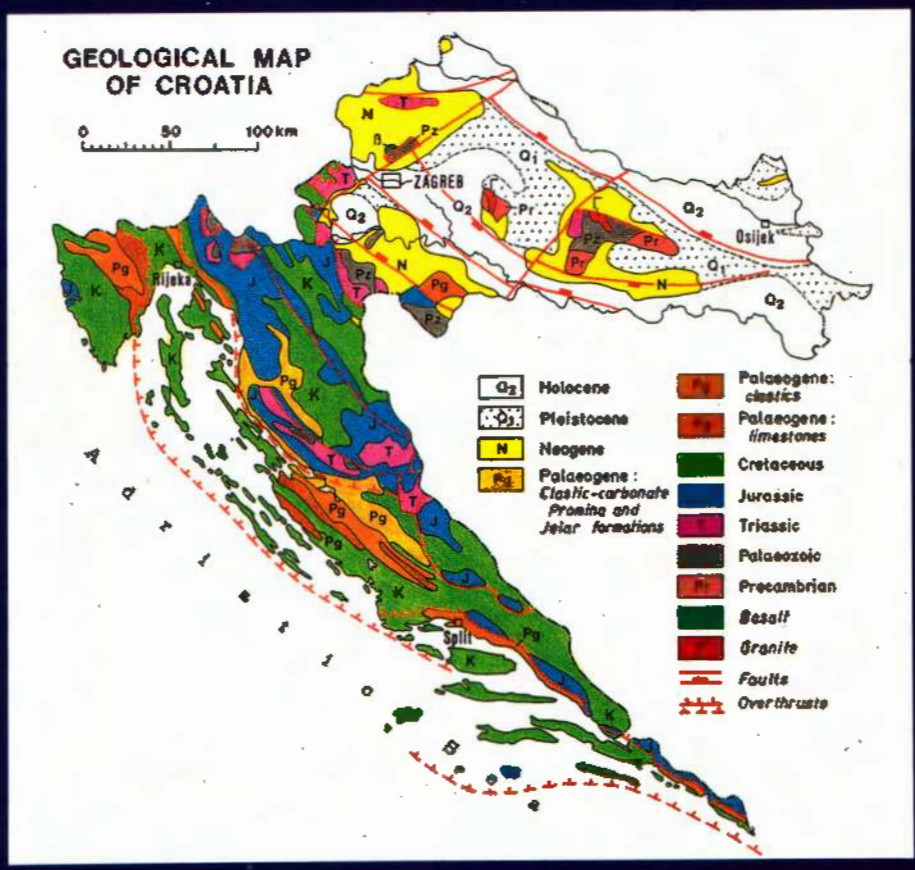
1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES
FIRST CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS

OPATIJA, 18-21.10.1995.

ZBORNIK RADOVA
PROCEEDINGS

1



Urednici - Editors:
Igor VLAHOVIĆ, Ivo VELIĆ & Marko ŠPARICA

Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology
Hrvatsko geološko društvo - Croatian Geological Society

ZAGREB, 1995

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES
FIRST CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS

Opatija, 18-21.10.1995.

Organizatori - Organized by:

Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology
Hrvatsko geološko društvo - Croatian Geological Society

Suorganizatori - Supported by:

INA-Naftaplin - Zagreb
JVP "Hrvatska vodoprivreda"
Hrvatska kreditna banka za obnovu i razvoj - Direkcija kredita Svjetske banke
"Kamen" - Pazin
INA-Geološki konzalting - Zagreb

Pokrovitelj - Sponsor:

Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske
Ministry of Science and Technology of the Republic of Croatia

ORGANIZACIJSKI ODBOR
ORGANISING COMMITTEE

Đuro **BENČEK**
predsjednik - president

Marko **ŠPARICA**
dopredsjednik - vicepresident

Bruno **ALJINOVIĆ**
Josip **BENIĆ**
Mare **GOLAC**
Elza **HRVOJIĆ**
Mladen **HVALA**
Darko **IVIČIĆ**
Katarina **KRIZMANIĆ**
Eugen **KRKALO**
Mladen **MACHALA**
Ivo **VELIĆ**
Boro **VLAŠIĆ**

POČASNI ODBOR
SCIENTIFIC COMMITTEE

Stjepan **BAHUN**
Milan **HERAK**
Ivan **JURKOVIĆ**
Velimir **KRANJEC**
Vladimir **MAJER**
Branko **SOKAČ**
Stjepan **ŠĆAVNIČAR**

ZNANSTVENI ODBOR
HONORARY COMMITTEE

Božidar **BIONDIĆ**
predsjednik - president

Ivan **GUŠIĆ**
Krešimir **JELIĆ**
Vladimir **JURAK**
Darko **MAYER**
Ladislav **PALINKAŠ**
Josip **SEČEN**
Jožef **ŠIMON**
Boris **ŠINKOVEC**
Josip **TIŠLJAR**

ISBN 953-96520-4-9 (cjelina)
ISBN 953-96520-5-7 (sv. 1)

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

Urednici - Editors: Igor **VLAHOVIĆ**, Ivo **VELIĆ** & Marko **ŠPARICA**

Tisak - Printing: "Tipotisak", Zagreb

Izdano - Issued: listopad 1995., 500 primjeraka - October 1995, 500 copies

---

Ovitak - Cover: Geološka karta Republike Hrvatske (autori: Ivo i Josipa **VELIĆ**) - Geological Map of Croatia (prepared by Ivo and Josipa **VELIĆ**)

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES
FIRST CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS

OPATIJA, 18-21.10.1995.

ZBORNIK RADOVA
PROCEEDINGS

1

Urednici - Editors:
Igor VLAHOVIĆ, Ivo VELIĆ & Marko ŠPARICA

Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology
Hrvatsko geološko društvo - Croatian Geological Society

ZAGREB, 1995

Autori su u potpunosti odgovorni za sadržaj svojih članaka.

The authors are entirely responsible for the contents of their papers.

SADRŽAJ
CONTENTS

PLENARNI ČLANCI - PLENARY PAPERS

BENČEK, Đ: Razvoj geološke službe, uloga i sadržaj njezine djelatnosti na tlu Hrvatske 7
The Development of the Geological Survey, its Role and the Importance of its Activities in Croatia 12

BIONDIĆ, B.: Geologija u primjeni 17
Geology in Application 21

HERAK, M.: Koncepcijski doseg geologije Hrvatske 25
Conceptional Scope of the Geology of Croatia 25

MAJER, V.: Školovanje geologa na Sveučilištu u Zagrebu - osvrt na prošlost, sadašnjost i budućnost 35
Education of Geologists at the University of Zagreb - Past, Present and Future 39

ČLANCI - PAPERS

BABIĆ, Lj., ZUPANIČ, J. & JURAČIĆ, M.: Supply from an Outer Carbonate Platform to the Foreland Basin of the Coastal Dinarides: the Pazin Flysch Basin (Eocene, Croatia) 43

BABIĆ, G. & JUNGWIRTH, M.: Podrijetlo H_2S i organsko sumpornih spojeva u plinsko-kondenzatnom polju Stari Gradac 47

BARIŠIĆ, M. & WEISSER, M.: Nove spoznaje o strukturno-tektonskim i ležišnim odnosima plinsko-kondenzatnog polja Stari Gradac - Barcs Nyugat 51

BASCH, O., PAVELIĆ, D. & BAKRAČ, K.: Gornjopontski facijesi sjevernog krila Konjščinske sinklinale kod Huma Zabočkog (Hrvatsko Zagorje) 57

BEJDIĆ, G.: Usporedba litogenetskih jedinica i seizmičkih sekvencija 63

BELAK, M., PAMIĆ, J., KOLAR-JURKOVŠEK, T., PECKAY, Z. & KARAN, D.: Alpinski regionalnometamorfni kompleks Medvednice (sjeverozapadna Hrvatska) 67

BELAK, M., SREMAC, J., CRNKO, J., & KOLAR-JURKOVŠEK, T.: Paleozojske stijene niskog stupnja metamorfizma na jugoistočnoj strani Medvednice (sjeverozapadna Hrvatska) 71

BENAC, Č., SENJANOVIĆ, P. & ČERINA, P.: Podmorski istraživački radovi u projektu "110 kV otočne veze" 75

BIONDIĆ, B., BRAUN, K., VLAHOVIĆ, I., MLINAR, Ž., ANDRIĆ, M., BALEN, I., POLLAK, D., FUČEK, L., OŠTRIĆ, N., PRTOLJAN, B., ŠABAN, B., BLAGUS, Z., DUKARIĆ, F., BULJAN, R. & BIONDIĆ, R.: Inženjerskogeološki model željezničkog tunela Ćićarija 81

BIONDIĆ, B., IVIČIĆ, D., KAPELJ, S. & MESIĆ, S.: Hidrogeologija Vranskog jezera na otoku Cresu 89

BIONDIĆ, B., SINGER, D., BRKIĆ, Ž. & BIONDIĆ, R.: Razvoj hidrogeološkog informacijskog sustava Republike Hrvatske 95

BIONDIĆ, D.: Simulacije otjecanja primjenom modela "NAM" 101

BONACCI, O.: Meduzavisnost geologije, hidrogeologije i hidrologije pri rješavanju hidrotehničkih problema 105

BORTEK, Ž.: Mineralne sirovine za cementnu industriju u tvornici "Našicecement" d.d. Našice 109

BOŠKOV STEINER, Z. & STEINER, I.: Geological Particularities of Horizontal Well Application in Petroleum Engineering 113

BOŽIČEVIĆ, S.: Brojnost speleoloških pojava u Istri i njihova rasprostranjenost u odnosu na geološku građu. 117

BOŽIČEVIĆ, S., ŠABAN, B. & VULIĆ, Ž.: Podzemne šupljine u temeljima objekata na području Rijeke 121

BRAUN, K., POLLAK, D. & MLINAR Ž.: Inženjerskogeološko modeliranje 125

BRKIĆ, Ž.: O pristupu ocjeni obnavljanja podzemne vode na području Ravnik-Kutina 131

BUKOVAC, J., GRGASOVIĆ, T., GLOVACKI JERNEJ, Ž., JERINIĆ, G., GALOVIĆ, I. & PRTOLJAN, B.: Litostratigrafska raščlamba dolomitnih naslaga trijasa jugozapadnog Žumberka u okviru radova na geološkoj karti Republike Hrvatske 1:50.000 137

CHIKAN, G., CHIKAN-JEDLOVSZKY, M., KOKAI, A., KOLOSZAR, L., MARSI, I. & PAPP, P.: Integrated Geological Mapping of South-Transdanubia, Hungary 143

CZUKOR, M., ČEPELAK, R. & OPIĆ, I.: Hidrogeološka obilježja geotermalne vode Lipika kao podloge zdravstvenom turizmu 147

DALLA VECCHIA, F.M. & TARLAO, A.: Dinosaur Evidence in the Cretaceous of Istria (Croatia) 151

DOLENEC, T., FAGANELI, J. & PEZDIČ, J.: Oxygen and Carbon Isotopic Composition of Surficial Sediment from the Adriatic Sea 155

DOLENEC, T., HERLEC, U. & PEZDIČ, J.: Stable Isotopic Composition of Biogenic Carbonates from the Adriatic Sea 159

DOLENEC, T., OGORELEC, B. & PEZDIČ, J.: The Permian-Triassic Boundary in the Karavanke Mountains (Slovenia): Stable Isotope Variations 163

FUČEK, L., VELIĆ, I., VLAHOVIĆ, I., OŠTRIĆ, N., KOROLIJA, B. & MATIČEC, D.: Novi podaci o stratigrafiji donje krede otoka Cresa 167

GABRIĆ, A. & PROHIĆ, E.: Povišeni sadržaj radioaktivnosti u nekim ležištima boksita i ugljena u Istri 173

GARAŠIĆ, M.: Speleogeneza u okviru hidrogeologije krša i procesa karstifikacije 177

GOSAR, A.: Modelling of Seismic Profiles Recorded for the Project of Underground Gas Storage in the Pečarovci and Dankovci Structures - Mura Depression 183

GUŽVICA, G., HUBER, Đ. & RADANOVIĆ-GUŽVICA, B.: Paleobiološke i biokronološke značajke vrste *Ursus spelaeus* ROSENM. & HEINROTH iz pleistocena sjeverozapadne Hrvatske 187

HALAMIĆ, J., KOVAČIĆ, M. & ŠLOGAR, D.: Baza podataka Geološke karte Republike Hrvatske 1:50.000 191

HERNITZ, Z., VELIĆ, J., KALAC, K. & SAFTIĆ, B.: Miocenske taložine u širem području Beničanaca i njihovo naftnogeološko značenje (istočna Hrvatska) 195

HERTELENDI, E., SVINGOR, É., RANK, D. & FUTO, I.: Isotope Investigation of Lake Vrana and Springs in the Kvarner Area 201

HLEVNJAK, B. & VOJKOVIĆ, T.: Revitalizacija zdenca ugroženog djelovanjem željeznih bakterija na osječkom crpilištu 207

IVKOVIĆ, Ž., MATEJ, S. & ŠURIĆ, I.: Prilog prepoznavanju strukturnog stila u području naftno-plinskih polja Gojlo, Janja Lipa, Bujavice i Jamarice 211

JAMIČIĆ, D.: Tektonski događaji u južnom dijelu Panonskog područja (sjeverna Hrvatska): pregled i interpretacija 215

JANČIKOVIĆ, B., CIZELJ, I. & KRPAN, M.: Geološka primjena suvremenih karotažnih uređaja 219

JANEKOVIĆ, M., JURAČIĆ, M. & SONDI, I.: Sedimentacijske osobitosti rijeke Mirne (Istra, Hrvatska) 225

JANEŽ, J.: Hydrogeology of the Soča River Basin 229

JARC, S., MLADENOVIČ, A. & MIRTIČ, B.: Thermal Fatigue of Building Stones from Slovenia 235

JAŠAREVIĆ, I., IVIČIĆ, D. & BIONDIĆ, B.: Prilog metodologiji inženjerskogeološkog i geotehničkog modeliranja kod brana 239

JELIĆ, K., KEVRIĆ, I. & KRASIĆ, O.: Temperatura i toplinski tok u tlu Hrvatske 245

JETEL, J.: Acquisition of Data for Regional Assessment of Permeability and Transmissivity 251

JOVIČIĆ, D. & KLEIN, V.: Prikaz ovalne morfostrukture - Lika 255

JUNGWIRTH, E.: Boksit i paleogenski sedimenti na nekim lokalitetima u Hercegovini 261

JURAČIĆ, M., SONDI, I., RUBINIĆ, J. & PRAVDIĆ, V.: Sedimentacija u neravnotežnom estuariju pod utjecajem rijeke: krški estuarij Raše (Hrvatska) 265

JURAK, V., KOVAČIĆ, D. & GARAŠIĆ, M.: Procjena seizmičke stabilnosti nekih blokovskih paleokliziša 269

JURKOVIĆ, I.: Metalogenija paleozoika Dinarida na području Slovenije, Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Crne Gore i zapadne Makedonije 275

KALAC, K., BAJRAKTAREVIĆ, Z., MARKOVIĆ, Z., BARBIĆ, Z. & GUŠIĆ, I.: Stratigrafija pliocensko-pleistocenskih sedimenata u bušotinama podmorja Jadrana 281

KEREKOVIĆ, A. & BOROVIĆ, D.: Određivanje hidrauličke vodljivosti sedimenata uz hidroelektrane u aluvijalnoj dolini rijeke Drave 285

KNEZ, M.: Beds of the Liburnian Formation in a View of Paleoecological Research (Škocjanske jame Caves, Slovenia) 289

KOIĆ, M., ĆOSOVIĆ, V., GUŠIĆ, I., JELASKA, V., MARJANAC, T. & MORO, A.: Some Paleontological Evidence of the Paleogene Transgression on the Adriatic Carbonate Platform 293

KOLBAH, S., ROMANIĆ KRISTENSEN, N. & ŠUŠTARČIĆ, M.: Prilog geofizičkih mjerenja poznavanju geologije SI Istre i Kvarnera s osvrtom na geotermalne odnose 297

KOVAČIĆ, M.: Prilog poznavanju gustoće površinskog toplinskog toka u širem području Zagreba 303

KOZUR, H.: First Evidence of Middle Permian Ammonitico Rosso and Further New Stratigraphic Results in the Permian and Triassic of the Sosio Valley Area, Western Sicily 307

KOZUR, H.: The Position of the Anisian-Ladinian Boundary and the Development of the Radiolarian Faunas in This Level 311

KRIVIČIĆ, I.: Nova saznanja o površinama naših otoka s posebnim osvrtom na otoke Cres i Krk 315

KRKALO, E., ŠUŠNJARA, A., ŠĆAVNIČAR, B. & GABRIĆ, A.: Jurski silicijski sedimenti lemeškog facijesa (malm) u Dalmaciji i Lici 321

KRKLEC, N.: Numeričko-taksonomska klasifikacija metakarpalnih kostiju Mc I vrste *Ursus spelaeus* iz naslaga spilje Vindije 327

KRUK, B., LUKŠIĆ, B., GABRIĆ, A., KASTMÜLLER, Ž. & PENCINGER, V.: Ugljenonosni bazeni Republike Hrvatske 331

KRUŠLIN, Ž., VOJVODIĆ, O., OPIĆ, I. & BRITVIĆ, V.: Geovizualizacija podataka i parametara o bušotinskim jezgrama i preparatima 337

LOJEN, S., DOLENEC, T., OGRINC, N. & PEZDIČ, J.: Bledsko jezero: studija stabilnih izotopa 341

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	7 - 16	ZAGREB 1995

Razvoj geološke službe, uloga i sadržaj njezine djelatnosti na tlu Hrvatske

Đuro **BENČEK**

"Kako je Kraljevina Hrvatska-Slavonija na polju javne prosvjete samostalna, to je njoj na volju publicirati što hoće o hrvatskim prilikama. Napose je tako geološka pregledna karta izlijev rada kr. hrv. sveučilišta, dotično profesora geologije i odnosnoga zavoda sveučilišnoga te u tom redigiram i publiciram tu kartu. Vjerujem da može kr. ugarski geološki zavod snimati geološki i Hrvatsku, ali bi preporučio da se to zbude u sporazumu s nama, jer nije dobro raditi - osobito u nas - po principu jačega."

Ovo je tekst pisma, koje je 25. listopada 1908. godine uputio ugledni hrvatski, europski i svjetski geolog Dragutin Gorjanović- Kramberger (slijednik Đure Pilara, prvog profesora geologije i mineralogije na zagrebačkom sveučilištu i ravnatelja Muzeja za mineralogiju i geologiju) kao odgovor na pismeni ukor Državnog geološkog zavoda Madžarske u Budimpešti, zbog tiskanja preglednih geoloških karata dijela hrvatskog teritorija.

U to vrijeme sve organizirane države u Europi imaju svoje državne geološke uprave s odredenim upravnim nadležnostima i ovlastima, pa glede izrečenog s pravom smatramo da su težnje velikana hrvatske geologije Dragutina Gorjanovića-Krambergera za vlastita, hrvatska geološka istraživanja i hrvatsku geološku kartu uz ostale (kulturne, prosvjetne i gospodarstvene) preteča hrvatske samostalnosti pa i državnosti. Tim više, ako se uzme u obzir da su tada u Austrougarskoj monarhiji već postojale geološke uprave osim Beča i u Budimpešti, s nepobitnim aspiracijama na hrvatske zemlje u svakom pogledu. Snažan poticaj u nastojanju osamostaljivanja hrvatske geološke službe bile su, dakle, ingerencije Geoloških zavoda u Beču i Budimpešti nad hrvatskim tlom s jedne, te želja za osnivanjem hrvatske državne institucije, koja će se u skladu s gospodarstvenim zahtjevima sustavno baviti istraživanjem prirodnih mineralnih dobara Hrvatske, publicirati i čuvati dokumentaciju o toj važnoj djelatnosti, te odgajati vlastite geološke kadrove, s druge strane.

Naredbom hrvatsko-slavonsko-dalmatinske zemaljske vlade od 3. srpnja 1909. godine ustrojeno je "**Geologijsko povjerenstvo za Kraljevine Hrvatsku i Slavoniju**" čiji je temeljni zadatak:

"Proučavati montangeološke, dotično agrogeološke prilike Hrvatske i Slavonije, a rezultate publicirati u obliku odnosnih karata s odgovarajućim tekstom.

1. Montangeologijskoj je sekciji zadatak snimati: a) geologijske pregledne karte Kraljevine Hrvatske i Slavonije u mjerilu 1:75.000, koja je karta ujedno izljev sveučilišnog geološkog rada, te onoga s ovim spojenoga geolog.-paleont. odjela narodnog muzeja u Zagrebu; b) snimanje detaljne geologijske karte, iste Kraljevine u mjerilu 1:25.000, koja će se snimati samo čestimično prema lokalnim potrebama zemlje i da se njima objasne tekuća znanstvena pitanja..."

Činom ustroja državne ustanove za pitanja geologije ostvaren je veliki cilj tadašnjih hrvatskih geologa, a zasigurno uz ostale i jedan od bitnih segmenata dokaza hrvatske državnosti.

Valja istaknuti da je u vrijeme osnivanja Geologijskog povjerenstva, preteče današnjeg Instituta za geološka istraživanja, geološka znanost u Hrvatskoj već imala zavidnu međunarodnu reputaciju u radovima Đure Pilara, Dragutina Gorjanovića-Krambergera, Mije Kišpatića, Ferde Kocha i drugih. Posebno treba naglasiti činjenicu da je Program izrade geoloških karata utemeljen kao državni Projekt, pri čemu je značajno istaći da je tijekom osam desetljeća mukotrpnog ostvarivanja hrvatske državnosti, ostao to i danas.

Najstarijim sačuvanim dokumentima o geološkom kartiranju hrvatskih državnih područja mogu se smatrati rukopisne (rudarske ili petrografske) karte s područja Slavonije iz davne 1816. i 1818. godine. Od tada pa do 50-tih godina ovog stoljeća razvoj geološke kartografije i geološko-kartografske publicistike na tlu Hrvatske prikazan je u izuzetnoj publikaciji "**Stoljeće Geoloških karata Hrvatske**" autora Katarine Krizmanić i Jakova Radovčića. Međutim, tijekom navedenoga razdoblja političke prilike unutar i oko hrvatskoga državnoga teritorija bile su takve da nijedan projekt izrade geoloških karata nije mogao biti suvislo ni dovršen niti publiciran kao cjelovita geološka karta Hrvatske.

Organizirana izrada Osnovne geološke karte Hrvatske mjerila 1:100.000 temeljena na jedin-

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

stvenoj metodologiji, kakvoći i razini obrade za cjelokupni teritorij Republike Hrvatske započela je tek 1958 godine. U to vrijeme ona je bila jedini međurepublički projekt koji je i potpuno završen. Za Republiku Hrvatsku i hrvatsku geologiju povjesno gledano, to je temeljno i kapitalno djelo geološke kartografije i geologije uopće. Geološka istraživanja za Osnovnu geološku kartu Hrvatske 1:100.000 zahtjevala su interdisciplinarne, dobro osposobljene geološke timove, uvođenje suvremenih znanstvenih metoda istraživanja, te suvremenu opremu. Ovaj veliki znanstveno-istraživački projekt imao je presudan utjecaj na konačno oblikovanje ustrojstva Instituta za geološka istraživanja, sljednika Geologijskog povjerenstva, te jaču i svrsishodniju povezanost sa geološkim fakultetima na zagrebačkom Sveučilištu, a Republika Hrvatska dobila je temeljnu geološku kartu neophodnu za sva planiranja u geologiji, rudarstvu, građevinarstvu, šumarstvu, poljodjelstvu i drugim gospodarskim granama.

Tijekom 27 godina kontinuiranih geoloških istraživanja cjelokupnog teritorija Republike Hrvatske (56.000 km^2) izrađena su i tiskana 73 lista Osnovne geološke karte Hrvatske 1:100.000 s pripadajućim tumačima. Od tog broja je sedam listova s cjelokupnim dokumentacijskim materijalom ostalo u bivšem Saveznom geološkom zavodu u Beogradu, pa će uz ranije uzurpiranu geološku arhivu biti potraživani u sukcesijskom postupku.

Uzme li se u obzir da je izrada geoloških karata trajan proces i osnovni oblik kontinuiranih geoloških istraživanja, koji metodološki predstavlja gotovo jedinstveni način sveobuhvatnog sistematskog i organiziranog prikupljanja relevantnih činjenica, njihove obrade i interpretacije, sagledava se njihovo značenje sa stajališta znanstvenih, obrazovnih i gospodarskih potreba. Stručno-gospodarstveno, znanstveno i kulturno značenje tog kompleksnog znanstvenoistraživačkog rada za teritorij jedne države i njezinoga naroda je nemjerljivo. Ono proizlazi iz činjenice stalnoga korištenja objavljenih listova Osnovne geološke karte Hrvatske 1:100.000 od strane gospodarskih subjekata, obrazovnih i ostalih javnih institucija, kao i trajnog procesa stručnog i znanstvenog osposobljavanja vlastitih kadrova, te njihove znanstvene produkcije (preko 20 doktorata, 40 magisterija i više stotina izvornih znanstvenih radova valoriziranih u međunarodnoj suradnji i razmjeni). Važno je istaknuti da istraživanjem vlastitog državnog tla kroz izradu geološke karte geologija poprima obilježje nacionalne znanosti, jer za rješavanje specifične problematike tog područja nema mogućnosti uvoza licenci ili kadrova.

Kroz izradu Osnovne geološke karte znatno su uznapredovale pojedine geološke discipline, razvoj znanstvene misli i standard stručnosti velikog broja naših geologa. Oni su garancija kakvoće i racionalnosti istraživanja, u nadogradivanju postojećih rezultata i izradi suvremenih geoloških karata i kartografske publicistike. Kroz rješavanje kompleksne geološke građe i povezivanje našeg sa susjednim teritorijima (jer geologija ne poznaje političke granice), objektivizira se nužnost prirodnog kontinuiteta izrade geoloških karata raznih oblika i namjena, na temeljima kronostratigrafske Osnovne geološke karte. Tim više što su dobivene nove spoznaje o cjelokupnom Hrvatskom tlu, koje se, iako površinski relativno malo, odlikuje složenom geološkom građom, a samim time i specifičnom problematikom u širem sklopu srednje i južne Europe ili, regionalno-geološki gledano, unutar Mediterana.

Na području Republike Hrvatske mogu se izdvojiti slijedeće regionalno-geološke cjeline:

- krški tereni s odlikama karbonatne platforme (u Dinaridima i jadranski pojas uključujući i otoke),
- sjeveroistočni rubni dijelovi karbonatne platforme prijelaznih odlika i heterogenog sastava (u Kordunu, Banovini, te dijelovima Pokuplja i Posavlja),
- područje Panonskog bazena s "rubnim" i "otočnim" planinskim masivima.

Svaka od ovih cjelina ima svoje specifičnosti, a unutar svake od njih postoji niz regija višeg ili nižeg reda (geotektonskih cjelina) s jasno izraženim geološkim posebnostima.

Pristup problematici istraživanja pojedinih geoloških cjelina (regija koje se mogu ali i ne moraju poklapati s geografskom podjelom) ovisi o kriterijima izdvajanja, usmjerenosti istraživanja, pa i o objektivnosti i praktičnoj mogućnosti načina i stupnja obrade.

Za razliku od ostalih prirodnih znanosti posebnost geologije ogleda se, osim u širokom dijapazonu interdisciplinarnosti, i u različitim geološkim osobitostima objekta istraživanja. Primjereno ciljevima, sadržaju, problematici, ali i teritorijalnoj pripadnosti, univerzalnosti metodologije istraživanja pretpostavlja se metodologija istraživanja za konkretno područje, kao geološki homogene cjeline s određenom vlastitom geološkom problematikom.

Geološka građa Republike Hrvatske, hidrogeološke i inženjersko-geološke značajke, strukturno-geomorfološki odnosi, koncentracija mineralnih sirovina, geokemijske osobitosti kao i geotermalni potencijali, posljedica su prirodnih fenomena i u uzajamnoj su vezi sa magmatskim i metamorfnim procesima, tektogenezom, sedimentacijom i razaranjem stjenskih masa, te fizičko-kemijskim procesima u njima. Kao skup uzajamno vezanih čimbenika predstavljaju interes i objekt temeljnih i regionalnih istraživanja na širokom planu. Oni nameću potrebu usmjerenih istraživanja s ciljem

rješavanja sedimentoloških, biostratigrafskih, strukturno-tektonskih, hidrogeoloških, inženjerskogeoloških, geokemijskih, strukturno-geomorfoloških i drugih problema, s krajnjim ciljem utvrđivanja pojava i njihovih zakonitosti u pogledu postojećih naftno-geoloških i ostalih energetskih i geotermičkih potencijala, vodnih resursa i njihove zaštite i dr.

Prema dosadašnjim geološkim spoznajama sirovinska i energetska osnova Republike Hrvatske najvećim dijelom leži u nemetalima, nafti i plinu, pitkim i termomineralnim vodama, te geotermalnim potencijalima pojedinih područja.

Sa ciljem proširenja vlastite sirovinske i energetske osnove, utemeljeni su slijedeći projekti iz Programa geoloških karata Republike Hrvatske:

1. Osnovna geološka karta RH 1:50.000 (formacijska geološka karta);
2. Osnovna hidrogeološka karta RH 1:100.000;
3. Osnovna inženjersko-geološka karta RH 1:100.000;
4. Karta mineralnih sirovina i prognozna karta RH 1:100.000/1:200.000;
5. Geokemijska karta RH 1:100.000;
6. Geotermalna karta RH 1:100.000;
7. Strukturno-geomorfološka karta RH 1:100.000.

Za cjelovito definiranje sirovinskog i energetskog potencijala Republike Hrvatske, te općeg razvoja same geološke znanosti, što u cjelini predstavlja vrlo kompleksan program, potrebno je koristiti različite metodologije, poštujući sve principe znanstvenoistraživačkog rada kao i najsuvremenija svjetska dostignuća u geologiji. To se prvenstveno odnosi na industrijsko pridobivanje kompetentnih mineralnih sirovina, prostorno planiranje i zaštitu čovjekovog okoliša kao sve akutnijeg problema industrijskog razvoja, te izgradnje urbanih sredina i objekata različite namjene. Spomenuta kompleksnost pretpostavlja primjenu diferentnih metodologija pojedinih disciplina i subdisciplina, te timska interdisciplinarna istraživanja. Potreban je i razvijen informatički sustav, dobra opremljenost laboratorijskim i ostalim instrumentarijem, adekvatna terenska oprema, te uključivanje geotehničkih metoda s plitkim i dubokim istražnim bušenjem i geofizičkim sondiranjem. Dobiveni rezultati interpretirani na primjenljiv i razumljiv način prikazuju se na geološkim kartama različitog sadržaja i namjene, te pratećim tekstualnim sadržajima.

Specifičnost problematike geoloških istraživanja u Programu geoloških karata izražena je i u posebnostima kadrovske osposobljenosti. Osim osposobljenosti geološkog kadra specijalističkim usmjerenjima (uključujući i interdisciplinarna prožimanja), neophodna je "regionalizacija" stručnjaka, ovisno i o prevladavajućim geološkim osobitostima pojedinih regija. Naglašavajući i prihvaćajući ovu činjenicu problem kadrovske osposobljenosti (posebice specijalista) usko je vezan s kontinuiranim, usmjerenim i dobro programiranim geološkim istraživanjima, u svrhu permanentnog obrazovanja i usavršavanja vlastitog znanstveno-stručnog kadrovskog potencijala.

Geološka karta Republike Hrvatske 1:50.000 je temeljna geološka karta, tematska po usmjerenju, litostratigrafska po sadržaju, a izrađuje se u krupnijem mjerilu. Ona predstavlja drugu fazu Osnovne geološke karte Hrvatske (1:100.000), a ujedno i neprekinuti slijed sustavnih istraživanja s ciljem daljnjeg potpunijeg upoznavanja teritorija naše zemlje i pridobivanja njezinih prirodnih resursa, razvoja geološke znanosti u cjelini i stalnog osposobljavanja geoloških kadrova.

Ova se geološka karta po svojoj koncepciji, sadržaju i namjeni prilagođava prirodnim posebnostima svake regije, što je čini usmjerenom kartom raznolikoga sadržaja. S obzirom da se istraživanja programiraju prema regijama geološki homogenih značajka, granice istraživanja nisu unaprijed određene, a prioriteti se prilagođavaju regionalnim planovima razvoja.

Primjereno geološkoj problematici istraživanja programom za određenu geološku cjelinu, nakon pripremnih radova, snimaju se referentni geološki stupovi u kojima se prema rezultatima terenskih i laboratorijskih istraživanja izdvajaju litostratigrafske jedinice. Glavni i najvažniji dio u postupku izrade geološke karte je kartiranje spomenutih jedinica u mjerilu koje je diktirano problematikom konkretnog zadatka ili objektom istraživanja - M 1:25.000; M 1:10.000 ili M 1:5.000. Svi rezultati geoloških istraživanja za pojedinu regiju bit će tiskani u mjerilu 1:50.000 i kao državna geološka karta dostupni svim zainteresiranim korisnicima.

Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske 1:100.000 temeljni je znanstvenoistraživački projekt za proučavanje podzemnih voda u Hrvatskoj, tim više ako se uzme u obzir da je oko 90% vodoopskrbe državnog teritorija vezano uz podzemne vode. Temeljnu podlogu ovoj karti čini Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1:100.000, kao i rezultati brojnih usmjerenih hidrogeoloških istraživanja. Upute, prema kojima su osamdesetih godina započela istraživanja za navedenu kartu, prilagođene su informatičkom sustavu GIS, čime je omogućena brža i svrsishodnija interpretacija podataka prikupljenih terenskim istraživanjima.

U hidrogeološkom smislu teritorija Republike Hrvatske podijeljena je u dvije homogene cjeline:

- Panonski bazen s odlikama međuzrnskih, uglavnom homogenih sustava i
- krško područje, koje karakteriziraju vrlo hetero-

geni pukotinski sustavi sa specifičnim hidrodinamskim oblicima.

Dosadašnjim istraživanjima finalizirane su dvije hidrogeološke karte 1:100.000 s pripadajućim tumačima, dok je za veći dio listova, kako u panonskom, tako i krškom području, uz kontinuirana terenska istraživanja završena i informatička podloga.

Osnovna inženjersko-geološka karta Republike Hrvatske 1:100.000, čije se znanstvenoistraživačko postignuće očekuje u sustavnom prikazu geotehničkih osobitosti tla i stijena na geološkoj podlozi, izvodi se prema rasporedu teritorija i listova slično hidrogeološkoj karti.

Primjenom modernih geotehničkih klasifikacija u terenskim, laboratorijskim i kabinetskim istraživanjima, postignuta je mogućnost direktnog korištenja dobivenih rezultata prikazanih na kartama u raznim fazama izrade studija za najkompliciranije, kako površinske, tako i podzemne objekte.

Korištenjem iskustava IAEG, te najnovijih dostignuća u tom području, inženjerskogeološka karta zadovoljava osim stručno-znanstvenih i temeljne potrebe svih gospodarskih subjekata kojima je ona podloga u planiranju i izvođenju radova.

Karta mineralnih sirovina i prognozna karta Republike Hrvatske 1:100.000/1:200.000 izrađuje se za cijeli teritorij države Hrvatske i u konačnom obliku predstavljati će prikaz potencijala i bilance mineralnih i energetskih sirovina područja Republike u skladu s razvojem i dostignućima geoloških i srodnih prirodnih znanosti, kao i općim znanstveno-tehničkim, ekonomskim pa i kulturnim razvojem društva. Zbog toga ima višestruku namjenu i treba, izmedu ostalog, poslužiti za globalne procjene mineralnog resursnog potencijala, izradu dugoročnih planova razvoja, prostornog planiranja i racionalnog gospodarenja mineralnim sirovinama. Izrada ove karte, koja se također temelji na geološkoj podlozi Osnovne geološke karte 1:100.000, izvodi se na topografskim kartama mjerila 1:100.000, dok će karta mineralnih sirovina u konačnom obliku pripremljena za tisak biti u mjerilu 1:200.000 s tumačem i bazom podataka kao informacijski sustav mineralnih sirovina Republike Hrvatske, koji je podsustav informatičkog sustava GIS.

Karta mineralnih sirovina je višeslojna i sastoji se od nekoliko po sadržaju različitih karata: 1) karte energetskih sirovina, 2) metalogenetske karte, 3) petrogenetske karte i 4) karte mineralogenetske regionalizacije. Sastavni i obvezni dio temeljnih predložaka karte mineralnih sirovina su prognozne karte na kojima se prikazuje ocjena perspektivnosti površina s orudnjenjem i mineralizacijom.

Strukturno-geomorfološka karta Republike Hrvatske 1:100.000. Cilj izrade strukturno-geomorfološke karte je usmjeren na pridobivanje novih geoloških podataka koji nisu mogli biti utvrđeni geološkim kartiranjem ili nekom drugom primjenjenom geološkom metodom. Svrha izrade ove karte proizlazi iz nužnosti dokumentirane spoznaje strukturnih i tektonskih (neotektonskih) odnosa kao izravne dopune geološkoj karti.

Metodološki pristup izradi strukturno-geomorfološke karte temelji se na proučavanju reljefa i to vanjskih oblika, njegove geneze i razvitka.

Strukturno-geomorfološka istraživanja provode se primjenom kvalitativne i kvantitativne geomorfološke razrade. To se postiže analizom avio- i satelitskih snimaka, topografskih karata različitih mjerila, analizom svih dosadašnjih radova, geomorfološkim kartiranjem, te izradom geomorfoloških i morfometrijskih karata.

Znanstveni doprinos strukturno-geomorfološke karte jest u utvrđivanju položaja, tipa i karaktera struktura, otkrivanju karaktera i intenziteta najnovijih tektonskih pokreta, te veličine najmlađih tektonskih pomaka.

Rezultati strukturno-geomorfoloških istraživanja primjenljivi su u raznim geološkim, hidrogeološkim i inženjersko-geološkim radovima, prostornom planiranju, te zaštiti okoliša. Prije svega to se odnosi na projektiranje prometnica, tunela, brana, hidroelektrana i ostalih većih objekata kod kojih su potrebna kompleksna istraživanja, a isto tako i na traženje lokacija za eksploataciju različitih mineralnih sirovina, kod većih hidrogeoloških zahvata, odlagališta za kemijski i radioaktivni otpad i sl.

Geokemijska karta Republike Hrvatske 1:100.000. Cilj geokemijskih istraživanja je izrada seta geokemijskih karata na kojima će biti prikazan statistički raspored pojedinih mikroelemenata i makroelemenata u prostoru prema svjetskim standardima, što će osigurati i njihovo uklapanje u geokemijske atlase Europe i svijeta, a čija izrada je u tijeku.

Metodologija izrade geokemijskih karata temelji se na raznovrsnim kemijskim analizama mikroelemenata i makroelemenata u glinovito-muljevitom potočnom nanosu (stream-sedimentu) u predjelima s dobro razvijenom hidrografskom mrežom i na analizi tla u ravničarskim krajevima, kao i na terenima s pretežito karbonatnom podlogom. Analitički numerički podaci se nakon pohranjivanja u određene baze podataka dalje obraduju statistički, nakon čega se pristupa izradi pojedinih karata distribucije u prostoru za svaki element.

Geokemijska istraživanja i izrada navedenih karata, osim znanstvene vrijednosti, značajan su doprinos spoznaji o sveukupnom geološkom potencijalu naše zemlje, a što je i od velike važnosti za donošenje odluka pri planiranju i gospodarenju prirodnim resursima. Osim toga, geokemijske karte će uz primjenu geološke karte 1:50.000, činiti važan

temelj za mnoga druga detaljna istraživanja, kao npr. za očuvanje okoliša, prospekciju mineralnih sirovina, hidrogeološka istraživanja i dr. Na temelju prirodne raspodjele mikroelemenata u tlu moći će se lakše locirati i izolirati antropogeni onečišćivači okoliša, što će u nastupajućim godinama biti od velike važnosti za očuvanje ljudskoga zdravlja.

Cjelokupni projekt izrade prethodno navedenih geoloških karata kompleksne je, ali i diferencirane problematike i zahtjeva veće ili manje sudjelovanje gotovo svih geoloških disciplina, kao i više različitih interdisciplinarnih znanosti. To je kapitalni znanstveni objekt u kojem se fundamentalna istraživanja razrađuju i nadograđuju do primjenjenih i usmjerenih, prema određenom cilju i sadržaju. U cjelini geološke karte šireg teritorija kojega izgrađuju različiti kompleksi stijena nastalih u različitim uvjetima i sredinama, različitoga prostornog odnosa, sadržaja, osobitosti i tektonske evolucije, stručna su, kulturna i znanstvena gospodarska potreba i odraz su stupnja znanstvenog razvoja i mogućnosti sredine u određenom razdoblju njezinoga razvoja.

Geološka istraživanja kroz izrade temeljnih geoloških karata u okvirima ovog programa definirana su svrhom cjelovite ocjene sirovinskog i energetskog potencijala Republike Hrvatske, industrijskog pridobivanja kompetentnih sirovina, prostornog planiranja, zaštite čovjekove okoline, i izgradnje objekata. Identifikacija primjenjivosti rezultata istraživanja ogleda se u širokom dijapazonu praktičnih interesa i potreba od države u cjelini do pojedinačnih subjekata.

The Development of the Geological Survey, its Role and the Importance of its Activities in Croatia

Đuro **BENČEK**

"As the Kingdom of Croatia-Slavonia is independent as regards the field of public education, it is free to publish whatever it wishes as concerns conditions in Croatia. In particular, the geological map is the fruit of the labour of the Royal Croatian University, its professors of geology, and the respective institutes of the University. In accordance with this, I have corrected and published this map. I believe that the Royal Hungarian Geological Institute might be allowed to perform a geological survey of Croatia, but I would strongly recommend that it takes place in agreement with us, because it is not a good thing to work under coercion, especially under the prevailing circumstances."

This is the text of the letter that was sent on 25 October 1908 by the notable Croatian, European and international geologist, Dragutin Gorjanović-Kramberger, a follower of Gjuro Pilar, the first professor of geology and mineralogy at the University of Zagreb and curator of the Museum of Mineralogy and Geology in Zagreb, in response to the written reproach from the State Geological Institute of Hungary because of the publication of elaborate geological maps of a part of Croatian territory.

In those times, all organised states in Europe had their geological institutes with certain administrative duties and authority. Thus, in view of the above, it can be rightly said that the aspirations of the champion of Croatian geology, Dragutin Gorjanović-Kramberger for an autonomous, Croatian geological investigation and map belongs with other precursors (cultural, educational and economic) of Croatian independence, and even statehood itself. All the more so if it is taken into account that there were already other existing geological institutes within the boundaries of the Austro-Hungarian monarchy, such as those in Vienna and Budapest, which displayed unconcealed aspirations towards Croatian lands. Powerful factors affecting the struggle for the independence of the Croatian geological service were the authority of the Geological Institutes in Vienna and Budapest over Croatian soil on the one hand, and on the other, the desire for the formation of a Croatian state institution with the task of systematically performing research on the natural mineral resources of Croatia in accordance with economic requirements, publishing and keeping documentation concerning this important activity, and educating its own geological experts.

By order of the Croatian-Slavonian-Dalmatian Government, on 3 July 1909, the Geological Committee for the Kingdom of Croatia and Slavonia was established. Its main task was:

"To study the geology and agro-geological circumstances of Croatia and Slavonia, and to publish the results in the form of maps with accompanying texts.

1. The section concerned with the geology had the task of producing: a) geologically detailed maps of the Kingdom of Croatia and Slavonia to a scale of 1:75,000, which were the responsibility of the University and the related geological-paleontological department of the museum in Zagreb; b) geologically detailed maps of the same Kingdom to a scale of 1:25,000 which were to be made periodically according to the local needs of the country, and using these maps to shed light on contemporary scientific questions."

With the act of establishing a state institution for geological matters, a great goal of Croatian geologists of the time had been accomplished. In addition, it was also an assertion of Croatian statehood.

It should be emphasised that at the time of the foundation of the Geological Committee, the forerunner of the present Institute of Geology, geology in Croatia had already attained a marked international reputation through the work of Gjuro Pilar, Dragutin Gorjanović-Kramberger, Mijo Kišpatić, Ferdo Koch and others.

It should also be emphasised that the production of geological maps was conceived as a state sponsored project, and has remained so throughout the eight decades of the struggle for the attainment of Croatian statehood, right up to the present day.

The oldest remaining documents concerning the geological mapping of the Croatian state can be found among the handwritten mining or petrographical maps of the area of Slavonia dating back to 1816 and 1818. The development of geological cartography and geological cartography publishing in Croatia from this period up to the 1950s is described in the outstanding publication "A Century of Geological Maps of Croatia" by Katarina Krizmanić and Jakov Radovcić.

It should be remarked that in spite of the rich geological/cartographic literature published during the aforementioned period, and as a result of the political circumstances in southern Europe and Croatia, not a single geological project concerned with the production of geological maps was able to be finished, and neither was a single geological map of Croatia published.

The organised production of the Basic Geological Map of Croatia to a scale of 1:100,000, based on methodological principles, and to a high standard of

scholarship, for the entire territory of the Republic of Croatia began as recently as 1958. It was the only (inter-republic at that time) project to be successfully completed. It was, historically speaking, for the Republic of Croatia and Croatian geology in general, a fundamental work of geological cartography and geology in general. Geological investigations for the Basic Geological Map of Croatia (1:100,000) required interdisciplinary, well prepared geological teams, the introduction of modern scientific methods of research and modern equipment. This great scientific research project had a decisive effect on the final formation of the set-up of the Institute of Geology, the successor to the Geological Committee, as well as leading to a more powerful and effective collaboration with the geological faculties at Zagreb University. The Republic of Croatia gained a fundamental geological map that was needed for all manner of planning in geology, mining, civil engineering, forestry, agriculture and other activities.

Throughout the 27 years of continual geological investigations of the entire territory of the Republic of Croatia (56,000 km sq.), 73 basic geological maps of Croatia to a scale of 1:100,000 have been produced and published. Seven of them, along with all the documentation, remain in the previous federal geological institute in Belgrade, and will be requested, along with all the geological archives usurped, during the succession process.

If it is taken into account that the production of geological maps is a continuous process and a basic form of ongoing geological research which methodologically represents an almost unique, all-encompassing, systematic and organised acquisition of relevant facts, and their processing and interpretation, an idea can be had of their importance from the point of view of scientific, educational and economic needs. The meaning of this complex scientific research, which represents the expert economic, scientific and cultural requirements for the territory of a country and its people can be gleaned from the permanent use of the published geological maps of Croatia (1:100,000) by economic entities, educational and other public institutions, and the permanent process of scientific education concerned with human resources and scientific production (over 20 Doctoral degrees, 40 Masters' degrees and several hundred original scientific works, valued in international co-operation and trade). It should also be noted that by investigating its own national territory by means of producing a geological map, geology itself takes on the attributes of a national science, because there is no possibility of solving the specific problems of such a territory by importing experts.

Let it be added that by producing a basic geological map, various geological disciplines themselves significantly evolve, and there is also the development of scientific thought, the attainment of a high standard of expertise by a great number of our geologists to guarantee the quality and rationality of the research, the need to improve upon existing results within the framework of the general trend of the production of modern geological maps and cartographic publishing, and through this, solving problems concerned with the complex geological constitution and interconnectedness of our own and neighbouring territories (because geology does not recognise political boundaries), and also the necessity of the natural continuity of the production of geological maps of various kinds and purposes that derives from the basic chronostratigraphic geological map is objectified. All the more so, since new insights concerning the entire territory of Croatia are to be gained. Although relatively small, it is characterised by a complex geological constitution, and in view of this fact exceptional specific geological questions are raised concerning its place within the territory of middle and southern Europe - especially the Mediterranean.

The following areas of the territory of the Republic of Croatia can be generally outlined as regional-geological entities:

- areas (terrains) with attributes of carbonate platforms (karstic Dinarides, the Adriatic belt and the Adriatic islands)
- north-eastern bordering parts of the carbonate platform with transitional characteristics and heterogeneous composition (the area of Kordun, Banovina and parts of Pokuplje and Posavlje)
- the area of the Panonian belt with "bordering" and "island" mountain massifs.

Each of these wholes, generally speaking, is geologically specific. Within each, there is a number of regions to a higher or lesser degree (geotectonic wholes), that entirely, or in part, possess certain geological characteristics.

In view of the above, the approach to the problem of researching certain geological entities (regions - that can, but need not, match geological divisions) should depend on the criteria of selection, the direction of research, and also the objectivity and practicality of the manner and degree of the work.

In contrast to other natural sciences, the specific characteristics of geology are reflected not only in the wide range of interdisciplinary activities needed, and the wide range of goals, content, and problems, but also in territorial allegiance. Because of this the investigative methodology for a concrete area as a geologically homogenous whole with a certain specific geological constitution supercedes any a priori universal methodological approach.

Geological relations in the regions of the Republic of Croatia, the concentration of mineral resources, hydrogeological and engineering characteristics, geomorphological relations, geochemical aspects, as well as geothermal potentialities are a consequence of natural phenomena and are mutually related to magmatic and metamorphic processes, tectogenesis, sedimentation

and the destruction of rock masses and the physico-chemical processes in them, and as a set of mutually related factors represent the focus and object of basic and regional research in a general sense.

By making the above discussion concrete, preconditions have been created and a need has been established for implementing directed interdisciplinary research aimed at solving sedimentological, biostratigraphic, structurally-tectonic, hydrogeological, geological-engineering, geochemical, geomorphological and other problems, with the express purpose of defining phenomena and the laws governing their occurrence in view of existing energy and geothermal potentials, such as water and oil resources, and the protection of such potentials.

According to the geological understanding gained so far, the raw material and energy base of the Republic of Croatia mostly consists of non-metals, oil, gas, thermomineral waters, and the geothermal potential of some areas.

The need to broaden the raw material and energy base, taking into account the rational use of available resources and the need to economise, necessitates more comprehensive geological investigations. The following projects within the geological map programme of Croatia were founded:

1. Basic geologic map of the Republic of Croatia to a scale of 1:50,000 (geological formation map)
2. Basic hydrogeological map of RC (1:100,000)
3. Basic geological engineering map of RC (1:100,000)
4. Map of mineral resources and prognostic map of RC (1:100,000 and 1:200,000)
5. Geochemical map of RC (1:100,000)
6. Geothermal map of RC (1:100,000)
7. Geomorphological map of RC (1:100,000)

It is necessary to give a comprehensive definition of resources in view of the raw material and energy potential of the Republic of Croatia, the industrial acquisition of useful mineral resources, spatial planning and protection of the human environment as a result of the acute problems of industrial development and the construction of urban entities, and the overall development of the science of geology. This in itself constitutes a very complex programme, requiring the use of various methodologies respecting all the principles of scientific research, as well as the most modern achievements in international geology. The aforementioned complexity presupposes the application of different methodologies belonging to particular disciplines and sub-disciplines, interdisciplinary research teams, the development of information systems, well equipped laboratories, modern instruments, adequate terrain equipment, and the inclusion of geotechnical methods involving shallow and deep test core sampling and geophysical sounding. The overall results are analysed and interpreted in an applicable and comprehensive way, and presented in the form of geological maps of varying content and purpose, and accompanying textual comments.

The specific problems of geologic investigation within the Geological Map Programme are also evident with regard to the human resources that are needed. Besides well qualified geological experts in the domain of particular geological fields and disciplines, and also multidisciplinarianism, a "regionalisation" of experts and their numerical presence within individual sub-disciplines also depends on the prevailing geological particulars of individual regions. By emphasising and accepting this fact, the problem of human resources (especially specialists) is closely connected to continual, directed and well programmed geological investigations with the purpose of permanently educating and improving domestic scientific-expert human potential, all the more so because of the fact that the geological constitution of certain terrains is naturally specific in character.

The Geological Map of the Republic of Croatia (1: 50,000) is a basic geological map, thematic in its outlook, lithostratigraphic in content, founded on formational analyses, and done to a large scale. It represents the second phase of the Basic Geological Map of Croatia, and at the same time, a continuation of systematic, and more detailed, but also more pertinent geological research aimed at furthering our understanding of the territory belonging to our country, taking advantage of its natural resources, developing geological science itself, and educating geological experts.

This geological map in its conception, content and purpose conforms to the specific nature of each region, and is thus a directed map of differentiated content. In view of the fact that research is programmed according to regions of geologically homogenous characteristics, i.e. natural wholes, the limits of investigation are not set in advance, and the priorities of research are adjusted to regional plans of development in places where the geological foundation is the basis.

Geological mapping is undertaken in accordance with the problems of geological research of a particular geological whole, following preliminary works, field and laboratory investigations that result in outlined lithostratigraphic units based on referent geological columns.

The geological mapping of formations is performed to a scale that is relevant to the problems of the concrete task or the object of investigation - S 1: 25,000; S 1:10,000 or S 1:5,000. The final results of geological research on a certain region will be published to the scale of 1:50,000, and as a state geological map will be available to all interested users.

The Basic Hydrogeological Map of the Republic of Croatia (1:100,000) is a fundamental project of scientific research of underground waters in Croatia, all the more so if it is taken into account that around 90% of the water supply of the state territory is related to

underground waters. The basis of this map is provided by the finished Basic Geological Map of the Republic of Croatia (1:100,000), as well as the results of numerous hydrogeological investigations. The guidelines, according to which research for the map was started in the 1980s, have been modified so as to suit the computerised, GIS system, enabling a more rapid and effective interpretation of data gained through field work.

In the hydrogeological sense, the territory of the Republic of Croatia is divided into two relatively homogenous entities:

- the Panonian basin characterised by porous, relatively homogenous systems and
- the karstic area, characterised by heterogeneous, divided systems with specific hydrodynamic forms.

Research has so far resulted in the finalisation of two hydrogeological maps (1:100,000) with accompanying texts. Most of the map segments in the Panonian as well as the karstic area, besides being subjected to continuous field investigation, have also been digitised.

The Basic Geological Engineering Map of the Republic of Croatia (1:100.000), for which the scientific research attainment is expected in the context of a systematic review of the geotechnical characteristics of the ground and rocks. It is being formulated according to the disposition of territories and segments as with the hydrogeological map.

By implementing modern geotechnical classifications in field, laboratory and cabinet research, it is possible to directly utilise the obtained results that are displayed on the maps in various phases in the preparation of studies for the most complicated surface and underground objects.

By using the experience of the IAEG, as well as the most recent attainments in the field, the geological engineering map can satisfy both the scientific and basic needs of all economic subjects that need it as a basis for planning and implementing their work.

Map of Mineral Resources and Prognostic Map of the Republic of Croatia (1:100,000/1:200,000). The map of mineral resources and the prognostic map are being produced for the entire territory of the state of Croatia and, in its final form, will represent an overview of the potential and sum total of mineral and energy resources of the areas of the Republic in keeping with the development and attainments of geological and related natural sciences, as well as the overall scientific, technical, economic and cultural development of society. Thus, it is of a manifold intention and should, among other things, serve as a basis for global evaluations of mineral resource potential, long-term development plans, spatial planning and the rational economising of mineral resources. The production of this map is based on the geological foundation of the Basic Geological Map (1:100,000), and is performed on topographical maps to a scale of 1:100,000, while the map of mineral resources, in its final form, will be prepared for printing to a scale of 1:200,000 with a glossary and database as a digitised system of mineral resources of the Republic of Croatia, itself a sub-system of the computerised GIS system.

