni protok; 2) prosječni minimalni mjesečni protok; 3) srednji mjesečni protok; 4) prosječni maksimalni mjesečni protok; 5) najveći zabilježeni maksimalni mjesečni protok; 6) srednji protok.

Fig. 24 Montly discharges of the Gacka River spring (Tonkovića vrilo). Legend: 1) lowest recorded minimal monthly discharge; 2) mean minimal monthly discharge; 3) mean monthly discharge; 4) mean maximal monthly discharge; 5) maximal recorded monthly discharge; 6) mean discharge.



Sl. 25 Profil podzemnih kanala Majerova vrila.

Fig. 25 Profile of underground channels of the Majer spring.

ranih" podzemnih tokova.

Nedovoljno je definirana i granica podslivova tih dviju grupa izvora u južnom dijelu sliva, što je moguće riješiti trasiranjem podzemne vode ili na ponoru u istočnom dijelu Perušičkog polja ili nekoj od dubokih jama (na pr. Jami Pavkuša).

Ova saznanja primijenjena su osim na izradu prijedloga Odluke o zaštitnim zonama i kod odabira trase autoceste Zagreb-Dubrovnik. U "Studiji utjecaja na okoliš" za spomenutu trasu ceste naglašene su sve negativnosti varijanti trasa koje prolaze u zaleđu glavnih izvora (Tonkovića vrelo, Majerovo vrelo), a preporučena je varijanta uz zapadni rub polja u slivu manje značajnih izvora (Pucirep, Knjapovac, Begovac i Pećina).

Literatura - References

- BAHUN, S. & FRITZ, F. (1975): Hidrogeološke specifičnosti Jelar naslaga Like.- Geol. vjesnik, 28, 345-355, Zagreb.
- BIONDIĆ, B. (1981): Hidrogeologija Like i Hrvatskog Primorja.- Disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- GARAŠIĆ, M. (2000): Izvješće međunarodne speleološke ekspedicije Speloronjenje '99.- HSS, 1-20, Zagreb.
- PAVIČIĆ, A., FRITZ, F. & BAHUN, S. (1984): Studija optimalnog korištenja vode slivova Like i Gacke. Knjiga 4. Geologija (Geološke podloge).- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- PAVIČIĆ, A., PRELOGOVIĆ, E., BIONDIĆ, D., KAPELJ, S. & HINIĆ, V. (1997): Studija ugroženosti izvorišta rijeke Gacke.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- ŽUGAJ, M. (1981): Posebna analiza u hidrotehnici.- Sveučilišna naklada Liber, Zagreb.

Postaja 9: Plitvička jezera

Stop 9: The Plitvice Lakes

Srećko BOŽIČEVIĆ

Abstract

The sixteen lakes, linked in a cascade manner, are situated over a distance of 8.200 m and a drop of 158 m in a karstified terrain between the slopes of the Mala Kapela Mountains and the Lička Plješevica mountain. The highest waterfall located on the course of the Plitvica stream is over 70 m high and lies above the Sastavci, beneath which the spring of the karst river Korana is situated. A part of the Mesozoic carbonate bedrock located in the lake hinterland constantly supplies them with water through the underground. On the other hand, the Triassic rocks of the Upper lakes are impermeable and allow retention of the accumulated water. The calc-tufa generating moss and other plants through a complex biodynamic process of calc-tufa formation under clean water conditions and the calcium bicarbonate saturation allow the formation of calc-tufa barriers. The Plitvica lakes and its hinterland have been protected since 1949 as the first Croatian National Park and the lakes have been under the protection of UNESCO from 1979 as a part of the world cultural and natural heritage.



Sl. 26 Položaj Plitvičkih jezera.

Fig. 26 The location of the Plitvice lakes.