The map of mineral resources is multi-levelled and consists of several maps that differ in content from one another: 1) a map of energy resources, 2) a metalogenetic map, 3) a petrogenetic map, and 4) a map of mineralogenetic regionalisation. A constituent and mandatory part of the basic tenet of the map of mineral resources are prognostic maps that reveal an evaluation of the opportunities presented by areas of ore and mineral deposits.

Geomorphological Map of the Republic of Croatia (1:100,000). The purpose of the production of the geomorphological map is directed at the acquisition of new geological data that can not be obtained by geological mapping or other applied geological methods. The main purpose of the production of the map stems from the necessity of documented realisation of structural and tectonic (neotectonic) relations as a direct complement to the geological map.

The methodological approach to the production of the geomorphological map is based on relief investigation, more specifically its external forms, genesis and development.

Geomorphological research is conducted by applying qualitative and quantitative geomorphological elaboration. This is attained through analysis of airplane and satellite photographs, topographical maps to different scales, an analysis of all previous work, geomorphological mapping, and the production of geomorphological and morphometrical maps.

The scientific benefit of the geomorphological map lies in the determination of the location, type and character of structures, revealing the character and intensity of the most recent tectonic movements, and the size of tectonic drifts.

The results of geomorphological research are applicable in different geological, hydrogeological and geological engineering work, as well as spatial planning and preservation of the environment. This applies, above all, to the planning of traffic routes, tunnels, dams, hydroelectric plants and other large constructions where complex research is needed, and also to the search for locations fit for exploitation in the way of various mineral resources and significant hydrogeological interventions.

Geochemical Map of the Republic of Croatia (1:100,000). The purpose of geochemical research is the production of a set of geochemical maps that display the statistical distribution of certain microelements and macroelements according to international standards, enabling their inclusion in geochemical atlases of Europe and the world. This work is in progress.

The methodology of the production of geochemical maps is based on various chemical analyses of

microelements and macroelements in clay-mud stream sediment in areas with a well developed hydrographic network, and the analysis of soil in plain areas as well as in areas with a prevailing carbonate substrate. The analytical numerical data are stored in certain databases and then further elaborated statistically, following which particular maps of distribution for each element are produced.

Geochemical research and the production of the above mentioned maps, besides having a scientific value, represent a significant contribution to the understanding of the overall geological potential of our country, which is important when making decisions in planning the exploitation of natural resources. Besides this, geochemical maps, along with the application of the geological map (1:50,000) which is also being produced, will provide an important basis for much other detailed research, such as the preservation of the environment, prospecting for mineral resources, hydrogeological exploration, etc. Knowledge of the natural distribution of microelements in the soil should make it easier to locate antropogenous soil contamination that should prove to be of great importance in the following years in the field of human health.

The entire production project of the previously mentioned geological maps of complex but differentiated character requires the participation, more or less of all geological disciplines as well as several different interdisciplinary sciences. It poses a major scientific undertaking wherein fundamental research is elaborated upon and ramified into applied and directed efforts with a definite goal and content. Globally speaking, geological maps of a wider territory made up of different rock complexes that originated in different circumstances and environments, with specific characteristics and tectonic evolution are an expert, cultural and scientific economic necessity, and a reflection of the level of scientific advancement and capability of a society in a certain period of its development.

Taking into account the fact that geological investigation, by way of the production of basic geological maps within the framework of this programme, are defined with the purpose of gaining an encompassing evaluation of the material and energy potential of the Republic of Croatia, the possibility of the industrial acquisition of competent raw materials, spatial planning, the preservation of man's environment, and construction, the identification of the applicability of the results of the investigation is reflected in the wide range of practical interests and needs to be served, of the state in general, and individual subjects in particular.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	17 - 24	ZAGREB 1995

Geologija u primjeni

Božidar **BIONDIĆ**

Geologija kao znanstvena disciplina ima izuzetne mogućnosti primjene, jer saznanja o građi zemlje i dinamičkim ciklusima koji se na njoj zbivaju temelj su proučavanja energetskih izvora, dinamike vode na zemlji, erozijskih procesa, seizmičkih aktivnosti, mineralnih sirovina i nadasve kompleksnih projekata zaštite okoliša. Možda je bolje reći da geologija sa svojim brojnim disciplinama ima široku primjenu u svim porama života, koji se odnose na prostor u kojem živimo. Bez geologije nema istraživanja nafte, hidroenergetskih objekata, izvora pitke vode, izgradnje svih vrsta građevinskih objekata (brane, mostovi, ceste, tuneli, željezničke pruge, zgrade, deponije otpada i dr.), mineralnih sirovina i dr. Međutim posebno je uloga geologije istaknuta u zaštiti prirodnih resursa. Ne može se govoriti o zaštiti voda, posebno podzemnih voda, o zaštiti od erozije, sanaciji velikih odrona i klizišta bez istraženih geoloških odnosa. Možda je malo čudno što ne koristimo naziv primjenjena geologija, dosta udomaćen u našoj praksi, međutim trebamo biti svjesni da svaka od geoloških disciplina (naftna geologija, hidrogeologija, inženjerska geologija, mineralne sirovine, geokemija, mineralogija, sedimentologija i dr.) sadrže i temeljna i primjenjena istraživanja, pa je nemoguće pojedinu disciplinu svrstati u temeljna, odnosno primjenjena istraživanja. Stoga je naziv ovog referata "Geologija u primjeni" najbliži stvarnim zbivanjima u struci.

Hidrogeologija i inženjerska geologiju pripadaju najmlađim geološkim disciplinama, međutim danas je to u Hrvatskoj, a i u svijetu najčešći oblik primjene geoloških rezultata. Počeci razvoja tih geoloških disciplina u Hrvatskoj seže u razdoblje prije II svjetskog rata, kada je prof. Poljak radio geološka istraživanja za potrebe projekata hidroenergetskog sustava u području Like. Po prvi puta hrvatski geolozi daju rezultate koji se koriste za projektiranje velikih građevinskih zahvata. Radi se o kombinaciji i hidrogeoloških i inženjerskogeoloških podataka. Poslije II Svjetskog rata ta linija, koju je započeo prof. Poljak, razvija se zbog sve većih potreba za takovim tipom istraživanja. Posebno se u svojim geološkim radovima osvrtom na hidrogeološke probleme ističe prof. Herak. Prožimanje je to razmišljanja o utjecaju strukturno-tektonskih formi na dinamiku vode u podzemlju. Vrlo često su podaci o podzemnim tokovima u krškim terenima bili odlučujući dokazi strukturno-tektonskih odnosa. U to vrijeme u Institutu za geološka istraživanja se razvija jedna grupa geologa, usmjerena na rješavanje hidrogeoloških i inženjerskogeoloških problema u Hrvatskoj. Rade se istraživanja za hidroenergetske objekte na rijeci Cetini (Peruča i dr.) i drugim rijekama u našem krškom području.

Interesantno je spomenuti da je prva generacija diplomiranih inženjera hidrogeologije i inženjerske geologije upisana na tada Tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Rudarski odjel 1958. godine. Osnivač katedre za hidrogeologiju i inženjersku geologiju bio je jedan od spomenute grupe geologa iz Instituta za geološka istraživanja, prof. Magdalenić, kojemu su se pridružili i njegovi nešto mladi kolege. U Institutu za geološka istraživanja službeno je organiziran Odjel za hidrogeologiju i inženjersku geologiju 1960. godine, a slično je bilo i u tadašnjem Institutu za naftu (danas INA-Geološki konzalting). Posebno važno za razvoj hidrogeologije i inženjerske geologije bilo je formiranje poduzeća Geotehnika za istražna bušenja, geotehničke i hidrotehničke zahvate i projektiranje, i poduzeća Geofizika, prvenstveno za potrebe istraživanja nafte, ali uvijek dijelom usmjerenog na probleme hidrogeologije i inženjerske geologije. Brojni inženjeri hidrogeologije i inženjerske geologije rade širom Hrvatske u Vodoprivrednim poduzećima, građevinskim fakultetima, kamenolomima i dr., i svi su oni doprinijeli dosadašnjem razvoju tih disciplina.

U tridesetak godina organiziranog djelovanja na području hidrogeologije i inženjerske geologije načinjeno je stvarno i više nego što se moglo očekivati od jedne relativno mlade znanstvene discipline. U prvom redu i hidrogeologija i inženjerska geologija uključeni su punom mjerom u znanstvena zbivanja na području geologije, kako u Hrvatskoj, tako i u europskim i svjetskim razmjerima, što je vrlo značajno za identitet jedne znanstvene discipline. Sudjelovanje u brojnim projektima u Hrvatskoj i inozemstvu najbolji je pokazatelj potpunog uklapanja geologa koji se bave tom znanstvenom geološkom disciplinom u razvoj Hrvatske, ali i pronošenje našeg znanja i izvan granica naše zemlje.

Hidrogeologija i inženjerska geologija imale su praktički zajednički put razvoja do prije desetak godina,

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

kada zbog uvođenja tehnoloških i analitičkih metoda u istraživačke projekte započinje njihov zaseban razvoj, pa su danas ta istraživačka područja toliko specijalizirana da ih je nemoguće pokrivati na jednaki način kao ranije.

Hidrogeologija kao znanstvena disciplina za Hrvatsku ima izuzetan značaj, kada znamo da je vodoopskrba zemlje više od 90% vezana za podzemne vode, i to je velika odgovornost za hidrogeologe i sve ostale stručnjake koji se bave istraživanjima podzemne vode. Zahtijeva to punu ozbiljnost i vrhunski znanstveni pristup s posebnom pažnjom na zbivanja u svjetskoj znanosti.

U geološkoj građi Hrvatske izdvajaju se dva bitno različita područja: Krško područje Dinarida i Panonski bazen. U hidrogeološkom smislu to znači potpuno različite medije za formiranje i dinamiku podzemne vode. U skladu s prirodnim različitostima razvijaju se i znanstveno-istraživački pristupi rješavanja geneze, pridobivanja i nadasve zaštite podzemnih voda. Području hidrogeologije treba priključiti i istraživanja hidrogeotermalnih izvora, iako se tom problematikom, obzirom na duboke vodonosnike, bave i druge geološke znanstvene discipline.

Kada govorimo o razvoju hidrogeologije u Hrvatskoj, onda u prvom redu treba istaći temeljni znanstveni projekt "Osnovnu hidrogeološku kartu Republike Hrvatske", čija je izrada započeta sredinom osamdesetih godina. Bila je zamišljena kao klasični kartografski projekt s određenim dinamičkim elementima iskazanim u formi katastarskih listova. Takav pristup već pomalo napuštaju sve razvijene zamlje svijeta, pa smo to načinili i mi u Hrvatskoj, čija je to temeljna djelatnost. Projekt "Osnovne hidrogeološke karte" prerađen je u dinamički informacijski sustav, tematski uključen kroz Vodoprivredni informacijski sustav u Informacijski sustav za okoliš Republike Hrvatske. Na taj način omogućeno je maksimalno uključenje znanstvenih hidrogeoloških podataka i interpretacija u široku primjenu na razini dražave. Pri tome se koristi danas vrhunska GIS tehnologija ARC-INFO (ESRI, USA). Projekt "Osnovne hidrogeološke karte" radi se na topografskoj podlozi M 1:100.000, po listovima koji prate već izrađenu Osnovnu geološku kartu, koja je temeljna podloga hidrogeoloških interpretacija. Za svaki list radi se Tumač s grafičkim iskazom i potrebnim prilozima prema postojećim Uputama za izradu Osnovne hidrogeološke karte. Koliki je interes korisnika najbolje pokazuju zajedničke aktivnosti s Hrvatskom Vodoprivredom i Hrvatskom Elektroprivredom na detaljnijoj razradi sustava.

Međutim, hidrogeologija je prvenstveno orjentirana na nove istraživačke rezultate. Od hidrogeologa se očekuju novi izvori pitke vode, posebno u uvjetima djelomične okupacije zemlje, zaštita podzemnih voda, korištenje geohidrotermalnog potencijala i cijeli niz rješenja vezanih za vodu u podzemlju.

Područje krša je specifikum hrvatske geologije, jer brojni su nazivi, koji se danas koriste u svjetskoj terminologiji nastali u tom području. Nije rijetko susresti nazivlje dolina, krško polje, ponor i dr. i izvan naše zemlje. U hidrogeološkom pogledu to je područje visoko kvalitetne podzemne vode, posebno u odnosu na druge europske zemlje. Takovo dobro stanje možemo zahvaliti relativno slabijem razvoju tih područja, ali i dosta efikasnim preventivnim zaštitnim mjerama, ugrađenim u prostorne planove razvoja. Za krške vodonosnike vezana je vodoopskrba većine gradova u Jadranskom prostoru i neposrednom zaleđu.

Glavni problemi s kojima se danas bave hidrogeolozi su osiguranje dovoljne količine vode u ljetnim sušnim razdobljima, obrana od zaslanjujućeg upliva mora i zaštita kvalitete vode kroz preventivnu zaštitu krških vodonosnika. Vrlo jednostavno rečeno, ali ostvarenje tih ciljeva zahtijeva izuzetan znanstveno-istraživački pristup, povezan uvijek s visokim stupnjem rizika u fazi realizacije. Usprkos tome, hidrogeolozi i dalje istražuju, ponekad ispunjeni nemirom, a dosadašnji rezultati u Hrvatskoj, a i u drugim zemljama, potvrđuju da se to isplatilo. Izgrađene su brojne kaptaže i bunari za zahvat krške vode, zahvaćene tisuće i tisuće novih litara vode u sekundi i danas s ponosom možemo reći da smo u ovih četrdesetak godina razvoja struke načinili i više nego što su i najveći optimisti tada zamišljali. Međutim, hidrogeološka znanost u svijetu ide brzim koracima prema naprijed i mi zbog skučenih materijalnih odnosa nismo uvijek u stanju pratiti taj razvoj. Posebno se to odnosi na određene tehnološke mogućnosti, koje ulaze u identifikaciju genetskih problema hidrodinamičkog sustava. Povećanje izdašnosti danas se najviše radi precrpljivanjem izvorišta i veliki broj crpnih stanica se rekonstruira u skladu s tim zahtijevom. Ipak, nije to tako jednostavan posao, jer se u uvjetima precrpljivanja stvaraju izmijenjeni hidraulički odnosi u podzemlju, mijenjaju se priljevna područja i dreniraju dijelovi vodonosnika, koji u prirodnim uvjetima ostaju stalno saturirani, pa se prema tome mogu dogoditi i promjene kemizma vode, što može biti vrlo opasno.

Posebnu pažnju hidrogeolozi posvećuju preventivnoj zaštiti krških vodonosnika. To je vrlo osjetljiv posao, jer odluke o zaštitnim zonama donose restriktivni razvoj i velike troškove posebnog režima organizacije života u zaštićenim prostorima, koji ponekad obuhvaćaju i stotine kilometara kvadratnih, koliki znaju biti krški slivovi. Odluke o zaštitnim zonama mogu ponekad biti uzrok ozbiljnih socijalno-ekonomskih problema.

Gdje se danas nalaze hrvatski hidrogeolozi krških vodonosnika? Vrlo se detaljno bave morfostrukturnim analizama, što je za krške terene posebno značajno. Koriste sve moguće poznate metode, od daljinskih istraživanja, temeljnih geoloških, hidrogeoloških i geofizičkih istraživanja, istražnog bušenja i dr. Određeni problemi nastaju u istraživanju funkcioniranja

krških vodonosnika, a posebno se to odnosi na geohidrokemijska istraživanja (prirodni traseri, residence time efekt).

Panonskom bazenu pripadaju predjeli Hrvatske sjevemo od Karlovca. Dominantni su kompleksni aluvijalni vodonosnici u prostranim dolinama rijeka Drave i Save. Vrlo kompleksni sadržaji tih prostora (poljoprivredna proizvodnja, industrijske zone, protočne hidroelektrane, prirodni rezervati i dr.) iskazuju potrebu integriranog upravljanja vodnim resursima, pa prema tome i istraživačkim aktivnostima, koja daju dovoljno relevantnih elemenata za takovo upravljanje. Glavni problem je osiguranje vodoopskrbe i to ne toliko zbog količine, koliko zbog narušene kvalitete. Zabrinjava činjenica da je sve veći broj crpilišta pitke vode izvan upotrebe, naročito u Zagrebu, i da se već godinama ne poduzimaju odgovarajuće mjere, a istraživački projekti ograničenim sredstvima ne donose nove pokazatelje koji mogu kvalitetno povećati razinu potrebnog saznanja za optimalno korištenje tih vodnih resursa. Poznato je da je razina nitrata u Varaždinskom vodonosniku u porastu i već ugrožava normalnu eksploataciju, a istraživanja utjecaja poljoprivredne proizvodnje u uvjetima smanjene brzine otjecanja (akumulacije) gotovo da i nema. Istraživanja dubljih dijelova vodonosnika su za sada samo na razini ideje, a hidrogeokemijska istraživanja, osim generalnog praćenja kvalitete vode vodoopskrbnih objekata, su u samom začetku. Sve aktivnosti se svode uglavnom na praćenje promjena potencijala i kvalitete crpljene vode iz bunara. Očito se pokazuje potreba određenih promjena u pristupima istraživanjima, usmjerenim prema geohidrokemijskim metodama, koja mogu donijeti značajna saznanja o stratifikaciji vodonosnika po dubini, pa eventualno i efikasniji način eksploatacije kvalitetnijih zaliha u dubljim dijelovima vodonosnika.

Glavni hidrogeotermalni potencijali Hrvatske vezani su uz područje Panonskog bazena. Problem je cijena koštanja istraživanja, koja je gotovo identična cijeni istraživanja nafte i to je jedan od razloga da termalna energija iz podzemlja još u Hrvatskoj nije dovoljno iskorištena. Dosadašnjih 200 MWt samo su mali dio ukupnog geotermalnog potencijala Hrvatske.

Inženjerska geologija je temeljna znanstvena disciplina za određivanje geotehničkih karakteristika tla i stijena. Nezamislivo je projektiranje i izgradnja, ili čak i rekonstrukcija autocesta, željezničkih pruga, mostova, tunela, hidroenergetskih i drugih tipova energetskih objekata, industrijskih pogona i urbanih objekata bez detaljnih inženjerskogeoloških i geotehničkih istraživanja. Nisu slučajno zajednički spomenuta inženjerskogeološka i geotehnička istraživanja. Naime, radi se o sve većem preklapanju istraživačkih aktivnosti i zajedničkom usmjeravanju tih istraživanja prema potrebama geotehničkog projektiranja. Kada se radi o čvrstim stijenama onda je to unošenje elemenata mehanike stijena u inženjerskogeološke klasifikacije, a u slučaju nevezanih i poluvezanih sedimenata unošenje geomehaničkih elemenata u inženjerskogeološke interpretacije. Tako veliki pomak u metodološkom pristupu u posljednjih nekoliko godina izazvao je dosta velike kvalitetne razlike u pripremi podloga za projektiranje, međutim unošenje tih elemenata u temeljne državne projekte i edukacijske programe na Sveučilištu za nekoliko godina će sanirati te razlike. Jasno da takovi pristupi traže i dodatnu istraživačku opremu, jer danas više nije dovoljno imati samo dobru geološku podlogu, pa će i to trebati rješavati slijedećih godina.

Međutim, usprkos navedenih problema, novi projekti cestovnih i željezničkih tunela, autocesta, željezničkih pruga i dr. rade se pretežito novim pristupom, a tek nekoliko projekata radenih prije dvadesetak godina, a danas u izgradnji imaju taj nedostatak. To zna izazvati velike probleme, kao na pr. tunel Vrata u Fužinama, gdje neadekvatno projektno rješenje predstavlja ogroman problem u izgradnji autoceste Zagreb-Rijeka. Ima još puno primjera loše interakcije istraživanja i projektnih rješenja, međutim sigurno je da bi novim pristupom istraživanjima te rizike trebalo smanjiti.

Danas Osnovna inženjerskogeološka karta RH doživljava znatne promjene u odnosu na standarde postavljene za teritorij bivše Jugoslavije, u koje smo se mi nekada morali uklapati. U prvom redu u standarde su unešeni potpuno novi kriteriji u skladu s navedenim zahtjevima projektiranja, a osim toga, jednako kao Osnovna hidrogeološka karta RH i ova karta je prevedena u jedan dinamički informatički sustav, čiji se podaci na jednaki način uklapaju u Informatički sustav za okoliš Republike Hrvatske. Koliko će taj sustav napredovati ovisi i o zahtjevima direktnih korisnika, koji još ne pokazuju takav interes kao na pr. Hrvatska vodoprivreda. Potreba za brzim razvojem tog informatičkog sustava nije diskutabilna. Kao primjer možemo spomenuti pojave novih i aktiviranje starih klizišta na teritoriju grada Zagreba prije nekoliko godina nakon velikih kiša, kada bi postojanje jednog informatičkog sustava za klizišta bitno smanjilo stupanj nedostatka informacija i rješenja u tom dosta teškom trenutku. Treba se nadati da će i taj dio struke hrabrije krenuti u sistematiziranje svojih baza podataka.

Na području **mineralnih sirovina** u Hrvatskoj momentalno vlada dosta nesređeno stanje. Staru postavku da živimo u zemlji bogatoj mineralnim sirovinama trebamo zaboraviti. Od mineralnih sirovina, koje stvarno možemo istaći kao važan potencijal su nemetali, posebno ležišta kamena, različite vrste i kvalitete, sirovina za cementnu industriju, ležišta šljunka i dr. Danas se u Republici Hrvatskoj istraživanjem i eksploatacijom mineralnih sirovina bave brojni čimbenici geološke i rudarske struke i srodnih djelatnosti, ali su prisutna i brojna mala poduzeća, koja se bave ovim poslovima u okvirima poduzetništva, često bez potrebnih stručno-tehničkih mogućnosti. Posebno se takav nedovoljno stručno izražen pristup manifestira na okoliš i vrlo često u prirodi ostaju nepopravljivi ožiljci.

U takovim uvjetima državni projekt "Karta mineralnih sirovina i prognozna karta" posebno je interesantan zbog usmjeravanja svih mogućih korisnika mineralnog blaga na iskorištavanje najkvalitetnijih sirovina. U novoj organizaciji razvoja po županijama takova karta predstavlja jednu od temeljnih podloga gospodarskog razvoja, naročito ako se prevede u eloktronski medij s detaljnim bazama podataka.

Prije desetak godina u vrijeme svjetske energetske krize bila su reaktivirana istraživanja ležišta ugljena u Hrvatskoj. Utvrđen je veliki broj ležišta, relativno slabih eksploatacijskih karakteristika i to je danas uglavnom napušteno, a postojeće instalacije Hrvatske elektroprivrede prerađene na drugo gorivo ili koriste uvozni ugljen. Pitanje je da li će u nekoj budućnosti ti ugljeni biti ponovo aktuelni. Međutim, industrija arhitektonsko-građevinskog kamena postaje u razvoju Hrvatske sve važniji čimbenik. Kamen Istre i otoka Brača ima značajan udio u izvozu naše države.

U budućnosti treba očekivati određeno povećanje korištenja mineralnog blaga Hrvatske, posebice orjentaciju na rijetke metale i još neke sirovine koje imaju strateški značaj, ali treba istaći da je temeljno blago Hrvatske njezin prostor, izuzetne raznoličnosti i prirodnih ljepota, pa je prema tome jedna od temeljnih pretpostavki razvoja postizanje tolerantne ravnoteže između potreba razvoja s jedne strane i potrebe zaštite kvalitete prirodnog okoliša. U skladu s tim vrlo značajno mjesto imaju **geokemijska istraživanja.** Pažljivim i cjelovitim planiranjem, uvažavajući princip mogućnosti konačnog prihvata onečišćenja, mogu se ostvariti pretpostavke gospodarskog razvoja uz zadovoljavajuću promjenu kvalitete prostora, a time i kvalitete življenja. Na taj način moguće je i na prostor naše države primijeniti opće prihvaćeno načelo održivog razvoja.

Geokemijske baze podataka sadrže informacije relevantne za ekonomske odluke i odluke u području gospodarenja okolišem, iako tek u sklopu s ostalim podacima o stanju okoliša (voda, zrak, šume, poljoprivreda, industrija i dr.) mogu postati odlučujuće za tu svrhu. Osnovna geokemijska karta Republike Hrvatske usmjerena je upravo na ispitivanje kvalitete pokrovnih naslaga, odnosno današnjeg stupnja opterećenja okoliša i u suradnji na međunarodnoj razini dobivamo objektivnu sliku stanja u odnosu na druge Europske zemlje.

Moguće je još satima nabrajati mogućnosti geologije u direktnoj primjeni, od potreba kemijske industrije do detalja u istraživanjima nafte i plina, ali to je predmet posebnog izvješća. U svakom slučaju treba naglasiti da primjena geoloških disciplina prelazi mogućnosti iskaza u jednom izvješću i da je to samo pokušaj isticanja vrijednosti geologije kao znanstvenog područja u svima porama života.

Geology in Application

Božidar **BIONDIĆ**

Geology as a scientific discipline has exceptional possibilities for application, because understanding the structure of the earth and the dynamic cycles which occur within it are the foundation of research on energy sources, the dynamics of water on earth, erosion processes, seismic activity, raw materials, and above all the complex project of environmental protection. Maybe it is better to say that geology, with its numerous disciplines finds wide application in all aspects of life relating to the space in which we live. Without geology there would be no exploration for oil and minerals, hydroelectric projects, drinking-water sources, construction of dams, bridges, roads, tunnels, railway lines, waste disposal sites, etc. A particular role of geology, however, is in the protection of natural resources. One cannot speak of the protection of water sources, especially underground waters, or protection from erosion without geological research. Maybe it is a little strange that we do not use the term "applied geology", a term widely used in our practice, however, we need to be aware that each of the geological disciplines (petroleum geology, hydrogeology, engineering-geology, geochemistry, mineralogy, sedimentology, etc.) contains fundamental and applied research, hence it is impossible to class one discipline as fundamental or applied research.

Hydrogeology and geological engineering belong to the most recent of the geological disciplines. However in Croatia today, and in the world in general, they represent the most common application of geological results. The beginnings of the development of these geological disciplines in Croatia go back to the period before World War II, when Professor Poljak was doing geological research for hydroelectric projects in the Lika region. For the first time Croatian geologists gave results which were used in large scale construction operations. This was concerned with a combination of hydrogeological and geological engineering facts. Following World War II, the line begun by Professor Poljak has developed as a result of the increased need for such research. Professor Herak is especially distinguished in his geological work with respect to his work on hydrogeological problems. This is a penetration into the thinking regarding the effect of structural and tectonic forms upon the dynamics of underground waters. Very often, facts related to underground flows in karstic terrain were more decisive evidence regarding structural-tectonic relations. At that time, a group of geologists was formed in the Institute of Geology with the aim of resolving hydrogeological and engineering-geological problems in Croatia. Research is being done on hydroelectric projects on the River Cetina (at Peruča and elsewhere) and other rivers in karstic regions in Croatia.

It is interesting to note that the first generation of students of hydrogeology and geological engineering graduated from the Department of Mining at the Faculty of Technology of the University of Zagreb, in 1958. The founder of the hydrogeology and geological engineering department, Professor Magdalenić, was one of the above mentioned research group, and was joined by a number of somewhat younger colleagues. In the Institute of Geology, the Department of Hydrogeology and Engineering-Geology was formally established in 1960, with a corresponding change in the then Petroleum Institute (now INA - Geological Consulting). Two especially important steps in the development of hydrogeology and engineering-geology were the establishment of "Geotehnika", a drilling and geotechnical and hydrotechnical operations company, and the "Geofizika" company, its primary purpose being oil exploration but also dealing with hydrogeological and engineering-geological problems. Numerous hydrogeologists and engineering geologists work throughout Croatia in water companies, construction companies, quarries, etc. and all of them have contributed to the development of these disciplines.

In the thirty years or so of organised hydrogeological and engineering-geological activity, more than could possibly have been expected has been achieved within one relatively small scientific discipline. In the first place, both hydrogeology and engineering-geological are fully included in scientific events in the field of geology in Croatia and around the world, which is very significant for the identity of a scientific discipline. Participation in numerous projects in Croatia and abroad are the best indicators of agreement among geologists engaged in the development of this scientific geological discipline in Croatia, but also in the diffusion of knowledge outside the borders of our country.

Hydrogeology and engineering-geology followed practically the same path of development up until approximately ten years ago, when because of the introduction of technological and analytical methods in research projects, their development began to diverge, to the extent that today these areas of research are so specialised that it is impossible to cover them in the same manner as before.

Hydrogeology, as a scientific discipline, is of exceptional importance to Croatia, considering that more than 90% of the country's water supplies are linked to underground waters, resulting in a huge responsibility for hydrogeologists and other experts

engaged in underground water research. Earnestness and a top-level scientific approach, with particular attention to developments in world science, are demanded.

In the geological structure of Croatia, two very important regions may be singled out: the karst region of Dinarids and the Pannonian Basin. In the hydrogeological sense, this means a completely different medium for the formation and dynamics of underground water. In keeping with natural differences, scientific research approaches to resolving the genesis, acquisition and above all, the protection of underground waters is developed. The field of hydrogeology must be connected to research on hydrogeothermal sources, although, due to the deep aquifers, other geological disciplines are also engaged with this problem.

When speaking of the development of hydrogeology in Croatia, special importance should be attached to the Basic Hydrogeological Map of the Republic of Croatia, the execution of which began in the mid-eighties. It was initially conceived as a classic cartographic project with dynamic elements made up in the form of cadastar survey sheets. Such an approach is gradually being abandoned by all developed countries, and Croatia has done likewise. The Basic Hydrogeological Map has been reworked in a dynamic information system, thematically included through the Water Resources Management Information System in the Environment Information System of the Republic of Croatia. As a result, a maximum inclusion of hydrogeological data, and interpretations with a wide application at the state level have been allowed. For this project, the top-level GIS technology ARC-INFO (ESRI, USA) has been used. The Basic Hydrogeological Map is being compiled on a topographical scale of 1:100,000, on sheets which follow the previously compiled Basic Geological Map, which is the basic foundation of hydrogeological interpretation. Every sheet is accompanied by explanatory notes and graphs, as well as the necessary supplement in accordance with the existing Instructions for the development of the Basic Hydrogeological Map. The amount of interest in the project is best shown by the involvement of the Croatian water supply and electricity industries in the detailed work on the system. Hydrogeology, however, is oriented primarily towards new research results. Hydrogeological research is expected to reveal new sources of drinking water, methods of protecting of underground waters, the realisation of geohydrothermal potential and an entire series of conclusions on underground waters.

The karst region is specific to Croatian geology, because there are many technical terms in international use today which originated from that sphere. It is not rare to encounter terms such as dolina, karst polje and ponor outside Croatia. From the hydrogeological perspective, the region contains high quality underground waters, especially compared with other European countries. This is partly due to the relatively low level of industrial development in these regions, but also to effective preventative and protective measures built into spatial development plans. Karst aquifers are important to the water supply for most towns on the Adriatic and immediate coastal region.

The main problems with which hydrogeologists are dealing today are securing sufficient amounts of water in times of summer droughts, defence against the influence of sea-water and protection of water quality through the protection of karstic aquifers. The achievement of these goals demands an exceptional scientific approach, combined with a high degree of risk in the realisation phase. Nevertheless, hydrogeologists continue to carry out research, and results in Croatia and other countries confirm that this has paid off. Numerous abstraction structures and wells have been built for extracting karst water, extracting thousands and thousands of litres of fresh water per second, and today we can proudly say that in the forty years of development in this sphere we have achieved more than even the biggest optimists ever imagined. Hydrogeological science in the world, however, is making quick strides and we are not always able to follow this development due to a lack of funds. This is especially true of certain technological possibilities, particularly in identifying genetic problems of the hydrodynamic system. Excess productivity today largely relates to excessive pumping of individual sources, hence a large number of pumping stations are being constructed. Still, it is not such an easy task, because underground hydraulic relations are altered as a result of excessive pumping, catchment areas are changing, and aquifer areas which in natural conditions always remain saturated are being drained. In such a situation, the chemical composition of the water could alter, which could be very dangerous.

Hydrogeologists pay special attention to the protection of karst aquifers. This is a very sensitive task, because decisions on protected zones lead to restricted development and high costs of special organisational regimes in the protected spaces, which sometimes include hundreds of square kilometres, which is not uncommon for karst rivers. Decisions concerning protection zones can sometimes be a source of serious social and economic problems.

How do hydrogeologists find karst aquifers today? Great attention is paid to the details of structural analyses which are especially significant to karst terrain. All kinds of known methods, from long-range exploration, detailed geological, hydrogeological and geophysical exploration, exploratory drilling etc. are used. Definite problems occur in the exploration of functioning karst aquifers, and this has a special bearing upon hydrochemical exploration (natural route markers, residence time effect).

Parts of Croatia north of Karlovac belong to the **Pannonian Basin**. Complex alluvial aquifers are dominant in the wide valleys of the Drava and Sava rivers. The complex activities in this area (agricultural produc-

tion, industry, hydro-electric power stations, etc.) show the need for integrated management of water resources. This is also shown by research activities, which give enough relevant elements for such management. The main problem is securing water supplies, and not so much because of the quantities involved, but because of the decline in quality. A worrying fact is that of the growing number of drinking water pumps which are out of use, especially in Zagreb, and that for many years sufficient measures have not been taken, while research projects of limited means do not result in new indicators which could significantly increase the level of necessary knowledge for the optimal use of such water resources. It is known that the nitrate levels in the Varaždin aquifers is increasing and already threatens exploitation, while research on the effect of agricultural activity during slowing down outflows (because of accumulations) is almost non-existent. Research of deeper sections of aquifers are still only at the idea stage, and geohydrochemical research, apart from general observation of the quality of water in supply pipes, is in its infancy. All activities boil down to monitoring the changes in the potential and quality of pumped water from wells. Clearly, a need is shown for certain changes in the approach to research, directed at geohydrochemical methods, which could bring significant knowledge of the depth stratification of aquifers, and perhaps an efficient way of exploiting quality resources in deeper sections of aquifers. The main hydrogeothermal potential in Croatia is linked to the Pannonian Basin region. The main problem is the cost of the research, which is almost identical to the cost of exploring for oil, and this is one of the reasons why underground thermal energy is still not sufficiently used in Croatia. The current output of 200 MW is only a small part of the total geothermal potential of Croatia.

Engineering geology is the basic scientific discipline for determining the geotechnical characteristics of the ground and rocks. Design, construction, and even reconstruction of roads, railways, bridges, tunnels, hydroelectric and other types of energy installations, industrial operations and urban structures, are unthinkable without detailed geotechnical engineering research. It is no coincidence that engineering-geology and geotechnical research are mentioned together. This stems from the growing amount of overlap in research activities and common directions of this research in accordance with the needs of geotechnical projects. Such a large shift in the approach to methodology in the past several years has led to rather large qualitative differences in the preparation of projects. However, entering these elements in state projects and education programmes at university will show differences several years from now. It is clear that such approaches need additional exploration equipment, because today it is no longer enough to have just a good geological background. This will also have to be resolved in the next few years.

Despite the above problems, new road and railway tunnel, road, and railway line projects are being carried out for the most part in accordance with new methods, and only a few projects devised twenty years ago but being carried out today display such shortcomings. This has been known to cause large problems, such as with the Vrata tunnel at Fužine, where inappropriate project solutions represent a huge problem in the construction of the Zagreb to Rijeka road. There are many more examples of poor interaction between exploration and project solutions, though it is certain that with new approaches to exploration this risk should be lessened.

Today the Basic Geological Engineering Map of the Republic of Croatia has undergone considerable changes in relation to the standards established for the territory of the former Yugoslavia. In the first place, completely new criteria have been introduced in accordance with the aforementioned project demands, and furthermore, as with the Basic Hydrogeological Map of the Republic of Croatia, the map is also transformed into a dynamic information system whose data equally correspond to the information system on the environment of Croatia. Just how much this system will advance depends upon the requests of direct users, who still do not show the level of interest as that shown by, for example, Croatian water supply company. The need for the quick development of this information system is not under discussion. As an example, we can mention the appearance of new and reactivation of old landslides in the city of Zagreb following heavy rains a few years ago, when the existence of one information system on landslides would have significantly reduced the shortage of information and solution in that very difficult moment. One can hope that this section will go forward more boldly in systemising their data base.

In the area of **raw materials** in Croatia, a very unstable situation prevails at the moment. The old notion that we live in a country rich in raw materials should be forgotten. Raw materials that can be emphasised as having important potential are non-metals, especially rock quarries of various types and qualities, and raw materials for the cement industry, gravel beds, etc. Today in the Republic of Croatia, with the exploration and extraction of raw materials, numerous geological, mining and similar activities are involved, but numerous small companies are also present and they often lack the necessary technical expertise. Such an inexpert approach is especially manifest in the environment and very often irreparable damage is done to nature.

In such conditions the state "Map of Raw Materials and Forecast Map" project is especially interesting as it directs possible users of mineral wealth to the exploitation of the highest quality raw materials.

Ten years ago, during the world energy crisis, the exploration of coal beds in Croatia was reactivated. A large number of deposits were found but they were relatively weak for exploitation purposes and thus aban-

doned. Existing installations of the Croatian Electricity Board run on other types of fuel or use imported coal. The question remains whether these coal beds will again be used in the near future. The stone-dressing industry, however, is playing a more and more prominent role in the development of Croatia. Stone from Istria and Brač make up a significant proportion of Croatia's exports.

In the future one can expect a certain increase in the use of the mineral wealth of Croatia, especially rare metals and raw materials which have a strategic importance. However, one should emphasise that the basic wealth of Croatia lies in her exceptional natural beauty and variety. As a result of this, we need to develop a tolerant balance between the need to develop on the one hand, and the need to protect the quality of the natural environment on the other. In relation to this, **geochemical investigations** have a very significant place. With careful and complete planning, taking into account the possibility of pollution, economic development can be realised with acceptable changes to the quality of the environment, and with it, the quality of life. In this way it is possible to adapt the generally accepted principle of sustainable development to the environment of our own country.

The geochemical database contains information relevant to economic decisions and decisions in the area of the environment, and within the framework of other data regarding the state of the environment (water, air, forestry, agriculture, industry, etc.), it can become a decisive factor in such decision-making. The Basic Geochemical Map of the Republic of Croatia is aimed towards testing the quality of protective layers, or the present level of burden on the environment. With international cooperation we receive an objective picture of the situation in comparison with other European countries.

It is possible to talk for hours about the possibilities of direct application of geology, from the needs of the chemical industry to detail of oil and gas exploration, but that is a different story. In any case it is necessary to stress that the application of the geological discipline goes beyond the scope of a single report and that this has been merely an attempt to point out the value of geology as a field of science to all areas of life.

	1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	25 - 33	ZAGREB 1995

Koncepcijski doseg geologije Hrvatske
Conceptional Scope of the Geology of Croatia

Milan **HERAK**

1. UVOD

Suvremeno stanje hrvatske geologije uglavnom je obilježeno metodski standardiziranim monodisciplinarnim temama. One su dijelom primijenjene u prikazima osnovnih geoloških problema, kao i u geološkom kartiranju, hidrogeologiji krša, rudarstvu, istraživanju nafte, itd. Metodska su ograničenja uzrokovana nedostatkom modernih instrumenata i nedostatnošću strane literature. To se nadoknađuje suradnjom naših istraživača s europskim i američkim ustanovama i stručnjacima. Neki su naši radovi citirani u međunarodnim publikacijama, iako ne u poželjnoj mjeri. Poteškoće se sastoje u činjenici da su u prošlosti naši radovi uglavnom pisani na hrvatskom jeziku sa samo kratkim sažecima na svjetskim jezicima. U posljednje su vrijeme oni objavljivani čak i u našim časopisima na engleskom, pa su dostupni bez ograničenja stranim znanstvenicima.

Dosta objektivan pregled našeg suvremenog znanja o specijalnim geološkim područjima odražava se u Zborniku Kongresa. Rijetki su pokušaji da se poveže više specijalnih istraživačkih područja u namjeri da se stvori kompleksna slika o integralnom hrvatskom teritoriju kao dijelu šireg regionalnog pa i globalnog geotektonskog modela.

S druge strane, većini stranih preglednih publikacija nedostaju neki veoma važni parametri koji se tiču naše zemlje. Dopunu potrebnih podataka trebalo bi tražiti ne samo od naših istraživača, nego također i od stranih autora sintetičkih djela. Oni ne bi smjeli zanemarivati domaća dostignuća, jer samo se pomoću njih regionalni odnosi mogu adekvatno interpretirati. Isto se može reći o onim našim autorima preglednih radova koji rekonstruiraju opće odnose na temelju neadekvatno odabranih domaćih i stranih publikacija. Često se može zapaziti da se različita mišljenja prihvaćaju ili odbacuju bez rasprave o činjenicama na kojima se ta mišljenja zasnivaju.

U regionalnim okvirima, u hrvatskoj je geologiji najveći broj naslova o karbonatnim platformama i o panonskom prostoru s peripanonskim rubom. Najčešće

1. INTRODUCTION

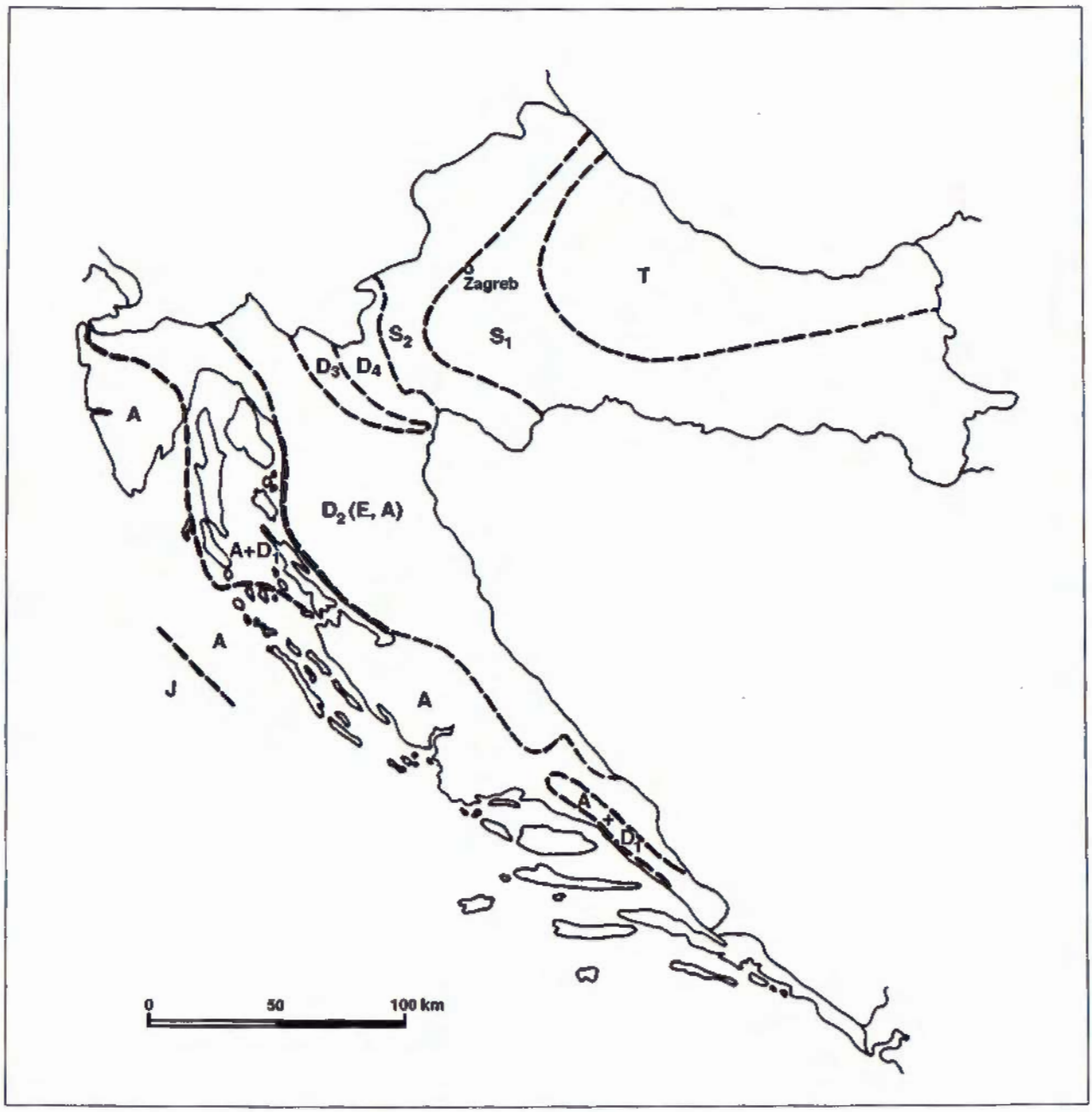
Current state of the Croatian geology is characterized mostly by methodically standardized monodisciplinary topics. They are partially applied in reviewing of general geologic problems as well as in geologic mapping, hydrogeology of karst, mining engineering, oil exploration, etc. Methodical limitations are caused by lack of modern instruments, and insufficiency of foreign literature. This is compensated in cooperation of our researchers with European and American institutions and experts. Some of our papers are cited in international publications, though not in a measure that would be desirable. The difficulties are due to the fact that in the past most of our papers have been written in Croatian language with only short summaries in world languages. In recent times they are published even in our reviews in English and are accessible without limits to foreign scientists.

A rather objective review of our contemporaneous knowledge of special geologic fields is reflected in the Proceedings of the Congress. There are rare attempts of linking of several specific research fields in order to create a complex picture of the integral Croatian territory as a part of the broader regional and even global geotectonic pattern.

On the other hand, the most of international overview publications are lacking of some very important parameters concerning our country. The supply of necessary data should be required not only of our researchers, but also of foreign authors of synthetic works. They should not neglect domestic achievements, because only by using them regional relations could be adequately interpreted. The same may be stated in connection with those our authors of overview papers that reconstruct general relations based on inadequately selected home and foreign publications. It is often to be noticed that different opinions are accepted or neglected without discussion of the facts upon which those opinions are based.

In regional frames, the Croatian geology is concernd with most numerous topics on carbonate platforms and on Pannonian area with peri-Pannonian margin. The

Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Ante Kovačića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska.
Croatian Academy of Sciences and Arts, Ante Kovačića 5, HR 10000 Zagreb, Croatia.



Sl. 1: Morfo-tektonska područja Hrvatske na osnovi tektonske skice (HERAK, 1991) sa specifičnim strukturnim problemima koje treba dodatno provjeriti: J subducirani kredno-tercijarni pelagički i turbiditni elementi (Jonik?); A_1 pokrovni Adrijatik s internom alohtonijom; A_2 Adrijatik lokalno pokriven navlačcima Dinarika (D_1) u kojima su tercijarna tektonska okna; D_2 Dinarik s tektonskim oknima Adrijatika (A) i Epiadrijatika (E) koji se sastoji od pelagičkih elemenata Meduplatformske brazde; D_3 dio Dinarika s internim navlačnim sustavom (paleozojsko-trijaska navlaka na jurskim stijenama); D_4 proksimalni dio Dinarika s krednim i paleogenskim izdancima, vjerojatno tektonskim oknima; rub je pokriven transgresivnim kredno-tercijarnim flišom i navlačcima Supradinarika; S_1 Supradinarik (Unutrašnji Dinaridi) koji se sastoji od mezozojskih magmatsko-sedimentnih stijena na starijoj platformskoj podlozi i kredno-tercijarnog transgresivnog fliša; S_2 Supradinarik (S_1) pokriven alohtonim zelenim škriljavcima i navlačcima trijaskih stijena (uglavnom dolomita) s nešto paleozojskih klastita; T hrvatski dio Tisije.

Fig. 1: Morpho-tectonic areas of Croatia on the basis of the tectonic sketch-map (HERAK, 1991) with specific structural problems to be additionally checked: J Subducted Cretaceous-Tertiary pelagic and turbidite elements (Jonicum ?); A_1 Overlying Adriaticum with internal allochtony; A_2 Adriaticum locally overlain by tectonic klippen of the Dinaricum (D_1) that confines Tertiary tectonic windows; D_2 Dinaricum with tectonic windows of the Adriaticum (A), and Epiadriaticum (E) consisting of pelagic elements of the Interplatform furrow; D_3 A part of the Dinaricum with internal nappe system (Paleozoic-Triassic nappe upon Jurassic carbonate rocks); D_4 Proximal part of the Dinaricum with Cretaceous and Paleogene exposures, probably tectonic windows; the margin is covered by trangressive Cretaceous-Tertiary flysch and Supradinaric klippen; S_1 Supradinaricum (Inner Dinarides) consisting of Mesozoic magmatic-sedimentary rocks overlying the older platform basement, and Cretaceous-Tertiary transgressive flysch; S_2 Supradinaricum (S_1) overlain by allochthonous greenschists, and tectonic klippen of Triassic rocks (predominantly dolomites) and some Paleozoic clastics; T Croatian part of Tisia.

su teme o sedimentnim procesima i stratigrafskom slijedu s diferencijacijom facijesa. One uključuju nedostatne pokušaje da se nadvladaju šire granice koje povezuju pojasove sa specifičnom dinamikom, važne za geotektonska razmatranja.

S druge strane, bavljenje specifičnim problemima, bez barem pretpostavljenog geotektonskog okvira, može izazvati kriva tumačenja u korelaciji susjednih litostratigrafskih jedinica koje su došle u dodir zbog tektonskih premještanja. Budući da tektonski odnosi mogu biti zamaskirani i teški za prepoznavanje, potrebno je podatke preispitati na široj interdisciplinarnoj razini, uključujući i solidnu tektonsku analizu. Za svaki slučaj treba razmotriti moguće ekstreme i pružiti mogućnost da se interdisciplinarna dostignuća približe jednome od njih. Međutim, takvi su postupci veoma rijetki. Nova bi se razmatranja trebala približiti jednoj od suvremenih koncepcija, bilo dosljednom subdukcionističkom modelu koji uvažava pokrovne navlačne odnose (npr., HERAK, 1991), ili modelu navlačnog ljuskanja bez pokrova (npr., LAWRENCE et al., 1995).

U ovom će prikazu opći geotektonski problemi biti tretirani tako da pruže krajnje mogućnosti za usporedbu i za pouzdane zaključke. Odluke između različitih koncepcija zasnivat će se na konzistentnim podacima koji se mogu provjeriti.

2. JADRANSKO PUČINSKO PODRUČJE

U području srednjega Jadrana (sl. 1, J) izvedeno je više dubokih bušotina. Jezgre sadrže pelagičke i turbiditne komponente (LUČIĆ et al., 1993; TARIKOVAČIĆ et al., 1995). Turbiditi upućuju na bliz nagnut proksimalni rub Jadranske platforme, dok pelagički sastojci svjedoče o utjecajima otvorena mora, sa sličnostima u tri smjera: Podsabotin u Sloveniji, pelagički elementi Apenina i Jonski bazen. Veza sa slojevima Podsabotina nije vjerojatna zbog karbonatne platforme koja se proteže između njih. Dilema između Jonskog bazena i Apenina može se razriješiti pomoću kontakta između pelagičkih i (Jadranskih) platformskih naslaga. Činjenica da su pelagičke naslage subducirane pod Jadransku karbonatnu platformu (LAWRENCE et al., 1995) govori u prilog povezanosti s Jonskim bazenom. To znači da je Apulijska platforma u tom području bila odvojena od Jadranske platforme. Ispitivanje dodatnih bušotina u produženju zatvorit će problem u pogledu nastavka prema zapadu.

Naše bi glavno nastojanje trebalo usmjeriti na određivanje mjesta i tipa potopljene zapadne granice Istre da bi se ustanovilo podrijetlo istarske antiklinale i uzrok njezine dezintegracije, s posebnim naglaskom na odnos prema pelagičkim naslagama.

topics of sedimentary processes and stratigraphic sequences, with facies differentiation, are predominating. They include only insufficient attempts to overwhelm major boundaries connecting the belts of specific dynamics that are important for geotectonic considerations.

Otherwise, the treatment of specific problems without at least assumed geotectonic frame may cause misinterpretations in correlations between adjacent lithostratigraphic units that are brought together due to tectonic displacements. Since tectonic relations may be veiled and difficult to be recognized, it is necessary to reinterpret the data on a larger interdisciplinary scale including a thorough tectonic analysis. Two possible extremes for each case are to be involved, giving the possibility that the interdisciplinary achievements tend to one of them. However, such procedures are very rare. New considerations may try to approach to one of recent conceptions, either to the consequent subductional model that respects nappe indications (e.g., HERAK, 1991) or to the overthrusting model without nappe elements (e.g., LAWRENCE et al., 1995).

In this report general geotectonic problems will be alternatively elaborated in order to give uttermost possibilities for comparison and for reliable conclusions. The decisions between different conceptions will be based only on consistent data that can be controlled.

2. THE ADRIATIC OFF-SHORE AREA

In the middle Adriatic area (Fig. 1, J) several boreholes have been performed. The cores contain pelagic and turbidite components (LUČIĆ et al., 1993; TARIKOVAČIĆ et al., 1995). The turbidites indicate the close inclined proximal Adriatic platform margin, while the pelagic components testify open sea influences that display similarities in three directions: Podsabotin in Slovenia, pelagic elements of the Apennines, and the Jonian basin. The connection with Podsabotin beds is improbable due to carbonate platform belt that extends between them. The dilemma between the Jonian basin and the Apennines can be resolved by means of the contact between the pelagic and (Adriatic) platform beds. The fact that the pelagic beds are subducted under the Adriatic carbonate platform (LAWRENCE et al., 1995) speaks in favour of the connection with the Jonian basin. That means that the Apulian platform in that area was separated from the Adriatic platform. The exploration of additional bore-holes in prolongation will close the problem as to the continuation toward the west.

Our main endevours should concern the establishing of the site and type of Istrian drowned western boundary in order to find out the provenance of the Istrian anticline, and the cause of its disintegration with special emphasis on its relation to pelagic deposits.

3. PROBLEMI KOJI SE ODNOSE NA KARBONATNE PLATFORME

Karbonatne površine, koje se sastoje uglavnom od vapnenaca i dolomita, pružaju se od jadranskog otočnog područja do pojasa Unutrašnjih Dinarida (Supradinarika) u kojem prevladavaju mezozojske magmatsko-sedimentne stijene, uključujući neke ostatke ultrabazita s navlačcima paleozojskih i trijaskih klastita te pretežno trijaskih karbonatnih stijena (sl. 1). U prošlosti, u skladu s geosinklinalnim tektonskim kriterijima, karbonatni (krški) kompleksi bili su obično podijeljeni u dva glavna pojasa: jadranski je bio smatran para-autohtonom, visokokrški kao navlaka, dok se unutarnje krško područje smatralo samo naljuskanim. Jugozapadna je granica bila smještena uzduž obale, između paleogena i krede. Unutar tako definiranih glavnih jedinica, u stratigrafskim i sedimentološkim analizama, sve su formacije bile tretirane kao komplementarne.

U novije vrijeme, detaljno površinsko istraživanje kombinirano s podacima iz dubokih bušotina, pokazalo je da je jadransko otočno i priobalno područje (Adrijatik, sl. 1, A) tangencijalno poremećeno i mjestimično pokriveno vrlo razlomljenim stjenskim kompleksima koji su shvaćeni kao navlačci iz prostora Visokog krša (sl.1, D_1 and D_2). Prema tome bi čelo alohtonije trebalo smjestiti negdje u području otoka Cresa. Inače bi bilo veoma teško objasniti činjenicu da su naslage podine manje poremećene od krovine, što se često može vidjeti u otočnom i obalnom području Kvarnerskog zaljeva kao i u prostoru Ćićarije. Osim toga neki fragmenti tektonskih (Jelar) breča nemaju ekvivalenata unutar primarnih otočnih izdanaka. Od posebnog su značenja također srednjokredne dolomitne breče (okolica Rijeke, Ćićarija) koje karakteriziraju visokokrško područje. Napokon, paleogenska su tektonska okna znakom pokrovnih navlaka, jer su u ljuskavim terenima ona nadomještena samo poluoknima.

U području Visokog krša nađeni su izdanci subduciranih jadranskih elemenata i pelagičkih vapnenaca i dolomita s ostacima čerta (SAKAČ, 1992; HERAK, 1993). Neki se od njih pojavljuju u tektonskim oknima, dok su drugi u navlačnim ljuskama, što bi se moglo objasniti dodatnim tangencijalnim poremećajima nakon glavne subdukcije. Svi navedeni podaci upućuju na veoma kompleksan navlačni sustav u kojemu se mogu razlikovati dvije karbonatne platforme s dinamičkom pelagičkom brazdom između njih. Na toj su osnovi definirane tri superponirane tektonske jedinice: Adrijatik (formacije Jadranske karbonatne platforme pokrivene turonsko-senonskim karbonatnim naslagama i paleogenskim flišom s pelagičkim komponentama), Epiadrijatik (formacije pelagičke međuplatformske brazde) i Dinarik (formacije Dinarske karbonatne platforme uključujući neke epiplatformske pelagičke vapnence i fliš). Razlozi za takvu klasifikaciju već su obra-

3. PROBLEMS INVOLVING CARBONATE PLATFORMS

Carbonate surfaces, composed mainly of limestones and dolomites, extend from the Adriatic insular area to the Inner Dinaric (Supradinaric) belt where Mesozoic magmatic-sedimentary rocks prevail including some ultrabasite remains overlain by tectonic klippen of Paleozoic and Triassic clastics, and mainly of Triassic carbonate rocks (Fig. 1). In the past time, according to the geosynclinal tectonic criteria, the carbonate (karst) complexes were usually divided into two main belts: the Adriatic one was considered as a para-Autochthon, the High karst region as an overthrust, while the inner karst area was considered to be imbricated, only. The southwest boundary was placed along the coast line between the Paleogene and the Cretaceous. Within the so defined megaunits all the formations in stratigraphic and sedimentologic analyses were treated as complementary.

In recent times detailed surface research combined with data of deep bore-holes have shown that the Adriatic insular and coastal region (Adriaticum, Fig. 1, A) is tangentially disturbed and at places covered by very disordered rock complexes that are considered as klippen from the High karst region (Fig. 1, D_1 and D_2). Consequently, the front of allochthony may be placed somewhere in the area of the isle of Cres. Otherwise it would be very difficult to explain the fact that the underlying beds are less disturbed than the overlying ones, what is often to be seen in the insular and coastal area of Quarner bay as well as in the area of Ćićarija. Besides some fragments of tectonic (Jelar) breccias have no equivalents within the primary outcrops on the isles. Of special interest are also Middle Cretaceous dolomite breccias (environs of Rijeka, Ćićarija) that characterize the High karst region. Finally, Paleogene tectonic windows are the sign of nappe relations, because in imbricated terrains they are substituted by half-windows, only.

Within the High karst area exposures of subducted Adriatic elements and of pelagic limestones and dolomites with chert remains have been found (SAKAČ, 1992; HERAK, 1993). Some of them appear within tectonic windows, while the others are within overthrust structures what can be explained by additional tangential disturbances after the main subduction. All the mentioned data indicate a very complex nappe system in which two separate carbonate platforms with a dynamical pelagic furrow between them can be distinguished. On that basis three superimposed tectonic units have been defined: Adriaticum (formations of the Adriatic carbonate platform overlain by Turonian-Senonian carbonate deposits and Paleogene flysch with pelagic components), Epiadriaticum (formations of the Pelagic interplatform furrow), and Dinaricum (formations of the Dinaric carbonate platform including some epi-platform pelagic limestones and flysch). The rea-

složeni (HERAK, 1986; 1991). Zbog navlačnih odnosa relevantna su tektonska okna i navlačci vidljivi samo mjestimično, pa karbonatni prostori čine prividan dojam jedne konzistentne platforme. Međutim, precizniji uvid u tektonske pojedinosti upućuje na spomenutu heterogenost. Obje koncepcije imaju svoje pristaše. Također i nova koncepcija kontinentalne subdukcije čeka općenito prihvaćanje zajedno s odgovarajućom terminologijom, što traži odbacivanje (geosinklinalnog) koncepta para-autohtona. Spomenuta posebna svojstva (navlačci i okna, ponekad naknadno poremećena) većinom se zanemaruju i tako se izbjegava potreba za davanje preciznih argumenata za alternativna rješenja. Zato je potreban dodatni komentar.

Glavni se problem tiče Međuplatformske brazde (Epiadrijatik, sl.1, E), i to njezina postojanja kroz geološka razdoblja. Ona bi mogla trajati od gornjeg trijasa do kraja krede kao u područjima Budve u Crnoj Gori i Tolmina u Sloveniji (indikacije: HERAK, 1993), ili biti povremeno sužavana a ipak zadržati važnu ulogu u reakcijama za vrijeme glavnog tektonskog poremećaja (kontinentalne subdukcije). Međutim, postoje istraživači koji, na temelju turonsko-senonskih odnosa u okolišu, još podržavaju postojanje samo jedne kontinentalne platforme na kojoj je u to vrijeme općenito vladala pelagička sedimentacija izazvana eustatičkom i tektonskom dinamikom (JELASKA et al., 1994). Za konačno rješenje bile bi poželjno nekoliko dubokih bušotina. No, po mojem mišljenju, turonsko-senonska pelagička ingresija ne može dovesti u pitanje postojanje uže pelagičke brazde prije tog vremena. Pojedinačni jurski pelagički izdanci (uključujući i tektonska okna) ne mogu se objasniti odvojeno nego uzajamno (ispod Dinarske navlake) sa zajedničkom vezom s pelagičkim prostorom. Pa ni događaji nakon senona ne odražavaju tektonsku jednoobraznost. U to je vrijeme samo središnji (pokriveni) dio trajao kao izvorište pelagičkih komponenata fliških naslaga na obim stranama.

Navedeni su odnosi utjecali na strukturno oblikovanje Dinarske karbonatne platforme (Dinarik, sl., D) kao veoma zamršenog pojasa koji može biti podijeljen u tri više ili manje specifična područja: visokokrško navlačno područje (D_2) koje uključuje adrijatska i epiadrijatska tektonska okna; područje navlačnih odnosa (brojna okna i navlačci) u samom Dinariku (D_3); proksimalno područje koje se sastoji od kompleksa unutrašnjih alohtonih jedinica s rubnim supradinaričkim navlačnim elementima (D_4).

Visokokrška navlačna zona (D_2) obilježena je nepravilnim rasporedom pelagičkih izdanaka. Ako uzmemo kao činjenicu da su pelagičke formacije (Epiadrijatik, E) bile subducirane različitim intenzitetom idući od jugoistoka prema sjeverozapadu, pod navlakom Dinarika nastali su poprečni rasjedi s različitim stupnjem transverzalnih dislokacija. Zato

sons for such a classification have already been explained (HERAK, 1986; 1991). Due to nappe relations the relevant tectonic windows and klippen are visible only at places, and so carbonate areas in general make an apparent impression to be a consistent platform. However, a more precise insight into tectonic details indicates the mentioned heterogeneity. Both concepts have their adherents. Also, the new concept of continental subduction still wait to be generally acknowledged together with the adequate terminology what requires abandoning of the (geosynclinal) concept of para-Autochthon. The mentioned peculiar features (klippen and windows, sometimes additionally disturbed), are mostly neglected and thus the need of giving precise arguments for an alternate solution is evaded. Therefore, an additional commentary is needed.

The main problem concerns the Interplatform furrow (Epiadriaticum, Fig. 1, E) as to its persistence through geologic ages. It may exist from the Upper Triassic till the end of the Cretaceous as in the areas of Budva in Montenegro and Tolmin in Slovenia (indications: HERAK, 1993), or periodically narrowed and nevertheless retaining important role in reactions during the main tectonic disturbance (continental subduction). However, there are researchers who, on the basis of Turonian-Senonian pelagic environmental relations, still support the existence of of only one consistent platform upon which, in that time, the pelagic sedimentation generally governed due to eustatic and tectonic dynamics (JELASKA et al., 1994). For final decision some deep bore-holes were desirable. Anyhow, in my opinion Turonian-Senonian pelagic ingression cannot call in question the existence of a narrower pelagic furrow before that time. Single Jurassic pelagic outcrops (including tectonic windows) cannot be explained separately but mutually (below the Dinaric nappe) having a common connection with the pelagic space. Even the post-Senonian events do not reflect tectonical uniformity. In that time only the central (covered) part persisted as source area of pelagic components of flysch deposits upon its both sides.

The mentioned relations influenced the structural pattern of the Dinaric carbonate platform (Dinaricum, Fig. 1, D) as very entangled belt that can be divided into three more or less specific areas: the High karst nappe area (D_2) that includes Adriatic and Epiadriatic tectonic windows; the area of nappe relations (numerous windows and klippen) within the Dinaricum itself (D_3); the proximal area consisting of complex internal allochthonous units overlain at the margin by Supradinaric nappe elements (D_4).

The High karst nappe zone (D_2) is characterized by irregular extension of pelagic outcrops. If we take for granted that pelagic formations (Epiadriaticum, E) were subducted with different intensity going from southeast to northwest, cross faults occurred under the nappe of the Dinaricum with different degree of transverse displacements. Consequently, the neotectonic uplifting

neotektonsko izdizanje uzduž područja D_2 ne uključuje Epiadrijatik u sjeverozapadnom dijelu terena. Prema tome je, u tom dijelu, Adrijatik izravno podvučen pod Dinarik, a paleozojski izdanci čine uzdignuti dio osnove Dinarika.

Pelagičke naslage Epiadrijatika mogle bi biti subducirane pod područje D_3 pojačavajući nestabilnost i mogućnost stvaranja navlačnih odnosa čak i unutar samoga Dinarika. Zato je tu ustanovljena kompleksna dezintegrirana navlaka koja se sastoji od paleozojskih i trijaskih naslaga u inverznom starosnom slijedu (s prazninom u srednjem trijasu) te jurskim tektonskim oknima i poluoknima (Vrbovsko, Delnice, Skrad, dolina rijeke Kupe itd.). To je važna razlika u usporedbi s Dinarikom područja D_2.

Područje D_4 sastoji se od mezozojskih karbonatnih stijena raspoređenih u više navlačnih jedinica. Sjeverni je rub pokriven transgresivnim kredno-paleogenskim flišom, a tektonski unutarnjodinarskim (supradinaričkim) elementima.

Tektonska okna unutar D_4 smještena su blizu sjeveroistočnog ruba u Gaćeškom selu i Sedlarima u Kordunu (VELIĆ et al., 1980). Izdanci se sastoje od srednjoeocenskog fliša s interkalacijama kalkarenita sa senonskim i donjoeocenskim fragmentima jadranskih karakteristika. Za konačno su objašnjenje potrebna dodatna istraživanja, uključujući i neke još nerazrađene kredne pelagičke izdanke (npr. u blizini rijeke Kupe, zapadno od Karlovca). Više pelagičkih pojava može se očekivati i drugdje u tom području. Jesu li one ispod navlaka povezane s epiadrijatičkom brazdom i dalje s jadranskim fliškim naslagama? Takav je zaključak vrlo vjerojatan, ali on zahtijeva veoma pažljivo preispitivanje svake pelagičke jedinice unutar tipičnih platformskih karbonatnih zona.

4. SUPRADINARIK I TISIA

Ime Supradinarik zasniva se na činjenici da on strukturno leži na sjevernom dijelu Dinarika. Međutim, to ne znači da on čini homogenu tektonsku jedinicu. Čak i u novije vrijeme, objavljene su mnoge kontroverzne ideje o toj temi (npr., vidi radove u: RAKÚS et al., eds., 1989., i u: CLOETINGH et al., eds., 1993). Malo citiranih djela iz naše zemlje traži našu osobitu zabrinutost.

Na prvom mjestu valja spomenuti ultrabazite i popratne magmatsko-sedimentne stijene (ofiolite) koji leže na starijim platformskim naslagama a na njima je transgresivan kredno-paleogenski fliš. Mnogi autori završavaju pružanje ultrabazita jugoistočno od Karlovca, gdje se ne može razlikovati Vardarski pojas od tzv. Centralnog ofiolitnog pojasa. Međutim, ofioliti dolaze također u Samoborskom gorju, Medvednici,

along the area D_2 does not include the Epiadriaticum in the northwest part of our terrain. Therefore, in that part the Adriaticum is directly subducted under the Dinaricum, while Paleozoic outcrops are uplifted parts of the base of the Dinaricum.

Pelagic deposits of the Epiadriaticum may be subducted under the area D_3, increasing instability of the last mentioned and the possibility to create nappe relations even within the Dinaricum itself. Therefore, there has been registered a complex disintegrated nappe consisting of Paleozoic and Triassic beds in inversely age superposition (with a gap in the Middle Triassic) with Jurassic tectonic windows and half-windows (Vrbovsko, Delnice, Skrad, the Kupa river valley, etc.). This makes an important difference in comparison with the Dinaricum of the area D_2.

The area D_4 consists of Mesozoic carbonate rocks distributed in several overthrust units. The northern margin is overlain by transgressive Cretaceous-Paleogene flysch, and tectonically by Inner Dinaric (Supradinaric) elements.

Tectonic windows within D_4 are placed near the northeastern margin in Gaćeško selo and Sedlari in Kordun (VELIĆ et al., 1980). The outcrops consist of Middle Eocene flysch with intercalations of calcarenites with Senonian and Lower Eocene fragments displaying Adriatic characteristics. For final explanation additional investigations are needed, including some more not jet elaborated Upper Cretaceous pelagic outcrops (e.g., near the Kupa river west of Karlovac). More pelagic occurrences are to be found elsewhere in that area. Are they, under the overthrusts, connected with the Epiadriatic furrow and further with Adriatic flysch deposits? Such a conclusion is very probable but it requires very careful reexamination of every pelagic unit within the frame of typical platform carbonate zones.

4. THE SUPRADINARIC BELT AND TISIA

The name Supradinaricum is based on the fact that it structurally overlies the northern part of the Dinaricum (D_4). However, this does not mean that it makes a homogeneous tectonic unit. Even in recent times many controversial ideas on these topics have been published (e.g., see the papers in: RAKÚS et al., eds., 1989. and in: CLOETINGH et al., eds., 1993). Scarce cited data of our country require our special concern.

At the first place, there are to be mentioned ultrabasites and the accompanying magmatic-sedimentary rocks (ophiolites) underlain by older platform deposits and overlain by transgressive Cretaceous-Paleogene flysch. Many authors close the extension of ultrabasites southeast of Karlovac where it is not possible to distinguish the Vardar belt from the so called Central ophiolitic belt. However, the ophiolites are present also in

Ivanščici i Kalniku s produženjem do Bilogore (duboke bušotine Lepavina i Jagnjedovac) (ŠIMUNIĆ & PAMIĆ, 1989). To znači da i taj dio Hrvatske pripada području utjecaja Tetiskog oceana, i da se njegove jurske i kredne naslage generalno pružaju jugoistok-sjeverozapad. To je u skladu s mišljenjima M. Kišpatića i D. Gorjanovića-Krambergera o povezanosti Medvednice sa sjevernom Bosnom itd., objavljenima krajem devetnaestoga i početkom dvadesetog stoljeća. Zato bi Zagreb-Kulcs rasjed mogao biti postkredni (gornjopaleogenski ?).

Jursko-kredni ofioliti i kredno-paleogenski fliš tektonski su pokriveni zelenim škriljavcima i popratnim stijenama. U standardnoj interpretaciji za njih se smatra da su paleozojske starosti i u autohtonom tektonskom položaju. Međutim, novim kartiranjem Instituta za geološka istraživanja u Zagrebu započela se rasprava o njihovoj starosti i položaju. U vezi sa starošću, prema novim radiometrijskim podacima, paleozojski i mezozojski protoliti bili bi metamorfozirani za vrijeme srednje krede (BELAK et al., 1995). Budući da još postoje određene sumnje, problem zaslužuje našu daljnju pozornost. U svakom bi slučaju spomenute alohtone formacije mogle pripadati subdukcijskom području Tethysa.

Sljedeći se pokrovni kompleks sastoji uglavnom od trijaskih (djelomično paleozojskih) stijena; prevladavaju dolomiti. Nakon dugog nepovjerenja, novo je kartiranje potvrdilo ranije shvaćanje ovih kompleksa kao navlačaka na krednim magmatsko-sedimentnim stijenama Supradinarika, na rubnom flišu i donjokrednim i jurskim karbonatnim stijenama Dinarika. Prije su bile tumačene kao prevrnuto dno Tetiskog ruba (HERAK, 1986). Međutim, raspored navlačaka sugerira mnogo intenzivniju alohtoniju i njihovu vezu s Alpama. Nesuglasje u pružanju između njih i oceanskog dijela Supradinarika, kao i Dinarika, upućuje na višestruko premještanje u čitavom prostoru. Za preporuku bi bila korelacija sa Savskom navlakom ("Savske bore") u Sloveniji. U međuvremenu, trebalo bi izbjegavati izraz "Zagrebačka zona" u značenju konzistentne tektonske jedinice, jer njezino je paleogeografsko podrijetlo očigledno heterogeno. U tektonskom okviru trebalo bi razmotriti udio oceanske subdukcije, kasnijih horizontalnih kretanja i mogućeg gravitacijskog premještanja. Jednostavna lokalna rješenja nisu dostatna.

Posebnu pozornost zaslužuje hrvatski dio Tisije (Moslavačka gora, Psunj, Papuk, Krndija). U pojednostavljenoj tektonskoj skici, on izgleda poput klina uguranog s istoka (sjeveroistoka) u elemente Supradinarika (sl. 1, T). To bi moglo (a ne bi moralo) biti povezano s idejom koju su objavili KOVÁCS et al., (1989), a po kojoj su Tisia i sjeverni Apuseni primarno pripadali Južnim (dijelom Istočnim) Karpatima. Ako je taj

Mt. Samobor, Mt. Medvednica, Mt. Ivanščica and Mt. Kalnik with prolongation to Mt. Bilogora (bore-holes in Lepavina and Jagnjedovac) (ŠIMUNIĆ & PAMIĆ, 1989). That means that even that part of Croatia belongs to the area of influences of the Tethyan ocean, and that their Jurassic and Cretaceous deposits generally strike southeast-northwest. This is in accordance with the opinions of M. Kišpatić and D. Gorjanović-Kramberger concerning the connection of Mt. Medvednica with North Bosnia etc., published at the end of the nineteenth and the beginning of the twentieth century. Therefore the Zagreb-Kulcs fault may be of post-Cretaceous (Young Paleogene?) age.

Jurassic-Cretaceous ophiolites and Cretaceous-Paleogene flysch are tectonically overlain by greenschists and accompanying rocks. In standard interpretations they are considered to be of Paleozoic age and autochthonous in tectonic position. However, new mapping performed by the Institute of geology in Zagreb initiated discussions concerning their age and position. As to the age new radiometric data Paleozoic and Mesozoic protoliths should be metamorphosed during the Middle Cretaceous (BELAK et al., 1995). As still some suspicions persist the problem deserves our further attention. In any case, the mentioned allochthonous formations may belong to the subductional area of Tethys.

The next overlying complex consists mainly of Triassic (partially of Paleozoic) rocks; the dolomites predominate. After a long distrust, new mapping has confirmed earlier considerations that these complexes are tectonic klippen overlain upon Cretaceous magmatic-sedimentary rocks of the Supradinaricum, upon the marginal flysch and Lower Cretaceous and Jurassic carbonate rocks of the Dinaricum. They formerly were explained as the overturned bottom of the Tethyan margin (HERAK, 1986). However, distribution of klippen remains suggest a more intensive allochthony and their possible connection with the Alps. The incongruity in strike between them and the oceanic part of the Supradinaricum, as well as of the Dinaricum indicates multiple displacements in the whole area. Additional correlations with the Sava nappe ("Sava folds") in Slovenia may be recommended. In the meantime it should be avoided the term "Zagreb zone" in sense of a consistent tectonic unit because its paleogeographic provenance is evidently heterogenous. In the tectonic frame the participation of the oceanic subduction, later on strike-slip movements and possible gravitation displacements are to be taken into considerations.

A special attention deserves the Croatian part of Tisia (Mts. Moslavačka Gora, Psunj, Papuk, Krndija). In the simplified tectonic map it looks like a wedge pushed from the east (northeast) into the elements of the Supradinaricum (Fig. 1, T). That may be (or may be not) connected with the idea published by KOVÀCS et al. (1989) that Tisia and Northern Apuseni primarily belonged to the Southern (partially Eastern)

mogući događaj bio istovremen s premještanjem Istočnih Alpa prema istoku, panonsku se regiju lako može zamisliti kao mjesto postanka nekih južnije smještenih strukturnih jedinica. Ova neobvezna razmišljanja imaju samo jedan cilj, tj. istaknuti da mnogi dosad neriješeni problemi uzrokuju nevjerojatne razlike u tektonskim modelima zasnovanim ponekad na tvrdnjama koje bi, u skladu s ranijim pouzdanim argumentima, trebalo odbaciti (npr., produženje "Pelagonskog masiva" u smjeru sjeverozapada, primamost "Centralnog ofiolitnog pojasa", postojanje stabilnih "Centralnih Dinarida", itd.). Bilo bi bolje kada bi ubuduće borba samih ideja bila zamijenjena preispitivanjem argumenata zasnovanim na pouzdanim podacima.

5. ZAKLJUČCI

Intencija prethodnih poglavlja bila je isticanje uloge važnih malih tektonskih pojava koje valja uključiti u opće vrednovanje geologije Hrvatske. Paleogeografski položaj područja Hrvatske bio je razlogom dinaridskih i alpinskih geodinamskih utjecaja.

Naš izbor subdukcijskog pokrovnog modela umjesto modela navlačnog ljuskanja (u kojem bi krovina trebala biti aktivna) čini se opravdanim činjenicom, da se pomoću prvoga modela sve pojedinačne tektonske pojave mogu objasniti, dok drugi model ne pruža takvu mogućnost. Zato pojedina specifična strukturna obilježja mogu biti krivo interpretirana, pa su pojedini susjedni karbonatni kompleksi tretirani samo kao različiti facijesi iste tektonske cjeline, itd. Zato bi ubuduće svako nadmetanje različitih ideja trebalo biti zasnovano na preispitivanju većih i manjih fenomena služeći se argumentima za i protiv.

Carpathians. If that possible event was coeval with the displacement of the Eastern Alps to the east, the Pannonian region can easily be imagined as place of origin of some southerly emplaced structural units. These not obligatory considerations have only one purpose, i.e., to point out that many still unresolved problems cause the unbelievable diversity of tectonic models based sometimes on statements that according to earlier certain arguments should be rejected (e.g., prolongation of the "Pelagonian massif" in northwest direction, primality of the "Central ophiolite belt", existence of stabile "Central Dinarides", etc.). It would be better if, in the future the contest of ideas, only, would be replaced by reexamination of arguments based on certain data.

5. CONCLUSIONS

The intention of the foregoing chapters has been to point out the role of important small tectonic features that should be included in the general evaluation of the geology of Croatia. The paleogeographic position of Croatian realm was the reason for Dinaric and Alpine geodynamic influences.

Our choice of the subductional nappe model instead of the overthrust model (in that the hanging wall should be active) seems to be justified by the fact that with help of the first model all the single tectonic occurrences can be explained, while the second model does not offer such a possibility. Hence, some specific structural features may be misinterpreted so that some adjacent tectonic carbonate complexes are treated as different facies, only, of the same tectonic entity, etc. Therefore, in the future, every contest of different ideas should be based upon reexamination of major and minor phenomena by using pro and contra arguments.

6. IZBOR IZ LITERATURE
SELECTED REFERENCES

BELAK, M., PAMIĆ, J. & PECSKAY, Z. (1995): Petrology and geochemistry of orthogreenschists of Mt. Medvednica near Zagreb, N Croatia (man.).

CLOETINGH, S., SASSI, W. & HORVÁTH, F., eds. (1993): The origin of sedimentary basins: Interferences of the quantitative modelling and basin analyses.- Tectonophysics, 226, 518 p., Elsevier, Amsterdam,

HERAK, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides (Nova koncepcija geotektonike Dinarida).- Acta geol. (Prir. istraž. 53), 16/1, 1-42, Zagreb.

HERAK, M., (1991): Dinaridi: mobilistički osvrt na genezu i strukturu (Dinarides: mobilistic view of the genesis and structure).- Acta geol. (Prir. istraž. 63), 21/2, 35-117, Zagreb.

HERAK, M. (1993): Additional considerations of the Epiadriaticum, Outer Dinarides.- Geol. Croat., 46/1, 165-168, Zagreb.

JELASKA, V., GUŠIĆ, I., JURKOVŠEK, B., OGORELEC, B., ĆOSOVIĆ, V., ŠRIBAR, L. & TOMAN, M. (1994): Upper Cretaceous geodynamic evolution of the Adriatic/Dinaric carbonate platform(s).- First intern. meeting on the Perimediterranean carbonate platforms, Abstracts, 81-82, Marseille.

KOVACS, S., CSÁSZÁR, G., GALÁCZ, A., HAAS, J., NAGY, E. & VÖRÖS, A. (1989): The Tisza superunit was originally part of the northern (European) margin of Tethys.- Mem. Soc. geol. Fr., Nouvelle Serie 154/2, 81-100, Paris.

LAWRENCE, S. R., TARI-KOVAČIĆ, V. & GJUKIĆ, B. (1995): Geological evolution model of the Dinarides.- Nafta, 46/2, 103-113, Zagreb.

LUČIĆ, D., BENIĆ, J., STANKOVIĆ, D. & MILETIĆ, D. (1993): Cretaceous/Tertiary boundary of the Koraljka-1 off-shore well (SW of Zadar, Adriatic Sea).- Geol. Croat., 46/1, 41-62, Zagreb.

RAKÚS, M., DERCOURT, & NAIRN, A. E. K., eds. (1989): Evolution of the northern margin of Tethys: The results of IGCP project 198.- Mem. Soc. geol. Fr., Nouvelle Serie 154/2, 214 p., Paris.

SAKAČ, K. (1992): Discoptychites oenensis n. sp. and the accompanying ammonite fauna from Anisian deposits in Brotinja, Lika, central Croatia.- Natura Croat., 1, 27-40, Zagreb.

ŠIMUNIĆ, A. & PAMIĆ, J. (1989): Ultramafitne stijene kod Gornjeg Orešja na sjeveroistočnim obroncima Medvednice (Ultramafic rocks from the neghbourhood of Gornje Orešje on the northeastern flanks of Mt. Medvednica, northern Croatia).- Geol. vjesnik, 42, 93-101, Zagreb.

TARI-KOVAČIĆ, V., KALAC, K., LUČIĆ, D. & BENIĆ, J. (1995): Stratigraphic analysis of Paleogene beds in some off-shore wells (Central Adriatic area of Croatia) (man.).

VELIĆ, I., SOKAČ, B. & GALOVIĆ, J. (1980): Tektonsko i paleogeografsko značenje novih naslaga senonskih vapnenaca i eocenskog fliša u Kordunu, središnja Hrvatska (Tectonic and paleogeographic significance of new discoveries of Senonian limestones and Eocene flysch in Kordun, central Croatia).- Geol. vjesnik, 31, 185-201, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	35 - 42	ZAGREB 1995

Školovanje geologa na Sveučilištu u Zagrebu

Osvrt na prošlost, sadašnjost i budućnost

Vladimir **MAJER**

Školovanje stručnih i znanstvenih kadrova, struka i znanost tri su dijela, uzročno i posljedično vezana, jedne cjeline, pri čemu svaki napredak, ili nedostaci, u pojedinom dijelu ove cjeline utiče na ostale. Nema dvojbe da nema kvalitetnog školovanja, kao niti struke i znanosti, bez dovoljno kvalitetnih stručnjaka i znanstvenika. To, uostalom, vrijedi i za svaku drugu struku i znanost. Ovaj je prikaz pokušaj da se dade osnovni i sažeti osvrt na prošlost, sadašnjost i budućnost obrazovanja geoloških stručnjaka i znanstvenika.

Pri svemu tome valja imati na umu i neke posebnosti koje se odnose na geologiju. Na pr. geološka je djelatnost, više nego ostale struke i znanosti, izrazito "terenska" i time uvijek započinje, a to zahtijeva i posebni način obrazovanja; broj stručnjaka geologa, potrebnih i postojećih, u odnosu na neke druge struke i znanosti (na pr. kemija, biologija, tehničke struke, medicina itd.) je razmjerno malen; oni se za razliku od drugih obrazuju samo u jednom sveučilišnom centru u Zagrebu i djeluju u institucijama koje su pretežno koncentrirane u jednom centru, u Zagrebu; na sveučilišno školovanje dolaze kandidati iz srednjih škola s malim znanjem iz geologije, pošto u srednjim školama nema predmetne nastave iz geologije - izuzetak je kemijska i geološka tehnička škola u Zagrebu, gdje se u dva razreda školuju tzv. geološki tehničari od 1984. godine (nešto više znanja iz geologije dobivaju i tehničari školovani u geotehničkoj školi u Varaždinu), itd. Sve te okolnosti utiču, manje ili više, na način i oblike školovanja geologa, njihov broj, specijalnost i nužnu kooperativnost među srodnim geološkim institucijama, praktičnim prenošenjem i primjenom rezultata rada prema drugim granama privrede, itd.

Da započnemo s kratkim osvrtom na prošlost geološkog studija. Začetnik visokoškolskog obrazovanja geološke struke i znanstvenih istraživanja u Hrvatskoj bio je Gjuro Pilar, koji je sredinom druge polovice prošlog stoljeća postao prvim sveučilišnim profesorom mineralogije i geologije na zagrebačkom sveučilištu, tih dviju temeljnih grana geoznanosti. Pilar se školovao izvan Hrvatske, u Bruxellesu, gdje je doktorirao i bio docent. Pilar je posjedovao, da naglasimo, upravo nevjerojatnu širinu, smisao da povezuje znanost i struku, sposobnost da u svoju djelatnost uvodi brzo važne novine - prisjetimo se da je odmah nakon što je to urađeno u svijetu, nabavio i služio se polarizacionim mikroskopom pri određivanju minerala i stijena, tom neophodnom opremom svakog petrologa. Održavao je veze s inozemnim znanstvenicima i sveučilištima, posjećivao je strane zemlje, sudjelovao na međunarodnim kongresima, radio ne samo u Hrvatskoj već i susjednoj Bosni, a nije mu bila strana ni djelatnost u struci, u "praksi", kao ni u drugim srodnim znanstvenim granama. On je već tada, očito shvatio da su u okviru geoznanosti nužne specijalizacije, pa su već njegovi nasljednici Dragutin Gorjanović-Kramberger i Mijo Kišpatić djelovali zasebno u glavnim granama - geologiji s paleontologijom i mineralogiji s petrologijom. Tim putem slijedili su ih i njihovi daljnji nasljednici Marijan Salopek, Ferdo Koch i Fran Tućan i njihovi učenici. Jedinstvo znanosti, struke i visokoškolskog obrazovanja očitovala se već tada u činjenici da su voditelji tadanjih zavoda za geologiju i paleontologiju te mineralogiju i petrografiju bili povezani personalnim putem i s odgovarajućim muzejima, mineraloško-petrografskim i geološko-paleontološkim, te bili uključeni kao osnivači i aktivni djelatnici zemaljskih "geoloških službi", bavili se aktivno geološkim kartiranjima i izradom geoloških karata, i vršili temeljna petrografska istraživanja.

U našoj geološkoj znanosti, struci i visokoškolskom obrazovanju jasno se izdvajaju dva perioda: onaj do kraja drugog svjetskog rata, i onaj nakon njega, u kojemu je Hrvatska imala status federalne jedinice u bivšoj Jugoslaviji, a naročito se drastično razlikuju po broju školovanih geologa i položenih doktorata, i po širini geološke djelatnosti.

Nastava mineralogije i geologije počela je osnivanjem katedre za mineralogiju i geologiju u tadanjem Mudroslovnom fakultetu 1884 godine i Pilar je počeo s predavanjima iz mineralogije, geologije, petrografije i paleontologije u šk. god. 1875/76 za prirodoslovce, jer tada nije bilo posebnog nastavnog smjera geologije. Za nastavu su korištene prostorije, oprema, zbirke i literatura tadanjeg Narodnog muzeja. Godine 1893 katedra i muzej bili su podijeljeni u Katedru za mineralogiju i petrografiju i Mineraloško-petrografski muzej koji je

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska.

preuzeo Kišpatić, i Katedru za geologiju i paleontologiju i Geološko-paleontološki muzej koje je preuzeo Gorjanović, i tako je to dugo ostalo.U spomenutom prvom periodu do kraja drugog svjetskog rata broj studenata koji su upisali geologiju i mineralogiju kao glavne predmete (A" i "B") u okviru tadanjih prirodoslovnih grupa bio je mali. Diplomirani prirodoslovci sa geologijom kao glavnom strukom mogli su se zaposliti ili na fakultetu ili u Geološkom povjerenstvu odn. Geološkom zavodu te Muzeju, što su bili tek pojedinačni i rijetki slučajevi, ili rjeđe u srednjim školama. No Geološki zavod bio je ukinut 1931. godine, što je unazadilo struku. Najveći broj studenata upisivao je geologiju s paleontologijom i mineralogiju s petrografijom pod "C", tj. kao treći, sporedni predmet, i takvi redovno nisu djelovali u geološkoj struci. Mineralogija i geologija uvedeni su kao nastavni predmeti i na tadanjoj Visokoj tehničkoj školi, kasnije Tehničkom fakultetu (koji se i dalje, nakon drugog svjetskog rata, dijelio u više faza u pojedine fakultete, i na kraju 1964. u posebni Rudarsko-geološko-naftni fakultet), 1919. godine osnivanjem Katedre i Stolice za mineralogiju i geologiju, kojima je prvi predstojnik bio Ferdo Koch. Nastavu iz mineralogije, petrografije i geologije kao pomoćnih predmeta slušali su studenti kemije, građevinarstva, arhitekture i geodezije, a nakon osnutka rudarskog odjela 1939. i studenti rudarstva.

Do 1945. godine, na tadanjem već filozofskom fakultetu mineralogije s petrografijom i geologiju s paleontologijom upisalo je pod "A", "B" i "C" prema dostupnim podacima na različitim nastavnim grupama 235 studenta. Samo 3 od njih koji su upisali kao glavni predmet pod "A" (nastavna grupa 7) mineralogiju s petrografijom odnosno geologiju s paleontologijom završili su studij i diplomirali i bavili se geologijom kao strukom. Oni su stjecali titulu diplomiranog geologa. Prvi tako upisani bio je Miroslav Tajder. 65 studenata upisalo je mineralogiju s petrografijom ili geologiju s paleontologijom kao drugi glavni predmet pod "B", a ostatak od 167 studenata upisivalo je te predmete kao sporedne pod "C", koji su pripadali raznim grupama u kojima su glavni predmeti odn. grupe bili kemija, fizika, biologija ili geografija, odnosno različite kombinacije. Svega 15 diplomiranih studenata koji su upisivali geološke predmete bavili su se, prema dostupnim podacima, geologijom odnosno mineralogijom kao strukom ili znanošću.

Poslije drugog svjetskog rata nastaje drugi period u studiju geologije, u kojemu se stanje radikalno izmijenilo. Bilo je to posljedica naglog razvoja geologije u svijetu kao znanosti i struke, i naglog razvoja privrede, koji su tražili znatno više stručnjaka osnovnog stručnog obrazovanja, ali i specijaliziranih stručnjaka. S time usporedno rastao je i broj potrebnih nastavnika za njihovo obrazovanje. Bitne su promjene nastale u šk. god. 1948/49, kada su i na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu i na tadanjem Tehničkom fakultetu - rudarskom odjelu, formirani posebni odjeli, odn. odsjeci i smjerovi sa posebnim nastavnim planovima i programima i brojnim specijalnim kolegijima, koji su obrazovali čiste stručnjake geologe. Na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu osnovan je posebni odjel za geologiju sa dva glavna smjera geologija s paleontologijom i mineralogija s petrografijom, pri čemu su odgovarajući predmeti bili organizaciono povezani u dva zavoda Geološko-paleontološki i Mineraloško-petrografski. Na Tehničkom fakultetu na rudarskom odjelu uveden je montangeološki smjer (rudarsko-geološki) čiji su diplomirani studenti dobivali titulu diplomiranog inženjera geologije. Raznovrsne potrebe u praksi i primjeni geologije kao struke zahtijevale su specijalizirane stručnjake, što je dovelo do uvođenja većeg broja specijalnih kolgija kojih je na kraju bilo oko pedesetak, te formiranjem više usmjerenja u toku studija. Na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu težište studija bilo je na fundamentalnim predmetima iz geologije, paleontologije, mineralogije i petrologije, dok su na Odjelu za geologiju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta (od 1964.) pored općih fundamentalnih predmeta znatni dio zauzimali predmeti iz geologije ležišta mineralnih sirovina, geologije nafte, plina i kaustobiolita, hidrogeologije, inženjerske geologije, sedimentologije, tehničke petrografije i primijenjene geofizike, kao i metodika istraživanja. Razvoj studija prolazio je kroz razne organizacione promjene, i promjene u nastavnim planovima i programima. Paralelno s time rastao je i broj nastavnika za opće, fundamentalne predmete i specijalne kolegije, koji se kretao i sada je oko četrdesetak. Šezdesetih godina (1962.) i na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu uveden je za diplomirane stručnjake naziv diplomirani inženjer geologije. Nastavnički smjer iz struke geologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu ne postoji, jer je u srednjim školama geologija kao posebni predmet ukinuta. Tek zadnjih godina uveden je nastavni smjer geografija i geologija.

Diplomirani geolozi manjim su se dijelom, selekcijom najboljih, zapošljavali kao asistenti i stručni suradnici na fakultetima. Velika većina zaposlena je danas u Geološkom zavodu, danas Institut za geološka istraživanja, koji ima ulogu državne geološke službe s prvenstvenim zadatkom izrade geoloških karata, i u geološkim službama poduzeća INA-Naftaplin i njegovim afilijantnim organizacijama, a zatim u Geofizici, brojnim geotehničkim i rudarskim privrednim organizacijama, poduzećima u građevinarstvu, vodoprivredi, za eksploataciju kamena, itd. Možemo sa zadovoljstvom konstatirati da su oni, razvijajući se postepeno tokom rada uspješno odgovorili svojim zadaćama i bavili se strukom, na poslovima bez kojih privreda ne bi uopće mogla djelovati. Među te poslove možemo posebno istaknuti izradu i završetak Osnovne geološke karte Hrvatske razmjera 1:100.000 i početak izrade tematske geološke karte 1:50.000, kao i niz specijalnih karata, otkrivanje i razrada brojnih nalazišta nafte i plina, krupni zahvati u vodoprivredi i snabdijevanju

vodom, učešće u izgradnji objekata elektroprivrede, posebice brana i vodnih objekata, u širokoj primjeni geofizike, pronalaženju i ekspoloataciji posebno nemetalnih sirovina. Ne mali broj diplomiranih geologa djeluje izvan Hrvatske u susjednim republikama (posebice Bosni) i u svijetu, gdje su uspješno afirmirali sebe, svoju struku i institucije u kojima su obrazovani. Oni su uspješno djelovali i na međunarodnom planu kroz razne oblike učešća i suradnje, kao eksperti, stručnjaci, uključivši i niz vodećih funkcija koje su obnašali.

U poslijeratnom periodu iza 1945., u nastavu je uveden najprije 1960., a zatim obnavljan tzv. postdiplomski studij (III stupanj) - odnosno magisterij, kao nužna međustepenica u odgoju znanstvenih kadrova, iz kojega je proizišao znatan broj specijalista i znanstvenika. Naglo je rastao i interes i potreba za znanstvenim kadrovima, što je rezultiralo i u naglom porastu broja doktora iz geoloških znanosti.

Nagli razvoj geološke struke i znanosti u periodu iza drugog svjetskog rata vidljiv je iz slijedećih statističkih podataka. Iako su ti podaci iz raznih razloga nepotpuni, bitno se ne mogu mijenjati. Ukupan broj doktorata iz geologije na Sveučilištu u Zagrebu do sada je 90, od toga 76 u periodu iza rata. 15 među njima je iz zemalja izvan Hrvatske. Magisterij je završilo oko 150 stručnjaka, svi dakako iza rata. Broj diplomiranih studenata na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu do osnivanja tzv. "Zajedničkog studija iz geologije" je oko 550, a na Geološkom odjelu Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta oko 450. Na Zajedničkom studiju geologije na Sveučilištu u Zagrebu upisano je od šk. god. 1982/83. oko 900 studenata, od čega je diplomiralo do sada oko 250 studenata. To čini impozantan broj od oko 1.250 završenih stučnjaka geologije, prosječno oko 25 godišnje. Svi oni (na PMF-u od 1962.) dobivaju završetkom studija titulu diplomiranog inženjera geologije.

Šk. god. 1982/83. osnovan je na Sveučilištu u Zagrebu "Zajednički studij geologije" koji izvode Geološki odsjek Prirodoslovnog odjela Prirodoslovno-matematičkog fakulteta i Odjel za geologiju i mineralne sirovine Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, sa 4 temeljna smjera i dva usmjerenja. Bio je to rezultat saznanja da nije svrsishodno postojanje dva studija geologije, premda su se oni dobrim dijelom i razlikovali, a koja daju titularno jednake stručnjake - diplomirane inženjere geologije. To je bilo čak i zakonom nedopustivo, ali i odraz većinskog mišljenja iz privrede da takvo stanje nije racionalno i ne ide u prilog potrebama i zahtjevima struke; i broj potrebnih i diplomiranih stručnjaka upućivao je na to. Ideje o tome da bi bilo poželjno formiranje zajedničkog i jedinstvenog studija geologije na Sveučilištu javile su se već 1962. godine, ali ni do danas nije došlo do institucionalnog povezivanja dviju studija geologije na dva fakulteta. Štoviše u novije vrijeme ima tendencija daljnjeg razdvajanja iako novi Zakon o visokom školstvu omogućuje spajanje, ali istovremeno stvara i poteškoće. Ne ulazeći u arbitriranje argumenata, u uvjetima kada se stručnjaci geologije školuju samo za potrebe struke - "prakse" i privrede i manjim dijelom znanosti, takvo stanje je nepotrebno i neracionalno. Tomu na žalost u prilog govori i činjenica da je geologija u okviru prirodnih znanosti i struka jedina koja nema nastavnički smjer jer nema predmetne nastave u srednjim školama, izuzev već spomenute škole za geološke tehničare.

Problem postojanja nastave geologije i odgovarajućih organizacija na našem Sveučilištu postoji i ne može se izbjeći diskusija o tome. To ima neposrednog odraza na školovanje geoloških stručnjaka i zadire u samo egzistencionalno pitanje geologije. Neću izbjeći ni svoj osobni stav da je najbolje i jedino ispravno rješenje formiranje jedinstvne znanstvene i obrazovne institucije ("Geološki odjel Sveučilišta"). Geologija, kao struka i znanost jest, u odnosu na neke druge znanosti i struke relativno ograničena, pa i brojem potrebnih stručnjaka koji danas uglavnom zadovoljava, iako i u tome postoje značajne disproporcije. Postojanje dviju geoloških obrazovnih ogranizacija i iz formalnih razloga jer i formalnopravno egzistiraju, je svakako neracionalno, i nesumnjivo ima odraza i na kvalitetu. Postoji nepotrebno dupliciranje nastave i nastavnog osoblja, posebno u temeljnim disciplinama, kao i dupliciranje gotovo istovjetnih zavoda. Ovakovo stanje ima nesumnjivo utjecaja i na kvalitetu selekcije kadrova, da ne kažemo vođenje kadrovske "politike". Nedostatak materijalnih sredstava, i onako vrlo skromnih i raspršenih, neracionalno korištenje krajnje nedovoljne, a vrlo skupe, znanstvene i nastavne opreme, čak i one koja je u svijetu uvedena u rutinsku upotrebu u čemu je stanje upravo katastrofalno, disproporcija u formiranju specijalističkih disciplina i odgovarajućih stručnjaka, i da ne nabrajam niz ostalih razloga upućuju nas na potrebu koncentracije znanosti i obrazovanja u jednoj jedinstvenoj organizaciji za potrebe cjelokupne geologije. Uostalom, na to upućuju i modeli školovanja i njegove organizacije u najrazvijenim zemljama svijeta. K tomu se pridružuje potreba i boljeg praćenja znanosti, struke i obrazovanja u geologiji u svijetu, i nužnost povezivanja, veza i suradnje na međunarodnom planu. Jedinstvena organizacija trebala bi i mogla bolje surađivati i sa drugim geološkim organizacijama, pa i koristiti njihove mogućnosti, posebno Institutom za geološka istraživanja, i Naftaplinom te Geofizikom, ali i drugima. Ukratko, moje je duboko uvjerenje da budućnost geologije kao struke i znanosti, i kvalitetnog obrazovanja iziskuje bezuvjetno institucionalno objedinjavanje nastavnih organizacija na Sveučilištu u jednoj samostalnoj jedinici. Pored ostalog tu je i činjenica da se broj postojećih i potrebnih stručnjaka, pa i znanstvenika neće bitno mijenjati, iako bi se u njihovom odgoju, proporcijama u disciplinama, trebalo što šta mijenjati i pratiti više razvoj struke i znanosti u svijetu, nadopunjavati i usavršavati. Ne mislim pri tome da postojeće stanje u geologiji ne zadovoljava, ali da je moguće i potrebno bolje i više ne treba sumnjati. Naprotiv, geološka struka i znanost postigli su zavidne

rezultate, i obavili uspješno velike zadatke, što graniči s jedva vjerojatnim s obzirom na sredstva i opremu kojom raspolaže. Svuda, u zemlji i izvan nje. No, teško je očekivati u skoroj budućnosti neka bitna poboljšanja i nužno ćemo se morati koliko je moguće oslanjati i na međunarodnu pomoć i suradnju.

Što se može i treba činiti na daljnjem unapređivanju i razvijanju nastave i odgoja geoloških stručnjaka? U jednom "osvrtu" to je teško prikazati, za to bi bila potrebna dokumentirana i kritička analiza, i studija. Navesti ću samo neke osnovne crte i iskustva koja se temelje na gotovo pedesetogodišnjoj nastavnoj praksi i obilnoj međunarodnoj suradnji.

Geologija je, kao i druge znanosti i struke, doživjela u protekla 3-4 desetljeća pravu revoluciju. O tome je bilo riječi u referatu o geologiji kao znanosti. Da spomenem samo npr. novu globalnu tektoniku ploča i njenu svestranu aplikaciju u svim granama geoznanosti, posve nova saznanja o građi zemlje posebice gornjeg plašta i procesa u njemu, saznanja o značenju i mogućnostima primjene izotopa u rješavanju problema u širokom rasponu geoznanosti. Tome se pridružuje i gotovo fantastičan razvoj analitičke opreme i njenoj primjeni. Tom napretku znanosti moraju se prilagoditi i nastavni sadržaji, uključujući i uvođenje novih predmeta ili subdisciplina, i sukladno tome i oblici nastave. Svakako realno je i racionalno da bi se s obzirom na veličinu naše zemlje, karakter privrede, njenog geopolitičkog položaja, sirovinske osnove, itd. trebalo voditi računa i o tim elementima.

Pred modernog čovjeka i društva postavljaju se novi vrlo osjetljivi problemi, često globalnog karaktera: potrebe za novim sirovinama, problemi vezani za snabdijevanje vodom, ekologijom i zaštitom od prirodnih katastrofa, zbrinjavanju otpadaka, izrada karata mjerila i 1:25.000 i manjih, krupni pa i višedržavni zahvati u infrastrukturi, zaštita vodotoka i mora, itd. U podlozi i početku svega toga je geologija kao struka i znanost, a zahtjevi i problemi budućnosti biti će takvi da će biti teško reći gdje počinje ili završava struka, a gdje znanost. To postavlja pred izobrazbu stručnih kadrova nove zahtjeve i nove specijalnosti, sposobne da se uključe u polidisciplinarne tehničke radove, ali i u znanstvene studije i istraživanja. Ti zadaci zahtijevaju visoku stručnost i specijalističko znanje, ali istovremeno i vrlo temeljito obrazovanje u fundamentalnim geološkim disciplinama. Moja je ocjena da u tom pogledu u nastavi ima značajnih slabosti i krivih tendencija. Nastava je više verbalna, a manje radna nego što bi trebala biti. Ima premalo terenske nastave, a i ona kakva je više je demonstraciona nego radna. Seminari su gotovo nestali. U nastavi je očigledno slabljenje temeljnih disciplina uz tendenciju širenja u dodiplomskoj nastavi takvih specijalističkih disciplina kojih dobar dio prelazi mogućnost akceptibilnosti na dodiplomskom studiju i po svome karakteru i sadržaju pripadaju postdiplomskom studiju, pa čak i doktorskoj fazi. Sve je to potencirano brojem potrebnih stručnjaka, kojih će broj i u budućnosti jedva dosizati tridesetak. To znači da će se u obrazovanju geologa morati ići u dvije jasne faze: ponajprije vrlo solidno obrazovanje u dodiplomskoj nastavi u temeljnim geološkim disciplinama, a zatim nastavak u postdiplomskom obrazovanju kroz specijalizacije, magisterije i doktorate. Takva tendencija i sistem, uostalom, postoji i u svim razvijenim zemljama, i gotovo polovica stručnjaka nakon osnovnog dodiplomskog školovanja nastavlja svoje školovanje u raznim oblicima postdiplomskih studija.

Ovim potrebama i zahtjevima biti će moguće odgovoriti ako za to budu ostvareni odgovarajući uvjeti i veće razumijevanje za ulogu i značenje geologije, bolja materijalna sredstva i osnova, opremanje potrebnom analitičkom opremom i literaturom, i bolje mogućnosti za međunarodne kontakte i suradnju, uključivši i upućivanje mlađih znanstvenika na usavršavanje u inozemstvo. Postoji još uvijek nedovoljno razumijevanje da geološka djelatnost čini temelj, direktan ili indirektan, i često nezamjenjiv početak u širokom rasponu privrede. To vrijedi kako za struku i obrazovanje, tako i za znanost i fundamentalna istraživanja bez kojih nema ni dobre primjene i prakse. Za to nam postoje dobri uzori u razvijenom svijetu, ali i u našoj prošlosti, već iz doba naših prvih znanstvenika i profesora Pilara, Gorjanovića i Kišpatića.

Education of Geologists at the University of Zagreb

Past, Present and Future

Vladimir **MAJER**

The education of experts and scientists, fields of expertise and science are three interrelated parts of one unity. Therefore, any advance or drawback in one field has an influence on the others. There is no doubt that there can be no high quality geological education, field of expertise or science without experts and good scientists. The same is true of every field of expertise or science. This review is an attempt to present an elementary and concise analysis of the past, present and future of the education of geological experts and scientists.

There are some peculiarities with regard to geology that should be borne in mind. For example, geological work is, much more than in most other sciences and fields of expertise, concerned with field work; and this should be considered during geological education. Furthermore, the number of geological experts required, as well as existing ones, is relatively small in relation to some other fields of expertise and sciences (e.g. chemistry, biology, technical professions, medicine, etc.). Geologists are educated at only one University in Croatia, the University of Zagreb, and work in institutions which are also almost exclusively located in Zagreb. Candidates come to the University with a very unsatisfactory knowledge of geology because there are no specific geology lessons in secondary schools, except in chemical and geological technical school in Zagreb (geological technicians have been educated here since 1948), and some at the geotechnical school in Varaždin. All these circumstances affect, to a greater or lesser degree, the methods and models for the education of geologists, their number and fields of specialisation, indispensable co-operation between related geological institutions, the practical transmission and use of knowledge in other parts of the economy, etc.

Let us begin with brief review of the history of geological education in Croatia. The founder of university geological education in Croatia, as well as geological scientific investigation, was Gjuro Pilar. He was the first university professor of mineralogy and geology at the University of Zagreb in the middle of the second half of the nineteenth century. He was educated in Brussels, where he received his Ph.D., and became a university lecturer. Pilar had, and this should be emphasised, an almost unbelievably extensive knowledge, a sense for connecting science and expertise, and the ability to incorporate all the latest developments into his work, e.g. he used the polarisation microscope, a necessary piece of equipment for every petrologist, to determine minerals and rocks immediately after it had been invented. He had many contacts with foreign scientists and universities, visited foreign countries, and participated in international congresses, working not only in Croatia, but also in neighbouring Bosnia. In addition, he was engaged in other professional work besides that in related scientific branches. Even in the last century he had understood the necessity of specialisation in the geosciences, and consequently, his successors, Dragutin Gorjanović-Kramberger and Mijo Kišpatić worked independently in the main branches of geology, geology and paleontology, and mineralogy and petrology. Their successors, Marijan Salopek, Ferdo Koch, Fran Tućan, and their students, proceeded in the same direction. The synthesis of science, expertise and university education was already obvious in this period, when heads of departments (the department of geology and paleontology, and the department of mineralogy and petrology) were personally connected with museums, and were involved as founders and active workers in geological surveys. They worked on geological mapping and the production of geological maps, as well as taking part in basic petrographic investigations.

In Croatian geological science, fields of expertise and education, two periods can be clearly distinguished on the basis of the number of educated geologists and the scope of geological work: the first one is before World War II, and the other is after it, when Croatia was a federal unit of the former Yugoslavia.

Education in mineralogy and geology started with the foundation of the department of mineralogy and geology at the Faculty of Philosophy in 1874. Pilar began teaching mineralogy, geology, petrography and paleontology in the academic year 1875/76, and his students studied natural sciences, because at that time there was no separate study of geology. Teaching rooms, equipment, collections and literature were provided by the National Museum. In 1893, the department and museum were divided into the department of mineralogy and petrology, and the Mineralogical-Petrographical Museum, headed by Kišpatić, and the department of geology and paleontology, and the Geological-Paleontological Museum, headed by Gorjanović.

In the period before the end of World War II, the number of students among natural science students who had enrolled with geology and mineralogy as their main subjects ("A" and "B"), was rather small. Natural science graduates who had specialised in geology were able to gain employment either at the university or with the Geological Survey or at the Geological Museum; it was very rare to get a job as a secondary school teacher.

The Geological Survey was closed in 1931, which led to the further deterioration of the profession. The majority of students enrolled for geology with paleontology and mineralogy with petrology as "C" subjects, i.e. secondary subjects, and never worked in the geological profession. Mineralogy and geology were also introduced as subjects in 1919 at the then Technical High School, later the Technical Faculty (which was further divided into individual faculties several times after World War II, including separate Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering in 1964). The first principal of the newly formed department of mineralogy and geology was Ferdo Koch. Lessons on mineralogy, petrography and geology as secondary subjects were held for students of chemistry, civil engineering, architecture and surveying, and after 1939, when the department of mining was founded, students of mining.