Prije 50 godina Plitvička su jezera proglašena prvim nacionalnim parkom na području Hrvatske, što je bio značajan korak za njihovu stvarnu zaštitu koja se osobito pojačava od 1979. kada ih UNESCO stavlja na Listu svjetske kulturne i prirodne baštine (BOŽIČEVIĆ et al., 1998).

Jezera su smještena u graničnom području Korduna i Like te ogulinsko-plašćanske udoline na visini od 480 do 636 m n.m., na obroncima Male Kapele i Plješevice (sl. 26).

Plitvička jezera poznata su kao šesnaest plitvičkih bisera podijeljenih u Gornja i Donja jezera. Nakon toka Bijele i Crne rijeke koji se kao Matica ulijevaju u najviše gornje - Prošćansko jezero na visini od 636 m slijedi niz manjih, kaskadno položenih jezera koja završavaju u prostranom jezeru Kozjak. Prošćansko jezero dugo je 2.100 m te duboko 37 m, dok su Ciginovac jezero, Okrugljak, Batinovac, Veliko, Malo, Vir jezero, Galovac, Milino, Gradinsko i Burgeti niz manjih i plićih ujezereanja s brojnim slapovima od kojih su Labudovac, Galovački buk i Prštavci visoki oko 20 metara. Od spomenutih jezera najdublji je Galovac sa 24 m, a ispod Burgeta dolazi jezero Kozjak na visini od 534 m, dužine 2.350 m i s dubinom od 46 metara. Ovo zadnje gornje jezero ima Štefanijin otok u blizini prijelaza čamcima s jedne na drugu njegovu obalu. Četiri Donja jezera, Milanovac, Gavanovac, Kaluderovac i Novakovića brod, urezana su u kameni kanjon. Prvo se jezero nalazi na visini od 523 m, a zadnje na 503 m. Najdublje je prvo jezero Milanovac s 18 m, a najpliće zadnje sa svega 3 m. Na kraju Milanovca jedno od slapišta u niže jezero Gavanovac nazvano je slapovi Milke Trnine, po našoj poznatoj opernoj pjevačici. Na kraju Novakovića broda

voda se ruši niz 25 m visoku stepenicu, a s njegove lijeve strane uzdiže se polukružno i amfiteatralno oblikovana visoka stijena niz koju pada 76 m visok slap potoka Plitvica. Vodeni kotao ispod ovog slapa i pada Novakovića broda naziva se Sastavci i na njihovu dnu je izvor rijeke Korane. Visinska razlika između prvog plitvičkog jezera i izvora rijeke Korane iznosi 158 m na dužini od 8.200 metara (PETRIK, 1958).

Geološka podloga i hidrogeologija jezerskog područja

Geološka podloga područja koje je obuhvaćeno u granice Nacionalnog parka "Plitvička jezera" kao i njegovo šire okružje dio je prostrane karbonatne sredine s naslagama mezozojske starosti na neposrednoj površini. Osnovne vrste stijena koje možemo razlikovati su vapnenac i dolomit s nizom svojih varijabilnosti koje su vidljive u reljefnim razlikama te u odsutnosti ili pojavi vode na površini.

Gornja su jezera, od Prošćanskog do Kozjaka, u blago položenim proširenjima dolomitne podloge, a Donja u vapnenačkom kanjonu, koji se ispod Sastavaka dalje nastavlja kao kanjonski tok rijeke Korane - dugo do svog ušća 134 km.

Oblikovanje i izgled današnjeg reljefa u ovom dijelu Hrvatske rezultat su brojnih zbivanja u geološkoj prošlosti koja su se događala na širem prostoru naših Dinarida pri stvaranju planinskih masiva - kako današnjeg Velebita, tako i Velike i Male Kapele i Ličke Plješevice. Pritom je kretanjem i izdizanjem prostranih stijenskih blokova razlomljenih regionalnim i lokalnim rasjedima stvarano područje jače i slabije razlomljenosti, odnosno slabije i jače vodopropusnosti. Zbog hladnijih i

ISBN 953-96520-9-X



9 789539 652096