Until 1945, according to the available data, 235 students enrolled for mineralogy with petrography or geology with paleontology as "A", "B" or "C" subjects at the Faculty of Philosophy. Only 3 of those who had enrolled for mineralogy with petrography or geology with paleontology as their main "A" subject, finished their studies, graduated, and became employed in the field of geology. Their title was geology graduate, and the first one was Miroslav Tajder. 65 students enrolled for mineralogy with petrography or geology with paleontology as the second main subject ("B"), while the remaining 167 students enrolled for geology as an accessory subject ("C"); these studied chemistry, physics, biology or geography in different combinations as their main subjects. According to the available data, only 15 graduates were engaged in geology or mineralogy as their profession.

The second period in the study of geology began after the end of World War II, and was characterised by radical changes. This was the consequence of the rapid development of geology as a science and profession in the world, as well the rapid progress of the economy, resulting in an increased need for professionals educated to a basic level, as well as for specialised experts. The number of professors required for their education saw a parallel increase. Essential changes took place in the academic year 1948/49, when individual departments were founded at both the Faculty of Natural and Mathematical Sciences and the mining department of the Technical Faculty. These departments and sections had special courses and classes for the education of geologists. At the Faculty of Natural and Mathematical Sciences, the separate department of geology had two main sections; geology with paleontology and mineralogy with petrology, organised into two institutes (geological-paleontological and mineralogical-petrographical). A geology section was founded at the mining department of the Technical Faculty Mining, the graduates of which gained diplomas in geological engineering. Heterogeneous needs in the practice and application of geology required specialised experts, and resulted in a great number of specialised classes (about fifty), and more specialisations. At the Faculty of Natural and Mathematical Sciences study was based on the fundamental disciplines of geology, paleontology, mineralogy and petrology, while at the department of geology of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering (founded in 1964 from the Technical Faculty), students, besides these fundamental disciplines, had geology, mining deposit, petroleum geology, gas and coal, hydrogeology, engineering geology, sedimentology, technical petrography, applied geophysics and investigative methodology classes. Through this evolution many changes in organisation, courses and programmes took place. The number of educational staff for fundamental and specialised courses saw a parallel increase, and was usually, as it is today, about 40 teachers. In 1962, geology engineering diplomas were also introduced for graduates of the Faculty of Natural and Mathematical Sciences. Until recently there was no specific curriculum at the Faculty of Natural and Mathematical Sciences for secondary school teachers, because separate geology lessons had been dropped from secondary school programmes. Nowadays a teaching curriculum for geography and geology teachers has been introduced.

Some selected geology graduates were employed as assistants in the faculties. The great majority of the others nowadays work at the Institute of Geology, acting as the state geological survey, and are primarily engaged in geological mapping, and the geological services of the INA-Naftaplin oil company and their affiliate organisations. Some geologists work in Geofizika (engaged in geophysical investigation), numerous geotechnical and mining companies, waterworks, stone-dressing companies, etc. Obviously, they managed to get this far through the continuous development of their knowledge. Some of the main results of the work of generations of geologists are: the production and finishing of the Basic Geological Map of the Republic of Croatia (1:100,000 scale) and the beginning of work on a new, thematic geological map (1:50,000 scale) and many other special maps, the finding of numerous gas and oil fields, participation in the supply of electricity and water, the construction of dams, roads, railway-tracks, bridges, and tunnels, the wide application of geophysics, and the finding and exploitation of non-metallic raw materials, etc. Numerous geology graduates work outside Croatia, in neighbouring (especially Bosnia and Herzegovina) and other countries, where they have successfully confirmed the high standard of the experts and institutions which have educated them. Many geologists have also been successful at the international level through participation and co-operation as experts.

Post-graduate studies (third level) were introduced in 1960, as a necessary intermediate step in the education of scientists, resulting in numerous specialists.

Interest and the need for scientists also led to a rapidly increased number of Ph.D. students in geology.

Statistics reflect the rapid development in the field of geology after World War II. Although the data are incomplete, they may be considered representative. In its history, the University of Zagreb has awarded 90 doctorates (76 of them after World War II), 15 of them to overseas students. About 150 students have completed post-graduate studies (Masters' degrees) since 1960. Before the foundation of the Joint Study of Geology, 550 students had graduated in geology from the Faculty of Natural and Mathematical Sciences, and about 450 from the department of geology at the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering. Since 1982, when the Joint Study of Geology was founded, about 900 students have enrolled to study geology, of whom about 250 have graduated. That makes a total number of 1,250 geologists, or an average of 25 a year. All of them (at the Faculty of Natural and Mathematical Sciences since 1962) have received diplomas in geological engineering.

In the academic year 1982/83, the Joint Study of Geology at the University of Zagreb was founded. This was based on co-operation between the department of geology at the Faculty of Natural and Mathematical Sciences, and the department of geology and mineral deposits at the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, and composed of four major courses and two specialisations. This resulted from the opinion that the existence of two geology institutes, although different from each other, was unnecessary, especially considering the fact that graduates from both institutes received the same geological engineering diploma. The idea to found a joint institute for the study of geology at the University had been raised as early as 1962, but unfortunately there has been no complete institutional merger. On the contrary, there has even been a tendency towards further separation, although the new Higher Education Act makes such a merger possible. Without going into the arguments, at a time when most students should be educated for practical work, and only a small part for scientific work, such a tendency is both unnecessary and irrational. This is also witnessed by the fact that geology is the only branch of the natural sciences that has no teaching curriculum at the University, because it is not a separate subject in secondary schools, except in the already mentioned schools for geological technicians.

The problem of geological education at the University and other institutions exists, and discussion of this topic cannot be avoided. This problem has a direct bearing on the education of geologists, and therefore encroaches on the existential question of geology itself. I shall not avoid expressing my own opinion that the best, and only solution, is to form a single scientific and educational institution - a department of geology at the University. Geology, as a science and profession, is relatively limited compared to some other sciences by the number of required experts, although this is more or less satisfactory today, despite the existence of some significant discrepancies. The existence of two separate geological educational institutes is irrational, and undoubtedly has a great influence on the standard of education. There is an unnecessary duplication of teaching and teaching staff, especially in fundamental disciplines, as well as a duplication of almost identical departments. Such circumstances also undoubtedly influence the standard of personnel selection. Inadequate financial support, the irrational use of insufficient and very expensive scientific and teaching equipment, disproportions between specialist disciplines and the corresponding experts, as well as many other reasons point to a need for the concentration of science and education in a single educational institute. This is also supported by educational models in most developed countries. Additional support for this view is expressed in the need to follow new developments in science, fields of expertise, and education in the world, and the need for co-operation at the international level. A single institute could collaborate with and benefit from other geological institutes much better, especially the Institute of Geology, INA-Naftaplin and Geofizika, but also others. My conviction is that the future of geology as a science and profession, and the future of quality education, needs the unconditional institutional integration of institutions at the University into a single unit. The number of experts and scientists will not significantly change, although many things regarding their education and distribution in relation to the various disciplines should be changed, and the development of the profession and science in the world more thoroughly studied. I do not think that the present state of geology is unsatisfactory, but there is no doubt that it is possible and necessary to work better and more. The geological profession and science have achieved impressive results, and have successfully accomplished many great tasks, both in this country and abroad, which is almost unbelievable considering the financial support and equipment. However, it is hard to expect improvement in the near future, and we shall need to rely upon international help and co-operation as much as possible.

What should be done for the further improvement and development of geological education? In a single review of this kind it is hard to express everything that should take place in a very well documented and critical analysis. I will mention only some basic facts and experiences based on my almost fifty years educational and international experience.

Geology has, like other professions and sciences, in the last 3-4 decades undergone a revolution, which has already been described in literature on geology as a science. For instance, the new global plate tectonics, and its universal application in all branches of geoscience, the completely new knowledge of the structure of the Earth, especially of the upper mantle, and knowledge concerning the meaning and possibilities of isotope

application in a wide variety of geosciences. This has been accompanied by an almost fantastic development in analytical methods and equipment. Education should conform to these developments, not only in terms of actual courses of study, but also through the introduction of new subjects and subdisciplines. It is practical and rational to evaluate these facts with regard to the size of our country, its economy, geopolitical position, raw materials, etc.

Modern man and society are facing some new, very delicate problems, frequently on a global scale, such as requiring new raw materials, problems concerning the water supply, ecology and protection from natural catastrophes, waste disposal, mapping in 1:25,000 and smaller scales, large, even multinational infrastructural interventions, the protection of the rivers and seas, etc. Geology as a profession and science lies at the base of any solution to these problems. The demands and problems of the future will result in a gradual erasing of the boundary between geology as a profession and science. This places new demands with regard to the education of geologists, as they should be able to cope with polydisciplinary technical work, and also scientific study and investigation. These problems require both competence and specialist knowledge, and also a very thorough knowledge of the fundamental geological disciplines. My judgment is that in this sense there are some serious weaknesses and faulty tendencies in our education system. Education is too verbal, and not practical enough. There is a serious shortage of field practice, which is more demonstrative than work oriented. Seminars are almost completely missing. There is an obvious tendency of decline in the fundamental disciplines accompanied by a tendency of expansion of specialist disciplines, part of which surpass the graduate level and should be taught at the post-graduate level, or even as doctoral studies. This problem is intensified by the number of experts, which will in the future hardly reach thirty people. This means that the education of geologists should consist of two clearly separated phases: firstly, a solid education in fundamental geological disciplines during undergraduate studies, and specialisation in post-graduate studies (masters' degrees and doctorates). Similar tendencies and education systems exist in all developed countries, where almost half of all geologists continue in education in different forms of post-graduate studies after completing their first degrees.

These needs and requirements can only be adequately met by appropriate conditions, a better understanding of the role and importance of geology, better financial support, better equipping with modern analytical technology and literature, better conditions for international co-operation, including sending young scientists to specialise abroad. There is still insufficient understanding that geological activity often represents, directly or indirectly, the non-substitutable basis for a wide span of economic activities. This applies to both the professional field and education, as well as science and research, without which there can be no application or practice. We have very good examples of this in developed countries, but also in our own history, back in the time of our first scientists and professors, Pilar, Gorjanović and Kišpatić.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	43 - 45	ZAGREB 1995

Supply from an Outer Carbonate Platform to the Foreland Basin of the Coastal Dinarides: the Pazin Flysch Basin (Eocene, Croatia)

Ljubomir **BABIĆ**[1], Jožica **ZUPANIČ**[2] & Mladen **JURAČIĆ**[1]

Key words: Paleotransport, Flysch, Carbonate platform, Eocene, Pazin Basin, Dinarides, Croatia.

Abstract

Dinaric Paleogene foreland basins may have been supplied from the outer, south-southwestern sources. The Pazin Flysch Basin was bounded to the south-southwest by a carbonate platform, which supplied carbonate detritus to the basin.

INTRODUCTION

Paleogene clastics in coastal Dinarides have been deposited within a foreland basin formed in front of rising Dinaric mountains (MARINČIĆ, 1981). The NE-SW oriented compression resulted in tectonic transport toward the SW and in tectonic structures striking NW-SE. Two main paleotransport directions have been reported from the Paleogene flysch-type deposits of the coastal Dinarides: transversal, toward the SW, and longitudinal, toward the SE and NW (MARINČIĆ, 1981). These directions reflect a supply from the Dinarides and partly, from the Alps.

However, a peculiar paleocurrent direction toward the NNE (azimuth 10°) has been measured by JURAČIĆ (1976), and it has not been discussed later. The purpose of this work is to present evidence of such paleotransport directions and the supply from a carbonate platform, which was situated to the SSW, i.e. the outer side of the basin.

PALEOCURRENTS, SEDIMENTS AND PARTICLE TYPES

The Pazin Basin was formed in Middle Eocene (ŠIKIĆ, 1965). The succession in this region reflect a gradual deepening of a carbonate platform area, followed by deposition of deeper-water Globigerina Marl, and then by an alternation of hemipelagic marls and gravity-flow deposits, which are Middle to Late Eocene in age (SCHUBERT, 1905; ŠIKIĆ, 1965; MAGDALENIĆ, 1972; JURAČIĆ, 1980).

New paleocurrent measurements in the Pazin Basin show transport directions toward the north-northeast (Fig. 1, 35 measurements). Other new measurements confirm the already known longitudinal paleotransport toward SE (Fig. 1).

Gravity-flow deposits showing paleotransport toward the NNE are of several types. (1) Channelized bodies up to 2.3 m thick show flutes up to 2 m long and are elongated parallel to the flutes. (2) Chaotic debris-flow units are up to several metre thick, and are overlain by Bouma turbidites. Debrites commonly thin and/or disappear laterally, and overlying turbiditic portion thins and thickens laterally. (3) Turbidites which may change their thickness laterally at short distances; some of them show erosional bases with very shallow, several meters wide erosional depressions, while other thickness changes are related to undulatory upper bed surfaces.

Large-scale slumps and slides may be common close to the present-day southern margin of the clastics.

The particle types in beds described above are almost exclusively carbonate. Important exceptions are marl intraclasts. Common are clasts of Late Cretaceous and Liburnian limestones, Paleogene Alveolina Limestone, Paleogene Nummulites Limestone, transitional Middle Eocene limestone with Discocyclina and Nummulites, and Middle Eocene limestone with coralinaceans, Nummulites and Discocyclina. The lithoclasts may be rounded. Abundant skeletal particles are characteristic components of these beds: larger foraminifera including *Nummulites*, *Discocyclina* and others, rotaliids, smaller foraminifera, planktonic foraminifera, corallinaceans, bivalves, gastropods, bryozoans, corals, echinoderms, etc.

DEPOSITIONAL ENVIRONMENT

Debris flow deposits, slumping, sliding, erosional scouring, short-distance changes in turbidite bed thickness, intraclasts of hemipelagic marl, and alternating

[1]Institute of Geology and Paleontology, Dept. of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Kralja Zvonimira 8, HR-10000 Zagreb, Croatia.
[2]Institute of Mineralogy and Petrography, Dept. of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Croatia.

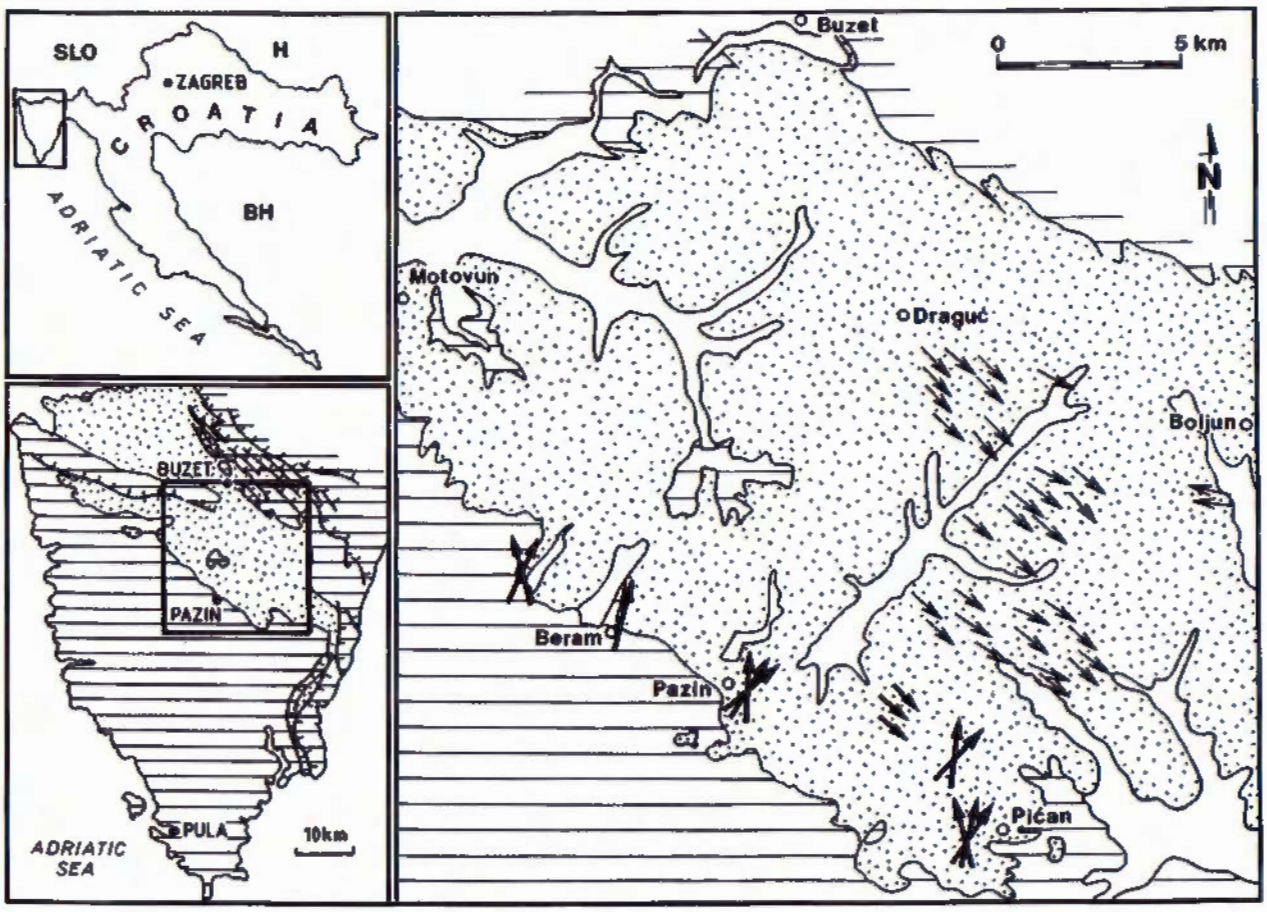


Fig. 1. Representative paleocurrent directions (arrows) in the Eocene Pazin Flysch Basin (dotted). Directions indicated by thin arrows are from MAGDALENIĆ (1972). Horizontal lines: carbonates. Geological map compiled from various sources (mostly from POLŠAK & ŠIKIĆ, 1969 and ŠIKIĆ et al., 1969), and simplified.

hemipelagic deposits suggest either a slope or a base-of-slope environment. The volumes of sediments moved down the slope may have been very large. The repeating of the gravity-induced transport and the large size of clasts suggest a structural control of the slope and slope processes. Breccias occurring at the very margin of the basin (Pazin) regarded by ŠIKIĆ (1965) as transgressive deposits probably represent rock falls and debrites related to fault scarps. Carbonate gravity-flow deposits derived from the south-southwest occur also farther to the NNE, in more distant portions of the basin, where longitudinal currents dominated (Fig. 1).

PALEOGEOGRAPHY

The lithoclasts derived from different segments of a thick carbonate succession ranging in age from Late Cretaceous to Middle Eocene suggest the existence of fault scarps and/or land areas. The existence of exposed land surfaces is indicated by rounded lithoclasts. Displaced skeletal material belonged to organisms adapted to various carbonate platform environments.

It was already ŠIKIĆ (1965), who proposed the location of the southern basin margin close to the present-day southern margin of the Eocene clastics, and the area south-southwest of this margin was envisaged by MARINČIĆ (1981) to have represented a shelf. When dealing with Adriatic offshore geology JENKO & BISTRIČIĆ (1978) inferred the existence of an Istrian block called by them Istrian Semiplatform. This block was the carbonate platform, which was flanking the Pazin Basin to the south-southwest and was responsible for the production of carbonate detritus supplied to the basin.

CONCLUSION

Besides the already known supply of detritus to the Dinaric Paleogene foreland basins from the rising Dinarides, and from the Alps, there was also a supply from the outer, south-southwestern side. In the Istrian example a structurally controlled basin margin separated the Pazin Basin from the carbonate platform situated to the south. This platform persisted during the Eocene.

REFERENCES

JENKO, K. & BISTRIČIĆ, A. (1978): Contribution to the knowledge of the biostratigraphic relationship of Upper Paleogene, Neogene, and Quaternary in the Dugi Otok Basin (Engl. summary).- Proceedings 9. Congr. Geol. Geol., 25-39, Sarajevo.

JURAČIĆ, M. (1976): Investigations of the Eocene flysch and its base in the Pazin Basin.- B.Sc. Thesis, University of Zagreb, 33 p.

JURAČIĆ, M. (1980): Depth of sedimentation of "Marl with Crabs" estimated from the ratio between planktonic and benthic foraminifera.- Geol. vjesnik, 31, 61-67.

MAGDALENIĆ, Z. (1972): Sedimentology of central Istria flysch deposits.- Acta Geologica, VII/2, 71-101, Zagreb.

MARINČIĆ, S. (1981): Eocene Flysch of Adriatic area (Engl. summary).- Geol. vjesnik, 34, 27-38.

POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. (1969): Basic Geological Map 1:100,000, Sheet Rovinj.- Federal Geol. Institute, Beograd.

SCHUBERT, R. (1905): Zur Stratigraphie des istrisch-norddalmatinischen Mitteleocaens.- Jahrb. Geol. Reichsanst., 55, 154-188, Wien.

ŠIKIĆ, D. (1965): Geology of the areas containing Paleogene sediments in Istria, Croatian Littoral, and Dalmatia.- Ph.D. Thesis, University of Zagreb, 132 p.

ŠIKIĆ, D., POLŠAK, A. & MAGAŠ, N. (1969): Basic Geological Map, 1:100,000, Sheet Labin.- Federal Geol. Institute, Beograd.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	47 - 50	ZAGREB 1995

Podrijetlo H_2S i organsko sumpornih spojeva u plinsko-kondenzatnom polju Stari Gradac

Gertrud **BARIĆ** & Mladen **JUNGWIRTH**

Ključne riječi: H_2S, merkaptani, sulfatne stijene, termokatalitička redukcija sulfata, oksidacija ugljikovodika

Sažetak

Plinsko-kondenzatno polje Stari Gradac nalazi se u srednjem dijelu Dravske depresije, a odlikuje se kompleksnom geološkom građom, ali i specifičnim termičkim, fizičkim i hidrodinamičkim karakteristikama. Ležišne stijene različite stratigrafske pripadnosti heterogenog su litološkog sastava, a zaliježu na dubini većoj od 3700 m.

U plinovima polja Stari Gradac u određenim periodima proizvodnje utvrđena je intenzivna emisija H_2S i organsko sumpornih spojeva, što je rezultiralo obustavom proizvodnje u nekim bušotinama.

Za rješenje porijekla sumpornih spojeva u ovom prostoru korišteni su postojeći geološki i laboratorijski podaci, a provedena su i dodatna ispitivanja uzoraka stijena, plinova, voda i kondenzata.

Iz rezultata ispitivanja je zaključeno da H_2S i organsko sumporni spojevi u polju Stari Gradac nastaju mehanizmom termokatalitičke redukcije sulfatnih stijena u prisutnosti ugljikovodika. Količina formiranih sumpornih spojeva ovisna je o stupnju anhidritizacije ležišnih stijena, kao i interakciji stijena-porna voda. Procesi nastajanja i emisije spojeva odvijaju se u ciklusima i rezultat su kinetičkih i termodinamičkih odnosa u sistemu.

UVOD

Sumpor u fosilnim gorivima: plin, nafta, ugljen, uljni škriljavci, predstavlja danas ekološki, inžinjerski i ekonomski problem. Dozvoljene količine sumpora u gorivima su izuzetno niske, što zahtijeva praktički njihovo potpuno uklanjanje. Plinovi u plinsko-kondenzatnom polju Stari Gradac osim ugljikovodika sadrže i anorganske komponente CO_2, N_2, Hg i H_2S u koncentraciji od približno 10%. Posebnu važnost ima prisutnost sumporovodika, kao i organsko sumpornih spojeva, merkaptana, čije povišene emisije uz ostale konstituente uzrokuju visoku korozivnost i posebne tehnološke postupke njihovog odvajanja. U tijeku 1988. i 1989. godine obustavljena je proizvodnja u dvije bušotine, budući da tehnološki procesi pridobivanja i odvajanja nisu predviđeni za koncentracije H_2S veće od 1000 ppm. Ponovni rast sadržaja sumpornih spojeva u plinu StG-1 (93-94. god.), bio je uzrok da se odgovori na pitanje podrijetla sumporovodika i merkaptana, kao i njihove povećane emisije tijekom proizvodnje u polju Stari Gradac. U radu su korišteni postojeći geološki i laboratorijski podaci, a provedena su i dodatna ispitivanja uzoraka stijena i fluida.

GEOLOŠKI PRIKAZ POLJA STARI GRADAC

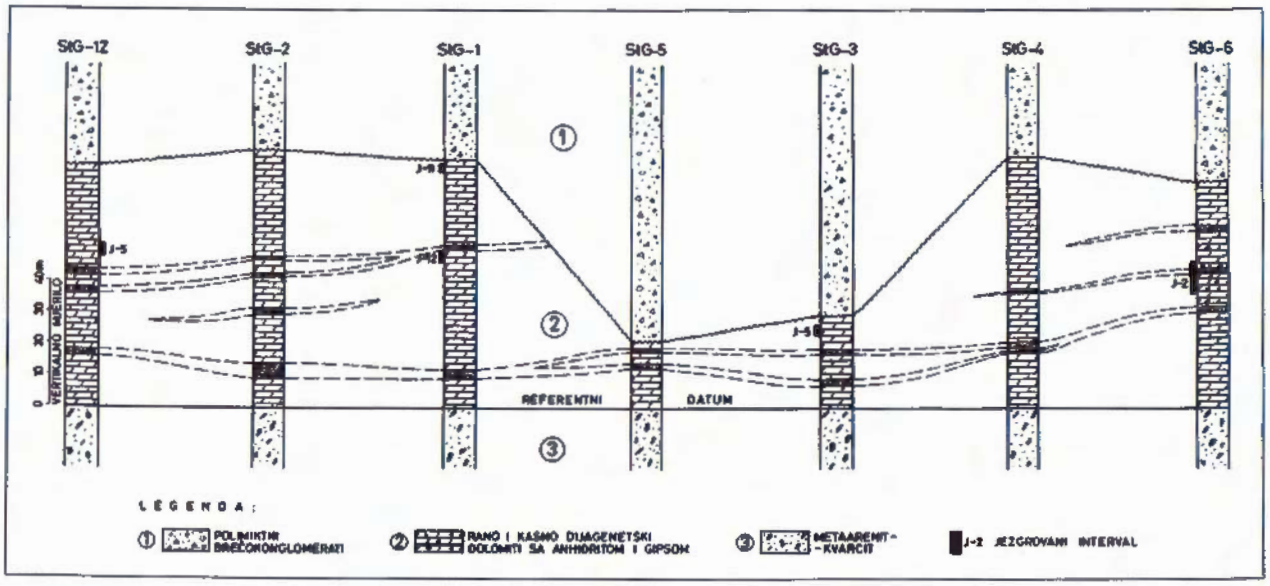
STRUKTURNI I TEKTONSKI ODNOSI

Plinsko-kondenzatno polje Stari Gradac nalazi se u tektonskom rovu "Duboka Drava - zapad" i predstavlja istočni dio pozitivnog antiformnog niza Molve-Kalinovac-Stari Gradac. Prve značajne promjene odvijale su se u donjem permu, kada je došlo do manjeg boranja kristalinske osnove, intrudiranja i retrogradne metamorfoze (JAMIČIĆ, 1988). Posebno interesantnim smatra se gornjo permsko-donje trijasko razdoblje s naslagama metapješčenjaka-kvarcita i dolomitno-sulfatnog (anhidritskog) kompleksa, za koji se pretpostavlja da je nastao u kontinentalnim uvjetima (HERAK, 1984). Karbonatno-evaporitske naslage vezane su za razdoblje najgornjeg dijela perma i najnižeg dijela donjeg trijasa. Sedimentacijski ciklus završava tijekom srednjeg trijasa, kada dolazi do izdizanja šireg područja Stari Gradac.

KARAKTERISTIKE LEŽIŠTA

Najstarije ležišne stijene predstavljaju muskovit-sericit kvarcni škriljavci, najvjerojatnije devonske starosti i gornjo karbonski slejtovi i filiti. Permo-trijaske starosti su metaareniti-kvarciti, a ranodijagenetski dolomiti i sulfatne stijene nastaju tijekom donjeg trijasa (HERAK, 1984). Najmlade ležišne stijene donjo i srednje miocenske starosti čine petromiktni brečokonglomerati. Gusti, masivni vapnenci za koje se pretpostavlja da su sarmatske starosti predstavljaju pokrovne stijene ležišta Stari Gradac.

[1]INA-Naftaplin, Laboratorij, Lovinčićeva b.b., 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2]INA-Naftaplin, Služba istraživanja, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Shematski geološki profil za dolomitno-anhidritski kompleks na polju Stari Gradac.

Facijes interesantan za ovaj rad su donjo trijaski dolomiti, dolomitne breče s pojavama anhidrita i gipsa (IVANIČEK, 1989; RAŠKAJ, 1992). Ovaj litofacijes jezgrovan je u nekoliko bušotina, a anhidrit se najčešće pojavljuje između dolomitnih fragmenata ili u obliku ispuna žila i prslina kao agregati anhidritnih kristala. Međusobni odnosi anhidrita, dolomita i prslina ukazuju na kasnodijagenetsku anhidritizaciju, tj. sekundarne dijagenetske procese (TIŠLJAR, 1989, 1994). Postoje međutim i mišljenja, da veće sekvence anhidrita nastaju izlučivanjem u supratidal (sabkha) okolišima (MESIĆ, 1994). Debljina pojedinih anhidritiziranih sekvencija u bušotinama polja Stari Gradac je u rasponu od 0.5-5.0 m (sl. 1). Povećana anhidritizacija karakterizira zapadni dio strukture Stari Gradac u kojem su locirane bušotine StG-2 i StG-1z. Ovaj dio je odvojen normalnim rasjedom od strukture Kalinovac (*strike-slip*). Uz rasjed je došlo do drobljenja stijenske mase, što je omogućilo bolju cirkulaciju voda.

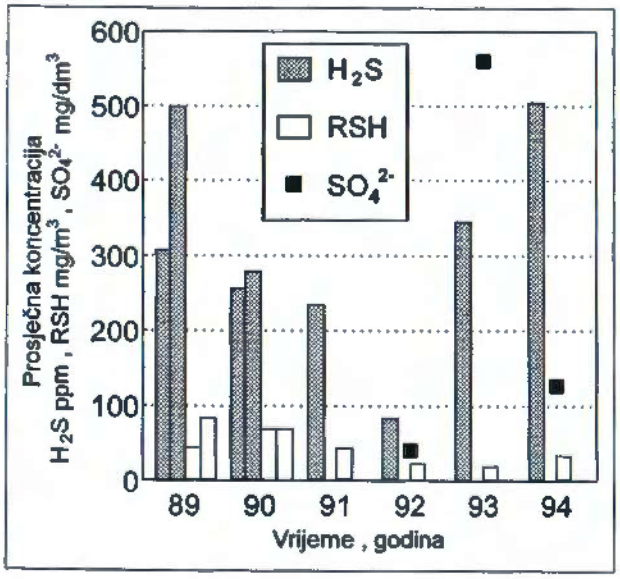
Čitav rezervoarski prostor je pod tlakom, koji je veći od hidrostatskog za cca 30% unutar plinske faze i za cca 20% unutar vodene faze. Početni tlak ležišta iznosio je P_i=505.25 bara (-3719 m), a uslijed crpljenja ležišni tlak je opao za 113 bara (1994. god.) i iznosio je P_{sl}=394 bara na istoj dubini. Ležišna temperatura ovog polja je visoka i iznosi 195°C (-3716 m).

REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA REZULTATA

Povećane količine sumporovodika i merkaptana prema literaturnim podacima (ORR, 1974, 1990; HUNT, 1979; TISSOT & WELTE, 1984) javljaju se najčešće u karbonatno-evaporitnim ležišnim stijenama, zbog smanjene prisutnosti teških minerala, posebice željeza. Poznati mehanizmi nastajanja ovih spojeva su bakterijska redukcija sulfata, termička destrukcija organske tvari (kerogen, nafta) bogate sumporom i termokatalitička redukcija sulfata. Obzirom na specifične termodinamičke karakteristike ležišta Stari Gradac, odsutnost većih količina pirobitumena i neujednačenu emisiju sumpornih spojeva, proces termokatalitičke redukcije sulfatnih stijena pretpostavljen je kao mogući mehanizam njihovog nastajanja. Ovaj mehanizam utvrdio je ORR (1974) godine u visokotemperaturnom ležištu ugljikovodika Big Horn bazena u Wyomingu. Orrova ispitivanja temeljena su na laboratorijskim radovima Tolanda (TOLAND, 1969) koji je dokazao da uz visoke temperature (150-170°C), brzina redukcije sulfata do oksidacijskog stanja -2, tj. sulfida u prisutnosti ugljikovodika je izuzetno velika, međutim u sistemu mora biti i manja, inicijalna količina H_2S, koja katalizira reakciju. Posebnost navedene reakcije je u nastajanju međuprodukata, elementarnog sumpora i polisulfida. Ovi reducirani oblici sumpora su istovremeno snažni oksidansi, koji u drastičnim uvjetima izazivaju potpunu oksidaciju ugljikovodika i nastajanje ugljik-dioksida. Primjeri kompletne destrukcije ležišnih ugljikovodika su međutim rijetki, odnosno uz blaže uvjete i ograničenu količinu sulfata odvijaju se procesi parcijalne oksidacije i sulfurizacije, te nastaju organsko sumporni spojevi, merkaptani.

Za utvrđivanje pretpostavljenog mehanizma nastajanja H_2S i merkaptana razmatrani su međusobni odnosi svih komponenata u sistemu. Posebnu važnost ima interakcijsko djelovanje ležišna stijena - fluidi, kao i termodinamički uvjeti u ležištu.

Prisutnost sulfatnih stijena (anhidrit, gips) u ležištu Stari Gradac poznato je od ranije. Determinacija anhidrita u uzorku jezgre (StG-1z) provedena je petrografskim, kemijskim, SEM i izotopnim analizama, pri čemu je izotopni odnos sumpora korišten i kao genetski korelacijski parametar. Vrijednost izotopnog odnosa sumpora od δ^{34} +26.4‰ je pokazatelj postojanja "teških" sulfata, što je i opća karakteristika sulfatnih sti-



Sl. 2 Prikaz promjene koncentracije H_2S, RSH i SO_4^{2-} u bušotini Stari Gradac - 1.

jena u zapadnom dijelu Dravske depresije (TONČIĆ-GREGL et al, 1986). Povećanje pozitivnosti izotopnog sumpora u sulfatnim stijenama polja Stari Gradac u odnosu na prethodno spomenute anhidrite, moguće je tumačiti intenzivnom redukcijom sulfata i nastajanjem H_2S, pri čemu se rezidualni sulfat obogaćuje teškim izotopom ^{34}S.

Slojne vode polja Stari Gradac odlikuju se niskom mineralizacijom, usprkos visokoj zastupljenosti karbonatno-evaporitnih sedimenata u ležištu. Rezultati izotopnih određivanja kisika u vodi pokazali su da voda potječe iz morskog okoliša, međutim s bitno izmijenjenim kompozicijskim sastavom. Prateći sadržaj otopljenih soli u vodi kroz duži period, ustanovljeno je variranje koncentracije pojedinih iona. Pokazalo se da u promatranom sistemu postoje različiti stupnjevi disociranosti pojedinih ionskih vrsta. Posebnu važnost imaju ravnotežne reakcije ugljikovih vrsta CO_2, HCO_3^- i CO_3^{2-} koje u određenim uvjetima uzrokuju povećanu topivost sulfatnih stijena, što se odrazilo porastom koncentracije SO_4^{2-} u vodi. Izmjerena vrijednost izotopnog sumpora u sulfatnom ionu vode (δ^{34} +27‰) u potpunoj je suglasnosti s prethodnim izotopnim određivanjima sumpora u sulfatnim stijenama. Moguće je zaključiti o njihovoj genetskoj povezanosti, tj. otopljeni sulfati potječu iz prisutnih stijena, i odvija se prijelaz sulfata iz jednog rezervoara u drugi, bez izotopne frakcionacije (HOEFS, 1987).

Povećanje sadržaja sulfatnih iona u određenom vremenu izazvalo je istovremeni porast emisije sumpornih spojeva, što je pokazatelj intenzivne redukcije sulfata, i sulfurizacije ugljikovodika (sl. 2). Koncentracije otopljenih sulfata i nastalih produkata su u recipročnom odnosu i pitanje ponovnog povećanja sulfatnih iona, kao i redukcije ovisi o ravnotežnim uvjetima u sistemu koji su termodinamički kontrolirani. Visoka topivost, kao i ionizacija H_2S u vodi i ugljikovodicima bitno utječe na degazaciju odnosno njihovu emisiju. Pokazalo se da u zatvorenim sistemima dolazi do otapanja i akumuliranja ogromnih količina nastalog H_2S, koji se padom pritiska na atmosferske uvjete, otvoreni sistem, naglo oslobađaju. Ovo je potvrđeno u bušotinama StG-2 i StG-1z, gdje su bile akumulirane ogromne količine sumpornih spojeva, nastale u ranijem periodu, a otvaranjem bušotina, emisije sumporovodika i merkaptana bile su iznimno visoke.

Ugljikovodici u polju Stari Gradac su sekundarnog, migracijskog porijekla, a prema Schoell-ovoj genetskoj zonaciji (SCHOELL, 1983), plinovi pripadaju termogenim, nadpritisnutim plinovima vezanim uz kondenzate (BARIĆ et al., 1991). Plinovi osim ugljikovodika sadrže i anorganske spojeve CO_2, N_2, Hg i H_2S u kojima CO_2 čini dominantnu komponentu. Koncentracije sumpornih konstituenata u plinovima su promjenljive i izmjerene količine H_2S variraju u granicama od 150-74770 ppm, a merkaptana od 11-2369 mg/dm^3. Visoke emisije sumpornih spojeva javljaju se u plinovima zapadnog dijela polja Stari Gradac (StG-2 i StG-1z) u čijim je ležištima veća zastupljenost sulfatnih stijena. Odnos sulfatnih stijena i količine nastalih sumpornih produkata je u suglasnosti s Orr-ovim ispitivanjima, da u približno istim termodinamičkim uvjetima ležišta, koncentracija prisutnih sulfata je odlučujući čimbenik u količini generiranih sumporovodika i merkaptana. Konstantan sastav plinova i kondenzata tijekom dužeg razdoblja pokazuju da procesi redukcije sulfata i procesi sulfurizacije nisu u većoj mjeri izmijenili ugljikovodični sastav fluida. Određeno odstupanje tj. povećanje udjela CO_2 ustanovljeno je u plinu StG-2, u kojem su istovremeno izmjerene i maksimalne emisije H_2S i merkaptana. Povećanje koncentracije ugljik-dioksida za približno 4%, kao i promjenu ugljikovodičnog sastava ovog plina moguće je tumačiti znatno višim stupnjem oksidacijskog i sulfurizacijskog djelovanja, koji su izmijenili sastav ležišnih ugljikovodika u ovom dijelu polja Stari Gradac.

Praćenjem sadržaja sumporovodika i organsko sumpornih spojeva, ustanovljena je koncentracijska ovisnost nastalih produkata, međutim ne i linearnost. Razlika u količini nastalih produkata je posljedica dinamike sulfurizacijskih i desulfurizacijskih procesa, izazvane neujednačenom termičkom stabilnosti pojedinih organsko sumpornih spojeva.

ZAKLJUČAK

Sastav plinova Stari Gradac je termodinamički kontroliran tj. strogo ovisan o temperaturi, pritisku i mineraloškom sastavu ležišnih stijena. U ležištu su prisutne sulfatne stijene, a njihova povećana zastupljenost karakterizira zapadni dio strukture. Ispitivanja su pokazala da se za utvrđivanje porijekla H_2S i merkaptana moraju pratiti sve komponente u sistemu. Posebno značenje imaju ravnotežni odnosi ugljikovih vrsta, koji

u odredenim uvjetima izazivaju povećanu topivost, "disoluciju" sulfatnih stijena i prijelaz u vodenu sredinu. Mehanizmom termokataličke redukcije otopljenog sulfata i procesima oksidacije i sulfurizacije dolazi do nastajanja H_2S i merkaptana. Posebno visoka topivost sumpornih spojeva omogućava akumuliranje u zatvorenim sistemima, ali i povišenu emisiju padom pritiska na atmosferske uvjete. Procesi otapanja, redukcije i emisije odvijaju se ciklički, ovisno o termodinamičkim uvjetima u ležištu.

LITERATURA

BARIĆ, G., MESIĆ, I., JUNGWIRTH, M. & ŠPANIĆ, D. (1991): Gas and gas-condensate fields in the north-west of Drava depression.- EAPG Special publication, 1, 323-339, Oxford University Press, Oxford.

HERAK, M. (1984): Geologija.- Školska knjiga, Zagreb.

HOEFS, J. (1987): Stable Isotope Geochemistry.- Springer-Verlag, Berlin.

HUNT, J.M. (1979): Petroleum Geochemistry and Geology.- Freeman, San Francisco.

IVANIČEK, Z. & BRODARIĆ, A. (1989): Biostratigrafska i petrografsko sedimentološka interpretacija, Završno izvješće Stari Gradac-1z.- Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplin.

JAMIČIĆ, D. (1988): Strukturni sklop Slavonskih planina, sjeverni Psunj, Papuk i KrndijaDisertacija, Sveučilište u Zagrebu.

MESIĆ, I. (1994): Naftno-plinonosnost kontinentalnog pregiba Gola, Molve, Kalinovac.- Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu.

ORR, W.L. (1974): Changes in Sulfur Content and Isotopic Ratios of Sulfur during Petroleum Maturation-Stady of Big Horn Basin Paleozoic Oils.- Am.Assoc.Pet.Geol.Bull., 58/11, 2295-2318.

ORR, W.L. & DAMSTE, J.S. (1990): Geochemistry of Sulfur in Petroleum Systems.- In: Geochemistry of Sulfur in Fossil Fuels. Am.Chem.Society, Washington.

RAŠKAJ, N. & BRODARIĆ, A. (1992): Biostratigrafska i petrografsko-sedimentološka interpretacija, Završno izvješće Stari Gradac.- Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplin.

SCHOELL, M. (1983): Genetic Characterization of natural gases.- Am.Assoc.Pet.Geol.Bull., 67, 2225-2238.

TISSOT, B.P. & WELTE, D.H. (1984): Petroleum formation and Occurance.- Springer-Verlag, Berlin.

TIŠLJAR, J. (1989): Kompleksna sedimentološko-litofacijesna interpretacija plinskog polja Molve.- Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplin, Zagreb.

TIŠLJAR, J. (1994): Sedimentne stijene.- Školska knjiga, Zagreb.

TOLAND, W.G. (1960): Oxidation of organic compounds with aqueous sulfate.- J.Am.Chem.Soc., 92, 1911-1916.

TONČIĆ-GREGL, R., PEZDIČ, J., DOLENEC, T., ŠIFTAR, D. (1986): Izotopni sastav sulfatnog sumpora u uzorcima jezgri iz dubokih istražnih bušotina u Panonskom bazenu i Dinaridima.- 5. skup sedimentologa Jugoslavije, Brioni (sažetak).

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	51 - 55	ZAGREB 1995

Nove spoznaje o strukturno-tektonskim i ležišnim odnosima plinsko-kondenzatnog polja Stari Gradac- Barcs Nyugat

Miroslav **BARIŠIĆ**[1] & Mario **WEISSER**[2]

Ključne riječi: Strukturno-tektonski odnosi, Dravska potolina, plinsko-kondenzatno polje, dinarsko pružanje

Key words: Structural-tectonic relationship, Drava Depression, gas-condensate field, Dinaric strike

Sažetak

U radu su prikazani rezultati prikupljeni tijekom razrade i petogodišnjeg perioda proizvodnje plina i kondenzata zajedničkog hrvatsko-mađarskog polja Stari Gradac - Barcs Nyugat. Zbog drastične razlike između volumetrijske procjene rezervi ugljikovodika i proračuna na osnovi materijalnog balansa, tijekom 1994. i 1995. godine obavljena je kompleksna reinterpretacija prostora i ležišnih odnosa. Uz kratak osvrt na regionalne stratigrafske i strukturno-tektonske odnose u zapadnom dijelu Dravske potoline, posebna pažnja posvećena je srednjomiocenskim i predtercijarnim naslagama. Tektonika je predstavljena normalnim i reversnim rasjedima dinarskog pružanja i pružanja SI-JZ. Seizmostratigrafski su izdvojeni i kartirani ležišni litofacijesi. Rezultantna geometrija ležišta, osobito longitudinalna anizotropija distribucije rezervoarskih parametara razmatrana je u korelaciji s kvantitativnim proizvodnim pokazateljima i sedimentacijsko-okolišnim uvjetima taloženja srednjomiocenskih klastita.

Abstract

The results obtained in the course of the field development and during a five-year period of gas and condensate production from the joint Croatian-Hungarian field "Stari Gradac - Barcs Nyugat" have been presented in the article. Because of the drastic difference between the volumetric method and material balance method estimation of reserves, in 1994 and 1995 the reinterpretation of this area and the field was carried out. In addition to the short review on the regional stratigraphic and structural-tectonic relationship in the west part of the Drava Depression, special attention has been paid to the Middle Miocene and pre-Tertiary rocks. Tectonics has been represented by the normal and reverse faults of the Dinaric and NE-SW strike. Field lithofacies have been separated and mapped by seismostratigraphy. Field geometry, particularly longitudinal anisotropy of distribution of reservoir parameters was considered in relation to the quantitative production indexes and depositional environment of the Middle Miocene clastics.

UVOD I OSVRT NA DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Nakon značajnih otkrića polja Molve i Kalinovac, došlo je do otkrića plinsko-kondenzatnog polja Stari Gradac - Barcs Nyugat, smještenog desetak kilometara sjeverno od Virovitice (sl. 1). Terenske seizmičke radove, obradu i interpretaciju seizmičkih profila, 1979. godine slijedila je na mađarskoj strani bušotina Barcs Nyugat-1 (Barcs Ny-1), otkrivši ležište plina I kondenzata. Slijedeće 1980. godine INA - Naftaplin izradio je bušotinu Stari Gradac-1 (StG-1), potvrdivši zajedničku akumulaciju plina na graničnom prostoru dviju država.

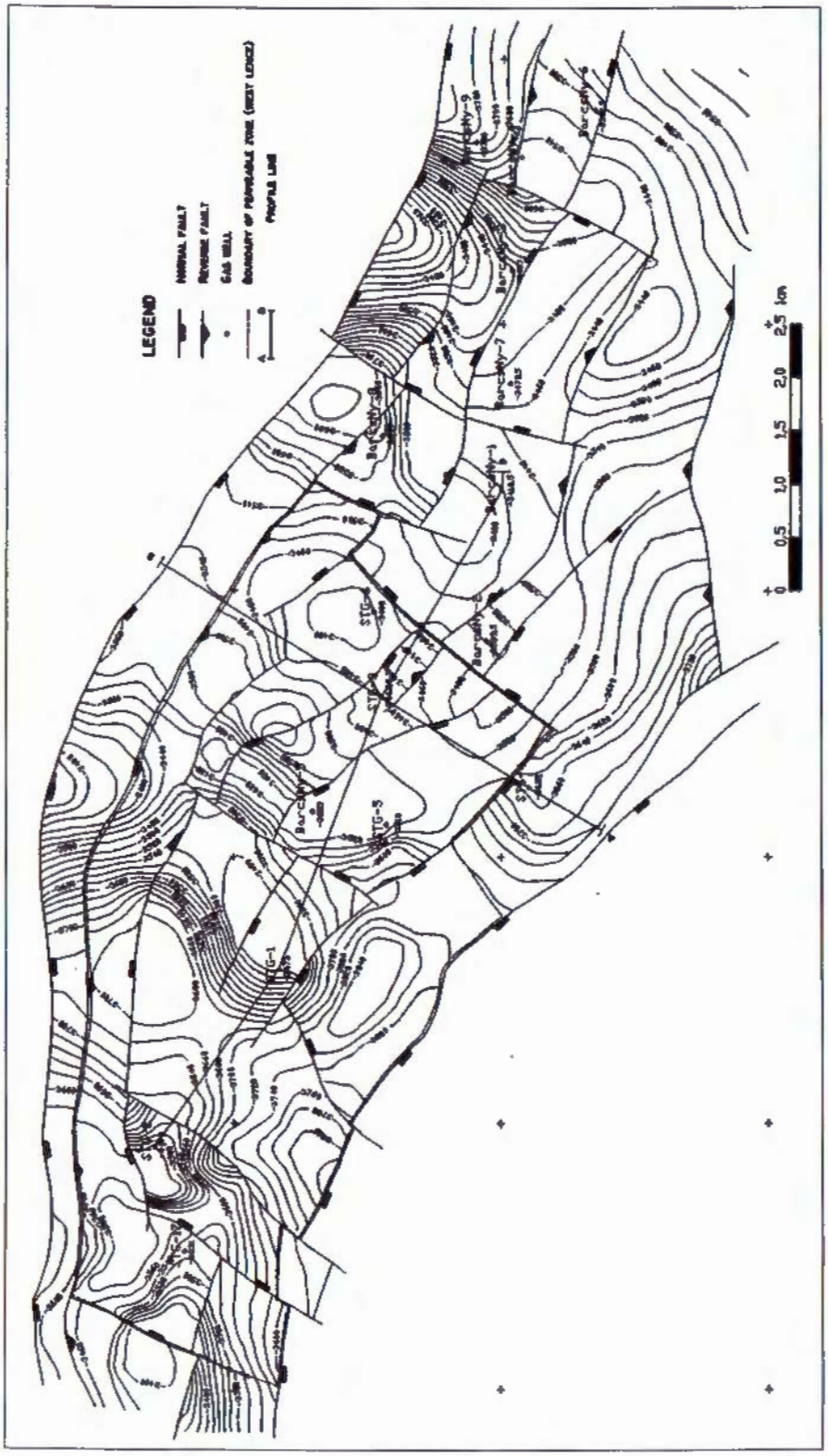
Daljnja istraživanja ukazivala su da se vjerojatno radi o jednoj hidrodinamičkoj cjelini. To je zahtijevalo da se što prije procijene i po mogućnosti što točnije odrede parametri i rezerve ležišta. Prvi izvještaj o istraživanju uz izračunate zajedničke rezerve plina pripremljen je krajem 1984. godine. Istraživački radovi na polju završeni su do travnja 1987. godine. Na mađarskoj strani 9, te 4 istražne bušotine na hrvatskoj strani bile su kompletno testirane.

Kako u fazi istraživanja tako i u razradnom razdoblju načinjen je čitav niz studija odnosno izvještaja (dokumentacija se nalazi u Fondu stručne dokumentacije INA-Naftaplina, Zagreb). Bilo da su rađeni odvo-



Sl. 1 Indeks karta.

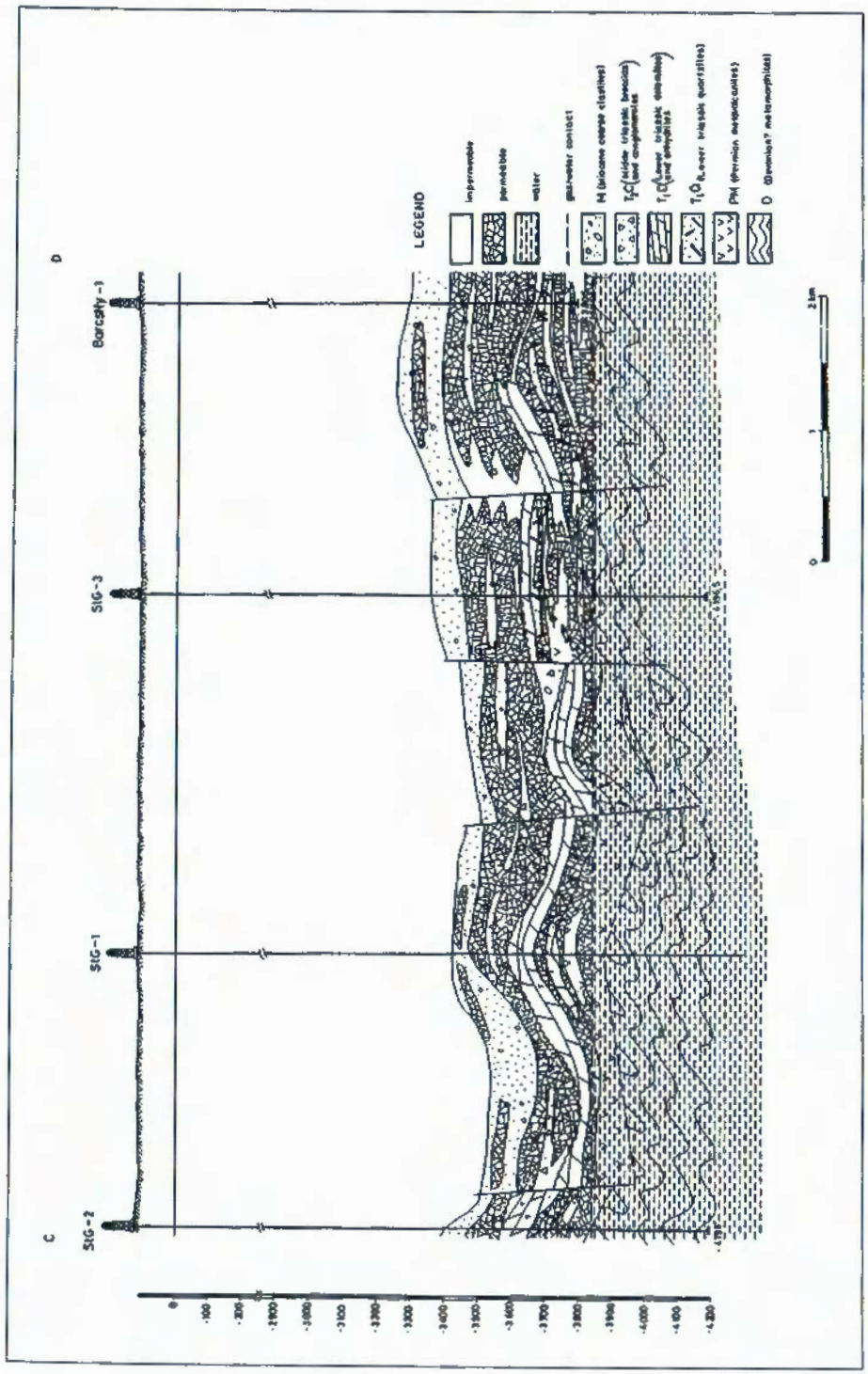
[1] INA-Naftaplin, Služba istraživanja, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2] INA-Naftaplin, Služba razrade ležišta, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 2 Strukturna karta po krovini T_2 klastita.

jeno, pa kasnije prezentirani na medusobnim susretima, bilo da su bili rezultat zajedničkog rada dviju zainteresiranih strana, cilj im je bio identičan. Tako je i reinterpretacija radena 1994/1995. godine, iz koje je proizašao ovaj rad, kao i sve prethodne, trebala definirati ležište, odnosno ležišne parametre i rezerve u svrhu podjele proizvodnje izmedu dviju država. Medutim taj zadatak nije bio, a nije ni danas, nimalo jednostavan. Složena geološka građa, relativno velika dubina (blizu 4000m) praćena visokim temperaturama i pritiscima, što je uzrokovalo probleme pri karotažnim mjerenjima, te nezadovoljavajuća kvaliteta seizmike, glavni su čimbenici koji su onemogućavali sigurniju interpretaciju.

Potrebno je napomenuti da je digitalna seizmika na terenu izvodena u dužem vremenskom razdoblju od



Sl. 3 Shematski uzdužni profil polja Stari Gradac - Barcs Nyugat.

1973. do 1991. godine s obadvije strane granice. Nakon prve generacije digitalnih seizmičkih profila sedamdesetih godina, 1980. godine snimljeni su zajednički profili. GKV iz Budimpešte snimio je i obradio dijelove istih profila s mađarske strane, dok je nastavak istih profila na hrvatskoj strani snimila Geofizika - Zagreb i obradio INA-Naftaplin. Poboljšanje kvalitete nastojalo se postići reobradom najznačajnijih profila 1986. godine. Kvalitetan napredak ostvaren je snimanjem mreže seizmičkih profila s vibratorom kao izvorom energije od 1987. do 1991., kojom je prekriven i prostor našeg dijela polja Stari Gradac - Barcs Nyugat.

STRATIGRAFSKI ODNOSI

Slijed naslaga prisutnih na lokalitetu Stari Gradac - Barcs Nyugat odražava tipičan razvoj dubljeg dijela Dravske depresije. Njen neogensko-kvartarni nastanak i razvitak određuje baličnu kronostratigrafsku razdiobu na neogensko kvartarni ili tercijarno-kvartarni kompleks naslaga i stijene podloge tercijara. Mladi stijenski kompleks predstavljen je uglavnom klastičnim naslagama taloženim kontinuirano uz manje prekide od srednjeg miocena do u kvartar. Debljine im na polju variraju od 3400 do 3600m, i osim podinskog dijela nisu

naftnogeološki interesantne. Stijene podloge tercijara izrazito su litološki heterogene. Ipak, prilično jasno se mogu izdvojiti dvije karakteristične litološke i ujedno kronostratigrafske cjeline: dominantno sedimentni kompleks mezozoika i magmatsko-metamorfni kompleks paleozoika, podlogu tercijara u užem smislu ili bazu sedimenata. Kronostratigrafske atribucije ležišnih litofacijesa su još uvijek upitne zbog njihovog superpozicijsko-korelacijskog određenja, na osnovi sličnosti s geološkim razvojem obodnih gorskih masiva, posebice slavonskih planina.

STRUKTURNI ODNOSI

Plinsko-kondenzatno polje Stari Gradac - Barcs Nyugat pripada zapadnom dijelu Dravske potoline. Prema tektonskoj rajonizaciji ono se nalazi u glavnoj potolinskoj zoni. Točnije rečeno locirano je sjevernije od njenog najdubljeg dijela. Strukturno predstavlja najistočnije nadsvođenje u paleoreljefu slijeda Peteranec - Molve - Kalinovac - Stari Gradac, znatnije izraženih u stijenama starijeg neogena i temeljnih stijena u podlozi tercijara. Šire gledano Dravska potolina ili Dravski bazen jedan je od bazena Panonskog sustava bazena, s tankom kontinentalnom korom. Prostor karakterizira velika geomagnetska anomalija, visoka temperatura i heat flow unutar litosfere. Bazeni i njihov basement intrudirani su miocenskim, uglavnom vapnenoalkalijskim stijenama. Njihovo formiranje posljedica je ekstenzije u srednjem i kasnom miocenu, dakle radi se o back arc i inter arc tipu ekstenzijskih bazena. U Savskom i Dravskom bazenu ekstenzija traje od badena (13-16.5 mil. godina) do sarmata-panona (8-13 mil. godina - ROYDEN, 1988). Starije neogenske naslage uglavnom su taložene unutar izrazito aktivnim rasjedima ograničenih rovova, koji predstavljaju najdublje dijelove u Panonskom sustavu bazena. Ova aktivnost pripisuje se rano-srednjomiocenskoj transtenzijskoj "wrench" tektonici rubnih rasjeda bazena, uzduž starih trendova. U Dravskoj potolini to je jugozapadni rub, duž kojeg od gornjeg miocena do danas u režimu transpresije dolazi do transformacije normalnih u reversne rasjedne zone ili "flower" strukture (BANKS et al., 1988). Miocenski i kasniji tektonski događaji najvećim dijelom uništili su konfiguraciju ranopaleogenskih rasjednih sustava, tako da je moguće samo generalno govoriti o lokacijama i značenju tih rasjednih sistema (ROYDEN & BALDI, 1988). To samo ilustrira da je u ovakvim prostorima rapidne subsidencije i veoma intenzivne mlađe tektonike, starija izgubila svoju opstojnost. U okviru interpretacije strukturnih odnosa izrađene su vremenske karte po krovini elektrokarotažnog repera Rs7, krovini klastita (T_2 K), dolomita (T_1 D) i kvarcita (T_1 Q). Slijedila je izrada karata brzina i konverzija vremenskih u dubinske strukturne karte. Horizonti na seizmičkim profilima, vremenske- i karte brzina su digitalizirane, tako da su dubinske karte dobivene strojnom obradom. Konstruirani su i geološki profili, a uzdužni profil polja prikazan je na slici 3. Na strukturnoj karti po krovini T_2 - klastita (sl. 2) uočava se set normalnih i reversnih rasjeda. Smjerove pružanja ploha rasjeda sjeverozapad - jugoistok, premošćuju lijevi rasjedi smjera sjeveroistok - jugozapad. Skokovi rasjeda nisu veliki. Strukturu polja možemo u grubom nazvati brahiantiklinalom, čija se duža os proteže u pravcu zapad/sjeverozapad-istok/jugoistok.

LEŽIŠNI ODNOSI

U uvodnom dijelu ove rasprave napomenuto je da je zajedničko hrvatsko-mađarsko ležište Stari Gradac - Barcs Nyugat, na osnovi prvih istražnih radova i hidrodinamičkih ispitivanja, definirano kao masivno ležište kompleksne litologije. Formirano je u zamci kombiniranog tipa - reversno rasjednutoj brahiantiklinali smjera pružanja približno ZSZ-IJI. Izdvojene su tri zasebne rezervoarske cjeline - zone s bitno različitim rezervoarskim karakteristikama: M - miocenski krupni klastiti, P_1 - uglavnom karbonatne stijene podloge tercijara i P_2 - nisko do srednjometamorfozirane stijene. U kasnijoj fazi razrade ležišta, nakon završetka izrade bušotina StG-5 i StG-6, obavljena je parametarski konzistentnija kategorizacija rezervoarskih cjelina. Izdvojen je podinski, propusni dio krupnoklastičnog litofacijesa, za sada upitne srednjotrijaske starosti (T_2 K). Tektonsko-erozijskom diskordancijom klastiti su odvojeni od donjotrijaskih dolomita s anhidritom (T_1 D - prijašnja zona P_1), ispod kojih slijede donjotrijaski "kvarciti"- T_1 Q i permski metavulkaniti - P V (prijašnja zona P_2). U podini ležišta registrirane su srednjo- do visokometamorfozirane stijene almandinsko-amfibolitskog facijesa, s mjestimično prisutnim reliktnim teksturama turbiditnog facijesa. Superpozicijski im je pretpostavljena devonska starost.

Tijekom višegodišnje zajedničke aktivnosti na istraživanju i razradi polja, izrađena je nekolicina geoloških studija, elaborata i reinterpretacija. Razlozi za kontinuiranu razradnu aktivnost na polju proizilazili su kako iz nejasnoća vezanih za izuzetno složene strukturno-tektonske odnose i veliku dubinu zalijeganja ležišta, tako i zbog delikatnosti međudržavne podjele rezervi i proizvodnih udjela tijekom eksploatacije.

U razradi ležišta tijekom proteklog perioda sudjelovalo je nekoliko skupina mađarskih i hrvatskih stručnjaka, u čijim se sukcesivnim naporima u traganju za realnim prikazom geološke građe i zaliha ugljikovodika može zapaziti zanimljiv trend preraspodjele količine rezervi iz dublje situiranih rezervoarskih litofacijesa - kvarcita i metavulkanita u klastite, uz povećanje produktivne površine ležišta u smjeru zapada. Posebni izazovi u doradi geološkog modela nastupili su nakon prispjeća prvih proizvodnih pokazatelja, završetkom probne eksploatacije ležišta u periodu 1989.-1990. Tada su proračuni rezervi na osnovi

aplikacije jednadžbe materijalnog uravnoteženja ukazivali na ozbiljan debalans u facijesnoj distribuciji rezervi ugljikovodika. S druge strane, razlike u dinamici pada tlaka u ovisnosti o proizvodno aktiviranom rezervoarskom litofacijesu, kao i jasno uočena tendencija znatnijeg pada slojnih tlakova u istovrsnim litofacijesima u smjeru zapada, nikako nije mogla biti objašnjena nehomogenošću ležišta i parcijalnim lateralnim barijerama. Dakle, do tada važeći model ležišta kao jedinstvene hidrodinamičke cjeline s anizotropnim ponašanjem tlakova u dinamičkim uvjetima, pokazao se nedostatnim i nekoherentnim u smislu predviđanja ponašanja ležišta tijekom eksploatacije.

Pri posljednjoj geološkoj reinterpretaciji ležišnih odnosa, valjalo je stoga uzeti u obzir relevantne proizvodne pokazatelje i uskladiti ih sa širokim spektrom geoloških podataka. Uz pretpostavku analitički dosljednog pristupa proračunu ležišnih parametara, to se je prvenstveno odnosilo na usklađenje volumena i geometrije pojedinačnih ležišnih cjelina s hidrodinamičkim pokazateljima. Posebna pažnja pri tome obraćena je facijesu krupnih klastita, zbog materijalnim balansom indiciranih znatnijih zaliha ugljikovodika. Međutim, pri definiranju geometrije ovog litofacijesa pojavili su se brojni problemi proizašli iz neriješenih okolišno-taložnih odnosa, karotažne nesigurnosti u izdvajanju propusnih intervala i kontakta plin/voda, te seizmostratigrafske netransparentnosti. Problematično je bilo i okonturenje ležišta tektonskim elementima zbog nepostojanja strukturnog zatvaranja na nivou dokazanog zajedničkog kontakta na -3860m. Prisutnost značajnog reversnog rasjeda na obodu strukture učinila je odredbu sjeverne, odnosno sjeveroistočne granice ležišta manje ili više neupitnom, dok je južna, odnosno jugozapadna granica koincidirala s prestankom kolektorskog razvoja u zoni normalnog uzdužnog rasjeda. Na isti način ograničena je zapadna leća u zoni normalnog rasjeda smjera pružanja sjeveroistok-jugozapad, između bušotina StG-6 i BarcsNy-2. Između istočne i zapadne produktivne leće smještene su negativne bušotine BarcsNy-2, BarcsNy-7 i BarcsNy-8. Obje leće trijaskih krupnih klastita s podinskim dolomitnim litofacijesom tvore zasebne hidrodinamičke cjeline, koje su zbog zaglinjenosti donjih horizonata dolomita odijeljene od treće hidrodinamičke jedinice, koju zajednički čine kvarciti i metavulkaniti (sl. 3).

ZAKLJUČAK

Reinterpretacijom strukturno-tektonskih i ležišnih odnosa zajedničkog hrvatsko-mađarskog polja Stari Gradac - Barcs Nyugat usklađen je geološki model ležišta s proizvodnim pokazateljima, te rezervoarsko-facijesna distribucija geoloških i materijalno-balansnih zaliha plina i kondenzata. Preciznim strukturnim kartiranjem, na zadovoljavajući način riješen je prikaz geometrije predtercijarnih rezervoarskih litofacijesa, dok je još uvijek prisutan problem sedimentacijski konzistentnog rješenja geometrije krupnoklastičnog litofacijesa. Predloženi i od obje zainteresirane strane prihvaćeni model, u sadašnjoj fazi razrade, na zadovoljavajući način objašnjava razlike u tlakovima i drugim proizvodnim pokazateljima svih aktiviranih rezervoarskih litofacijesa.

PREGLED KORIŠTENE LITERATURE:

BANKS, N., CATLIN, T. & TUBB, S. (1988): Pannonian basin, Regional review report, Phase P1.- Fond stručne dokumentacije INA - Naftaplin, Zagreb.

BARIĆ, G., MESIĆ, I., JUNGWIRTH, M. & ŠPANIĆ, D. (1990): Plinsko i plinsko-kondenzatna polja Molve Kalinovac i Stari Gradac.- Nafta, 41/2, 71-89, Zagreb.

BARIĆ, G., MESIĆ, I. & JUNGWIRTH, M. (1992): Sedimentary and geochemical characteristics of rocks and fluids of the western part of the Drava depression.- Nafta, 43/5, 225-238, Zagreb.

BARIŠIĆ, M. (1984): Prilog poznavanju strukturnih odnosa plinskog polja Kalinovac u Dravskoj depresiji.- Nafta, 35/3, 123-133, Zagreb.

JELASKA,V., ŠIKIĆ, L., SARKOTIĆ, M., GLOVACKI JERNEJ, Ž. & MATIČEC, D. (1983): Facijelna interpretacija naslaga između EK - markera Rs7 i Pt u području duboke Drave.- Fond stručne dokumentacije INA - Naftaplina, Zagreb.

KRANJEC, V. (1972): Subsurface structures in the Sava and Drava depressions and their classification.- Bull. Sci. Acad. Yugoslav., A, 11-12, 362-364, Zagreb.

PAMIĆ, J. (1990): Alpske? granitno - metamorfne stijene u podlozi Panonskog bazena u bilogorsko - podravskom naftno - plinskom području.- Nafta, 41/10, 433-437, Zagreb.

PIKIJA, M., ŠIKIĆ, K., TIŠLJAR, J. & HRABAK, N. (1993): Miocene formations of the Molve - Kalinovac area (North Croatia).- Nafta 44/12, 665-671, Zagreb.

ROYDEN, L.H. (1988): Late Cenozoic Tectonics of the Pannonian Basin System.- AAPG Memoir, 45, 27-48, Tulsa.

ROYDEN, L.H. & BALDI, T. (1988): Early Cenozoic Tectonics and Paleogeography of the Pannonian and Surrounding Regions.- AAPG Memoir, 45, Tulsa.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	57 - 61	ZAGREB 1995

Gornjopontski facijesi sjevernog krila Konjščinske sinklinale kod Huma Zabočkog (Hrvatsko zagorje)

Oto **BASCH**, Davor **PAVELIĆ** & Koraljka **BAKRAČ**

Ključne riječi: gornji pont, delta, kaspibrakična makrofauna, Hrvatsko zagorje, Hrvatska

Sažetak

U desnom boku doline rijeke Krapine, kod Huma Zabočkog, otkriven je dio slijeda gornjopontskih naslaga taloženih u okolišu delte tipa pruda ušća, pod dominacijom rijeke, ukupne debljine od 100.5 m. Unutar naslaga utvrđene su 3 zajednice facijesa: A) horizontalno laminirani siltovi i pijesci pruda ušća, B) koso laminirani pijesci, horizontalno laminirani pijesci i masivni siltovi međurukavačkog prostora, i C) koritno koso laminirani šljunkoviti pijesci distributivnog kanala s glinovitim siltovima napuštenog kanala. Donji dio slijeda bogat je ljušturama fosilnih mekušaca na temelju kojih je ovaj dio podijeljen u dva horizonta: niži (0-24.5 m), uvjetno pribrojen naslagama biofacijesa s *Congeria rhomboidea* i viši (24.5-41 m), predstavljen naslagama biofacijesa s *Congeria balatonica*.

UVOD

Uz sjeverni rub doline rijeke Krapine (Hrvatsko zagorje), zapadno od mjesta Bedekovčine kod Huma Zabočkog, izvedeno je tijekom ljeta 1994. god. snimanje slijeda gornjopontskih naslaga zapadnog dijela sjevernog krila tzv. konjščinske sinklinale. Istraživanja su vršena sa svrhom definiranja litoloških članova koji će se kao cjeline izdvajati u okviru izrade Geološke karte Republike Hrvatske 1:50.000. Utvrđeno je da sedimente izgrađuju različiti facijesi okoliša delte što je, zajedno s prisutnošću dva tipa zajednica fosilnih mekušaca, predstavljalo poticaj realizaciji ovog rada.

OPIS I INTERPRETACIJA FACIJESA

Na lokalitetu Hum Zabočki istražen je slijed naslaga u debljini od 100.5 m, u kojima su definirane tri zajednice facijesa: A) zajednica facijesa horizontalno laminiranih siltova i pijesaka, B) zajednica facijesa koso laminiranih pijesaka, horizontalno laminiranih pijesaka i masivnih siltova, i C) zajednica facijesa koritno koso laminiranih šljunkovitih pijesaka i glinovitih siltova (sl. 1).

ZAJEDNICA FACIJESA A - RAVNO LAMINIRANI SILTOVI I PIJESCI

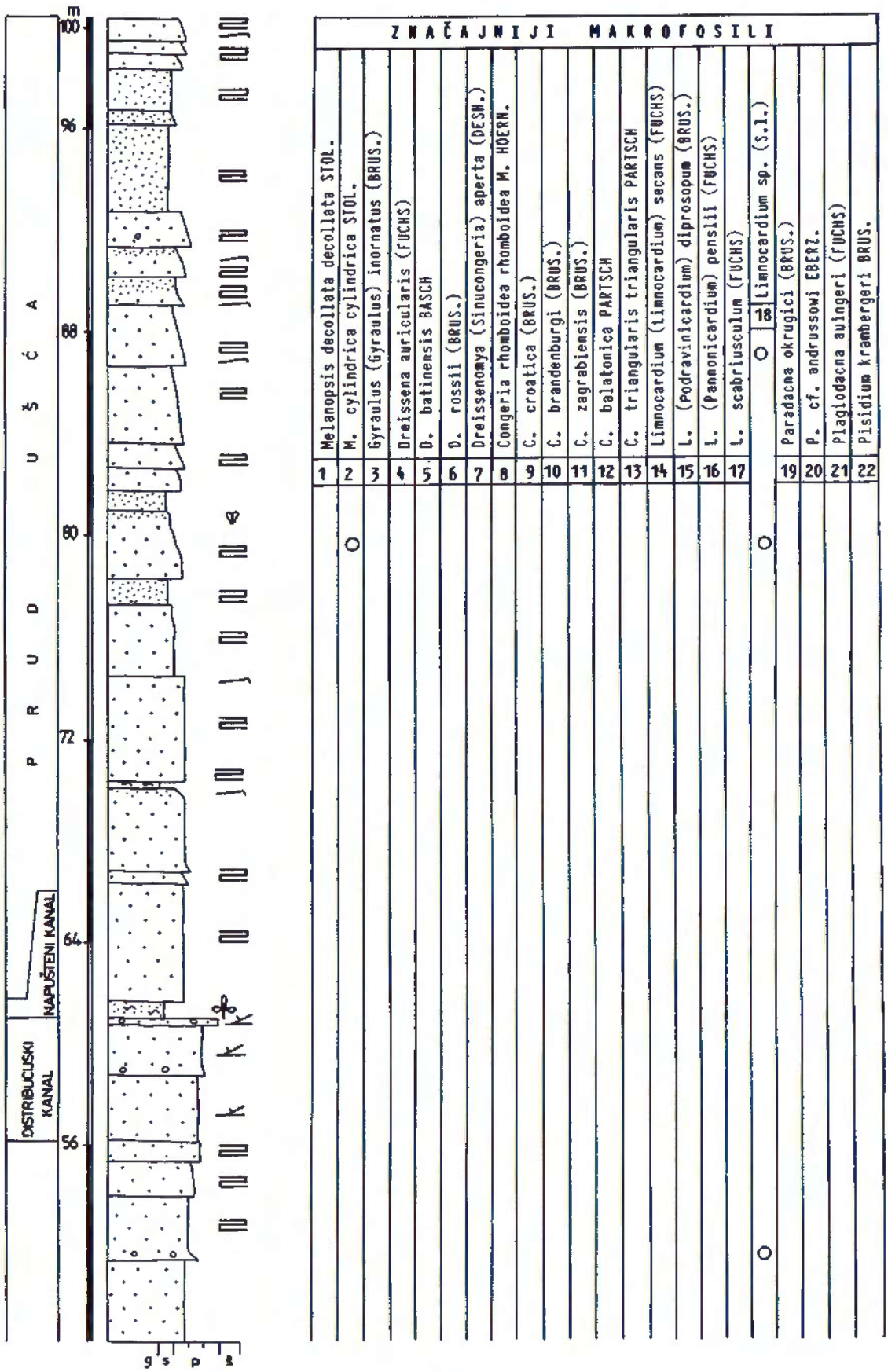
Ova zajednica facijesa dolazi u donjem, središnjem i gornjem dijelu stupa i izrazito dominira u slijedu (zauzima 84% slijeda). Siltovi prevladavaju u zajednici i zastupljeniji su u donjem dijelu slijeda, dok u gornjem dijelu dominiraju pijesci. Siltovi su najčešće ravno laminirani, s milimetarskom laminacijom, a samo mjestimično masivni. Sortiranost im je vrlo dobra. Pijesci su također ravno laminirani. Uglavnom su sitnozrnati, a rjeđe srednjozrnati ili krupnozrnati. Sortiranost im je dobra do vrlo dobra. Samo mjestimično se javljaju i planarno koso laminirani pijesci i koritno koso laminirani pijesci, te sačuvani simetrični i asimetrični riplovi. Mjerenje paleotransporta u planarno koso laminiranim pijescima pokazuje kretanje prema sjeverozapadu. Koritno koso laminirani pijesci upućuju na transport prema sjeveru, sjeveroistoku i jugu-jugoistoku. U donjem dijelu slijeda u ovom facijesu je nađena kaspibrakična fauna, koja u gornjem dijelu gotovo potpuno nedostaje.

Interpretacija. Ravno laminirani siltovi i pijesci su taloženi iz suspenzije i predstavljaju prud ušća delte. Na ovu interpretaciju upućuju tipovi laminacije, velike debljine facijesa, kaspibrakična makrofauna, te asocijacija s ostalim facijesima. Koritno koso laminirani pijesci, koji pokazuju paleotransport prema jugu-jugoistoku, odlagani su migracijom riplova koji su imali povijenu krestu. Ovi pijesci su vjerojatno taloženi izravno iz rijeke. Planarno koso laminirani pijesci te koritno koso laminirani pijesci koji pokazuju paleotransport prema sjeveru i sjeveroistoku, nastali su migracijom riplova s ravnom odnosno povijenom krestom. Ovi pijesci predstavljaju produkte prerade materijala pruda ušća valovima u gornjem obalnom licu.

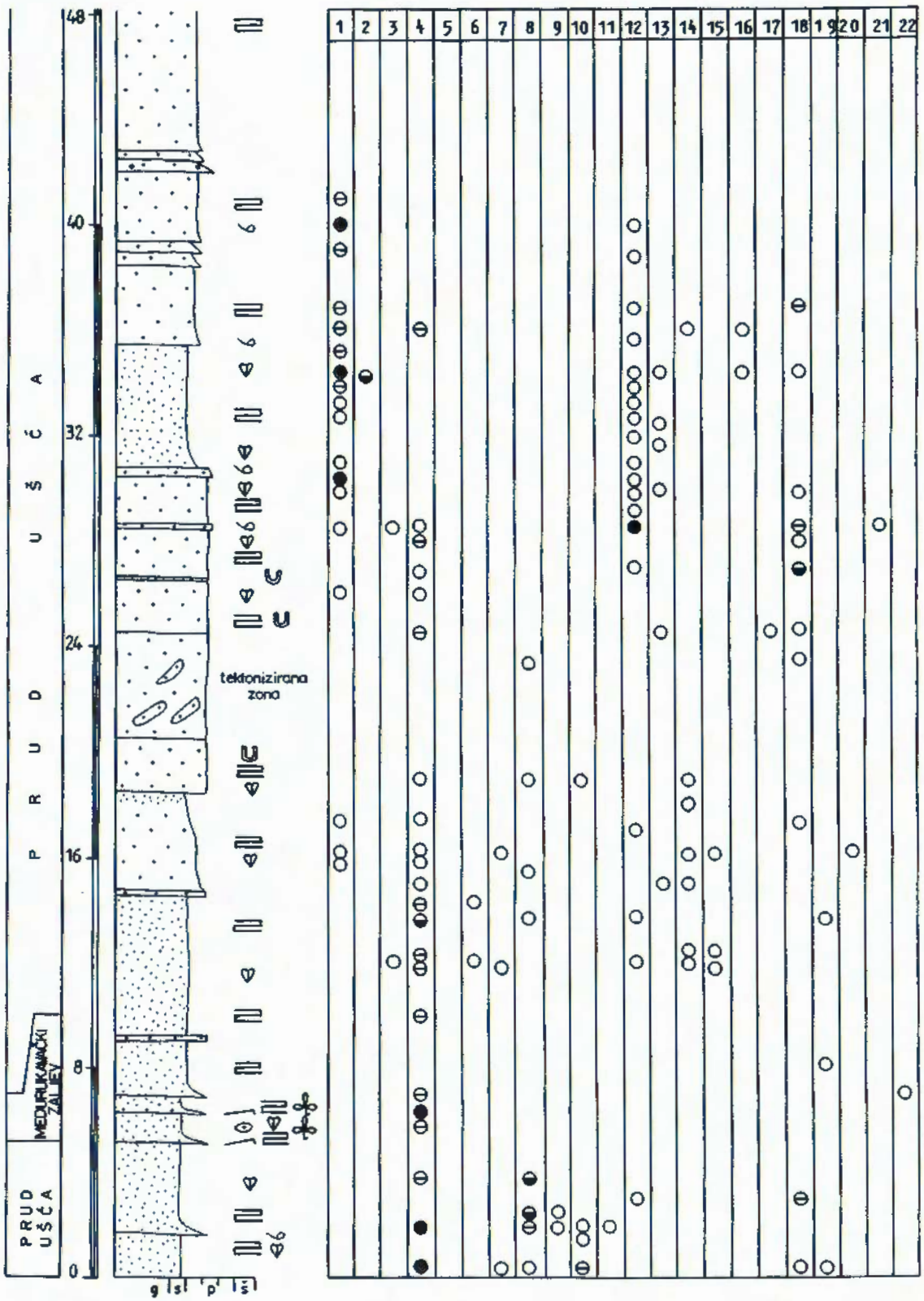
ZAJEDNICA FACIJESA B - KOSO LAMINIRANI PIJESCI, RAVNO LAMINIRANI PIJESCI I SILTOVI

Ova zajednica dolazi u donjem dijelu stupa i zauzima 2% slijeda. Zajednica je predstavljena s dva ciklusa, koji imaju slijedeću vertikalnu građu: koso laminirani pijesci, ravno laminirani pijesci, "tamni" siltovi. Koso

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



Sl. 1. Geološki stup gornjopontskih sedimenata kod Huma Zabočkog. Legenda: 1) glina, 2) silt, 3) pijesak, 4) valutice šljunka, 5) paralelna laminacija, 6) planarna kosa laminacija, 7) koritna kosa laminacija, 8) konkrecije, 9) bioturbacije, 10) brakična makrofauna, 11) flora, 12) fragmenti makrofaune.


PRUD UŠĆA
MEĐURUKAVAČKI ZALJEV
PRUD UŠĆA
48
40
32
24
16
8
0
tektonizirana zona
g s p s
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
LEGENDA
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
pojava faune: pojedinačno rijetko često vrlo često

laminirani pijesci dolaze u bazi ciklusa i grade setove debljine do 5 cm. Kose lamine su asimetrične i milimetarskih debljina. Pijesci su sitnozrnati i vrlo dobro sortirani. Mjerenjem položaja kosih lamina dobiven je paleotransport prema jugozapadu. Ravno laminirani pijesci dolaze na koso laminiranim pijescima. Lamine su milimetarskih debljina. Pijesci su sitnozrnati i siltozni. Sortiranost je dobra. Siltovi dolaze u vrhovima ciklusa. Masivni su i tamnosive do tamnosmeđe boje. Sadrže kaspibrakičnu makrofaunu i obilje usitnjenog karboniziranog materijala biljnog podrijetla.

Interpretacija. Koso laminirani pijesci taloženi su vučnim procesima odnosno migracijom strujnih riplova. Ravno laminirani pijesci odlagani su iz suspenzije iz oslabljenog toka. Siltovi su taloženi iz suspenzije u mirnoj i vegetiranoj sredini. Zajednica facijesa navedenih osobina upućuje na probojnu naplavinu (crevasse splay) kao taložnu sredinu, koja se formirala u međurukavačkom prostoru delte, kada je nabujala voda bogata materijalom probila prirodni nasip distribucijskog kanala.

ZAJEDNICA FACIJESA C - KORITNO KOSO LAMINIRANI ŠLJUNKOVITI PIJESCI I GLINOVITI SILTOVI

Zajednica facijesa C zauzima samo 1% naslaga i javlja se u središnjem dijelu slijeda. Pijesci dolaze u bazi zajednice. Imaju izraženu koritnu kosu laminaciju. Korita su debljine do 25 cm i širine do 120 cm. Pijesci su klastpotporni, krupnozrnati i granulasti do sitnošljunkoviti. Mjestimično se u pijescima javljaju intraklasti silta. Sortiranost je dobra. Glinoviti siltovi dolaze na pijescima u jednom sloju koji ima masivnu građu. Tamnosive su do gotovo crne boje, jer sadrže obilje usitnjene karbonizirane flore.

Interpretacija. Koritno koso laminirani šljunkoviti pijesci su facijes s najkrupnijim zrnima u cijelom slijedu naslaga, što upućuje na taloženje iz brzih struja. Koritna kosa laminacija sugerira kretanje vučnih formi dna. Prema hidrodinamskim osobinama procesa taloženja i podjeli facijesa u delti, te položaju ovog facijesa u slijedu, može se zaključiti da su koritno koso laminirani šljunkoviti pijesci sedimenti distributivnog kanala. Glinoviti siltovi su taloženi iz suspenzije u vrlo mirnom i vegetiranom okolišu, na što upućuje njihova masivnost i obilje karbonizirane flore. Kako glinoviti siltovi leže izravno na pijescima distributivnog kanala, može se konstatirati da pripadaju okolišu napuštenog distributivnog kanala.

SASTAV MAKROFOSILNIH ZAJEDNICA

U sedimentima o kojima je ovdje riječ, česti su nalazi ljuštura fosilnih mekušaca samo u prvih 41 m slijeda, dok je u preostalih 59.5 m makrofauna nedostatno sačuvana i izuzetno rijetka.

Najstariji dijelovi slijeda do 24.5 m mogu se uvjetno pribrojiti gornjopontskim "rhomboidea naslagama". Od tipičnih predstavnika ovog biofacijesa osim vrste *Congeria rhomboidea rhomboidea* M.HOERN., nađene su i *C. croatica* (BRUS.), *C. zagrabiensis* (BRUS.), *Dreissena rossii* (BRUS.), izuzetno česta *D. auricularis* (FUCHS) zajedno s bliskim srodnikom *D. batinensis* BASCH, zatim *Limnocardium* (*Podravinicardium*) *diprosopum* (BRUS.), *Paradacna okrugici* (BRUS.) i *Pisidium krambergeri* BRUS. Od vrsta koje su također ovdje prisutne, a da pri tome nisu tipični oblici ovog biofacijesa, nađene su *Congeria balatonica* PARTSCH, *C. brandenburgi* (BRUS.), *C. triangularis triangularis* (PARTSCH), *Dreissenomya (Sinucongeria) aperta* (DESH.), *Limnocardium (Limnocardium) secans* (FUCHS) i *L. scabriusculum* (FUCHS). Za sedimente ovog dijela slijeda karakteristično je da su do 14.5 m izgrađeni pretežno od siltova, dok su gornji, pjeskoviti dijelovi, povećanjem utjecaja riječnog toka jače oslađeni i zbog toga okarakterizirani prisutnošću oblika roda *Melanopsis (M. decollata decollata* STOL.). Budući da se tipični biofacijes s *Congeria rhomboidea* svojim litološkim i paleontološkim karakteristikama smatra bazenskim, to je on ovdje do određene mjere promijenjen. Pod utjecajem riječnih tokova i, s tim u vezi, postupnih promjena životnog okoliša, djelomično je narušen i sastav zajednice organizama u koji sada ulaze i za nju atipični oblici. To je, zapravo, i temeljni razlog da je naziv spomenutog biofacijesa ovdje shvaćen uvjetno, jer ustvari predstavlja prijelazni facijes prema sedimentima i zajednici fosilnih organizama koji izgrađuju neposredno mlađi dio slijeda.

Sedimenti istraživanog slijeda koji leže između 24.5 i 41 m pripadaju gornjopontskom biofacijesu s *Congeria balatonica* PARTSCH. Osim ove, u tom dijelu slijeda česte vrste, nađene su još *C. triangularis triangularis* PARTSCH, *Dreissena auricularis* (FUCHS), *Dreissenomya* (*Sinucongeria*) *aperta* (DESH.), *Limnocardium* (*Limnocardium*) *secans* (FUCHS), *L.* (*Pannonicardium*) *penslii* (FUCHS), *L. scabriusculum* (FUCHS), *Pseudocatillus simplex* (FUCHS) i *Plagiodacna auingeri* (FUCHS). Od gastropoda izuzetno je česta *Melanopsis decollata decollata STOL.*, zatim *M. cylindrica cylindrica* STOL. i *Gyraulus* (*Gyraulus*) *inornatus* (BRUS.). Sedimenti dijela slijeda u kojima je nađena navedena fauna nastali su pod pojačanim utjecajem slatkih voda, na što ukazuje masovna pojava jedinki roda *Melanopsis*. Sve vrste fosilnih mekušaca nadene u ovom dijelu profila podudaraju se, bez izuzetka, s makrofosilnom zajednicom tzv. "radmaneškog facijesa", koja je sakupljena na klasičnom lokalitetu Radmanesti u Rumunjskoj (GILLET & MARINESCU, 1971).

Iz najmladih, gotovo potpuno azoičnih dijelova slijeda iznad 41 m određen je gastropod *Melanopsis cylindrica cylindrica* STOL., dok su fragmentarno sačuvane ljušture stenohalinih školjkaša potporodice Limnocardiinae, iako izuzetno rijetke, veoma značajne kao

sigurni pokazatelji brakičnog karaktera vode i, s tim u svezi, još uvijek pontske starosti sedimenata u kojima su nađeni.

Navedena makrofauna dokazuje gornjopontsku starost naslaga.

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Naslage istražene kod Huma Zabočkog su gornjopontske starosti (gornji miocen). Strukturno pripadaju sjevernom krilu tzv. konjščinske sinklinale. Taložene su u okolišu delte. Prevladavaju facijesi pruda ušća, gradeni od više ciklusa usitnjavanja zrna prema gore. Pokazuju izrazito prevladavanje ravne laminacije, dok su pojave kose laminacije i valnih riplova, kao posljedice prerade sedimenata priobalnim jezerskim procesima, vrlo rijetke. Navedene osobine pruda ušća jasno ukazuju da je delta bila pod dominacijom rijeke (GALLOWAY, 1975).

Građa zajednica facijesa i njihov vertikalni slijed ukazivali bi da se radi o delti tipa pruda ušća. Ovakve delte su relativno dubljevodne, formiraju se na vegetiranim obalama niskog gradijenta, a u zaleđu imaju meandrirajuću rijeku s dobro razvijenim prirodnim nasipima (POSTMA, 1990).

Promatrajući slijed facijesa, može se uočiti nekoliko većih ciklusa pokrupnjavanja zrna prema gore. Ova pojava sugerira progradaciju delte prema bazenu, i s tim u svezi, postupnu promjenu makrofosilne zajednice od uvjetno shvaćenog biofacijesa s *Congeria rhomboidea*, preko biofacijesa s *Congeria balatonica*, do jednog gotovo azoičnog horizonta.

Općenito se može zaključiti da su organizmi nađeni u sedimentima istraženim kod Huma Zabočkog egzistirali u deltnim, odnosno plićim priobalnim i rubnim dijelovima tadašnjeg "kaspibrakičnog" jezera pod povremenim, a kasnije i permanentnim utjecajem tekućica.

LITERATURA

GALLOWAY, W.E. (1975): Processes framework for describing the morphology and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems.- In: BROUSSARD, M.L. (ed.): Deltas, Models for Exploration. 87-98, Houston Geological Society, Houston.

GILLET, S. & MARINESCU, F. (1971): La Faune Malacologique Pontienne de Radmanesti (Banat Roumain).- Mem. Inst. geol., 15, 1-78, Bucaresti.

POSTMA, G. (1990): Depositional architecture and facies of river and fan deltas - synthesis.- In: COLLELA, A. & PRIOR, D. (eds.): Coarse-Grained Deltas. Spec. Publ. int. Ass. Sediment., 10, 13-27.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	63 - 66	ZAGREB 1995

Usporedba litogenetskih jedinica i seizmičkih sekvencija

Goran **BEJDIĆ**

Ključne riječi: Seizmička sekvencija, litološki trend dijagram, pelit i psamit

Key words: Seismic sequence, Lithological trend-diagram, Pelite and psammite

Sažetak

U ovom radu proučavane su gornjomiocenske taložine lokaliteta na sjeveru Hrvatske. Interpretirani su seizmički profili kao i podaci koji se odnose na tri bušotine. Diskordancijama između refleksa (slojeva), određene su granice izdvojenih jedinica, tj. seizmičkih sekvencija. Označeno je pet (I-V) takvih jedinica, a predstavljene su profilima i prostornim prikazima. Upotrebljena je i litogenetska metoda koja se koristi karotažom u razlikovanju psamita od pelita, a sa ciljem konstrukcije litološkog trend-dijagrama, tj. izdvajanja litogenetskih jedinica. Ove su jedinice uspoređivane između bušotina sa seizmičkim sekvencijama.

Abstract

This paper is the study of Upper Miocene clastics in the northern part of Croatia. The Seismic profiles and three wells were investigated. The reflection terminations are the principal criteria for recognition of seismic sequence boundaries/seismic sequences. Five of them (I-V) were displayed by profiles and fish net. The analysis of lithological trend-diagram was obtained from well logs interpretation, used to distinguish between pelitic and psammitic rocks. The lithological trend-diagram of the three wells was constructed to recognise lithogenetic units. These units were compared with seismic sequences.

1. UVOD I METODE RADA

Dubinskim istraživanjem lokaliteta u Dravskoj potolini koji se nalazi na sjeveru Hrvatske, između Koprivnice i Hlebina te državne granice, tj. rijeke Drave na sjeveru (sl. 1), interpretirana je mreža seizmičkih profila, kao i podaci koji se odnose na bušotine KB -2, GaG-1 i Per-6.

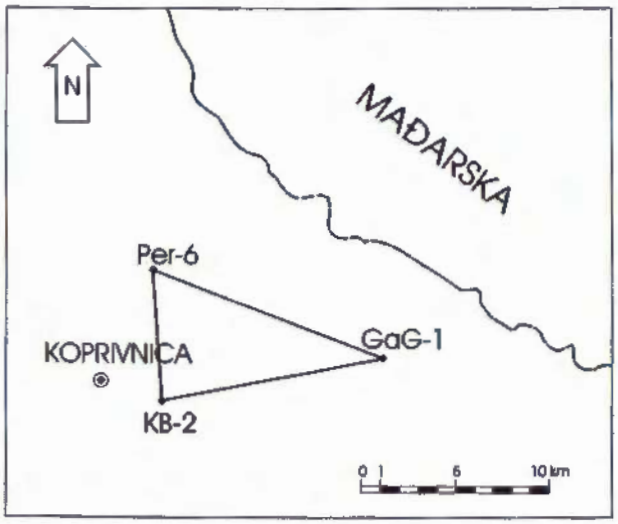
Neogenske i kvartarne naslage, na razmatranom području ali i šire, litološki su zastupljene pretežno klastičnim taložinama, a u gornjem miocenu prevladavaju pješčenjaci, siltiti i lapori.

Na seizmičkim profilima istražnog lokaliteta, ali i u bušotinama (BEJDIĆ, 1994), izdvojene su i interpretirane seizmičke sekvencije. Kako su osnovni interes ovog rada klastične taložine gornjeg miocena, kao bazna je odabrana regionalno prisutna diskordancija. Na svim profilima refleksijske seizmike u Dravskoj potolini ova se diskordancija lako prepoznaje i prati. Ona je označena kao sekvencijska granica A, a predstavlja hijatus između gornjeg miocena i starijih naslaga (uglavnom srednji miocen). Osim ove, definirano je još pet sekvencijskih granica koje su imenovane slovima (B, C, D, E, F), a seizmičke sekvencije određene njima rimskim brojevima (I, II, III, IV, V) i to redom od najstarije prema mlađima.

Nakon interpretacije profila i definiranja sekvencija, po sekvencijskim granicama su izrađene vremenske karte koje su digitalizirane, te su pomoću zakona brzina korištenog za svaku bušotinu napravljene karta brzina, te dubinske karte, iz kojih je pak nastao trodimenzionalni prikaz/fish net (sl. 2).

Konstrukcija litološkog trend-dijagrama (SZALAY & SZENTGYÖRGYI, 1988) osniva se na interpretaciji karotaže (mikrootpornost, prirodna radioaktivnost, spontani potencijal i dr.) koja razlikuje psamit od pelita. Prema autorima, crtanje se započinje od dna razmatranog kompleksa tako da vučemo ravnu crtu pod kutem od 45 stupnjeva u lijevo (ukoliko se sloj sastoji od pelita), ili pod istim kutom u desno (ako je sloj psamitski). Dužina crte određena je prividnom debljinom sloja zabilježenog na karotažnom dijagramu. Dakle, kada se ucrtaju svi slojevi izdvojeni karotažom, nastaje izlomljena crta koja predstavlja litološki trend-dijagram bušotine (sl. 3). Iako pojedini slojevi mogu biti vrlo tanki, prevladavajuću litologiju određuje prosječni nagib krivulje. Ako krivulja na većem intervalu ima smjer u lijevo, računajući od dubljeg prema plićem intervalu (sl. 3), to znači da u intervalu prevladavaju peliti. Ukoliko je smjer krivulje u desno prevladavaju psamiti. Spomenuti autori navode također da je važan i kut što ga trend-dijagram zatvara s okomicom. Kut od 45° u desno ukazuje na 100% psamita, manji kut u desno ukazuje da psamiti prevladavaju, dok vrlo mali kut (krajnji slučaj vertikalna crta) ukazuje na podjednak (isti) udio psamita i pelita. Prve dvije navedene

INA-Naftaplin, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.



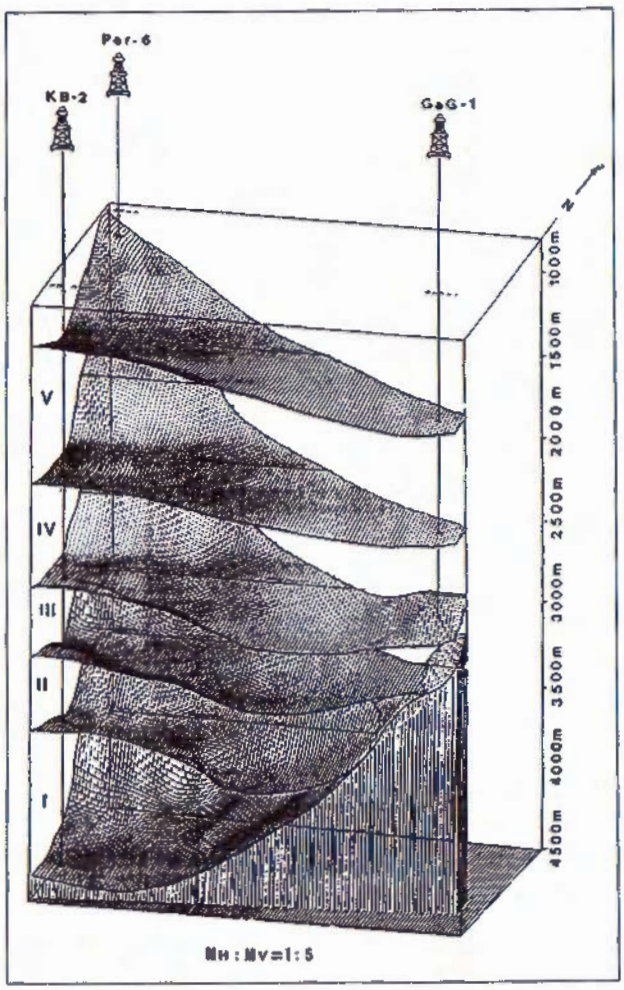
Slika 1. Indeks karta razmatranog područja.
Fig. 1. Location map.

mogućnosti, uz uvjet da je kut u lijevo, ukazuju na 100% pelita tj. prevladavanje pelita (sl. 3). Svih pet slučajeva mogu se pojaviti na litološkom trend-dijagramu bušotine, a vrlo često se pojedini slučajevi ponavljaju. Oštra promjena značenja trend-dijagrama, npr. prijelaz iz pelitskog intervala u psamitski, određuje granicu između litoloških intervala, a time i litogenetsku jedinicu. Korelacija među takvim jedinicama moguća je i na udaljenim bušotinama praćenjem jednog seizmičkog refleksa, što navodi na zaključak (SZALAY & SZENTGYÖRGYI, 1988) da su litogenetske jedinice vrlo blizu kronostratigrafskim.

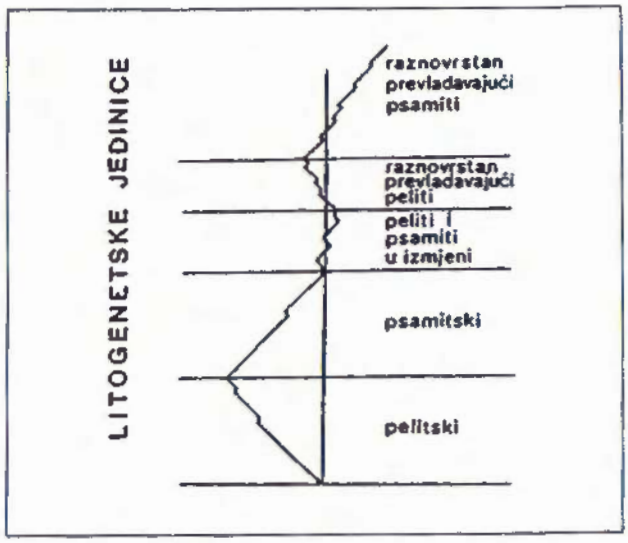
2. DISKUSIJA

U istočnoj Mađarskoj određene su litogenetske jedinice i to na osnovi litoloških trend-dijagrama. Gornji miocen i pliocen su izdvojeni kao panon. Raspravljajući o odnosu jedinica i seizmičkih sekvencija, HORVÁTH & POGÁCSÁS (1988) zaključuju da litogenetske jedinice ne predstavljaju kronostratigrafske ni biostratigrafske jedinice, ali su upotrebljive za praktične svrhe, kao npr. evoluciju bazena. U istom radu određena je i apsolutna starost pojedinim jedinicama (magnetski polaritet, radioaktivne metode). Na taj način je utvrđena i približna starost diskordancije između srednjeg miocena i panona - hijatus od jedan do nekoliko milijuna godina. U našem slučaju diskordancija između srednjeg i gornjeg miocena je označena kao granica A, a njena starost tj. hijatus trebao bi se utvrditi na sličan način.

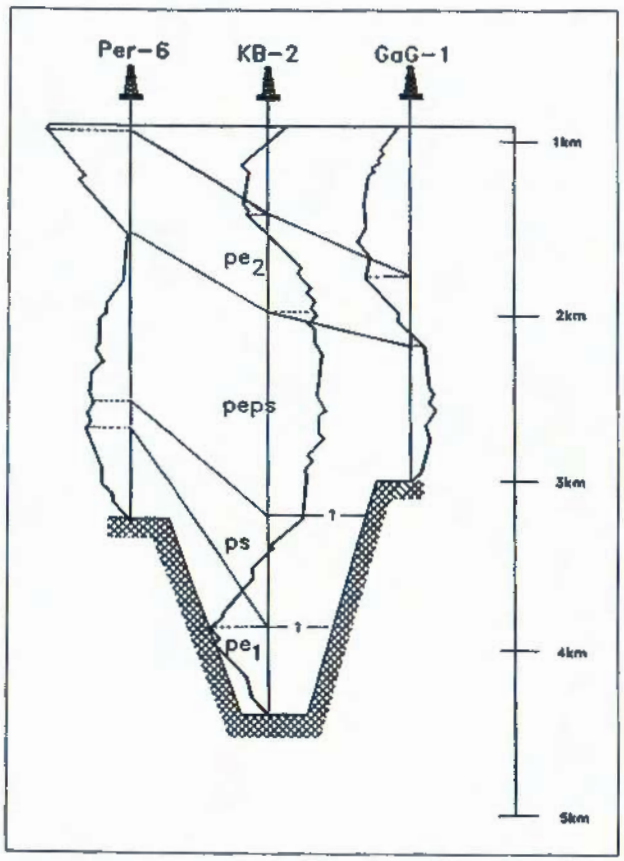
Za više bušotina na širem području interpretirani su litološki trend-dijagrami koji pokazuju veliku sličnost i određenu zakonitost, te je bušotine moguće međusobno usporediti. Što više, moguća je i usporedba sa trend-dijagramima bušotina mađarskih autora (SZALAY & SZENTGYÖRGYI, 1988). U ovom su radu predstavljena tri litološka trend-dijagrama (sl. 4).



Slika 2. Trodimenzionalni prikaz sekvencija.
Fig. 2. The seismic sequences Fish net.



Slika 3. Tipovi litoloških intervala na litološkom trend dijagramu.
Fig. 3. Types of lithologic intervals on a lithologic trend diagram. When the average slope of the lithologic trend is close to 45° the lithology is nearly 100% pelite or psammite. When the slope is between 45° and 90°, the lithology is mixed.



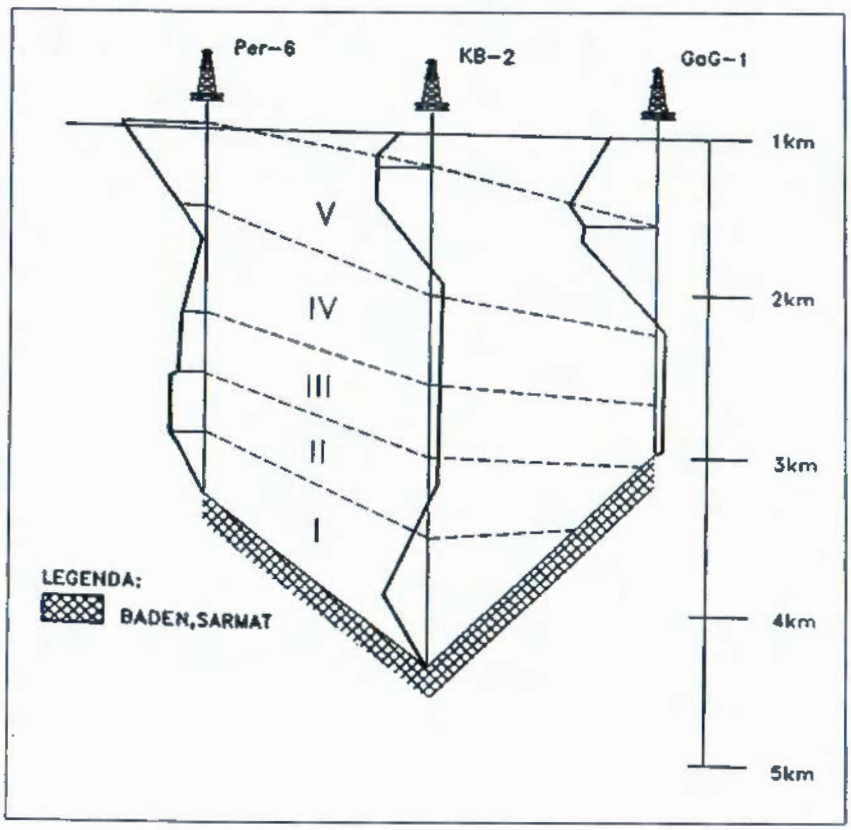
Slika 4. Litološki trend dijagrami i litogenetske jedinice: ps - prevladavajući psamiti; peps - izmjena psamita i pelita; pe1 i pe2 - prevladavajući peliti.

Fig. 4. Lithologic trend diagrams and lithogentic units: ps - predominantly psammitic; peps - pelitic and psammitic mixed, pe1 and pe2 - predominantly pelitic.

Prikazani trend-dijagrami konstruirani su počevši od krovine srednjeg miocena, a zaključno s 900 metara apsolutne dubine. Usporedbom je uočljivo da sve tri krivulje u svom vršnom dijelu imaju otklon ulijevo od osi bušotine, što predstavlja dominaciju pelita (pe2). Gledano na niže, sve tri krivulje paralelne su s osi bušotine što znači izmjena pelita i psamita (peps). U svojem donjem dijelu usporedive su samo krivulje bušotina Per-6 i KB-2. Na KB-2 ispod izmjene pelit-psamit, krivulja ima izrazito psamitski (ps), a na kraju pelitski karakter (pe1). Usporedimo li to s krivuljom na Per-6 moguće je prepoznati psamitski interval samo daleko slabije izražen (blaži nagib - slabija dominacija), što ukazuje na bočnu promjenu litofacijesa. Pelitski interval također nije toliko naglašen, ali je vizualno prepoznatljiv.

Za usporedbu među bušotinama neophodno je interpretirane intervale/litogenetske jedinice ugraditi u seizmičke sekvencije, kako bi se korelacija vršila u prostoru i vremenu.

Na slici 5 prikazani su shematizirani litološki trend-dijagrami analiziranih bušotina zajedno sa seizmičkim sekvencijama. Korelacijom litoloških trend-dijagrama, očigledna sličnost u nagibu krivulje dobiva jasnu dimenziju zakonitosti kada krivulje kalibriramo seizmičkim sekvencijama. U tom slučaju jasno je zbog čega postoje bitne razlike u donjem dijelu krivulje bušotina Per-6 i KB-2 prema bušotini GaG-1: razlog je u tome što sedimenti I i II sekvencije isklinjavaju na A sekvencijskoj granici. Isti je slučaj s dijelom naslaga III sekvencije. Taložine IV i V sekvencije prisutne su na sve tri bušotine.



Slika 5. Usporedba litoloških trend-dijagrama/litogenetskih jedinica i seizmičkih sekvencija.

Fig. 5. Comparation of lithologic trend diagrams/lithogenetic units and seismic sequences.

3. ZAKLJUČAK

Na odabranom istražnom lokalitetu Dravske potoline, a u stupu srednjeg miocena, izdvojeno je pet seizmičkih sekvencija.

Njihovi prikazi ukazuju da taložine prve, druge i dijela treće jedinice isklinjavaju, nedostaju na GaG-1, dakle u smjeru jugoistoka, na A sekvencijskoj granici. Ovo može upućivati da na cijelom razmatranom području nije bilo taloženja, dok su četvrta i peta jedinica prisutne na cijelom istražnom lokalitetu.

Na litološkim trend-dijagramima bušotina označene su litogenetske jedinice - p1, p2, ps, peps koje su se pokazale praktičnima za korelaciju bušotina na užim područjima/lokalitetima, istodobno i s izdvojenim seizmičkim sekvencijama.

4. LITERATURA

BEJDIĆ, G. (1994): Taložni modeli klastičnih naslaga gornjeg miocena u Dravskoj potolini.- Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 61p.

HORVATH, F. & POGACSAS, Gy. (1988): Contribution of Seismic reflection data to chronostratigraphy of the Pannonian basin.- In: ROYDEN, L.H. & HORVATH, F. (eds.): The Pannonian basin. A Study in Basin evolution, AAPG, Memoir 45, 96-106.

SZALAY, A. & SZENTGYÖRGYI, K. (1988): A Method for lithogenetic subdivision of Pannonian (s.l.) Sedimentary Rocks. In: ROYDEN, L.H. & HORVATH, F. (eds.): The Pannonian basin. A Study in Basin evolution, AAPG, Memoir 45, 89-96.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	67 - 70	ZAGREB 1995

Alpinski regionalnometamorfni kompleks Medvednice (sjeverozapadna Hrvatska)

Mirko **BELAK**[1], Jakob **PAMIĆ**[2], Tea **KOLAR-JURKOVŠEK**[3], Zoltan **PECKAY**[4] & Damir **KARAN**[5]

Ključne riječi: donjokredni metamorfizam, K/Ar starosti, stijene niskog stupnja metamorfizma, subdukcija, mlađi paleozoik, trijas, Medvednica, sjeverozapadna Hrvatska

Sažetak

U radu su prikazani novi mineraloški, petrološki i geokemijski podaci metamorfnih stijena koje izgrađuju glavni hrbat Medvednice i njezine južne obronke. K/Ar dobivene vrijednosti na metamorfnim stijenama dale su usaglašene starosti od 110 do 122 milijuna godina. Paleontološki podaci indiciraju starost protolitnih stijena gornjeg paleozoika, te srednjeg i gornjeg trijasa.

UVOD

Dugo je u svjetskoj geologiji vladalo mišljenje da su regionalnometamorfni kompleksi jako stari i da njihov postanak, naročito kada su asocirani s granitnim masama, treba vezati za generiranje drevne kontinentalne kore, tj. da su nastajali u prekambrijskim i paleozojskim Wilsonovim ciklusima. Razvitkom radiometrijskih metoda i njihovom uvođenjem u geologiju postupno se, u posljednih 20-30 godina, prikupila bogata izotopno-geološka faktografija, koja pokazuje da su se metamorfni procesi odigravali i u alpinskom Wilsonovom ciklusu. No i ti su se podaci najčešće objašnjavali tako da se radi o naknadnom metamorfizmu ("overprintu"), koji se odigrao na metamorfnom kompleksu nastalom u nekom već ranijem orogenetskom ciklusu. Tek pojavljivanjem novih geodinamskih ideja i kompleksnim sagledavanjem cjelokupnih geoloških procesa u određenom geotektonskom okolišu, procesi metamorfizma se razmatraju na novi način. Naime, u svakom orogenetskom ciklusu postoje uvjeti za odigravanje metamorfnih procesa u određenim, tektonski aktivnim oceanskim područjima, a naročito duž subdukcijskih zona. U područjima suvremenih subdukcijskih zona uzorkovane su recentne, odnosno gotovo recentne metamorfne stijene, što dokazuje da se one i danas stvaraju.

I u nas su se postupno mijenjale spoznaje o vremenu postanka metamorfnih kompleksa koje nalazimo u dodirnom području sjevernih Dinarida i Panonskog bazena. Ti su kompleksi bili dugo tretirani kao arhajski ili paleozojski, no bez ikakve paleontološke dokumentacije. A kad su se pojavili prvi radiometrijski podaci (DELEON, 1969) koji dokumentiraju da u nas postoje i alpinski metamorfni kompleksi, oni su bili minimizirani, a često nisu bili ni registrirani.

Radeći na geološkom kartiranju i drugim znanstveno-istraživačkim projektima, naročito za potrebe INA-Naftaplina u posljednjih nekoliko godina, sakupili smo egzaktne analitičke podatke koji dokumentiraju da su neki metamorfni kompleksi dodirnog područja sjevernih Dinarida i Panonskog bazena nastali u toku alpinskog Wilsonovog ciklusa. Mi ćemo to dokumentirati s novim podacima o donjokrednim metamorfitima Medvednice, koji pokazuju da su procesi metamorfizma na Medvednici vezani za snažne orogenetske procese koji su se odigrali u donjoj kredi.

DONJOKREDNI NISKOMETAMORFNI KOMPLEKS MEDVEDNICE

Donjokredne metamorfne stijene utvrđene su unutar metamorfnog kompleksa s grinšistima Medvednice, koji se rasprostire glavnim grebenom te jugoistočnim i manjim dijelom sjeverozapadnim obroncima Medvednice.

U istraživanom metamorfnom kompleksu Medvednice izdvojene su dosad slijedeće jedinice: **Vidovec, Stari potok, Sljeme, Medvešćak i Bliznec.**

Vidovec jedinica je izdvojena na temelju podataka dobivenim na uzorcima iz potoka Vidovec, Markuševec (donji tokovi) i Bačun, na jugoistočnim padinama

[1]Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb,Hrvatska.
[2]HAZU, Kovačićeva 7, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[3]Geološki zavod Ljubljana - IGGG, Dimičeva 14, 61000 Ljubljana, Slovenija.
[4]Institute of Nuclear Research, Bem Ter 18/c, H-4001 Debrecen, Hungary.
[5]INA-Naftaplin, Šubičeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.

Zagrebačke gore. U ovoj jedinici izdvojene su u konkordantnom slijedu tri litološke zajednice: a) crni metapeliti, slejt-filiti i sitnozrnati metapsamiti; b) mramorni škriljavci i mramorizirani vapnenci i c) metadijabazi. Na temelju fosilnog sadržaja dijelovi ove formacije pripadaju mlađem paleozoiku, najvjerojatnije rasponu srednji karbon-donji perm (BELAK et al., 1995). Prema terenskim odnosima može se pretpostaviti da su dijabazne žile post-donjopermske starosti.

Svi izdvojeni litofacijesi Vidovec jedinice su metamorfozirani jedinstvenim regionalnim dinamotermalnim metamorfizmom pri nižim dijelovima niskog stupnja i odgovaraju aktinolit-klorit-albitnoj zoni.

Stari potok jedinica izdvojena je na temelju podataka dobivenih na uzorcima sakupljenim u izvorišnom dijelu Starog potoka, potoka Bistre kod Francuskih rudnika, te na južnim padinama Brestovca.

Podina Stari potok jedinice nije utvrđena, a krovina je Sljeme jedinica. Pretpostavljena starost Stari potok jedinice je donji trijas, a njeni vršni dijelovi vjerojatno pripadaju srednjem trijasu.

Stari potok formacija sastoji se od tri člana.

a) Brestovac član s metakonglomeratima, kloritmuskovit kvarciticnim škriljavcima, magnetit-kloritoidklorit-muskovitnim škriljavcima, klorit-kvarcmuskovit-kloritoidnim škriljavcima i slejt-filitima.

b) Mrzlak član s magnetit-kvarcitičnim škriljavcima, stilpnomelan-kvarcitičnim škriljavcima, stilpnomelan-magnetitnim škriljavcima i kloritskim škriljavcima.

c) Francuski rudnici član s mramoriziranim (dolomitiziranim) vapnencima i mramoriziranim dolomitima koji su mjestimično orudnjeni galenitom i sfaleritom, te u vršnim dijelovima mramoriziranim dolomitima, koji se proslojavaju s kloritskim škriljavcima, deriviranim iz tufa i tufita.

Iz stijena ove jedinice, na tri izdvojene frakcije sinkinematskog muskovita (s kvarcom) dobivene su K/Ar starosti od 122 do 115 milijuna godina (tablica 1), što indicira da su se metamorfne promjene odigrale u donjoj kredi.

Po navedenoj mineralnoj asocijaciji može se zaključiti da je Stari potok jedinica nastala regionalnim dinamotermalnim metamorfizmom pri niskom stupnju metamorfizma. Jedna od metamorfnih reakcija je: hematit + Fe bogati klorit = kloritoid + magnetit + kvarc + H_2O,

koja vjerojatno uzrokuje nestajanje crvene boje u filitima u nižoj biotitnoj zoni (WINKLER, 1974).

Sljeme jedinica izdvojena je na temelju snimljenog geološkog profila u neposrednoj blizini planinarskog doma Runolist. Podina Sljeme jedinice je Stari potok jedinica, a krovina Medvešćak jedinica, koja je ujedno i u lateralnom odnosu sa Sljeme jedinicom. Pretpostavlja se srednjotrijaska starost protolitnih stijena.

U Sljeme jedinici najučestaliji su zeleni ortoškriljavci slijedećeg mineralnog sastava: albit, aktinolit, ±klinopiroksen, epidot, klinocoizit, klorit ± stilpnomelan ± biotit i kvarc. Sporedno ima opâkog minerala i apatita, a sekundarni su kalcit i kvarc. Također se u Sljeme jedinici izdvajaju kloritski škriljavci, kvarc-klorit-muskovitni škriljavc i kvarcitični škriljavci.

Uzorci	K_2O	^{40}Ar rad	^{40}Ar rad(mol/g)	Age
M-1	4.738	81.2	$8.6571x10^{-10}$	122.8 ± 4.7Ma
M-2	2.641	85.4	$4.5333x10^{-10}$	115.6 ± 4.4Ma
M-3	2.171	84.3	$3.7257x10^{-10}$	115.5 ± 4.4Ma
M-4	1.049	65.9	$1.87744x10^{-10}$	120.0 ± 4.0Ma
M-5	2.261	85	$3.95502x10^{-10}$	117.6 ± 4.0Ma

Tablica 1 K/Ar izotopne analize. Legenda: M-1 muskovit-kloritoidni škriljavac, M-2 kloritoid-muskovitni škriljavac, M-3 muskovit-kvarcitični škriljavac, M-4 zeleni ortoškriljavac i M-5 zeleni škriljavac. Uzorak zelenog ortoškriljavca starosti od 110 Ma nije u tablici (zbog nedobivenih izotopnih vrijednosti Ar).

Na dva uzorka zelenih ortoškriljavaca dobivene su K/Ar starosti 110 i 120 milijuna godina, što u kronostratigrafskoj skali odgovara donjoj kredi.

Na temelju metamorfne mineralne parageneze može se zaključiti da su stijene Sljeme jedinice metamorfozirane regionalnim dinamotermalnim metamorfizmom pri niskom stupnju metamorfizma nižih temperaturnih dijelova i pripadaju albit-aktinolit-kloritnoj metamorfnoj zoni.

Medvešćak jedinica je izdvojena snimanjem geoloških profila u potocima Bliznec, Pustodol i Medvešćak. Podina Medvešćak jedinice je Sljeme jedinica, koja je ujedno i bočni ekvivalent jedinice, a krovina joj je Bliznec jedinica.

Medvešćak jedinica se može podijeliti na slijedeće članove:

a) Adolfovac član karakteriziraju mramori koji se izmijenjuju sa zelenim škriljavcima.

b) Pustodol član zastupan je mramornim škriljavcima, mramoriziranim vapnencima, mramoriziranim dolomitima, i karbonatnim metakonglomeratima.

U pojedinim uzorcima su nađene konodonte koje ukazuju na srednjotrijasku starost stijena. Na jednom uzorku zelenog škriljavaca Adolfovca dobivena je K/Ar starost od 117.6 milijuna godina.

Metamorfna mineralna parageneza jedinice je kalcit + dolomit + paragonit + muskovit + klorit + kvarc + albit. Iako svi navedeni minerali imaju širok temperaturni raspon, međusobna mineralna asocijacija ukazuje na niski stupanj metamorfizma.

Bliznec jedinicu čine dva člana: Vila Rebar član i Risnjak član. Podina Bliznec jedinice je Medvešćak jedinica, a u krovini dolaze sedimenti gornje krede.

U nižim dijelovima Vila Rebar člana izdvajaju se kalcitni slejt-filiti, kalcitni metasiltiti i siltozni rekristalizirani biomikriti. U središnjem i gornjem dijelu jedinice karbonatna komponenta nestaje, a javljaju se crni metapeliti, slejt-filiti i podređeno sitnozrnati metapsamiti.

Risnjak član je zastupan tamnosivim metapelitima i metapsamitima.

U pojedinim uzorcima rekristaliziranih siltoznih vapnenaca nađeni su fragmenti bodljikaša i konodonte *Neogondolella foliata* (BUDUROV) i *Neogondolella polygnathiformis* (BUDUROV & STEFANOV) koje ukazuju na gornji dio ladinika - donji dio karnika.

Geokemijskom ispitivanju podvrgnuto je pet uzoraka. U uzorcima je određen sadržaj ukupne organske tvari, čije su vrijednosti u rasponu od 0.26 do 0.97%. Termički alteracijski indeks pokazuje vrijednosti veće od 4, što konvertirano na refleksiju vitrinita iznosi >2.5 Ro. Dobivene vrijednosti indiciraju na visoku termičku izmijenjenost organske tvari, a također na to upućuje potpuna odsutnost fluorescencije. To indicira da je organska tvar zahvaćena vrlo niskim ili niskim stupnjem metamorfizma, odnosno da se radi o metaantracitu, semigrafitu ili grafitu (FREY, 1986). Budući da rendgenski nije determiniran grafit, vrlo vjerojatno da se radi o semigrafitu.

Mineralna parageneza litoloških varijeteta u Bliznec jedinici je: kalcit, kvarc, muskovit (+ ilit?), paragonit, klorit i albit, te metamorfozirana organska tvar (semigrafit?). Preliminarne vrijednosti Küblerova indeksa (IC) se kreću od 0.15 do 0.17 (2Q), te Weaverova indeksa ($H_{10.0Å}/h_{10.5Å}$), od 20.3 do 15.4, a dobivene vrijednosti ukazuju na epizonu (KÜBLER, 1968, 1975). Na temelju navedenog može se zaključiti da su stijene Bliznec jedinice nastale regionalnim dinamotermalnim metamorfizmom niskog stupnja metamorfizma.

DISKUSIJA

Prikazani analitički podaci pokazuju da je potrebno prići temeljitoj geološko-petrološkoj reintrepretaciji metamorfnog kompleksa Medvednice. Jasno, daleko smo od potpune i koherentne reintrepretacije koju znatno otežava polažaj same Medvednice u današnjem strukturnom planu, jer je on uglavnom uvjetovan tercijarnom evolucijom Panonskog bazena i mladim neotektonskim pokretima, što maskira primarne odnose između glavnih litofacijesnih kompleksa. Za definitivnu reinterpretaciju svakako treba još dodatne analitike, naročito paleontološke za potpunije stratigrafsko definiranje protolita, te raznovrsnije radiometrijske za daljnje provjeravanje dobivenih izotopno-geoloških starosti.

Dosad prikupljena faktografija potkrepljuje mišljenje da geodinamsku evoluciju metamorfnog kompleksa Medvednice treba vezati za neku raniju orogenetsku fazu alpinskog Wilsonovog ciklusa.

U tom razmatranju imamo dvije uporišne točke: a) donjokrednu, međusobno dobro usuglašenu starost metamorfizma, koja je određena na sigurnim sinkinematskim tinjcima i b) još uvijek nedovoljno dokumentiranu srednjotijasku i gornjotrijasku starost protolitnih stijena. Očito je da je protolit medvedničkih metamorfita morao primarno predstavljati neku vulkanogeno-sedimentnu formaciju izgrađenu pretežno od šejlova, pješčenjaka, vapnenaca i rožnjaka interstratificiranih s većim masama bazalta i tufova. Činjenica je da takve srednjotrijaske i gornjotrijaske vulkanogeno-sedimentne formacije srećemo dosta često u Dinaridima, u područjima razvoja trijaskih naslaga (PAMIĆ, 1982), što već daje određene korelativne elemente. Primjerice, ladiničko-gornjotrijaska vulkanogeno-sedimentna formacija šireg područja Ključa (PAMIĆ & VRHOVČIĆ, 1979), po svom litološkom sastavu predstavljala bi idealan protolit za metamorfni kompleks Medvednice! Dakle, neki takav srednjotrijaski do gornjotrijaski vulkanogeno-sedimentni kompleks mogao je biti zahvaćen donjokrednim orogenetskim i metamorfnim procesima i dati metamorfni kompleks poput medvedničkog. No paleontološki podaci za Vidovec jedinicu pokazuju da su donjokrednim metamorfizmom bile zahvaćene i stijene mlađeg paleozoika.

Sâm metamorfizam se ne može objašnjavati bez zadebljavanja kore, odnosno bez povećanog tlaka i povećanih geotermalnih gradijenata! Potrebno zadebljavanje kore može se objasniti kompresijom i velikim navlačnim procesima odnosno orogenezom, kako se danas najčešće i tumače procesi metamorfizma u području susjednih Alpa (MARTINOTTI & HUNZIKER, 1984 i drugi), odnosno postojanjem subdukcijske zone iz koje bi se mogao izvoditi energetski fluks potreban za objašnjenje postanka regionalnometamorfnog kompleksa.

Dakle, donjokredna subdukcija, odnosno orogenetska faza morala je dovesti do bitnih tektonskih promjena i do stvaranja velikih navlačnih struktura i znatnog zadebljanja kore, sa čime su stvoreni preduvjeti za odigravanje sinkinematskog metamorfizma. Prisustvo ofiolitnih stijena na Medvednici može se uzeti kao indikator subdukcijskih procesa. Opće je poznato, i uglavnom prihvaćeno mišljenje da se krajem jure i početkom krede događala u globalnom planu velika reorganizacija u rasporedu ploča (DERCOURT et al., 1986), što je moglo u određenim područjima dovesti do orogenetskih procesa.

Ova je interpretacija usklađena s novijim tumačenjima metamorfizma u Alpama, gdje je na temelju bogate radiometrijske dokumentacije zaključeno da su se maksimalne metamorfne promjene odigravale pred cca 110 milijuna godina (HUNZIKER et al., 1989) kao rezultat orogenetskih pokreta koji su uzrokovali penetrativne deformacije, formiranje navlaka i izdizanje. Ti autori su mišljenja da je intenzitet tih donjokrednih (eoalpinskih) pokreta morao biti čak mnogo veći negoli kasnijih tercijarnih faza. Iznesena interpretacija medvedničkog metamorfnog kompleksa je usuglašena s mišljenjem Šimunića (ŠIMUNIĆ, 1992), koji je na osnovi rezultata geološkog kartiranja utvrdio da su se u donjoj kredi šireg područja Medvednice odigravali veoma snažni tektonski pokreti.

LITERATURA

BELAK, M., SREMAC, J., CRNKO, J. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. (1995): Paleozojske stijene niskog stupnja metamorfizma na jugoistočnoj strani Medvednice (sjeverozapadna Hrvatska).- 1. hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, 1, 71-74, Zagreb.

DELEON, G. (1969): Pregled rezultata određivanja apsolutne starosti granitoidnih stijena u Jugoslaviji.- Rad. Ins. Geol. Rud. Istraž. Ispit. Nukl. Sirovina, 6, 165-182.

DERCOURT, J., ZONENSHAIN, L.P., RICOU, E.L., KAZMIN, V.G., LE PICHON, X., KNIPPER, A.L., GRANDJACQUET, G., SBORTCHIKOV, I.M., GEYSSANT, J., LEPVRIER, C., PECHERSKY, D.H., BOULIN, J., SIBUET, J.C., SAVOSTIN, L.A., SOROKHTIN, O., WESTPHAL, M., BAZHENOV, M.L., LAUER, J.P. & BIJU-DUVAL, B. (1986): Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias.- Tectonophysics, 123, 241-315.

FREY, M. (1986): Very low-grade metamorphism of the Alps - an introduction.- Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 66, 13-27.

HUNZIKER, J.C., DESMONS, J. & MARTINOTTI, G. (1989): Alpine thermal evolution in the central and the western Alps.- Alpine Tectonics, Geological society Special Publication, 45, 353-367.

KÜBLER, B. (1968): Evaluation quantitative de metamorphisme par la cristalinite de l' illite.- Bull. Centre rech. Pau - S.N.P.A., 2, 385-397.

KÜBLER, B. (1975): Diagenese - anchimetamorphisme et metamorphisme.- Inst. nat. de la rech. sci. Petrole, Quebec.

MARTINOTTI, G. & HUNZIKER, J.C. (1984): The Austro-Alpine system in the western Alps: a review.- Memorie della Societa Geologica Italiana, 29, 233-50.

PAMIĆ, J. (1982): Trijaski magmatizam Dinarida.- Nafta, Zagreb.

PAMIĆ, J. & VRHOVČIĆ, J. (1979): Geološko-petrološke karakteristike ladiničke i karničko-noričke vulkanogeno-sedimentne formacije iz okolice Ključa (Bosna).- Ves. Zav. geol. geofiz. istr., 37, 123-134.

ŠIMUNIĆ, A. (1992): Geološki odnosi središnjeg dijela hrvatskog zagorja.- Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 193 pp.

WINKLER, H.G.F. (1974): Petrogenesis of metamorphic rocks.- Springer Verlag, Berlin.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	71 - 74	ZAGREB 1995

Paleozojske stijene niskog stupnja metamorfizma na jugoistočnoj strani Medvednice (sjeverozapadna Hrvatska)

Mirko **BELAK**[1], Jasenka **SREMAC**[2], Josip **CRNKO**[1] & Tea **KOLAR-JURKOVŠEK**[3]

Ključne riječi: litološke zajednice, fosili gornjeg paleozoika, alpski metamorfizam, stijene niskog stupnja metamor-fizma, Medvednica, sjeverozapadna Hrvatska,

Sažetak

Na temelju snimljenih geoloških profila, na jugoistočnoj strani Medvednice u području potoka Vidovec izdvojene su tri litološke zajednice:

1. Litološka zajednica crnih metapelita, crnih slejt-filita i crnih sitnozrnatih metapsamita.

2. Litološka zajednica mramornih škriljavaca i mramoriziranih vapnenaca.

3. Litološka zajednica metadijabaza.

U donjim dijelovima geoloških profila dominiraju crni metapeliti i slejt-filiti s manjim proslojcima crnih metapsamita. Fosili u ovim stijenama nisu nađeni. Konkordantno na ove stijene slijede mramorni škriljavci i mramorizirani vapnenci. U pojedinim uzorcima ovih stijena nađeni su rekristalizirani fosili, među kojima su najčešći fragmenti bodljikaša i vapnenačkih algi, uz rijetke foraminifere, spužve i konodonte. Sastav fosilne zajednice upućuje na gornjopaleozojsku starost ovih stijena.

Paralelno slojevitosti u crnim metapelitima i mramoriziranim vapnencima dolaze metadijabazne žice s kontaktnim metamorfizmom.

Sve izdvojene litološke zajednice su metamorfozirane jedinstvenim regionalnim dinamotermalnim metamorfizmom pri nižim dijelovima niskog stupnja metamorfizma, tj. klinocoisit-klorit-albitnoj metamorfnoj zoni. Pretpostavljeno vrijeme metamorfizma je jura-donja kreda.

UVOD

O starosti niskometamorfnih stijena Medvednice postoje različita mišljenja. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1907, 1908) je odvojio zelene škriljavce glavnog trupa, zajedno s "bljesnicima" i filitima kao predkarbonske tvorevine, od okolnih brusilovaca i vapnenaca koje je svrstao u karbon. MIHOLIĆ (1958) je na dva uzorka zelenih škriljavaca odredio U/Pb metodom izotopnu starost od 790 i 750 miliona godina, što u kronostratigrafskoj skali odgovara predkambriju. MARIĆ (1959) daje petrološki prikaz zelenih škriljavaca Medvednice i smatra da su produkt metamorfizma gabro-dijabaznih stijena koji se odigrao u "ranom alpskom paroksizmu".

CRNKOVIĆ (1963) smatra da zeleni škriljavci Medvednice prestavljaju jedinstvenu stratigrafsku cijelinu i veže ih za određene sedimentacijsko-magmatske procese unutar staropaleozojske geosinklinale. ĐURĐANOVIĆ (1973) na temelju analiza konodonta određuje veliki stratigrafski raspon od donjeg devona do gornjeg trijasa u kristalastim vapnencima i škriljavim pelitima. ŠIKIĆ et al. (1979) iznose mišljenje da su sve metamorfne stijene Medvednice, devonsko-karbonske(?) starosti. KOCHANSKY-DEVIDÉ (1981) u mramoriziranim vapnencima kod Markuševca indicira karbonsku starost. SREMAC & MIHAJLOVIĆ-PAVLOVIĆ (1983) su odredili silurske graptolite u crnim metapelitima, na desnim padinama Čučerskog potoka. DEVIDÉ-NEDELA & KOCHANSKY-DEVIDÉ (1990) na sjeverozapadnim padinama Medvednice u Slanom potoku, na sekundarnom bloku vapnenca, određuju permsku starost.

Od 1992. godine započeli su radovi na Medvednici u okviru projekta izrade geološke karte Republike Hrvatske 1:50.000. U tim radovima, po prvi puta su K-Ar mjerenja obavljena na tri uzorka parametamorfnih škriljavaca i tri uzorka zelenih ortoškriljavaca. Dobivene izotopne analize dokumentiraju njihovu donjokrednu metamorfnu starost, a vrijednosti se kreću od 110 Ma do 122 Ma.

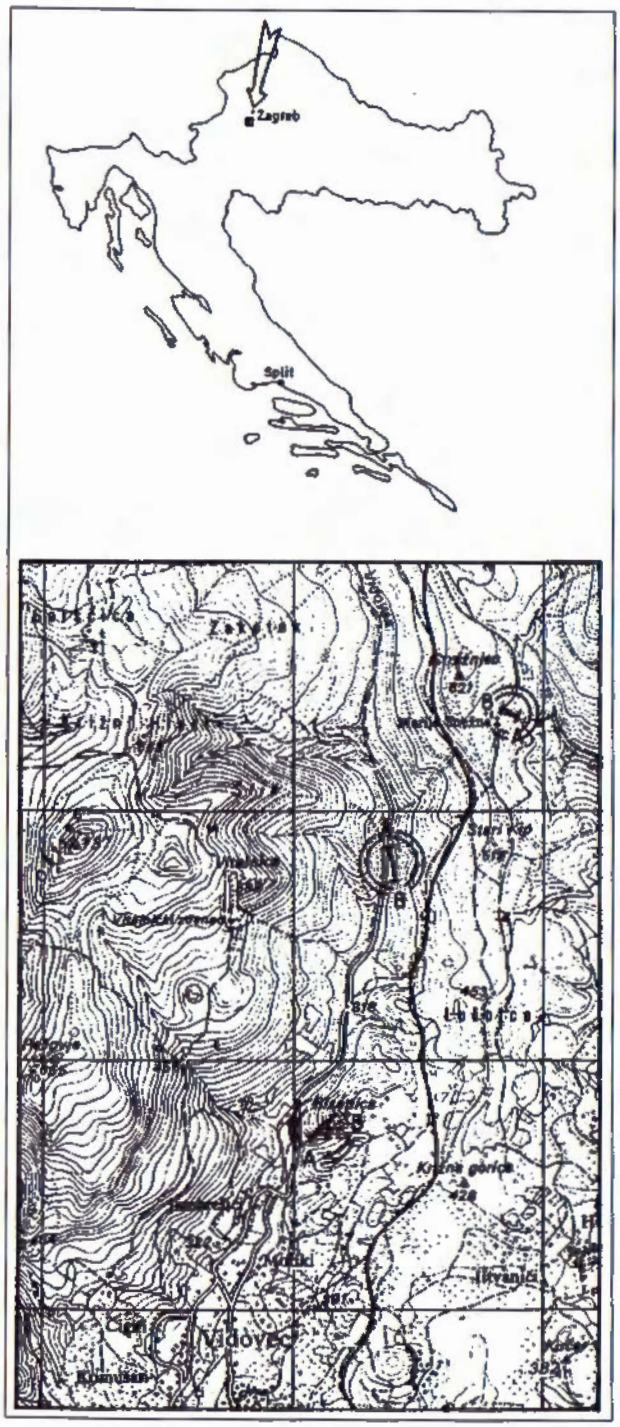
Cilj je ovoga rada da se iznesu noviji rezultati paleontoloških analiza, te petrološke značajke stijena s jugoistočnih padina Medvednice, u području potoka Vidovec.

GEOLOŠKI I PETROLOŠKI PODACI

Na temelju snimljenih geoloških profila na jugoistočnim padinama Medvednice u području potoka Vidovec (sl. 1), izdvojene su tri litološke zajednice:

1. Litološka zajednica crnih metapelita, crnih slejt-filita i crnih sitnozrnatih metapsamita.

[1] Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2] Prirodoslovno-matematički fakultet, Zvonimirova 8, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[3] Geološki zavod Ljubljana - IGGG, Dimičeva 14, 61000 Ljubljana, Slovenija.



Sl. 1. Lokacija i geografski položaj snimljenih profila.

2. Litološka zajednica mramornih škriljavaca i mramoriziranih vapnenaca.

3. Litološka zajednica metadijabaza.

Na temelju superpozicijskih odnosa u donjim dijelovima geoloških profila dominira litofacijes crnih metapelita i slejt-filita s podređenim proslojcima sitnozrnastih karbonatnih metapsamita.

Makroskopski su to sivo-crne pelitske stijene, jako isklivažirane. Primarna teksturna obilježja u stijeni se teško zapažaju. Na temelju mikroskopskih istraživanja zapaža se blastosiltna, blastositnozrnasto psamitska i lepidoblastična struktura.

Mineralni sastav za sve litološke varijetete je isti: kalcit, kvarc, albit, muskovit (kod slejt-filita je najobilniji mineral), klorit i metamorfozirana organska tvar (semigrafit?), akcesoran je magnetit i cirkon, a sekundaran je pirit, kalcit i kvarc.

Mikrostrukturno zapažaju se tri deformacijske faze. Prva faza je sinmetamorfna, a očituje se u klivažu uškriljavanja po kojem se razvija folijacija. Klivaž je kontinuirani, slabohrapav, a markira ga termički izmjenjena organska materija i listićavi minerali. Druga faza izražava se u mikroboranju s izraženim krenulacijskim klivažem, koji translatira folijaciju, a obično u pelitskim proslojcima tvori gradacijski krenulacijski klivaž. U siltoznim i sitnozrnasto psamitskim proslojcima krenulacija se ne zapaža. Postmetamorfna deformacija se izražava u vidu penetrativnog klivaža koji stoji pod kutem od 60 do 70° u odnosu na sf, po kojemu se također translatiraju metamorfni minerali.

Gore navedena mineralna asocijacija ukazuje da je litofacijes metamorfoziran pri niskom stupnju metamorfizma, regionalnim dinamotermalnim metamorfizmom.

Sitnozrnatost facijesa ukazuje na prevladavanje relativno niskih energetskih uvjeta taloženja. Pelitni facijes je vjerojatno taložen iz suspenzije kroz dulja mirna razdoblja, dok su psamiti mogli biti odlagani iz suspenzije ili vučnim mehanizmima, kao rezultati povremenih i uglavnom kratkotrajnih događaja. Taloženje se zbivalo u mirnom marinskom okolišu u kojem nije bilo naknadne prerade sedimenta (laguna, šelf, bazen).

U gornjim dijelovima geoloških profila dominiraju mramorni škriljavci i mramorizirani vapnenci. Mramorni škriljavci su tamnosive boje i tanko pločasti. Stijena je izgrađena od kalcitnih blagovalovitih vrpci, koje se razlikuju u veličini zrna. Pojedine vrpce imaju veličinu zrna kalcita oko 0.1 mm, a pojedine oko 0.3 mm (mjereno po dužoj osi). Kalcitna su zrna orijentirana u smjeru škriljavosti, u međuprostoru je metamorfozirana organska tvar, te rekristalizirani terigeni detritus kvarca, albita i sitnolističavih tinjčastih minerala. U pojedinim uzorcima su nađeni rekristalizirani fosili. Mramorizirani vapnenci su tamnosive boje i debelo uslojeni. Stijena je izgrađena od rekristaliziranih zrna kalcita, koja su ekvidimenzionalnog oblika, a u međuprostoru je metamorfozirana organska tvar, te manja količina rekristaliziranog terigenog detritusa kvarca, albita i listića bijelog tinjca. U pojedinim uzorcima su sačuvani rekristalizirani fosili.

Mineralni sastav je: kalcit, metamorfozirana organska tvar (semigrafit?), kvarc, albit i klorit, akcesorno dolazi opaki mineral, a sekundarno pirit, kalcit i kvarc. Navedena mineralna asocijacija indicira da je stijena metamorfozirana pri niskom ili vrlo niskom stupnju regionalnim dinamotermalnim metamorfizmom.

Subparalelne kalcitne vrpce u mramornim škriljavcima indiciraju da je primarna stijena bila ravno laminirani kalkarenit, koji je mogao biti taložen iz suspenzije ili vučnim mehanizmima.

U donjim i središnjim dijelovima geoloških profila, paralelno folijaciji, odnosno primarnoj slojevitosti dolaze metadijabazne žice. Metadijabazna žica u donjem dijelu debela je 8.6 m, dok u središnjem dijelu debljina dijabaznih žica iznosi 1.9 m, 2 m i 1.6 m.

Mineralni sastav je slijedeći: albit, klorit i epidot/klinocoisit dolazi u svim dijabaznim žicama te u pojedinim coisit i muskovit. Akcesorno dolazi opâki mineral i apatit te sekundarno hematit, kalcit i kvarc. Prve dvije dijabazne žice imaju lepidogranoblastičnu strukturu, a petrografski su determinirane kao ortoškriljavci. Mikrostrukturno u njima se zapažaju dvije deformacijske faze. Prva, sinmetamorfna, kada nastaje folijacija, a klivaž je kontinuirano valoviti, i druga, postmetamorfna, koja se očituje u klivažu okomitom ili pod kutem od oko 70° na sf, po kojem se vrši translatacija minerala. Druge dvije dijabazne žice imaju lepidogranoblastno-ofitnu strukturu, a petrografski su determinirane kao metadijabazi. Metamorfna deformacijska faza u njima se očituje kao disjunktivni hrapavi klivaž sa slabo izraženom folijacijom i jasno sačuvanom ofitnom strukturom i postmetamorfna, klivažem koji je pod kutem oko 70° na disjunktivni klivaž i translatira mineralni sastav u stijeni.

Mineralni sastav ukazuje da su dijabazne žice metamorfozirane pri niskom stupnju, tj. facijesu zelenih škriljavaca u klinocoisit-klorit-albit metamorfnoj zoni (WINKLER, 1974).

Na nekoliko mjesta su zapažene kontaktne promjene između dijabaznih žica i okolnih stijena u vidu kontaktnih mramora debljine od 2 cm do 20-ak cm. Mramori su krupnokristalasti, bijele do žućkastobijele boje, sam kontakt je jako silicificiran, i kalcitiziran. Na temelju mikrofiziografskih osobina primarne dijabazne žice su imale vrlo tanki zamrznuti rub. Najčešće su u središnjim dijelovima srednje zrnaste strukture, s veličinom zrna oko 1 mm, a prema rubovima su sitnozrnaste strukture s veličinom zrna do 0.5 mm.

Žice dijabaza su utisnute u već dijagenetski očvrsle stijene duž ploha slojevitosti, vršeći slabu kontaktnu metamorfozu u okolnim stijenama. Na temelju petrokemijskih karakteristika dijabazne žice se mogu usporediti s bazaltima, koji su primarne stijene zelenih ortškriljavca.

PALEONTOLOŠKI PODACI

U litološkoj zajednici mramoriziranih vapnenaca određeni su slijedeći fosili: alge: *Girvanella* sp., *Donzella lutugini* MASLOV, *Dvinella bifurcata* MASLOV & KULIK, *Eugonophyllum*? sp., *Eflugelia johnsoni* (FLÜGEL); foraminifere: *Climacammina* sp. i fragmentarne fuzulinide; konodonti iz familije Idiognathodontidae HARRIS & HOLLINGSWORTH; spužve *Amblysiphonella* sp., krhotine krinoida i radiole pravilnih ježinaca.

Brojni bodljikaši upućuju na okoliš normalnog saliniteta, čistog i prozračnog mora, a nalaz algi ukazuje na malu dubinu mora (obično do 10 m).

DISKUSIJA

Na temelju superpozicijskih odnosa, predpostavlja se da litološka zajednica crnih metapelita, crnih slejtfilita i crnih sitnozrnatih metapsamita ima karbonsku ili predkarbonsku starost.

U mramoriziranim vapnencima, vrste *Donzella lutugini* MASLOV i *Dvinella bifurcata* MASLOV & KULIK ukazuju na srednjemoskovsku starost. Rod *Climacammina* ima stratigrafski raspon karbon-perm, dok *Eflugelia johnsoni* (FLÜGEL) ima stratigrafski raspon od gornjeg karbona do donjeg perma. Girvanele koje su česte u većem broju preparata, živjele su tijekom čitavog paleozoika i mezozoika, mada su nađene forme najčešće u gornjem paleozoiku. Konodonte ukazuju na raspon gornji karbon - donji perm. Na temelju fosilnog sadržaja može se zaključiti da dijelovi litološke zajednice mramornih škriljavaca i mramoriziranih vapnenaca pripadaju mlađem paleozoiku, najvjerojatnije u rasponu srednji karbon - donji perm.

Na temelju geoloških odnosa s okolnom stijenama može se pretpostaviti da su dijabazne žice post donjopermske starosti, a pretpostavlja se da su srednje trijaske starosti.

Svi izdvojeni litofacijesi su metamorfozirani jedinstvenim alpskim regionalnim dinamotermalnim metamorfizmom pri nižim dijelovima niskog stupnja metamorfizma, tj. klinocoisit-klorit-albitnoj metamorfnoj zoni, što dokumentira metamorfna mineralna parageneza metadijabaznih žica. Gornji dijelovi litološke zajednice mramoriziranih vapnenaca mogu pripadati i vrlo niskom stupnju metamorfizma. Vitrinitna refleksija metamorfozirane organske tvari nije rađena, a rendgenski nije determiniran grafit. Pretpostavljeno vrijeme metamorfizama je jura - donja kreda.

ZAHVALA

Autori zahvaljuju mr.sc. Davoru PAVELIĆU i mr.sc. Georgu JERINIĆU za korisne sugestije u radu.

LITERATURA

CRNKOVIĆ, B. (1963): Petrografija i petrogeneza magmatita sjeverne strane Medvednice.- Geol. vjesnik, 16, 63-159, Zagreb.

DEVIDÉ-NEDELA, D. & KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. (1990): Nalaz neošvagerina u Medvednici (Zagrebačkoj gori).- Rad JAZU, 449/24, 33 str., Zagreb.

ĐURĐANOVIĆ, Ž. (1973): O paleozoiku i trijasu Medvednice (Zagrebačke gore) i područja Dvora na Uni na temelju konodonta.- Geol. vjesnik, 25, 29-45, Zagreb.

GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1907): Die geotektonische Verhältnisse des Agramer im Zussamenhang stehenden Erscheinungen.- Anhang zu den Abhandl. prenss. Akad.Wiss., 1-30, Berlin.

GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1908): Geologijska prijegledna karta i tumač geologijske karte Zagreb.- Izdanje geol. povj., 5, Zagreb.

KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. (1981): Karbonski Stromatoporoidea i Bryozoa kod Markuševca (Medvednica).- Geol. vjesnik, 34, 15-17, Zagreb.

MARIĆ, L. (1959): Mineralne facije u metamorfnim stijenama Medvednice (Zagrebačke gore).-Geol. vjesnik, 12, 205-218, Zagreb.

MIHOLIĆ, S. (1958): Nuklearna geologija.- Geol. vjesnik, 11, 229-254, Zagreb.

SREMAC, J. & MIHAJLOVIĆ-PAVLOVIĆ, M. (1983): Graptoliti Medvednice (Zagrebačka gora).- Rad JAZU, 404, (Prirodne znanosti, 19), 65-67, Zagreb.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1979): Tumač za list Zagreb, L 33-80. Osnovna geološka karta 1: 100 000.- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1972), Savezni geološki zavod Beograd.

WINKLER, H.G.F. (1974): Petrogenesis of metamorphic rocks.- Springer Verlag, Berlin.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	75 - 79	ZAGREB 1995

Podmorski istraživački radovi u projektu "110 kV otočne veze"

Čedomir **BENAC**[1], Petar **SENJANOVIĆ**[2] & Petar **ČERINA**[3]

Sažetak

U radu se opisuju metode i instrumenti istraživanja podmorja koje su primijenjene u Velebitskom i Paškom kanalu sjevernog Jadrana. Na temelju tih mjerenja "Hrvatska elektroprivreda" uspješno je obavila projektiranje i polaganje podmorskih energetskih kabela u sklopu projekta "110 kV otočne veze".

Zbog postizanja točnosti mjerenja korišten je Differential Global Positioning System. Mjerenje je obavljeno pomoću ultrazvučnog i geološkog dubinomjera, side-scan sonara kao i magnetometra. Ti instrumenti bili su povezani na centralni kompjutorski sistem. Na taj način dobiveni su dovoljno točni podaci za pouzdanu rekonstrukciju modela morskog dna i na relativno dugim trasama podmorja.

Analizom rezultata istraživanja također su dobiveni dosad nepoznati podaci o geološkoj građi i morfološkoj evoluciji ovog dijela jadranskog podmorja.

Abstract

In this paper are described the equipment and the methods of investigation, used in the area of the Velebit Channel and the Pag Channel (North Adriatic). On the basis of these surveying, "Hrvatska elektroprivreda" successfully realized the designing and laiding of submarine cables within the complex of the project "110 kV island connections".

For purposes of the exactness of surveying, the Differential Global Positioning System are utilised. The surveying was realized by depth-sounder, sub-bottom profiler, side-scan sonar and magnetometer. This equipment has been connected to the central computer system. In this way, exact data were given. The reliable models of sea bottom are reconstructed even on relatively long traces of submarine areas.

By analysing the results of surveying unknown data on the geological structure and morphological evolution of the Adriatic submarine area have also been obtained.

UVOD

"Otočkom vezom 110 kV" spojen je tijekom ljeta 1994. dalmatinski elektroenergetski sustav, prekinut početkom domovinskog rata, s ostalim dijelom Hrvatske. Veza se proteže od Rijeke (TS 400/220/110 kV Meline), preko otoka Krka, Raba i Paga do Zadra (TS 110/35 kV Zadar). Ovom vezom omogućeno je dvostruko napajanje električnom energijom područja grada Zadra i otoka Paga, koja su bila teško pogođena redukcijom električne energije.

Za realizaciju ovog složenog elekroenergetskog projekta "Hrvatska elektroprivreda" je izradila niz objekata, tako da je ukupna dužina podmorskih dionica 20.1 km. Ovdje se opisuju trase podmorskih kabela:

- otok Rab (uvala Vašibaka) - otok Pag (rt Deda),
- kopno (uvala Koromačina) - otok Pag (uvala Toreta).

Podmorski energetski kabeli, izuzetno su skupe instalacije. Kod njih se većina problema prilikom projektiranja i polaganja odnosi na izbor najpovoljnije trase, kako bi sigurno vršili svoju namjenu u predviđenom razdoblju eksploatacije. Zato bez detaljnih hidrografskih, geofizičkih i inženjerskogeoloških istraživanja, nije moguće njihovo racionalno projektiranje i sigurno polaganje.

U području teritorijalnog mora Republike Hrvatske do sada se uglavnom nisu obavljala istraživanja prikladna za potrebe projektiranja i polaganja podmorskih kabela, kao i cjevovoda. Razlog je bio izrazito visoka cijena, kao i nedostatak odgovarajuće opreme i stručnjaka.

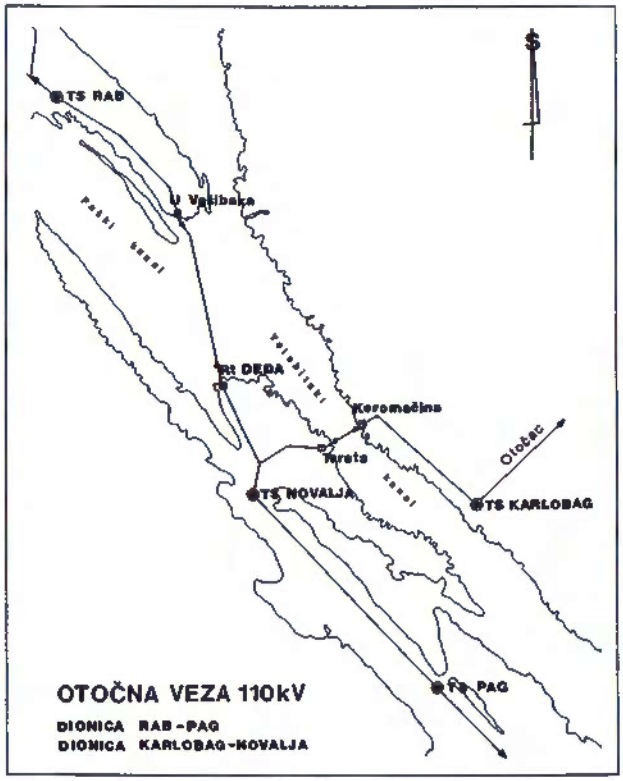
Sedamdesetih i osamdesetih godina, razvoj modernih metoda i odgovarajućih instrumenata za potrebe hidrografskih i geoloških ispitivanja, toliko je napredovao da omogućuje dobivanje znatno kvalitetnijih uz istu ili čak nižu cijenu nego ranije (POULOS, 1988). Tako veliki odabir metoda i instrumenata, s druge strane zahtijeva pažljivo programiranje i koordinaciju, te fazno izvođenje istraživanja podmorja (RAYNER, 1994), kao i odgovarajuće educirane stručnjake.

Prilikom izrade ovog članka korišteni spodaci iz "Elaborata istražnih radova podvodnih kabelskih veza 110 kV" koje je izradio Geodetski zavod iz Rijeke, pa im se zahvaljujemo na susretljivosti.

GEOLOŠKI OPIS

Velebitski kanal dio je kanalskog područja sjevernog Jadrana. Omeđen je Velebitom sa sjeveroistočne

[1]Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, V. Cara-Emina 5, 51000 Rijeka, Hrvatska.
[2]Geodetski zavod, Kresnikova 33, 51000 Rijeka, Hrvatska.
[3]Hrvatska elektroprivreda, Direkcija za upravljanje i prijenos, Lj. Posavskog 5, 21000 Split, Hrvatska.



Sl. 1. Pregledna karta "110 kV otočne veze".
Fig. 1. Generalized map "110 kV island conections".

strane i otočkim nizom Rab - Pag s jugozapadne strane. Kanal je na istraženom dijelu akvatorija prosječne širine 2 km i dubine do 70 m. Paški kanal širine oko 10 km i najveće dubine 110 m, spaja Velebitski kanal i Kvarnerić na zapadu (sl. 1).

U građi obalnoga pojasa i podmorja istraženog dijela Velebitskog i Paškog kanala sudjeluju naslage krede, paleogena i kvartara. Naslage krede (vapnenci, dolomiti i vapnenačko-dolomitične breče) i paleogena (vapnenci, fliš i vapenenačke breče) tvore osnovnu stijensku masu. Karbonatne naslage su u obalnom pojasu prostorno dominantne, dok je rasprostranjenost fliša ograničena na središnju zonu otoka Paga i Raba (MAMUŽIĆ et al., 1969, 1973). Kvartarne tvorevine su pokrivač na stjenovitoj podlozi na kopnu i u podmorju.

Sadašnji izgled reljefa posljedica je tektonskih pokreta, glacioeustatičkih oscilacija morske razine i klimatskih promjena tijekom bliže geološke prošlosti, kao i egzogeodinamičkih procesa prouzročenih tim zbivanjima. Talozi u podmorju Velebitskog i Paškog kanala nastali su doplavljivanjem erodiranih čestica s kopna, ili razaranjem obale u procesu marinske erozije.

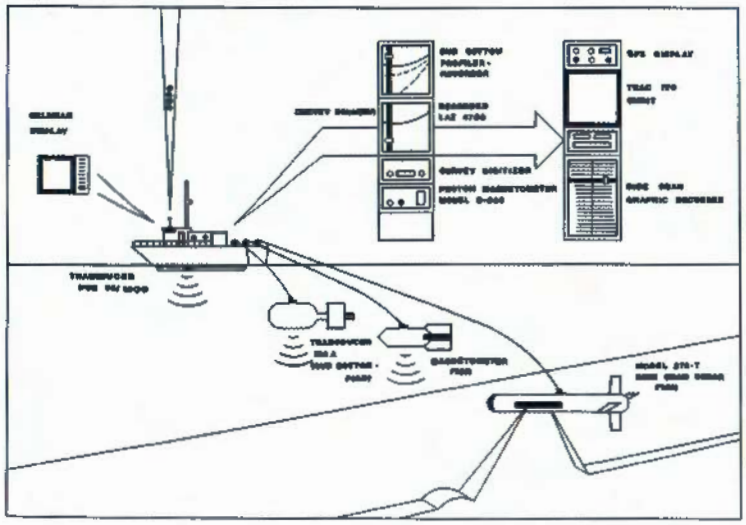
INSTRUMENTI I METODE MJERENJA

Na obje istražene dionice u Velebitskom (uvala Koromačina - uvala Toreta) i Paškom kanalu (uvala Vašibaka - rt Deda), izvršeni su opsežni istraživački radovi. To su:

- geodetska mjerenja;
- hidrografska mjerenja;
- inženjerskogeološko kartiranje podmorja;
- meteorološka istraživanja;
- oceanografska istraživanja.

Instrumenti i prateća oprema bili su smješteni na motornom brodu prikladne veličine. Korišteni su slijedeći uređaji:

- DEPTH SOUNDER ELAC 4700 - to je ultrazvučni dubinomjer projektiran za hidrografske radove. Ima dvostruku frekvenciju rada (35 i 100 kHz), kao i mogućnost promjene zvučnog signala od 1400 m/s do 1599 m/s. Može mjeriti dubinu mora u rasponu 0 do 5000 m;
- DIGITIZER STG 721 pretvara analogne podatke ultrazvučnog dubinomjera u digitalne;
- O.R.E. SUB-BOTTOM PROFILING SYSTEM je ultrazvučni geološki dubinomjer niske frekvencije (3.5 kHz). Emitirani ultrazvučni signali imaju mogućnost prodiranja kroz sedimente u podmorju. To omogućuje geološko profiliranje, odnosno otkrivanje debljine rahlih sedimenata te položaja stijenske mase u podini, pomoću valova niže frekvencije. Transducer koji emitira ultrazvučne signale, smješten je u tzv. ribi koja se pomoću brodskog vitla može spuštati ili podizati. Takav instrument ima mogućnost profiliranja kroz nevezane sedimente debljine od desetak do više stotina metara. Kod toga je mogućnost rezolucije dobivenih snimaka oko 1 m;
- SIDE-SCAN SONAR EG & G također je ultrazvučni uređaj koji ima transducer, kao izvore impulsa, smještene u torpedu. Ono se pomoću brodskog vitla održava na dubini 30 m iznad morskog dna. Za razliku od instrumenata tipa echo-sounder, širina zvučnog snopa je promjenljiva, a podešava se ovisno o reljefu dna. Kod toga je rezolucija slike, zahvaljujući različitoj akustičkoj refleksiji, dovoljno jasna da se mogu vizualno razlikovati osnovni tipovi dna: mulj, grubi pijesak, blokovi ili izdanci osnovne stijene, odnosno hridinasto dno. Također se mogu jasno uočiti potopljeni predmeti kao što su: manja plovila, energetski kabeli, sidra i sl.;
- EG & G GEOMETRIC RECORDING PROTON MAGNETOMETER je uređaj za brzo otkrivanje metalnih, pretežito čeličnih, predmeta u podmorju, kao što su olupine, sidra, cjevovodi. Magnetski senzor povezan kabelom, povlači se iza broda;
- DGPS TRIMBLE 4000 RS i DS je diferencijalni GPS uređaj za precizno pozicioniranje. Jedna stanica se postavlja na geodetski unaprijed određenu točku (trigonometar), a druga na plovilo. Kod toga se radiovezom vrši kontinuirana korekcija smjera i dužine;
- QUBIT TRAC IV B je prenosni kompjutorski sistem, projektiran na temelju HP 9920 procesora sa softwareom za navigaciju. To je centralni uređaj na koji se povezuju svi ostali opisani uređaji (sl. 2). Prije



Sl. 2. Shematski prikaz mjerenja.
Fig. 2. The schematic present of the surveying.

mjerenja, u taj sistem se ugrađuju podaci o projektiranoj trasi, pa je bilo moguće pratiti navigaciju i bilježiti podatke dobivene mjerenjima.

Kod svih mjerenja na moru, javlja se osnovni problem: pozicioniranje plovila u odnosu na lokalnu geodetsku mrežu. To znači da je u svakom trenutku nužno znati poziciju mjerenja. Postoje različite metode i instrumenti za rješenje ovog problema. U novije vrijeme u geodeziji i preciznoj navigaciji u upotrebi je DGPS (Differential Global Positioning System) kao poboljšana metoda određivanja koordinata neke točke na površini Zemlje (HURN, 1989). Njena teorijska točnost je unutar jednog metra.

Hidrografska mjerenja obavljena su po unaprijed projektiranim trasama u Velebitskom i Paškom kanalu. Navigacija, te prikupljanje podataka potrebnih za točnu navigaciju, kao i pohranjivanje snimljenih podataka obavljalo se pomoću opisanog komjutorskog sistema koji je bio povezan sa sistemom pozicioniranja, tako da se u realnom vremenu kontinuirano dobivala točna pozicija broda duž trasa. Kompjutorski obrađeni podaci šalju se na dva monitora, na kojima su u svakom trenutku vidljive kordinate broda, brzina, dubina mora i udaljenosti pređene trase. Jedan od monitora nalazi se mjestu vođenja operacije snimanja, što je omogućilo stalnu kontrolu rada, dok se drugi nalazi u kormilarnici, radi korektnog vođenja broda po unaprijed određenim trasama.

Najprije je izvršeno istovremeno mjerenje ultrazvučnim dubinomjerom visoke (depth sounder) i geološkim dubinomjerom (sub-bottom profiler) niske frekvencije po svih pet prethodno određenih trasa. Također su izmjerena tri kontrolna profila okomita na trase. Na taj način ustanovljena je morfologija dna i geološka građa naslaga u podmorju.

Nakon toga je izvršeno snimanje pomoću side scan sonara po tri posebno projektirane trase, koje su tako razmaknute da se akustičke slike podmorja preklapaju 25%.

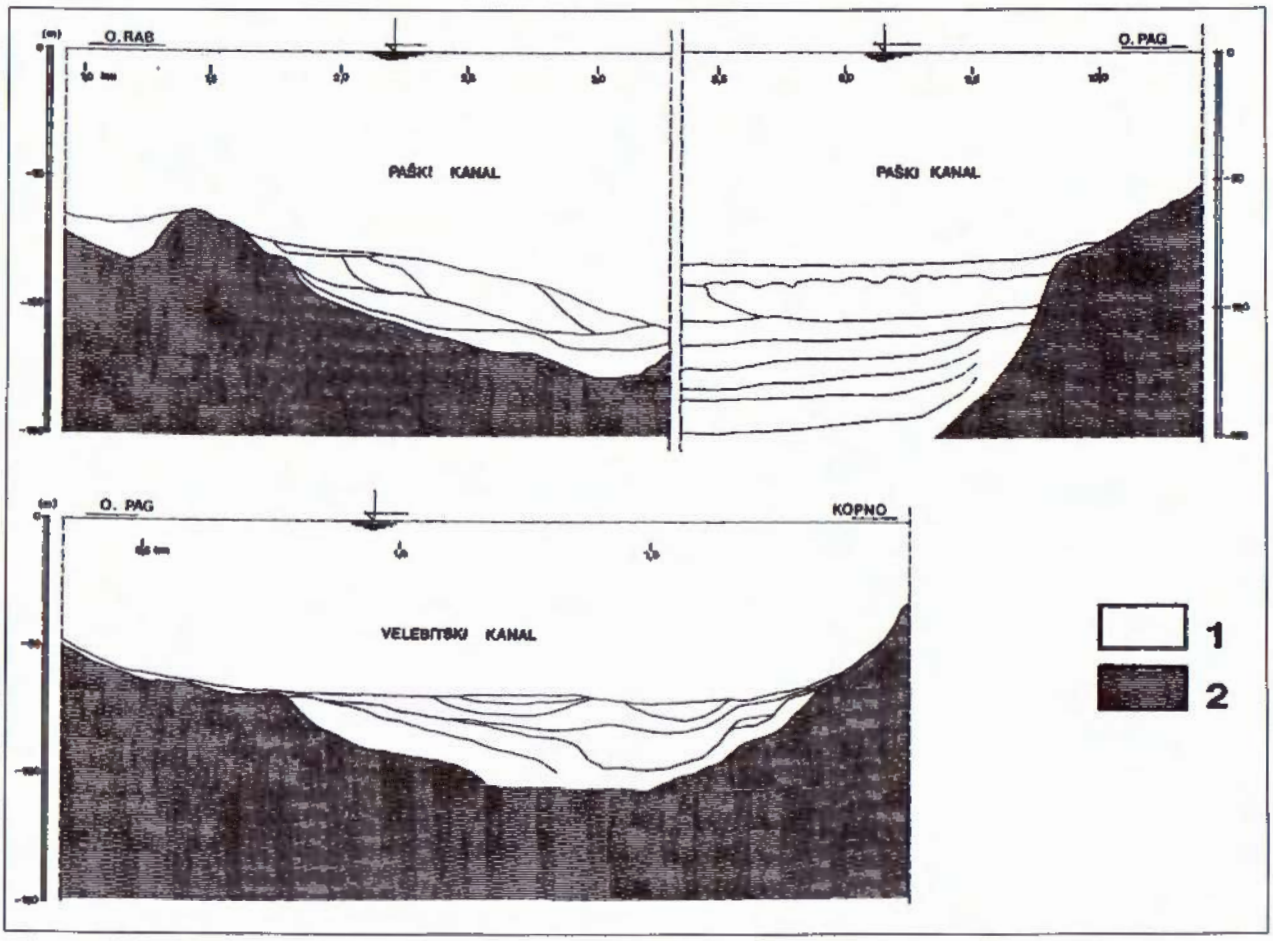
Na kraju je obavljeno snimanje morskog dna magnetometrom radi otkrivanja mogućih metalnih predmeta na morskom dnu.

Preko centralne kompjutorske jedinice, mjernim instrumentima navigacijski sistem šalje svakih 60 sekundi marker (fix) slijedeći progresivnu numeričku logiku. Taj signal se pojavljuje na monitoru, kao i na svim perifernim instrumentima, kod čega su koordinate markera poznate u sistemu navigacije. Kompjutorski sistem povezan je, također, sa štampačem i pisačem. Svi podaci su se pohranjivali na diskete, radi kasnije kabinetske obrade podataka.

Osim instrumentalnih mjerenja, korišten je izravni vizualni pregled, odnosno inženjerskogeološko kartiranje, kako kopna tako i podmorja. Ta metoda rabila se u plićim dijelovima podmorja (do -30 m), gdje se snimanje pomoću side scan sonara ne može obaviti. To metoda je uobičajena u sklopu geotehničkih istraživanja kopna, ali se može uspješno koristiti i u podmorju (BENAC, 1984). Izravnim vizualnim pregledom dobili su se osobito korisni podaci tamo gdje je dno golo ili je sloj pokrivača tanak, odnosno česti su izdanci osnovne stijene. Precizni dubinomjer, ronilački kompas i šipka za ručno sondiranje bili su nephodni prateći pribor.

REZULTATI

Opisanim metodama hidrografskih, odnosno geofizičkih mjerenja, na trasama između kopna i otoka Paga, kao i otoka Raba i Paga, snimljen je dovoljno točan reljef podmorja na svakom od pet prethodno određenih profila. Također je, na temelju dobivenih podataka, bilo moguće rekonstruirati geološki profil. Analizom rezultata skaniranja i inženjerskogeološkog pregleda priobalnih dijelova, bilo je moguće zadovoljavajuće točno odrediti granicu između hridinastih i pjeskovitih, odnosno muljevitih zona podmorja na istraženim trasama. Također su locirani morfološki izraženi izdanci osnovne stijene.



Sl. 3. Karakteristični geološki profili Velebitskog i Paškog kanala. Legenda: 1 - kvartarni sedimenti; 2 - karbonatna podloga.
Fig. 3. The characteristic geological profiles of The Velebit Channel and The Pag Channel. Legend: 1 - Quaternary sediments; 2 - carbonate bedrock.

Svi ti podaci poslužili su za određivanje najpovoljnije varijante trase po kojoj će biti položen energetski kabel, kao i za mjerenje njegove točne duljine, računajući udaljenost od jedne do druge kabelske kućice.

Osim ove osnovne namjene, analizom snimljenih geoloških profila (po pet na svakoj trasi), otkriveni su dosad nepoznati podaci o geološkoj građi podmorja.

Na trasi između podvelebitske obale (uvala Koromačina) i otoka Paga (uvala Toreta) duljine oko 2 km, vidljivo je da stijenska podloga nejednoliko, a mjestimično i skokovito, tone prema sredini kanala (sl. 3). Sedimetno tijelo zato je nepravilnog oblika i smješteno bliže kopnu. U sredini debljine preko 50 m, pa stijenska podloga tone dublje od -100 m. Sudeći prema akustičkim svojstvima, samo njegovu tanku krovinu tvore nekonsolidirani holocenski sedimenti. Ostali dio je stariji, pleistocenski. Primjećuje se više faza sedimentacije i donekle raznolik granulometrijski sastav.

Trasa između otoka Raba (uvala Vašibaka) i otoka Paga (rt Deda) duljine je preko 10 km. Vidljiva je izraženost reljefa u podlozi sedimentnog tijela (sl. 3). Od otoka Raba stijenska podloga relativno blago, ali vrlo nepravilno tone. Ustanovljeno izbočenje, potopljeni je dio hrbata otočića Dolina, koji se pruža usporedno Rabu (sl. 1). Nasuprot tomu, u podmorju do otoka Paga uočljivo je skokovito spuštanje karbonatne stijenske podloge, što ukazuje na izraženu vertikalnu komponentu neotektonskih pokreta. Sedimetno tijelo izrazito je raznoliko. Bliže otoku Rabu, uočava se kosa slojevitost i kutna diskordancija između pojedinih slojeva. Takav oblik upućuje na potopljenu deltu, nastalu u vrijeme predholocenske emerzije. Jugoistočni, dublji dio svojom građom ukazuje na dugotrajniju bazensku sedimentaciju, vjerojatno potpomognutu stalnim tektonskim tonjenjem, pa se podloga nalazi na apsolutnoj dubini preko -150 m. Sudeći prema akustičkim svojstvima, samo tanku krovinu sedimentnog tijela tvore nekonsolidirani holocenski sedimenti. Ostali dio je stariji, pleistocenski. Primjećuje se više faza sedimentacije i donekle raznolik granulometrijski sastav. Nepravilna morfologija baze holocenskih sedimenata dokazuje njeno oblikovanje u kopnenim uvjetima, vjerojatno tijekom posljednje kasnovirmske emerzije (sl. 3).

ZAKLJUČAK

Prilikom hidrografskih istraživanja za potrebe polaganja trasa podmorskih kabela između kopna i otoka Paga, kao i otoka Raba i Paga, korištena je moderna mjerna tehnika (echo-sounder, subbottom profiler, side scan sonar, magnetometer). Primijenjen je diferencijalni GPS sistem pozicioniranja, a navigacija je kompjutorski praćena po unaprijed određenim trasama, pa je točnost mjerenja bila unutar dva metra. Zahvaljujući tomu, bilo je moguće odrediti najpovoljniju varijantu trase po kojoj će biti položen energetski kabel, te odrediti njegovu točnu duljinu.

Osim ovih, namjenskih podataka, analizom rezultata hidrografskih mjerenja, dobiveni su dosad nepoznati podaci o geološkoj građi istraženog područja. Sustavnim prikupljanjem i analizom takvih i sličnih podataka, moguće je znatno obogatiti dosad nedovoljno poznavanje geološke građe jadranskog podmorja.

Primijenjena mjerna tehnika i metodologija istraživanja pokazala se vrlo prikladnom za istraživanje relativno dugih trasa energetskih kabela u kanalskom području Jadrana. Na ovaj način ne mogu se dobiti pouzdani podaci o fizičko - mehaničkim značajkama naslaga. Međutim, zbog relativno brze i jeftine primjene takva mjerna tehnika i metodologija istraživanja može se vrlo uspješno upotrebljavati, uz klasične geotehničke metode, i za potrebe projektiranja i građenja pomorskih građevina.

LITERATURA

BENAC, Č. (1984): Inženjerskogeološko kartiranje morskog dna za potrebe građenja pomorskih objekata.- Zbornik 8. jugoslav. simp. hidrogeol. inž. geol., Budva 1984., 267-276, Beograd.

HURN, J. (1989): GPS: A Guide to the Next Utility.- Trimble Navigation, Sunnyvale.

MAMUŽIĆ, P., MILAN, A., KOROLIJA, B., BOROVIĆ, Ž. & MAJCEN, Ž. (1969): OGK 1:100.000, list Rab.- Sav. geol. zavod, Beograd.

MAMUŽIĆ, P., SOKAČ, B. & VELIĆ, I. (1973): OGK 1:100.000, list Silba.- Sav. geol. zavod, Beograd.

POULOS, H.G. (1988): Marine Geotechnics.- Unwin Hyman, London.

RAYNER, R.F. (1994): Field Studies Data Analysis.- In: ABBOT, M.B. & PRICE, W.A (eds.): Coastal, Estuarial and Harbour Engineers' Reference Book, 481-520, E. & F.N. Spon, London - Glasgow.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	81 - 87	ZAGREB 1995

Inženjerskogeološki model željezničkog tunela Ćićarija

Božidar **BIONDIĆ**[1], Karlo **BRAUN**[1], Igor **VLAHOVIĆ**[1], Željko **MLINAR**[1], Miroslav **ANDRIĆ**[2], Ivan **BALEN**[2], Davor **POLLAK**[1], Ladislav **FUČEK**[1], Nenad **OŠTRIĆ**[1], Božo **PRTOLJAN**[1], Branko **ŠABAN**[1], Zvonko **BLAGUS**[1], Franjo **DUKARIĆ**[1], Renato **BULJAN**[1] & Ranko **BIONDIĆ**[1]

Ključne riječi: Inženjerskogeološki model, željeznički tunel, Ćićarija, Hrvatska

Key words: Engineering-Geological Model, Railway Tunnel, Ćićarija, Croatia

Sažetak

Tunel kroz Ćićariju, dužine preko 14 km, kapitalni je objekt željezničkog spoja Istre i ostalog dijela Hrvatske u koji se može uklopiti i buduća Jadranska željeznica. S obzirom da se radi o području vrlo kompleksne geološke građe, s debljinom nadsloja mjestimice gotovo 800 m, posebice su bili važni detaljni multidisciplinarni istražni radovi, kako bi se prigodom geotehničkog projektiranja raspolagalo sa što boljim prognoznim podacima.

Inženjerskogeološke značajke stijenskih masa u tunelu prognozirane su na temelju podataka temeljnog geološkog i inženjerskogeološkog kartiranja, statističke obrade dobivenih podataka, rezultata geofizičkih istraživanja i istražnog bušenja, te analiza uzoraka uzetih tijekom geološkog i inženjerskogeološkog kartiranja i odredbe istraživačkih bušotina.

Rezultati istraživanja su omogućili klasifikaciju stijenskih masa prema geomehaničkoj "RMR"-klasifikaciji i "Q"-klasifikaciji, što je prilagođeno potrebama geotehničkog projektiranja.

Abstract

A 14 km long tunnel through Ćićarija is the capital facility of the railway connection between Istria and other parts of Croatia. It is a part of optional solutions in which the future Adriatic Railways could fit in. The study area represents a very complex geological structure, with a very thick sequence of rocks over the future tunnel, at some places almost 800 m. Therefore, multidisciplinary investigation works were crucial for the elaboration of geological forecasting profile and engineering-geological model which represent fundamental basis of geotechnical design.

Geological and engineering-geological mapping of the tunnel route has been performed, as well as structural and geological, geophysical and geotechnical explorations, exploratory drilling and appropriate laboratory tests. Rocks have been classified according to "RMR" and "Q" classification.

UVOD

Tunel, dužine preko 14 km, kroz Ćićariju, kapitalni je objekt željezničkog spoja Istre i ostalog dijela Hrvatske u koji se može uklopiti i buduća Jadranska željeznica. Ovakav je objekt oduvijek bio istraživački izazov geolozima, pogotovo jer se radi o području vrlo kompleksne geološke građe.

Multidisciplinarna istraživanja za izradu temeljnih podloga potrebnih za projektiranje i izgradnju željezničkog tunela kroz Ćićariju provedena su prema programu geotehničkih istraživanja, koji je definiran u suradnji Instituta za geološka istraživanja, Hrvatskih Željeznica, Direkcije za javne investicije, Instituta građevinarstva Hrvatske, Geofizike - Zagreb i Geotehnike - Zagreb.

Podloga za izvođenje inženjerskogeoloških istraživanja bili su rezultati temeljnih geoloških istraživanja i geološkog kartiranja područja uz trasu tunela širine oko 1.000 m, u mjerilu 1:5.000.

Inženjerskogeološke značajke stijenskih masa u tunelu prognozirane su na temelju podataka temeljnog geološkog i inženjerskogeološkog kartiranja, statističke obrade dobivenih podataka, rezultata geofizičkih istraživanja i istražnog bušenja, te analiza uzoraka uzetih tijekom geološkog i inženjerskogeološkog kartiranja i odredbe istraživačkih bušotina.

Rezultati istraživanja omogućavaju klasifikaciju stijenskih masa prema geomehaničkoj "RMR"-klasifikaciji (BIENIAWSKI, 1979, 1989) i "Q"-klasifikaciji (BARTON et al., 1974), prilagođeno potrebama geotehničkog projektiranja (STOJKOVIĆ, 1991; HOEK et al., 1992; HOEK, 1995).

TEMELJNA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Temeljna geološka istraživanja izvođena su metodologijom tipičnom za suvremeni rad na geološkoj karti, a predviđeni radovi su prilagođavani prilikama na

[1]Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2]Geofizika, Savska 64, 10000 Zagreb, Hrvatska.

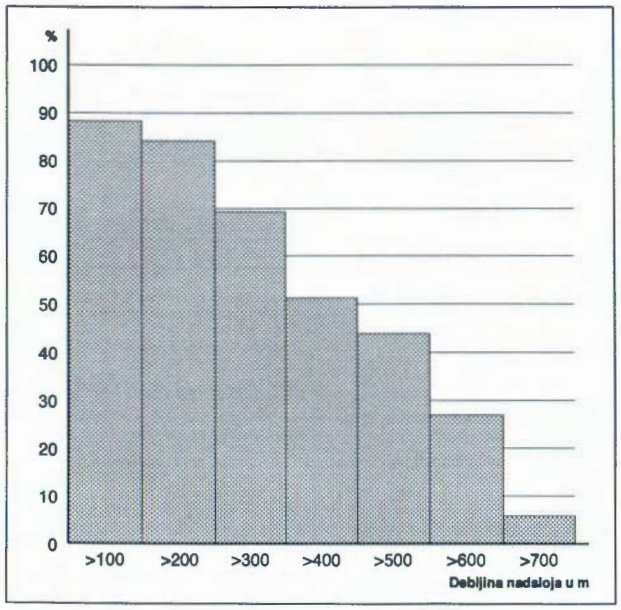
terenu, s obzirom da je istraživano područje vrlo kompleksne geološke građe.

Tijek je radova obuhvaćao analizu dosadašnjih istraživanja, u prvom redu OGK lista Ilirska Bistrica (ŠIKIĆ et al., 1975), fotogeološku obradu, te terenske i laboratorijske radove. Tijekom rekognosciranja terena odabrani su razmjerno neporemećeni lokaliteti, pogodni za detaljno proučavanje litostratigrafskih značajki i uzorkovanje, kako za detaljnije upoznavanje izdvojenih jedinica, tako i za rješavanje geoloških odnosa u pojedinim dijelovima terena. Velika debljina naslaga, a posebice vrlo izrazita tektonska poremećenost, onemogućile su snimanje detaljnih geoloških stupova, s obzirom da bi to zahtijevalo znatno duži vremenski period od raspoloživog, a rezultati nikako ne bi mogli biti u potpunosti zadovoljavajući (zbog nedostatka kontinuiranih litoloških slijedova). Stoga je rekognosciranju posvećena znatno veća pozornost, tako da su upravo tijekom toga dijela istražnih radova izdvojene jedinice koje će se moći kartirati. U laboratoriju Instituta za geološka istraživanja obavljene su kemijske analize odabranih uzoraka, a pripremljeni su i izbrusci, te nabrusci za daljnja mikroskopska istraživanja. Tako su obavljene analize mikroskopskih izbrusaka, kako mikrofacijesno (sedimentološki) tako i mikropaleontološki, čime su dobiveni podaci potrebiti za potpunije razmatranje okolišnih i stratigrafskih odnosa u istraživanome terenu.

Stup istraživanih naslaga vrlo je velike debljine (preko 1000 m), a obuhvaća naslage od donje krede (alba) do paleogena (srednjega eocena), pri čemu je valjalo izdvojiti što više litostratigrafskih jedinica koje se mogu kartirati (sl. 1). To je osobito važno zbog izuzetno zamršenih tektonskih odnosa, koji se u ovakvim terenima najpotpunije i najbolje mogu riješiti upravo detaljnom stratigrafskom raščlambom.



Slika 1 Shematski pregled litostratigrafskih jedinica koje su izdvajane tijekom geološkog kartiranja. Pored prikazanih jedinica izdvajani su i tektogeno-siparišni brečokonglomerati Jelar-tipa, tektogene i obronačne breče.



Slika 2 Pregled debljine nadsloja iznad nivelete tunela. Vidljivo je da je na više od polovice duljine nivelete nadsloj veći od 400 m.

Geološkim kartiranjem na topografskoj podlozi mjerila 1:5.000 obuhvaćeno je područje od po 500 m sa svake strane projekcije nivelete na površinu terena. Posebna je pozornost pritom posvećena rješavanju problema podrijetla i strukturnog položaja različitih tipova breča (na istraživanom području nalaze se tektonske, siparišno-tektogene, obronačne i tektogeno-dijagenetske breče), s obzirom na njihove bitno različite geomehaničke značajke. U strukturno-tektonskom smislu u istraživanome području može se izdvojiti nekoliko velikih strukturnih jedinica (idući od SI prema JZ slijede: zvonečko borano područje, lisinski navučeni kompleks, mrzljačka komprimirana sinklinala, planička neotektonski poremećena antiklinala, paleogenska ljuskava struktura i pazinski flišni bazen), kao i izraziti rasjedno-pukotinski sustavi (pirenejski sustav generalnog pružanja SZ-JI i neotektonski sustavi pružanja S-J i I-Z).

Praćenje drugih istražnih radova omogućava realno sagledavanje kompleksne geološke situacije na istraživanome području. Naime, tijekom geološkog kartiranja i detaljne strukturno-tektonske obrade uočena je kompleksnost strukturnih pokazatelja, tako da su podaci dobiveni geofizičkim istraživanjima (geoelektrikom i seizmikom), te istražnim bušotinama, od vrlo velike važnosti, posebice kada se tome pridoda vrlo velika debljina nadsloja. Naime, visinske razlike između površine terena i nivelete tunela su vrlo velike, tako da je u većem dijelu trase debljina nadsloja veća od 400 m, dok je u nekim dijelovima dubina do nivelete gotovo 800 m (sl. 2).

Istražne bušotine su locirane na mjesta na kojima su se mogli dobiti pokazatelji o strukturno-litološkim odnosima znakovitim za šire područje. Bušotine su u potpunosti jezgrovane, te uzorkovane za potrebe stratigrafsko-sedimentoloških, inženjerskogeoloških i geotehničkih istraživanja, a projektirane su tako da probuše sâmu niveletu budućeg tunela. Temeljna namjena 350 m duboke bušotine ŽTĆ-1 u jugozapadnom dijelu istraživanog područja bila je u proučavanju ljuskave građe paleogenskih struktura nastalih navlačenjima po razmjerno blagim navlačnim plohama. Bušotina ŽTĆ-2 (također dubine 350 m) locirana je u području sjevernoga dijela istraživanog terena s ciljem potvrde saznanja o brečolikim stijenama s granice donja-gornja kreda. Naime, tijekom dosadašnjih geoloških istraživanja na ovome području postojalo je više pretpostavki o postanku tih naslaga i njihovu mjestu u strukturi. Tijekom geološkog rekognosciranja i kartiranja utvrđeno je, a ovom bušotinom i dokazano, da su nastale postdijagenetskim procesima kataklaziranja i kasnodijagenetske dolomitizacije, tako da su odgovarajuće naslage prisutne u strukturi.

Na kraju svih predviđenih geoloških istraživanja i konzultiranja podataka dobivenih drugim istražnim radovima, u prvom redu dubokim istražnim bušotinama i geofizičkim istraživanjima, izrađen je prognozni geološki profil. Kao primjer takvoga profila odabrali smo dio između stacionaže 13,5 i 14,5 km, na kojem se nalazi kontakt paleogenske ljuskave strukture i planičke neotektonski poremećene antiklinale (sl. 3). Na ovome su dijelu istraživanog područja vidljive blago nagnute paleogenske ljuske karakterizirane navlačenjima paketa foraminiferskih vapnenaca bez kredne podloge po rasjednim plohama koje približno odgovaraju slojevitosti, te rasjedan i boran kredni kompleks. Rasjed pružanja sjever-jug koji dijeli te dvije strukturne jedinice karakteriziran je desnim pomakom, čime je razmaknut stariji pirenejski strukturni sklop sâmoga kontakta.

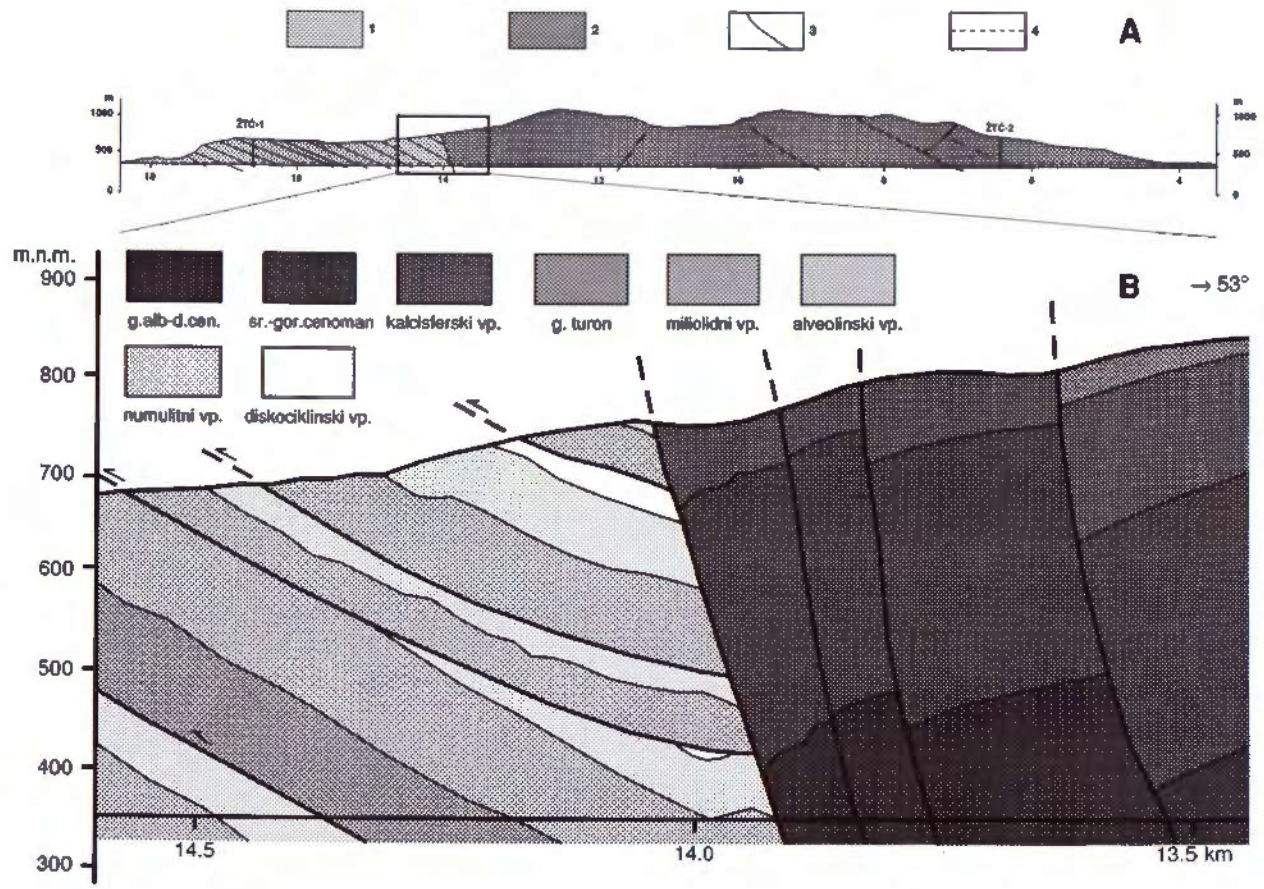
GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA

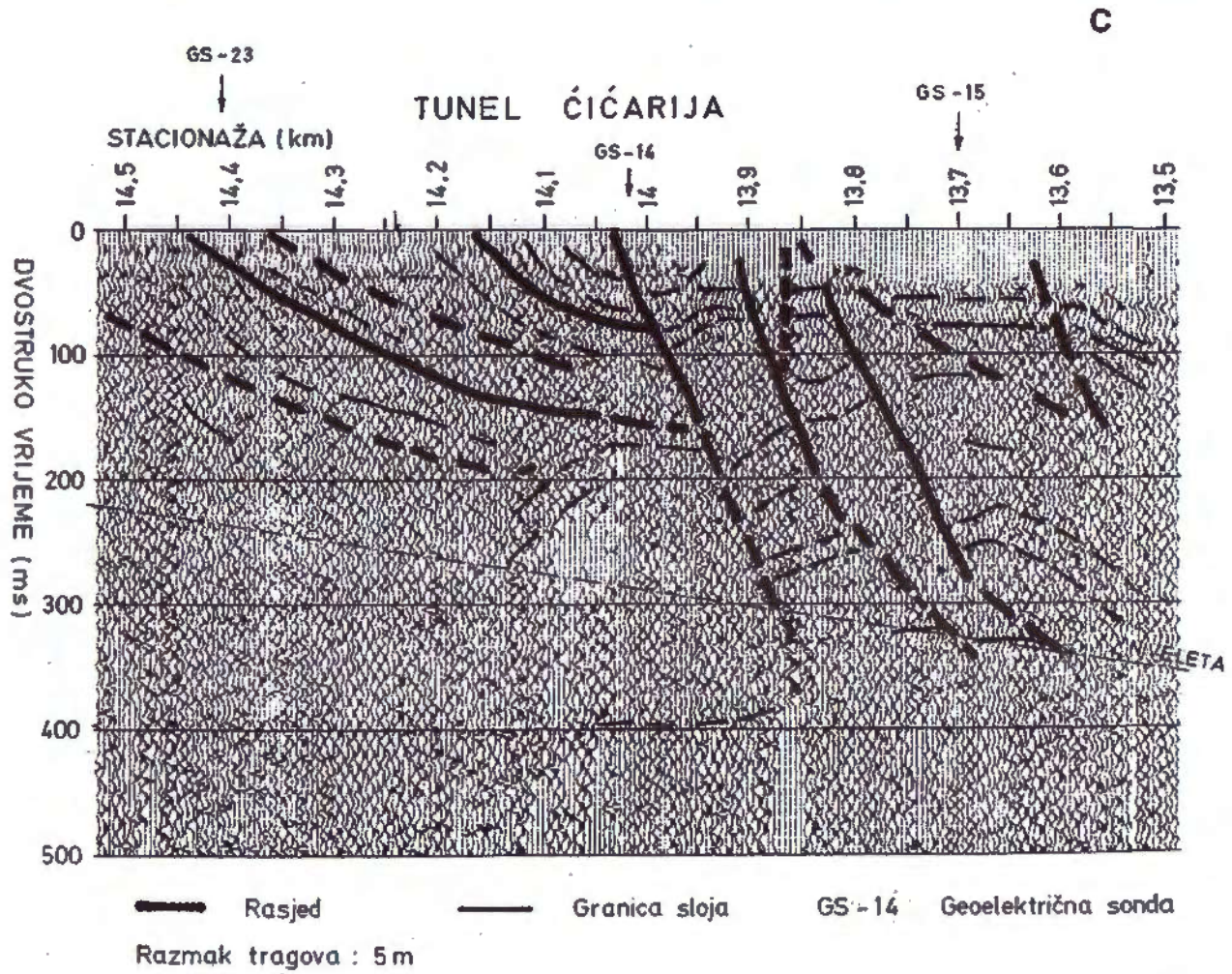
Poznato je da se pored bušenja, kao najskupljeg dijela istraživanja, jedino još geofizičkim metodama može direktno istraživati podzemlje, osobito ako se zahtjeva nešto veća dubina. Imajući u vidu debljinu nadsloja do nivelete tunela, mjestimice gotovo 800 m, ove su se metode pokazale vrlo važnom pomoći geološkim istraživanjima u cilju dobivanja što pouzdanijeg prognoznog profila i inženjerskogeološkog modela.

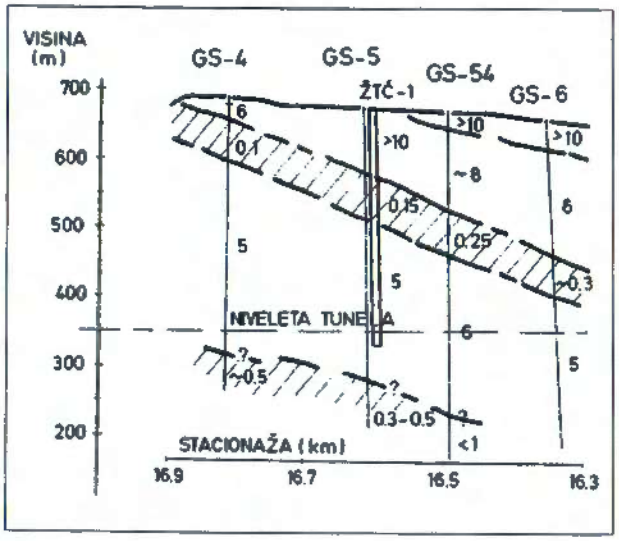
Program geofizičkih istraživanja obuhvaćao je ona koja se rade uz portalne dijelove tunela i ona koja se rade po trasi.

U prvu kategoriju treba ubrojiti seizmičko-refrakcijska mjerenja s određivanjem brzine P i S valova, kao i mjerenja brzina valova tzv. "down hole" metodom, te karotažna mjerenja radioaktivnim metodama u bušotinama.

Po trasi tunela su provedena istraživanja dvjema geofizičkim metodama: CDP plitkom seizmičkom refleksijom (CDP - "common depth point" - zajednička dubinska točka) i geoelektričkim sondiranjem.


1
2
3
4
A
ŽTČ-1
ŽTČ-2
m.n.m.
900
800
700
600
500
400
300
B
→ 53°
g.alb-d.cen.
sr.-gor.cenoman
kalcisferski vp.
g. turon
miliolidni vp.
alveolinski vp.
numulitni vp.
diskociklinski vp.
14.5
14.0
13.5 km


C
GS-23
TUNEL ĆIĆARIJA
GS-15
STACIONAŽA (km)
GS-14
14,5
14,4
14,3
14,2
14,1
14
13,9
13,8
13,7
13,6
13,5
0
100
200
300
400
500
DVOSTRUKO VRIJEME (ms)
ETA
Rasjed
Granica sloja
GS-14 Geoelektrična sonda
Razmak tragova : 5 m



Slika 4 Geoelektrički dubinski presjek po dijelu trase između stacionaža 16,3 i 16,9 km.

CDP metoda seizmičke plitke refleksije prvi puta je primijenjena po trasi tunela ovako velike dužine (preko 14 km). Pogodna je zato što se nakon digitalne obrade podataka kao krajnji rezultat dobiju praktički kontinuirani vremenski i dubinski presjeci, pa je kod njihove interpretacije interpolacija i ekstrapolacija svedena na malu mjeru.

Kod snimanja podataka na terenu parametri su odabrani tako da se zahvati dubina od približno 20 do 800 m. Digitalna obrada podataka provedena je na osobnom računalu uporabom programskog paketa VESNA.

Kao ilustracija je na slici 3c prikazan ne sasvim detaljno interpretiran vremenski seizmički presjek između stacionaža 13,5 i 14,5 km, na kojem se dobro uočavaju rasjedi i granice sloja.

Geoelektričko sondiranje je izvedeno s prosječnom gustoćom od po jedne sonde na svakih 300 m trase tunela. Dužina konačnog polurazmaka strujnih elektroda (dubina zahvata mjerenja) ovisila je o debljini nadsloja do nivelete. Primijenjene su tri osnovne dužine, AB/2=500, 2000 i 3000 m, što određuje dubinu interpretacije od približno 200, 600 i 1000 m. Slika 4 prikazuje geoelektrički dubinski presjek po dijelu trase između stacionaža 16,3 i 16,9 km.

Pokazalo se da se metoda seizmičke plitke refleksije i geoelektričkog sondiranja dobro dopunjuju, kako kod otkrivanja rasjeda, tako i pri litološkom raščlanjivanju materijala, što je značajno za utvrđivanje odnosa laporovitih naslaga i karbonata.

INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

U okviru inženjerskogeoloških istraživanja za trasu tunela provedeno je detaljno terensko snimanje geoloških, strukturnih i drugih inženjerskogeoloških elemenata. Točke opažanja i uzorkovanja, sva mjerenja i drugi relevantni podaci za klasifikaciju stijenskih masa uneseni su u odgovarajuću bazu podataka informatičkog sustava za tunel Ćićarija, koji je kompatibilan inženjerskogeološkom informatičkom sustavu Republike Hrvatske. Podaci za inženjerskogeološku interpretaciju građe i značajki stijenskih masa u području tunela dobiveni su u skladu s metodologijom koju preporuča Internacionalno udruženje za mehaniku stijena.

Na temelju provedenih terenskih i laboratorijskih istraživanja definirane su inženjerskogeološke cjeline istih ili sličnih karakteristika, koje se prema rezultatima temeljnih geoloških istraživanja mogu očekivati u području nivelete tunela. Na taj način su kao posebne inženjerskogeološke litološke cjeline izdvojeni albski vapnenci, alb-cenomanski dolomiti i dolomitizacijske breče, cenomanski vapnenci, kompleks paleogenskih karbonatnih stijena i kompleks prijelaznih naslaga i fliša.

Detaljnim mjerenjem temeljnih elemenata tektonskog sklopa utvrđeno je da se u istraživanom području mogu razlikovati tri makrotektonska bloka: 1) tektonski blok krednih boranih i reversno rasjedanih naslaga s dinaridskim smjerom pružanja strukturne osi, 2) tektonski blok krednih naslaga u rotiranom tektonskom bloku uz transkurentni rasjed, gdje je pružanje strukturne osi smjera sjever-jug, i 3) tektonski blok s paleogenskim naslagama s izraženom ljuskavom tektonskom građom dinaridskog smjera pružanja.

Za izdvojene inženjerskogeološke cjeline prikupljeni su podaci za klasifikaciju stijenskih masa (BIENIAWSKI, 1979, 1989; BARTON et al., 1974; HOEK et al., 1992; HOEK, 1995).

Tijekom detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja i istražnog bušenja uzeti su uzorci za određivanje jednoosne čvrstoće i indeksa točkastog opterećenja (PLI), kao jednog od osnovnih ulaznih podataka "RMR"-klasifikacije stijenskih masa.

RQD-indeks određen je mjerenjima jezgre bušotina, pri čemu treba napomenuti da su bušenjem zahvaćeni svi litološki članovi inženjerskogeoloških cjelina koje se očekuju u području nivelete tunela.

Razmak između diskontinuiteta mjeren je na izdancima tijekom detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja. Mjerenja su provedena u tri karakteristična smjera, a rezultati mjerenja statistički obrađeni. Tim

Slika 3 Prikaz profila dobivenog površinskim istraživanjem i plitkom seizmičkom refleksijom. A) vrlo pojednostavljeni prikaz profila željezničkog tunela Ćićarija. Tumač: 1 - paleogenska ljuskava struktura; 2 - borana i rasjedana struktura izgrađena pretežito od krednih naslaga; 3) glavni rasjedi; 4) niveleta tunela. B) Pojednostavljeni prognozni geološki profil dijela profila između stacionaže 13,5 i 14,5 km - detalj sa slike A. C) Interpretacija vremenskog seizmičkog presjeka istog dijela profila.

	DOLOMITIZ. BREČE ALB-CENOMAN	FORAMINIFERSKI VAPNENCI
Jednoosna čvrstoća	prosjek 126,3 MPa	prosjek 147,9 MPa
Indeks točkastog opterećenja	prosjek 2,764 MPa	prosjek 3,937 MPa
R Q D	prosjek 94 %	prosjek 93 %
Orijentacija diskontinuiteta:		
- slojevitost	260-285/10-35°	70-100/25-40°
- osna ravnina	80-110/35-70°	260-280/20-70°
- okomite na "b"	165-175/75-85°	160-180/65-85°
- okomite na "b"	345-355/85-90°	340-360/60-75°
Razmak između diskontinuiteta:		
- slojevitost	20-200 cm	90-110 cm
- osna ravnina	22-32 cm	30-50 cm
- okomite na "b"	50-60 cm	30- 60 cm
Dužina diskontinuiteta:		
- slojevitost	> 20 m	> 20 m
- osna ravnina	3-10 m	3-10 m
- okomite na "b"	1-3 m	1-3 m
Zijev:		
- slojevitost	0,1-1,0 mm	< 0,1 mm
- osna ravnina	1,0-5,0 mm	0,1-5,0 mm
- okomite na "b"	1,0-5,0 mm	0,1-1,0 mm
Ispuna:		
- slojevitost	bez ispune	bez ispune
- osna ravnina	dezintegr.stij.	bez ispune
- okomite na "b"	bez ispune	bez ispune
Hrapavost:		
- slojevitost	JRC=10-12	JRC= 4-10
- osna ravnina	JRC=10-12	JRC= 6-12
- okomite na "b"	JRC=12-16	JRC=10-14
Rastrošenost stijenki diskontinuiteta:		
- slojevitost	neznatno	neznatno
- osna ravnina	umjereno	neznatno
- okomite na "b"	neznatno	neznatno
Priliv vode na 10 m dužine tunela: 10-25 l/min		

Tablica 1 Ulazni podaci za "RMR" i "Q"-klasifikaciju stijenskih masa za alb-cenomanske dolomitizacijske breče od stacionaže km 13+500 do stacionaže km 13+880 i foraminiferske vapnence od km 13+880 do km 14+500.

postupkom određene su srednje vrijednosti razmaka između diskontinuiteta, njihove najveće frekvencije i rasponi u području normalnih očekivanja.

Rezultati mjerenja razmaka između diskontinuiteta uspoređeni su s rezultatima mjerenja RQD u bušotinama.

Kod ocjene stanja diskontinuiteta primijenjeni su metodologija i standardi koje je preporučila Komisija za standardizaciju laboratorijskih i terenskih ispitivanja Internacionalnog udruženja za mehaniku stijena (ISRM, 1978). Ocjena stanja dana je za za svaki diskontinuitet temeljnog tektonskog sklopa (slojevitost, diskontinuiteti paralelni klivažu osne ravnine i pukotine okomite na lokalnu strukturnu os "b"), kao i za vidljive klizne diskontinuitete pretežito smičnog tipa sa subhorizontalnim kretanjima tektonskih blokova.

Dužinu diskontinuiteta nije bilo moguće izmjeriti, pa je ocijenjena promatranjem većih stijenskih izdanaka.

Hrapavost diskontinuiteta definirana je koeficijentom hrapavosti u 10-centimetarskom i metarskom mjerilu (JRC - "joint roughness coefficient"), dok je čvrstoća njihovih stijenki (JCS - "joint wall compression strenght") ocijenjena također prema uputama Internacionalnog udruženja za mehaniku stijena.

Određivanjem i mjerenjem ostalih značajki stijena (zijev diskontinuiteta, ispuna, broj sustava diskontinuiteta, veličine stijenskih blokova, orijentacija diskontinuiteta u svakom pojedinom dijelu tektonske strukture i dr.), dobiveni su svi ulazni podaci za klasificiranje stijenskih masa prema geomehaničkoj "RMR"-klasifikaciji (BIENIAWSKI, 1979, 1989) i "Q"-klasifikaciji (BARTON et al., 1974), prilagođeno potrebama geotehničkog projektiranja (HOEK et al., 1992; HOEK, 1995).

U dijelu prognoznog profila između stacionaža km 13+500 i 14+500 (sl. 3), gdje se nalazi izraziti transkurentni rasjed koji dovodi u neposredan kontakt kredne i paleogenske naslage, na niveleti tunela se očekuje da je orijentacija diskontinuiteta u rotiranom općem sklopu sa strukturnom osi "b" pružanja sjever-jug. U direktnom kontaktu će biti dolomiti i dolomitizacijske breče alb-cenomana i foraminiferski (alveolinski i numulitni) vapnenci. Osim snimanjem na površini, alb-cenomanske naslage su u cjelokupnom profilu istražene bušotinom ŽTĆ-2 (na stacionaži km 6+450),

dok su foraminiferski vapnenci u cijelom profilu istraženi bušotinom ŽTĆ-1 (na stacionaži km 16+620). Ulazni podaci za "RMR" i "Q"-klasifikaciju stijenskih masa za alb-cenomanske dolomitizacijske breče od stacionaže km 13+500 do stacionaže km 13+880 i foraminiferske vapnence od km 13+880 do km 14+500 prikazani su tablicom 1.

Ostali podaci za klasifikaciju stijena i projektiranje su:

- broj sustava diskontinuiteta: tri sustava i slučajne pukotine;
- faktor redukcije napona: visoki pritisak (nadsloj oko 400 m);
- postojanje oslabljene, snažno izražene tektonske zone s visoko plastičnom glinom, debljine nekoliko metara i kavernoznih zona, također s visoko plastičnom glinom, posebice u krednim naslagama. Postojanje oslabljenih i kavernoznih zona uz manje rasjede smjera pružanja sjever-jug i istok-zapad, s ispunom od visoko plastične gline.
- postojanje otvorenih kaverni ili špilja, posebice u zoni kontakta između mezozojskih i paleogenskih naslaga, ali i presjecišta između genetski različitih diskontinuiteta s mogućnošću njihova horizontalnog ili vertikalnog širenja. Ova prognoza je važna zbog toga što je kod nailaska na takve pojave potrebno odmah reagirati, kako materijal miniranja ne bi zasuo postojeći kavernozni prostor.

ZAKLJUČAK

Željeznički tunel kroz Ćićariju, kao kapitalni objekt spoja Istre s ostalim dijelovima Hrvatske, projektiran je u terenu vrlo kompleksne građe, koju je trebalo za potrebe projektiranja odrediti s relativno visokom pouzdanošću uz razmjerno male troškove. Zbog toga su izvedena kompleksna istraživanja s maksimalnim sudjelovanjem površinskih radova i samo neophodnim istraživanjima bušenjem. Bušotine su, nakon izvedenih detaljnih geoloških, inženjerskogeoloških i geofizičkih istraživanja, locirane tako da presjeku sve litostratigrafske članove koji se mogu očekivati u području oko nivelete tunela. Površinskim istraživanjima definirani su tektonski blokovi čija su ograničenja i unutarnja građa prognozirani temeljnim geološkim, inženjerskogeološkim i strukturno-geološkim istraživanjima, te provjeravani primjenom geofizičkih metoda (CDP plitka seizmička refleksija, geoelektrično sondiranje i dr.).

Inženjerskogeološke značajke stijenskih masa u tunelu prognozirane su na temelju podataka dobivenih površinskim istraživanjima, rezultata istražnog bušenja i laboratorijskih ispitivanja, uz probabilistički pristup kod interpretacije dobivenih podataka i definiranja inženjerskogeološkog modela tunela.

Izrađeni inženjerskogeološki model tunela "Ćićarija" predstavlja podloga za daljnje geotehničko projektiranje tunela.

LITERATURA

BARTON, Z.T., LIEN, R. & LUNDE, J. (1974): Engineering classification of rock masses for design of tunnel support.- Rock Mechanics, 6/4, 183-236.

BIENIAWSKI, Z.T. (1979): The geomechanic classification in rock engineering applications.- Proc. of Fourth Congress of ISRM, 2, 41-48, Montreux (Suisse).

BIENIAWSKI, Z.T. (1989): Engineering rock mass classifications: a complette manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering.- A Wiley-Interscience publications, 251 p., New York.

HOEK, E., WOOD, D. & SHAH, S. (1992): A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses.- Proc. Rock. Characterization, Symp. Int. Soc. Rock. Mech., Eurock '92, 209-214, London.

HOEK, E. (1995): The Challenge of Input Data for Rock Engineering.- ISRM News Journal, 23-24, Lisaboa.

ISRM (1978): Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses.- Commission on standardization of laboratory and field tests, Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., 15, 319-368, Pergamon Press Ltd. London.

STOJKOVIĆ, B. (1991): Stabilizacija podzemnih iskopa u tunelogradnji - empirijski pristup.- Znanstveni projekt br. 2-1-098 - Stabilnost geotehničkih objekata, Institut građevinarstva Hrvatske, Zavod za geotehniku, Zagreb.

ŠIKIĆ, D., PLENIČAR, M. & ŠPARICA, M. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, Tumač za list Ilirska Bistrica, L 33-89.- Inst. geol istraž. Zagreb (1965), Sav. geol. zavod, Beograd.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	89 - 94	ZAGREB 1995

Hidrogeologija Vranskog jezera na otoku Cresu

Božidar **BIONDIĆ**, Darko **IVIČIĆ**, Sanja **KAPELJ** & Saša **MESIĆ**

Ključne riječi: hidrogeologija krša, geneza Vranskog jezera, područje prihranjivanja, vodoopskrba, recentni sediment, hidrokemija

Key words: Karst hydrogeology, Genesis of the Vrana lake, Catchment area, Water-supply, Recent sediment, Hydrochemistry

Sažetak

Vransko jezero na otoku Cresu, površine oko 5.3 km^2 jedinstvena je vodna pojava na Jadranskim krškim otocima, ali i na cijelom Mediteranu. Potpuno slatka masa vode (220 mil. m^3), koja seže do dubine 60 m ispod razine mora na izduženom, relativno uskom otoku kao što je otok Cres (oko 10 km), oduvijek je plijenio interes istraživača. Vrlo često su se polarizirale dvije koncepcije razmišljanja o napajanju jezera - iz lokalnog sliva ili iz regionalnih prostora, pa čak i prostora izvan otočnog područja, ali saznanja o jezeru nisu bila dovoljna za odluku o bilo kojoj postavci. Od samog početka istraživanja načelno smo se priklonili drugoj, hrabrijoj koncepciji, ne negirajući utjecaj lokalnog sliva, ali s temeljnim zadatkom identifikacije stvarnih prirodnih uvjeta u kojima je to jezero nastalo i recentne dinamike vode u tom prostoru. Jedino je na taj način moguće postaviti dinamički model jezera i način gospodarenja tim važnim vodnim resursom.

U sklopu ovog rada biti će prikazani rezultati dosadašnjih hidrogeoloških istraživanja, od definiranja geometrije sustava, hidrokemijskih ispitivanja, ispitivanja prirodnih izotopa vode, snimanja najdubljih dijelova jezera roniocima, analiza recentnog nanosa, odnosa jezero-podzemna voda u neposrednom slivu i analiza jezera od pleistocena do današnjih dana u sklopu razvoja cjelokupnog sjevernojadranskog prostora.

Abstract

Vransko jezero on the island Cres has the surface of 5.3 km^2, and is an unique water phenomenon on Adriatic karst islands and in the entire Mediterranean. Entirely fresh water volume (220 mill. m^3) reaching the depth of 60 m below sea level on the elongated, relatively narrow island of Cres (about 10 km) has always drawn the attention of researchers. Two basic concepts on lake recharge have often been at odds - from local catchment or from regional zone or even zones outside the island. However, the knowledge on the lake wasn't sufficient to decide in favor of any of these assumptions. From the very start of exploratory works we've accepted in principle the second, more courageous concept, not denying the influence of local catchment. The fundamental task was to identify actual natural conditions under which this lake evolved and contemporary water movement in this region. This is the only way in which dynamic model of the lake could be developed and the only manner of managing this important water resource.

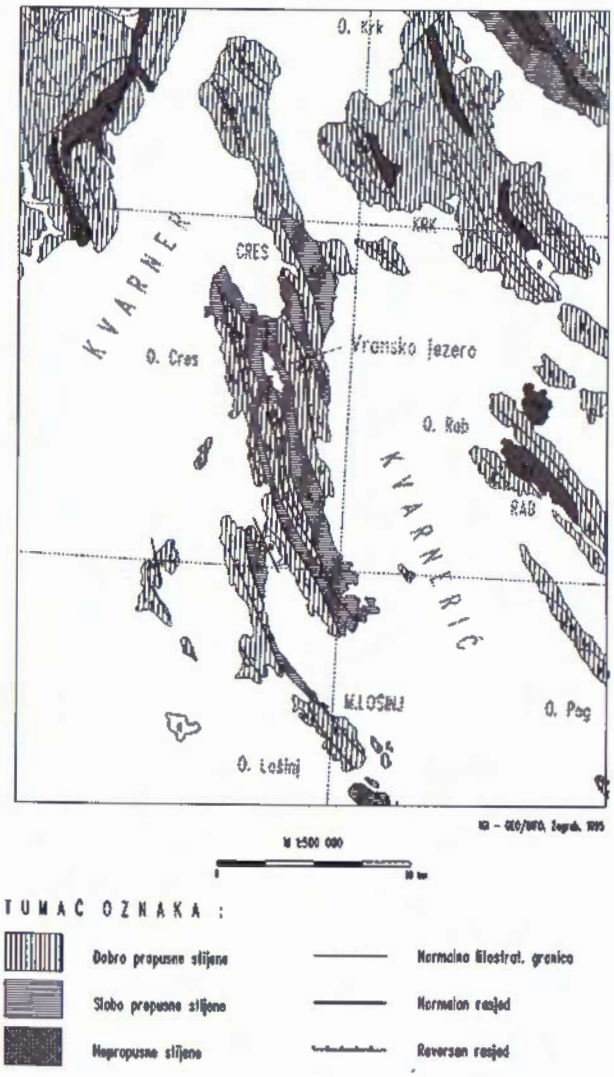
The results of hydrogeological explorations to date will be presented in this paper, from the definition of system geometry, hydrochemical investigations, investigations of natural water isotopes, results obtained by diving-recordings of the deepest part of the lake, results of analysis of recent sediment, relation between the lake and groundwater in the immediate catchment and analysis of lake genesis from Pleistocene up to present in the scope of development of the entire North-Adriatic region.

1. UVOD

Vransko jezero na otoku Cresu je najveći vodni fenomen Jadranskog područja, ali i cijelog Mediterana (sl. 1). Površina jezera od 5,3 km^2 i potpuno slatka masa vode (220 mil. m^3), koja seže do dubine 60 m ispod razine mora, na izduženom, relativno uskom otoku kao što je Cres, oduvijek je plijenio interes istraživača.

Vrlo često su se na tom jezeru polarizirale dvije osnovne koncepcije razmišljanja o napajanju jezera - isključivo iz lokalnog sliva oko jezera ili iz regionalnih prostora, pa čak i izvan otočnog područja. Saznanja o jezeru nisu bila dovoljna za odluku o bilo kojoj postavci, a to je moglo imati direktan negativan utjecaj na način korištenja i zaštite vode u jezeru. Naime, jezerska voda se koristi za vodoopskrbu otoka Cres i Lošinj (do 140 l/s) i predstavlja jedini izvor pitke vode na otocima visoko razvijenog turizma. Od samog početka sadašnjih istraživanja na jezeru nastojali smo držati oba koncepcijska rješenja otvorena, težeći stvaranju objektivne slike stanja temeljem vrlo kompleksnih istraživačkih zahvata. Smatrali smo da se optimalno korištenje vode i zaštita jezera može postići jedino kroz poznavanje geneze i hidrodinamičkog modela sustava. U skladu s takvim razmišljanjima oformili smo vrlo kompleksan istraživački projekt, koji uključuje geološko-strukturna, hidrogeološka, morfološka,

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



Slika 1 Hidrogeološka karta.

geofizička, limnološka, hidrokemijska i druga istraživanja. Hidrološka istraživanja rade stručnjaci JVP Hrvatska Vodoprivreda iz Rijeke i Labina (OŽANIĆ & RUBINIĆ, 1994; RUBINIĆ, 1990; RUBINIĆ & OŽANIĆ, 1992) i u sklopu ovog rada se koriste rezultati njihovih hidroloških analiza. Osim toga projekt Vranskog jezera uveden je u COST projekt Europske Unije kao dio pilot projekta Kvarnerskog zaljeva. Na taj način omogućena je međunarodna suradnja s vrhunskim europskim stručnjacima, a neki od njih su i direktno sudjelovali u istraživanjima (Institut za nuklearna istraživanja iz Debrecena, Madarska).

Istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu započela su već u prošlom stoljeću (LORENZ, 1859; MAYER, 1874), ali to su bili uglavnom zemljopisni opisi i izražene samo ideje o porijeklu vode u jezeru. Slijede brojne limnološke i hidrološke analize jezerske mase (GAVAZZI, 1902; CECCONI, 1940; NUMMAN, 1949; PETRIK, 1957, 1960, 1969). POLJAK (1947) je bio prvi hidrogeolog koji je pisao o Vranskom jezeru. Upućuje na razmišljanja o regionalnom dotoku podzemne vode u jezero, pa čak i iz udaljenih kopnenih prostora. BONACCI (1993) svojom hidrološkom analizom zatvara sve komunikacije vode u lokalni sliv u neposrednom okolišu jezera. Iz navedenog je vidljivo da su na početku ovog istraživačkog projekta sve opcije bile otvorene i da je to bila dobra baza za objektivizaciju problema geneze Vranskog jezera.

2. GEOLOŠKI OPIS

Otok Cres, na kojem je smješteno Vransko jezero, izgrađen je pretežito od okršenih karbonatnih stijena kredne starosti. U litološkom smislu prevladavaju dolomiti nad vapnencima. Brojne pojave fliških stijena paleogenske starosti posljedica su tangencijalnih tektonskih kretanja, što je potvrđeno geofizičkim istraživanjima na širem području Vranskog jezera. Od naslaga kvartarne starosti na otočju Cres-Lošinj registrirani su eolski sedimenti nastali u delti rijeke Po, obrončani nanosi i sipari, a tijekom istraživanja dna jezera, jezerski prašinasti sediment pleistocenske starosti, bujični nanosi i recentni jezerski sediment.

U strukturno-tektonskom smislu otok Cres s Vranskim jezerom pripada Jadranskoj karbonatnoj platformi - Adrijatik (HERAK, 1986, 1991). Osnovnu sliku daju navlačne strukture, karakteristične za rubno područje platforme. U rekonstrukciji formiranja današnjih struktura značajno je definirati nekoliko tektonski aktivnih faza. Osnovne tangencijalne forme stvarane su u tercijaru (prevrnute bore, navlake, reversni rasjedi). Neotektonska kretanja imala su za posljedicu rotacije i međusobno horizontalno kretanje strukturnih blokova, ovisno o promjenama regionalnog smjera stresa. Generalni smjer prostiranja struktura je dinarski, a to je ujedno i smjer uzdužne osi jezera. Depresija Vranskog jezera otvorena je duž uzdužnog relaksacijskog rasjeda nakon promjene smjera stresa, koji je promjenio smjer kretanja strukturnih blokova.

3. HIDROGEOLOGIJA

Kada govorimo o hidrogeologiji Vranskog jezera na otoku Cresu moramo u prvom redu istaći regionalne paleogeografske uvjete, koji su vladali u sjevernojadranskom prostoru. Treba istaći da je morska razina, jednako kao i u cijelom Mediteranu bila oko 100 m niža od današnje i da je cjelokupni prostor sjevernog Jadrana, pa tako i okružje otoka Cresa, bilo kopno, odnosno delta rijeke Po. U fazama glacijala u tom prostoru su vladali praktički pustinjski, bezvodni uvjeti i tada su pješčane oluje nanosile na rubne uzvisine delte debele pješčane nanose, čiji su erozijski ostaci vidljivi na padinama otočja. Dizanje morske razine stvara današnju sliku tog prostora, relativno plitko more i brojne otoke.

Vransko jezero nema karakteristike tipične vodne pojave u Dinarskom kršu, jer nema vidljivog izviranja i otjecanja kao ostale velike krške vodne pojave. Opisanim neotektonskim pokretima otvoren je prostor

unutar karbonatne mase otoka, čime je omogućena vertikalna cirkulacija vode. I podaci gravimetrijskih mjerenja pokazuju niske vrijednosti u južnom dijelu jezera, na mjestu vrtačaste depresije, a to je naznaka niže gustoće stijena, odnosno potencijalno otvorenih prostora prema dubini. Geoelektričnim sondiranjem utvrđeni su nagibi primarnih reversnih rasjeda (do 25°) prema sjeveroistoku s višestrukim ponavljanjem superpozicijskog slijeda naslaga. Na taj način vodonepropusni fliš i slabo vodopropusni dolomiti kao izolatori ulaze u građu dubokog podzemlja na otoku, što omogućuje razmišljanja o povezanosti jezera osim s lokalnim slivom i s regionalnim prostorom.

U ovom radu prikazat ćemo ukratko poznate činjenice o jezeru i izvesti hidrogeološke zaključke, koje je temeljem tih činjenica u današnjem momentu moguće postaviti.

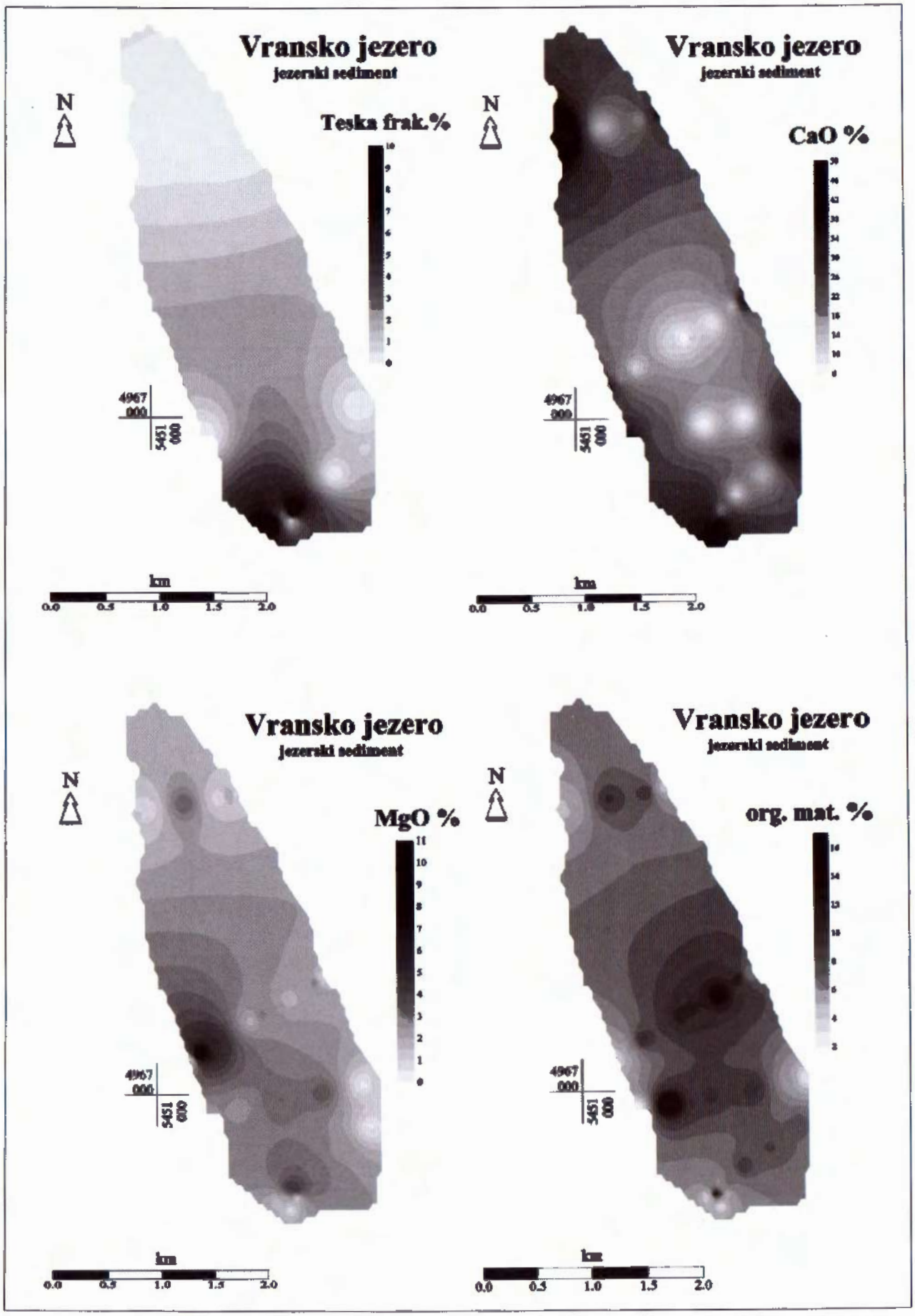
U sklopu suradnje s kolegama iz Mađarske rađeno je podvodno snimanje i uzorkovanje najdubljeg dijela jezera. Prema nalazima ronioca utvrđeno je postojanje jezerskog sedimenta pleistocenske starosti debljine preko 30 m, što ukazuje da je jezero bilo formirano još u ranom pleistocenu, u vrijeme kada je razina mora bila znatno niža od današnje. Razvojem krških procesa, vode su ponirale u dublje krško podzemlje i u depresiji današnjeg jezera nastupila je kopnena faza. Potvrda tome su nalazi tankog lateritnog pokrova na jezerskom sedimentu, erozijskih korita i bujičnih nanosa. Činjenica je da je već u to vrijeme funkcionirao lokalni sliv i da je čitava depresija imala sve karakteristike krških polja, a to znači vezu s dubokim krškim podzemljem, usmjerenim prema tadašnjoj razini mora. Vode iz lokalnog sliva ponirale su tada na mjestu današnjeg najdubljeg dijela jezera. Dizanje razine mora u cijelom Mediteranu nakon zadnje oledbe uzrok su podizanju i potiskivanju slatke vode prema kontinentalnom području. Tada je ponovo slatkom vodom napunjena depresija Vranskog jezera i započelo je taloženje recentnog jezerskog sedimenta.

Za ocjenu geneze jezera i današnje dinamike vode u jezeru značajan udio ima i istraživanje recentnog nanosa. Rezultati analize mineralnog sastava, kalcimetrijske analize i sadržaja organske komponente vrlo su značajni za daljnja razmišljanja. Iz priloga (sl. 2) vidljivo je da je najveća koncentracija teške mineralne frakcije nađena na dnu "potopljene vrtače" i u njezinoj neposrednoj okolici. Njezino porijeklo nije moguće temeljem dosadašnjih istraživanja u cijelosti otkriti, ali je evidentno da su to neuobičajeni mineralni sadržaji za neposredni sliv jezera i da je to jedan od elemenata koji ukazuje na donos materijala izvan neposrednog okoliša jezera. To treba utvrditi budućim istraživanjima. Sadržaj CaO i MgO u skladu su sa prostiranjem vapnenaca, odnosno dolomita na padinama depresije. Interesantna je raspodjela organske materije u sedimentu jezera. Koncentracije uz usisnu cijev crpilišta imaju upozoravajući značaj.

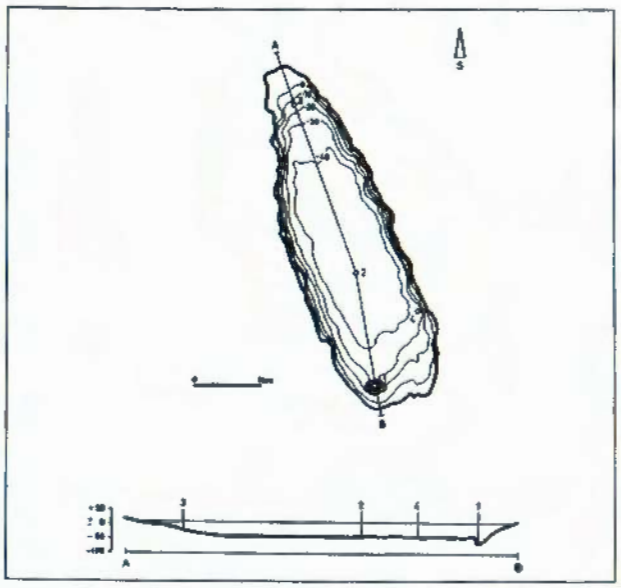
Hidrološka opažanja Vranskog jezera rade se kontinuirano od 1929. godine. Posebno su aktivirana u sklopu istraživačkih aktivnosti na jezeru od 1989. godine do danas (OŽANIĆ & RUBINIĆ, 1994). Rezultati istraživanja upućuju na lokalno funkcioniranje hidrosustava na procijenjenom slivu površine oko 24 km^2, međutim promjenljivost bilance voda iz godine u godinu autori povezuju s promjenom veličine sliva, što je za krška područja razumljivo, ali ne u tolikim razmjerima kakvi se pojavljuju na Vranskom jezeru. Zatvaranje bilance voda jezera zahtijeva i uvođenje u račun značajne količine gubitaka iz jezera. Evidentno je međutim da se oborine manifestiraju na razinu jezera, ali zabilježene su i pojave izvanrednih porasta razine jezera bez oborina u neposrednom slivu, što se povezuje s retencijskim sposobnostima podzemlja. Iskazuje se utjecaj crpljenja na ravnotežno stanje jezera i ističu preoptimistične ranije prognoze o mogućem crpljenju do 250, pa čak i 350 l/s vode iz jezera. Zabrinjavajući trend pada razine jezera do 1990. godine (9,23 m n. m.) zaustavljen je promjenom hidrometeoroloških uvjeta i razina jezera je u vrijeme pisanja ovog rada na oko 11,5 m n. m.

Prema limnološkim obilježjima Vransko jezero se može svrstati u srednje velika i duboka jezera umjerenog klimatskog pojasa, koja se zimi ne zaleđuju, a oligotrofnog i monomiktičnog su karaktera. Cijela jezerska masa je dobro aerirana, alkalitet vode je nešto niži od ostalih krških otvorenih vodotoka i nema izražene kemokline. Ustanovljeni razvoj termičke stratifikacije tijekom godine i izotermička situacija krajem zime praćena homogenizacijom kemijskog i izotopnog sastava potvrđuje monomiktičnu prirodu jezerske sredine, tj. činjenicu da se obrat cjelokupne mase jezerske vode događa jednom godišnje (BIONDIĆ et al., 1994; HERTELENDI et al., 1994). Distribucija većine fizičkih i kemijskih parametara uglavnom slijedi godišnji režim termičke stratifikacije. Očituje se u promjeni vertikalne raspodjele sezonski ovisnih veličina (O_2, pH, alkalitet, hranjive soli), a posljedica su promjene temperature i biološke aktivnosti. Raspodjela ostalih sastojaka poput klorida, sulfata, makro i mikro elemenata u tragovima prilično je ujednačena tijekom godine u velikom dijelu jezerskog prostora. Međutim, u pojedinim dijelovima jezera uočena su odstupanja, ali uglavnom sezonskog karaktera. Uzrok tome je što utjecaj termičke stratifikacije na odjeljivanje epilimnija od hipolimnija u svim dijelovima jezera nema isti efekt. Premda je najveći dio jezera dobro aeriran okoliš, u razdoblju razvijene stratifikacije (studeni 1992.) 1 m od dna središnjeg dijela jezera ustanovljeni su potpuno anoksični uvjeti, gdje je izmjerena koncentracija kisika bila manja od 1 mg/l. Usporedno sa smanjenjem koncentracije kisika pri dnu u vremenu od ljeta do jeseni, javlja se i porast koncentracije metala kao posljedica otapanja recentnog jezerskog sedimenta. Djelovanje redoks barijere osjeti se do dubine 10 m od dna jezera. Istovremeno (studeni 1992.) na dnu potopljene depresije izmjereno je 4,6 mg/l otopljenog kisika (sl. 4).

Sadržaj klorida prilično je ujednačen po cijeloj jezerskoj masi i najčešće pokazuje blagi porast s dubinom.

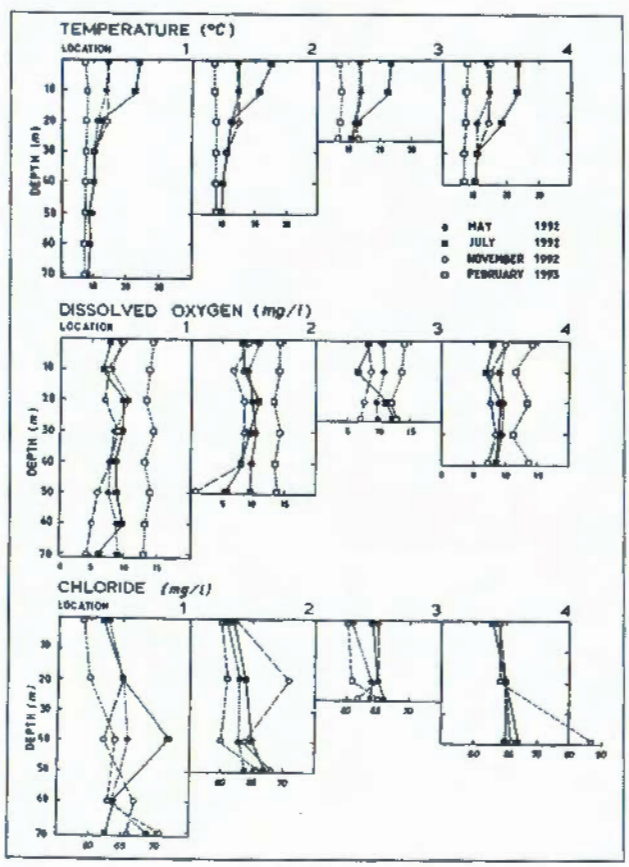


Slika 2 Analize recentnog jezerskog sedimenta.



Slika 3 Batimetrijski prikaz prostora Vranskog jezera s točkama uzimanja uzoraka vode.

Međutim, u potopljenoj depresiji uočene su male varijacije po dubini, što zajedno s izmjerenom koncentracijom kisika upućuje na zaključak da je taj dio jezera, za razliku od središnjeg dijela, otvoren prema nekom drugom aeriranijem prostoru. Na taj način moguće je tumačenje nadoknade potrošenog kisika i fluktuacije u vertikalnoj raspodjeli klorida.



Slika 4 Temperatura, otopljeni kisik i sadržaj klorida duž odabranih profila.

Treba naglasiti da je pojava sezonske anoksije pri dnu središnjeg dijela jezera zabilježena po prvi puta i da ukazuje na blage promjene u trofičnim svojstvima jezerskog sustava. Iako je to pojava čisto sezonskog karaktera i za sada ne narušava raspodjelu i ukupni sadržaj svih sastojaka u jezeru, u sklopu budućih istraživanja treba na to obratiti pažnju.

Rezultati izotopnih istraživanja, rađenih u sklopu međunarodne suradnje (HERTELENDI et al., 1994, 1995) pokazuju da je jezerska voda obogaćena težim izotopima vodika (^3H, ^2H) i kisika (^{18}O) kao posljedica efekta evaporacije, koja na jezeru dosiže vrijednosti od preko 1000 mm godišnje, a ujednačeni sastav izotopa po dubini odraz je dobrog miješanja jezerske mase. Prilikom proračuna srednjeg vremena zadržavanja vode u jezeru (30 do 40 godina) uzeto je u obzir njegovo obogaćenje evaporacijom. Mjerenje sadržaja izotopa ugljika (^{13}C) pokazuje da je ugljik u otopljenim hidrogenkarbonatima i karbonatima uglavnom anorganskog porijekla, a to upućuje na pretežito atmosferski unos.

U sklopu programa istraživanja iz 1994. godine načinjena je prva piezometarska bušotina na SI boku jezera, povrh crpne stanice (cca 300 m udaljena od jezera). Bušotina dubine 200 m locirana je na koti 132.583 m n.m., pa je prema tome dosegla dubinu od 6.117 m ispod najdubljeg dijela jezera. Mjerenja obavljena 07.06.1995. bila su u priličnoj mjeri iznenađujuća, iako su već i ranije postojale indikacije nekih pokazatelja o razlici fizičko-kemijskih svojstava vode jezera i vode u krškom podzemlju neposrednog sliva. Naime, već je pri iskopu crpnog bazena zapaženo da je temperatura vode koja dotječe iz podzemlja veća od temperature vode jezera. Mjerenja temperature vode u bušotini potvrdila su tu činjenicu. Temperatura vode na dnu bušotine bila je 12,8°C, a u jezeru 8,3°C. Slično je i s kemijskim sadržajima. Podzemna voda ima nešto višu mineralizaciju, alkalitet, SiO_2 i nitrate i niži sadržaj klorida, što nije dovoljan dokaz o međusobnoj nepovezanosti vode u krškom podzemlju i jezera, ali ukazuje na nemogućnost otjecanja vode iz jezera preko zone bušotine prema obalnom području. S druge strane razine vode u bušotini i jezeru su u vrijeme mjerenja bile u ravnoteži, odnosno na istoj razini. Ispitivanja se nastavljaju i u planu je izrada druge bušotine na istom profilu.

Posebno je interesantna za rješavanje hidrogeologije Vranskog jezera pojava vrulje uz zapadnu obalu otoka Cresa. Sva razmišljanja o gubicima vode iz jezera vezana su za tu vodnu pojavu. I naše je mišljenje da je to tako, ali ne pojednostavljenim modelom direktnog otjecanja iz jezera, već posredno preko dubokih fosilnih drenova usmjerenih prema nekadašnjoj bazi istjecanja. Naime, pojavu vrulje takvih dimenzija nemoguće je povezati za otjecanje iz neposrednog sliva, jer tog sliva praktički nema, a jednako tako niti za direktno otjecanje iz jezera, jer između jezera i vrulje su registrirani paketi vodonepropusnih naslaga, a i trasiranja nisu pokazala tu povezanost.

4. ZAKLJUČNA RAZMIŠLJANJA

Vransko jezero na otoku Cresu u genetskom smislu predstavlja potopljeno krško polje nakon dizanja razine mora u Mediteranu, pa tako i u Kvarnerskom prostoru. Dizanje razine mora usporilo je duboke sifonalne tokove slatke vode, stvorivši ili podzemne barijere od nataloženog recentnog glinovitog materijala ili otvorenu "interface" zonu, koja održava ravnotežno stanje slatkovodnog sustava. U takvim uvjetima jezero ima sve karakteristike srednje dubokih jezera umjerenog pojasa s određenim dotokom i održanjem potencijala iz dubokog krškog podzemlja kroz vrtačasto udubljenje. Prema dosadašnjim rezultatima istraživanja može se zaključiti da je obnavljanje vode u jezeru pretežito vezano uz atmosferski unos, a tek manji dio kroz duboko krško podzemlje, međutim dinamika vode kroz otvorenu kavernu u vrtačastoj depresiji je evidentna. Najvjerojatnije da i gubitke, kao i sve izvanredne pojave na jezeru treba vezati uz dinamiku vode na dnu jezera.

Podzemne vode neposrednog sliva nemaju izraziti gradijent prema jezeru, pa je to glavni razlog nepostojanja izvora na obalama jezera, ali i male mogućnosti direktnog obnavljanja jezerske mase iz neposrednog sliva. Fizičko-kemijske karakteristike podzemne vode se bitno razlikuju od jezerske.

Vode Vranskog jezera se koriste za vodoopskrbu otoka Cres i Lošinj već pedesetak godina. Hidrološke analize pokazuju određeni utjecaj crpljenja na bilancu voda jezera, pa uz smanjenu količinu padalina za to vežu i generalni trend pada razine posljednjih godina. U okolnostima povezanosti jezerskog sustava s dubokim krškim podzemljem i pretpostavka moguće povezanosti sa zonom miješanja slane i slatke vode, značajna je stalna kontrola jezerskog sustava, posebice najdubljeg dijela jezera. Povećanje crpljenja iz jezera, što je neminovnost budućeg razvoja otoka Cres i Lošinj, treba raditi postepeno u skladu s prirodnim mogućnostima sustava. Svako nekontrolirano povećanje crpljenja može izazvati nesagledive posljedice.

Iako postoje neki pokazatelji postupnih promjena, kvaliteta vode jezera je zadovoljavajuća. Rezultat je to dobre zaštite cjelokupnog jezerskog prostora i neposrednog sliva.

5. LITERATURA

BIONDIĆ, B., IVIČIĆ, D., BRAUN, K. & PRELOGOVIĆ, E. (1989): Jezero Vrana na otoku Cresu. Hidrogeološki istražni radovi I faza.- Fond stručne dokumentacije IGI, Zagreb.

BIONDIĆ, B., IVIČIĆ, D. & PRELOGOVIĆ, E. (1992): The Hydrogeology of the Lake Vrana - The Cres Island.- Proceedings of the International Symposium "Geomorphology and Sea" and the Meeting of the Geomorphological Commission of the Carpatho-Balcan Countries, Mali Lošinj.

BIONDIĆ, B., KAPELJ, S. & MESIĆ, S. (1994): Hidrogeologija Vranskog jezera na otoku Cresu.- Fond stručne dokumentacije IGI, Zagreb.

BONACCI, O. (1993): The Vrana Lake Hydrology (Island of Cres - Croatia).- Water Res. Bull., 407-414.

CECCONI, A. (1940): Il regine idraulico del lago di Vrana.- Annali dei Lavori Pubbulici, Roma.

GAVAZZI, A. (1902): Temperature vode u prelaznom sloju Vranskog jezera.- JAZU, Rad 151, Zagreb.

HERAK, M. (1986): A Concept of Geotectonics of the Dinarides.- Acta Geol., 16/1, 1-42, Zagreb.

HERAK, M. (1991): Dinaridi - mobilistički osvrt na genezu i strukturu.- Acta geol., 21/2, Zagreb.

HERTELENDI, E., VERES, M., FUTO, I. & HAKL, J. (1994): Environmental Isotope Study of Karst Systems.- COST-65 action "Hydrogeological Aspects of Groundwater Protection in Karstic Areas", Interim report.

HERTELENDI, E., SVINGOR, É., RANK, D. & FUTO, I. (1995): Isotope Investigation of Lake Vrana and Springs in the Kvarner Area.- 1. hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, 1, 201-205, Zagreb.

LORENZ, R. (1859): Der Vrana See.- Petermans Georg. Mitt., 1, Gotha.

MAYER, E. (1873): Der Vrana See auf der Insel Cherso.- Mitt. Geogr. Ges., 16, Wien.

NÜMANN, W. (1949): Beitrage zur Hydrographie des Vrana - Sees (Insel Cherso), insbesonders untersuchungen über die organische sowie anorganische Phosphor und Stickstoffverbindurgen.- Nova Thalassia.

OŽANIĆ, N. & RUBINIĆ, J. (1994): Analiza hidrološkog režima Vranskog jezera na otoku Cresu.- Hrv. vode, 2/8, 535-543, Zagreb.

PETRIK, M. (1957): Hidrološki režim jezera Vrana.- Krš Jugoslavije, 1, Zagreb.

PETRIK, M. (1960): Prilozi limnologiji jezera Vrana.- Krš Jugoslavije, 2, Zagreb.

PETRIK, M. (1969): Mišljenje o mogućnostima iskorištavanja jezera Vrana na Cresu za opskrbu stanovništva vodom.- Zagreb.

POLJAK, J. (1947): Izvještaj o geološkim istraživanjima područja jezera Vrana na otoku Cresu.- Fond stručne dokumentacije IGI, Zagreb.

RUBINIĆ, J. (1990): Analiza hidroloških karakteristika Vranskog jezera na otoku Cresu.- Fond str. dok. Vodoprivreda, Rijeka.

RUBINIĆ, J. & OŽANIĆ, N. (1992): Hidrološke karakteristike Vranskog jezera na otoku Cresu.- Gradevinar, 44, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	95 - 100	ZAGREB 1995

Razvoj hidrogeološkog informacijskog sustava Republike Hrvatske

Božidar **BIONDIĆ**, Davorin **SINGER**, Željka **BRKIĆ** & Ranko **BIONDIĆ**

Ključne riječi: Hidrogeološki informacijski sustav, ARC/INFO, podzemna voda

Key words: Hydrogeological Information System, ARC/INFO, Groundwater

Sažetak

Hidrogeološki informacijski sustav podrazumijeva razvoj informacijskog sustava za podzemne vode, na koje je vezano gotovo 90% vodoopskrbe Republike Hrvatske. Jedna od osnovnih aktivnosti Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju Instituta za geološka istraživanja je projekt "Osnovne hidrogeološke karte" M 1:100.000, koji predstavlja temeljni izvor podataka i interpretativnih vrijednosti informacijskog sustava. Programska podrška je ARC/INFO (ESRI - USA), dobrih svojstava, kako za neophodne grafičke iskaze, tako i za formiranje vrlo kompleksne banke podataka.

Glavni problem prilikom formiranja cijelog sustava bio je kako pomiriti zahtjeve Osnovne hidrogeološke karte, kao klasičnog projekta za državni teritorij, i vrlo sofisticirane zahtjeve jednog temeljnog informacijskog sustava (GIS) otvorenog za dodatne programske zahvate. Postigli smo to grafičkim iskazom na topografskoj podlozi M 1:25.000 s punim sadržajem svih atributa potrebnih za identifikacije dinamike podzemne vode. Cijeli sustav postavljen je kao tematski segment budućeg "Informacijskog sustava za okoliš Republike Hrvatske". Uz osnovni program rade se i pojedini projekti, kroz koje će biti moguće povezati cijeli sustav, kao što su Hidrogeološka karta Jadranskog sliva M 1:500.000 u sklopu Nacionalnog izvješća za podzemne vode Hrvatske Vodoprivrede i GIS gornje Drave za potrebe Hrvatske Vodoprivrede i Hrvatske Elektroprivrede.

Abstract

Hydrogeological information system assumes the development of information system for groundwater to which almost 90% of Croatian water supply is connected. One of main activities of the Hydrogeology and Engineering Geology Division with the Institute of Geology is the project "Basic Hydrogeological Map" in the scale 1:100,000, which represents fundamental source of data and interpretative values of the information system. Program support ARC/INFO (ESRI - USA) has good capacities as regards required graphic presentations as well as the creation of a very complex database.

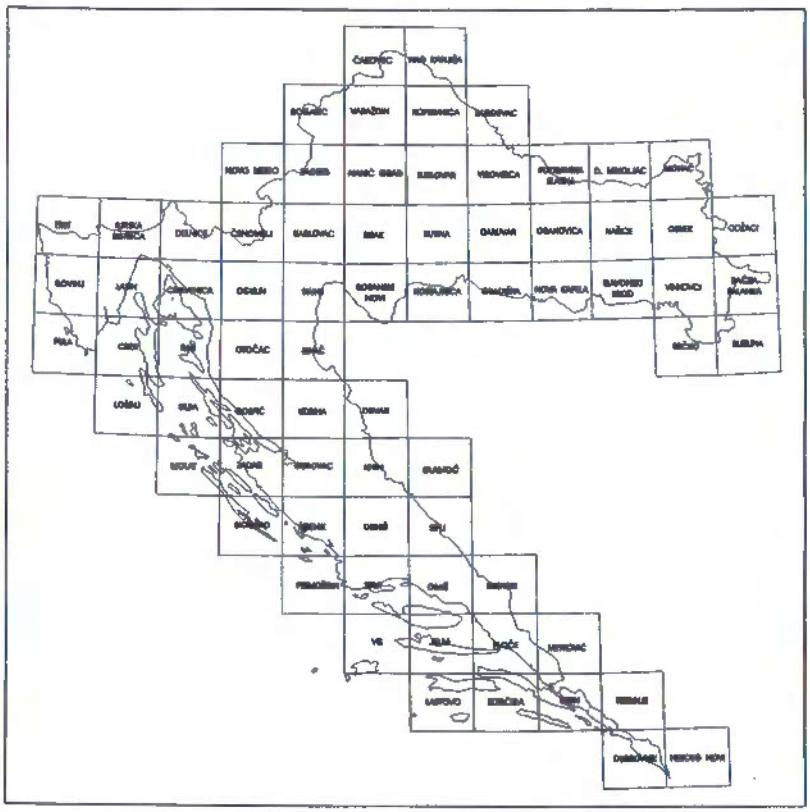
Main problem in the formation of the entire system was how to reconcile the requirements of Basic Hydrogeological Map, as a conventional project for state territory, and very sophisticated requirements of one basic information system (GIS) open for additional program modifications. We have achieved this goal with graphic presentation on the topographic base in the scale 1:25,000 containing all attributes required for the identification of groundwater movement. The entire system has been developed as a thematic segment of the future "Environmental Information System of the Republic of Croatia". Along with the basic program, individual projects are under way which shall integrate the entire system, such as Hydrogeological Map of the Adriatic Catchment in the scale 1:500,000, within National Report for Groundwater of Croatian Water Management System, and GIS of Upstream Drava River for the need of Croatian Water Management System and Croatian Power Company.

1. UVOD

Hidrogeološki informacijski sustav (HGIS) podrazumijeva razvoj informacijskog sustava za podzemne vode. Podzemne vode su apsolutno prioritetni izvor vodoopskrbe Republike Hrvatske (90% ukupne vodoopskrbe), pa je prema tome informacijski sustav, koji obrađuje to važno područje, od izuzetnog značaja za sadašnji i budući razvoj države. Temeljni izvor podataka HGIS-a je Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske M 1:100.000, dopunjena brojnim grafičkim i numeričkim podacima različitih namjenskih istraživanja. Orijentacija na pretvorbu klasične Osnovne hidrogeološke karte u jedan dinamički sustav potaknuta je potrebom modernog upravljanja podzemnim vodnim resursima. Cijeli sustav uklopljen je kao tematski dio u "Informacijski sustav za okoliš Republike Hrvatske" kroz "Vodoprivredni informacijski sustav", čime smo osigurali povezanost s ostalim relevantnim parametrima vodnih sustava i okoliša (površinske vode, šume, poljoprivreda, infrastrukturni objekti i dr).

Nismo imali ambicije, niti snage, razvijati svoj vlastiti programski paket, ali jednako tako nismo željeli nekontrolirano ući u bilo koju od GIS tehnologija, koje se danas prodaju u svijetu. Nakon opsežnih konzultacija i proučavanja što rade u visoko razvijenim zemljama, odlučili smo se za ARC/INFO (ESRI-USA), koji

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

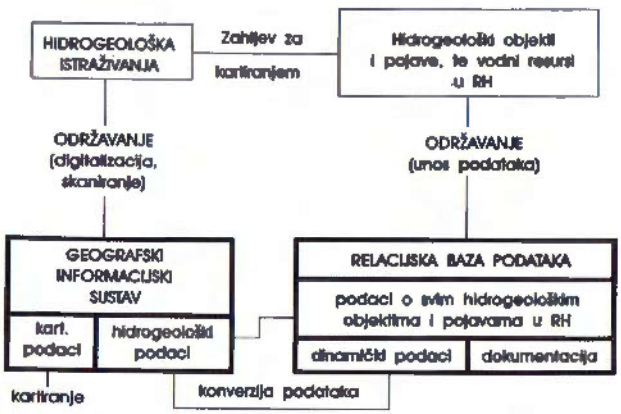


Sl. 3 Osnovna hidrogeološka karta list Ilirska Bistrica.

Sl. 1 Raspored listova Osnovne hidrogeološke karte M 1:100.000.

omogućuje formiranje odgovarajućih banaka podataka i grafičkih prikaza. Za hidrogeologe je naročito važan grafički iskaz, jer kvalitetne hidrogeološke karte najbolje ilustriraju probleme vezane uz podzemne vode. ARC/INFO je vrlo kompleksan programski paket koji se sastoji od puno modula i vrlo je težak za široki krug korisnika. Zato postoji nezavisni program ArcView koji je i namijenjen korištenju podataka za široki krug korisnika.

Što znači općenito pojam GIS? Po definiciji, to je organizirani sustav računala, programskih paketa, zemljopisnih podataka i osoblja u funkciji efikasnog upravljanja referentnim geografskim informacijama, koje uključuju i segment podzemnih i površinskih voda. Hidrogeološki informacijski sustav (HGIS) usmjeren je na podzemne vode, pa je kao takav u konačnoj organizaciji GIS-a Republike Hrvatske zamišljen kao dio Vodoprivrednog informacijskog sustava.



Sl. 2 Konceptualni model hidrogeološkog informacijskog sustava RH.

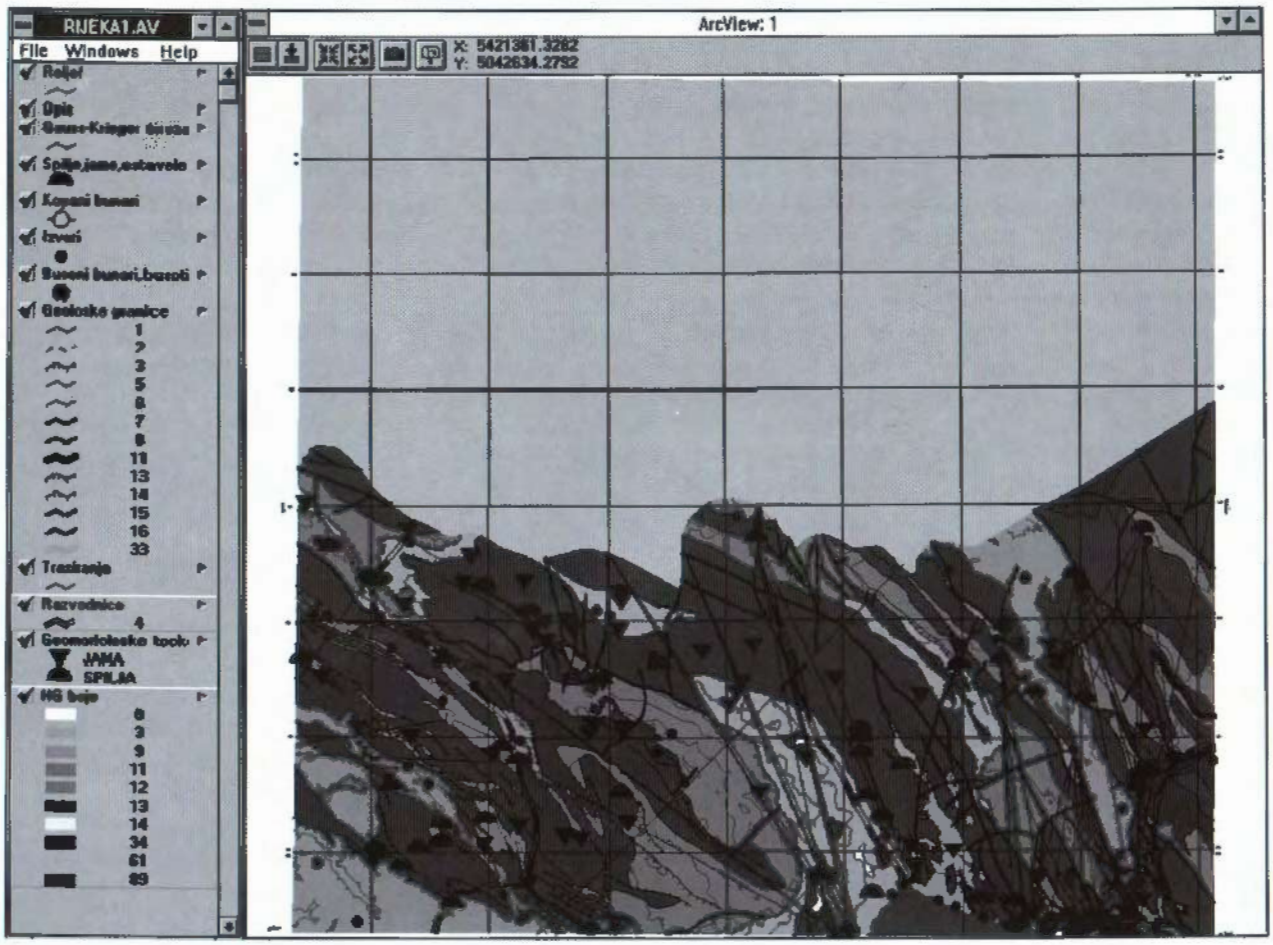
2. ORGANIZACIJA SUSTAVA

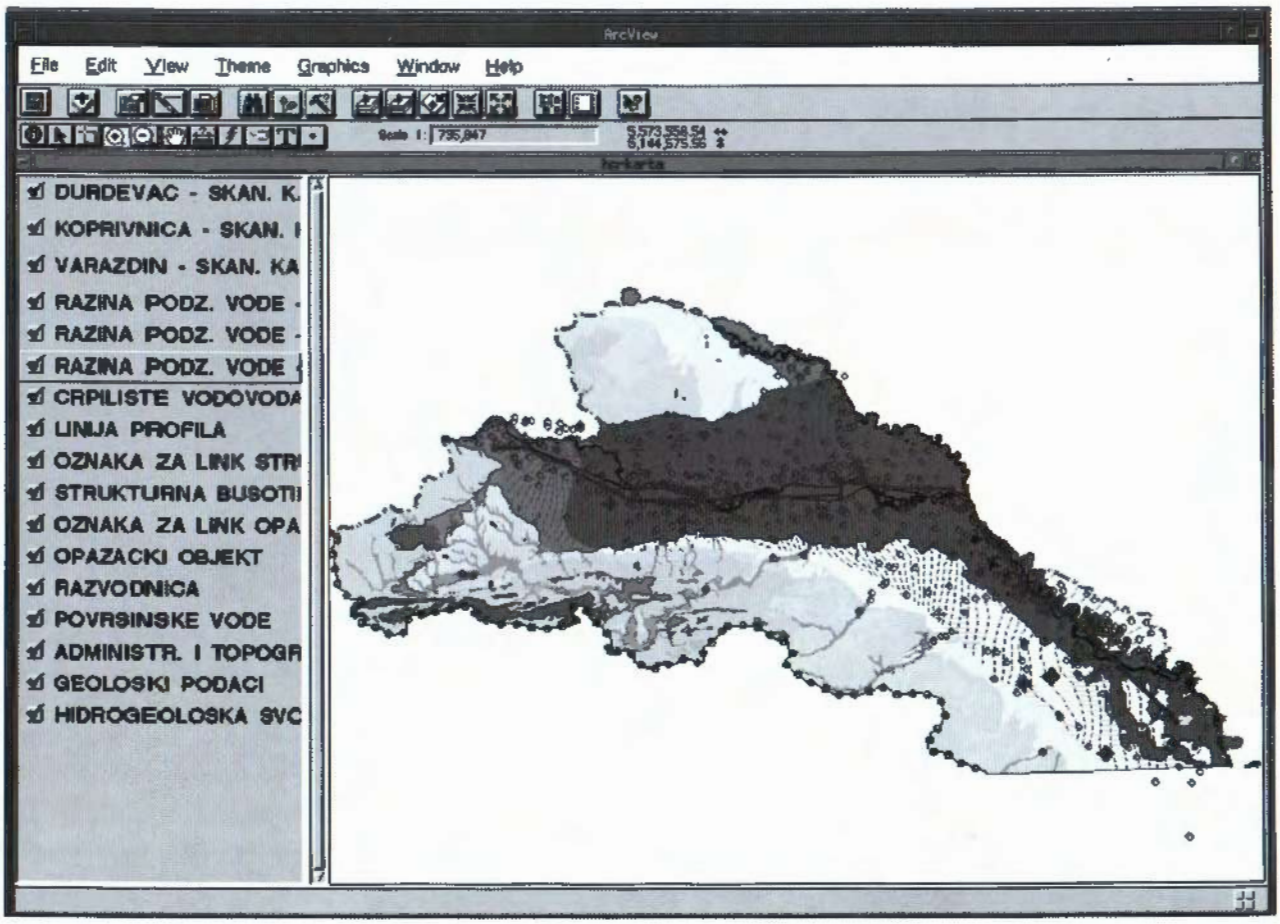
Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske organizirana je prema listovima topografske podloge M 1:100.000 (izmjera po starom Greenwichu), jer na taj način prati Osnovnu geološku kartu M 1:100.000, koja je temeljna podloga za ocjenu prostornog rasporeda stijena različite vodopropusnosti i hidrogeoloških funkcija. To malo komplicira snalaženje, jer je taj raspored listova danas već napušten, ali je dosta jednostavno prikaze prilagoditi današnjim izmjerama. Cijeli državni teritorij pokriven je sa 74 lista M 1:100.000 (sl. 1).

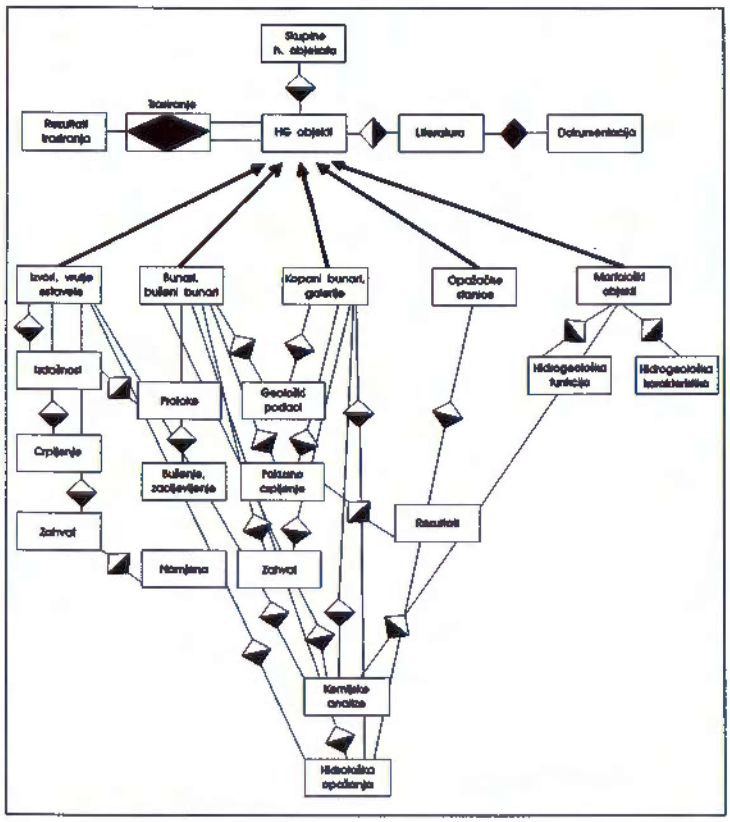
Sadržaj Osnovne hidrogeološke karte usklađen je i standardiziran prema Uputama za izradu OHGK (ŠARIN, 1988), te dopunjen prema zahtjevima prerade cijelog projekta u informacijski sustav.

Hidrogeološki informacijski sustav projektiran je na takav način da sadrži podatke o svim hidrogeološkim

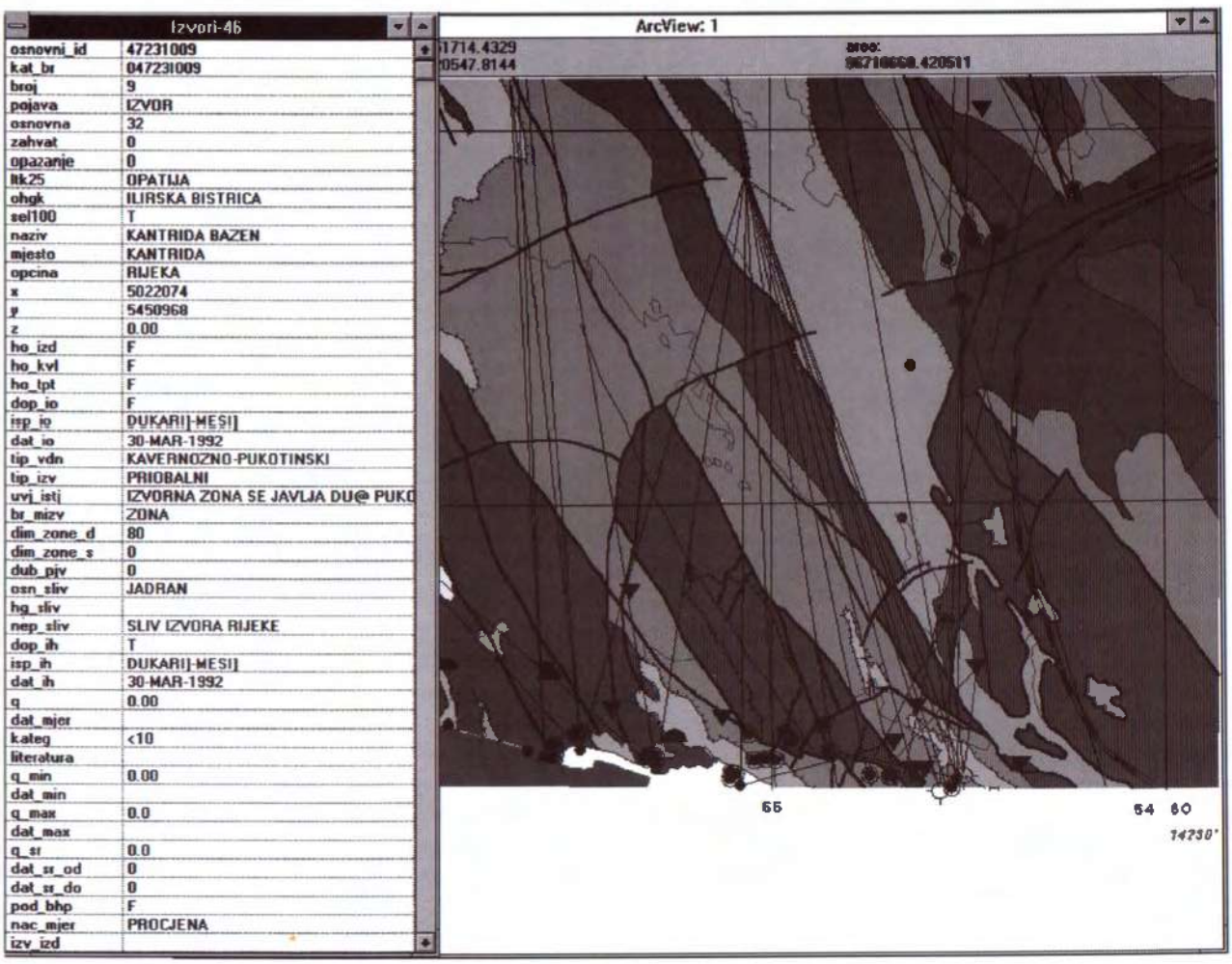
Sl. 4 Hidrogeološka karta dijela poriječja rijeke Drave.


RIJEKA1.AV
File Windows Help
Reljef
Opis
Izvori
Geološke granice
Razvodnice
JAMA
SPILJA
ArcView: 1
X: 5421361.3282
Y: 5042634.2782

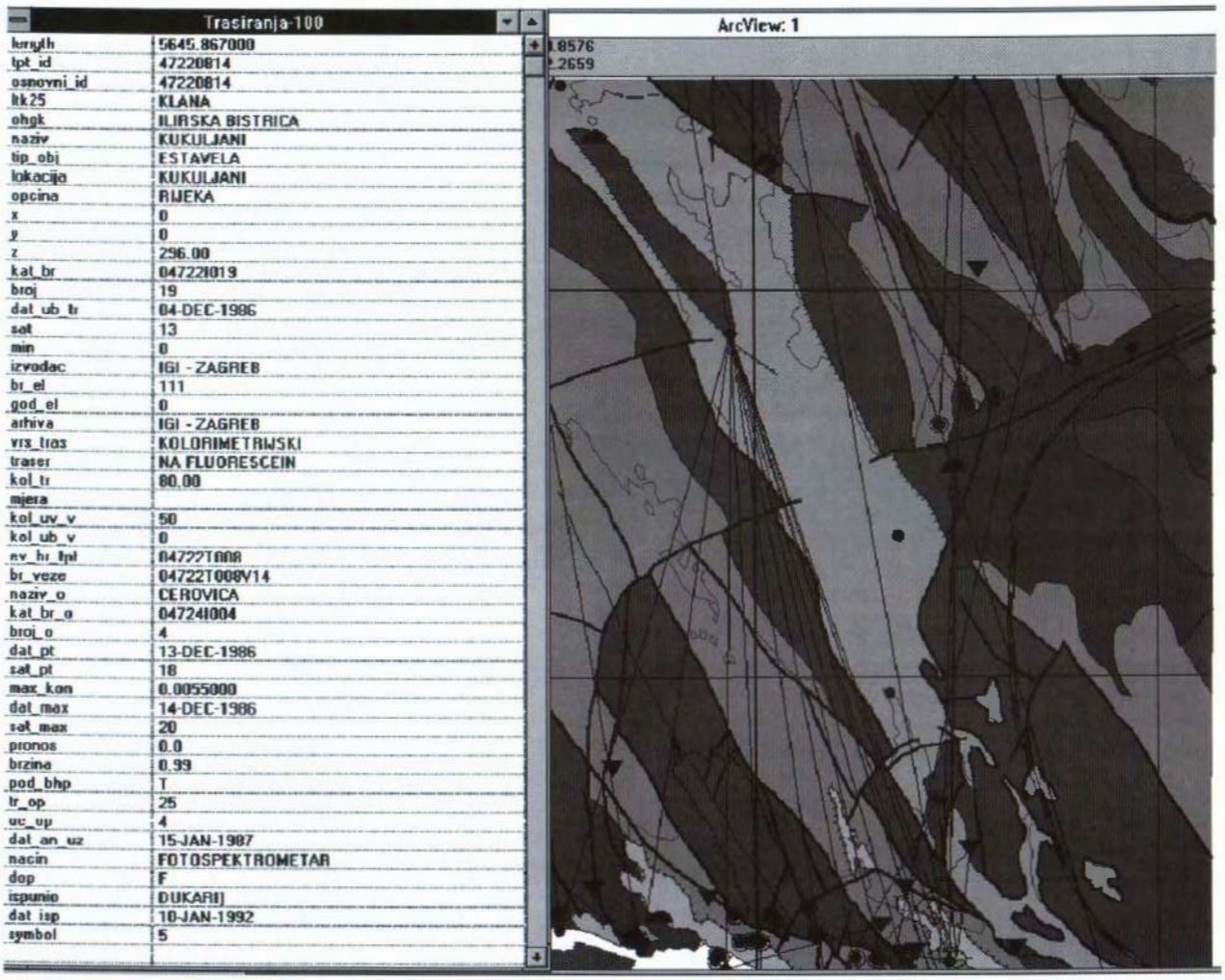

ArcView
File Edit View Theme Graphics Window Help
DURDEVAC - SKAN. K.
KOPRIVNICA - SKAN. I
VARAZDIN - SKAN. KA
RAZINA PODZ. VODE -
RAZINA PODZ. VODE -
RAZINA PODZ. VODE
CRPILISTE VODOVODA
LINIJA PROFILA
OZNAKA ZA LINK STR
STRUKTURNA BUSOTI
OZNAKA ZA LINK OPA
OPAZACKI OBJEKT
RAZVODNICA
POVRSINSKE VODE
ADMINISTR. I TOPOGR
GEOLOSKI PODACI
HIDROGEOLOSKA SVC



Sl. 5 Logički model baze podataka.



Sl. 6 Povezanost grafičkog prikaza i banke podaka (hidrogeološka karta - izvor).



Sl. 7 Povezanost grafičkog prikaza i banke podataka (hidrogeološka karta - trasiranje).

objektima i pojavama u Republici Hrvatskoj, dinamičke podatke i podatke o postojećoj dokumentaciji s mogućnošću povezivanja sa centralnim državnim infomacijskim sustavom. Dinamički podaci sustava su otvoreni za veliki broj vrlo kompleksnih korisničkih programa.

Početni posao u izradi Hidrogeološkog informacijskog sustava je priprema grafike, odnosno prostornog rasporeda svih hidrogeoloških elemenata jednog takvog sustava. Osnovna karta se sastoji od 5 osnovnih slojeva (oleata), koji se prenose u kodirani sustav:

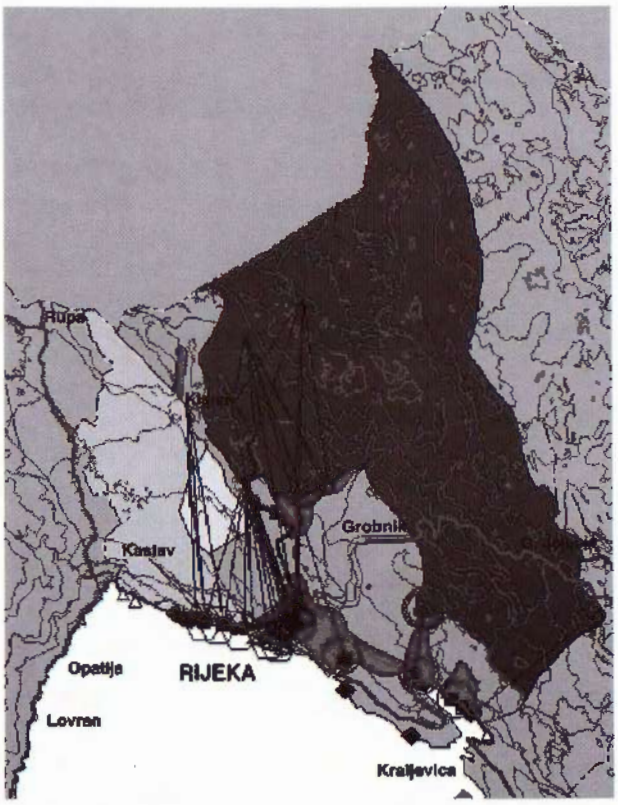
1. HGK - geološke granice, rasjedi, strukturne oznake, položaji slojeva, simboli, obojeni poligoni;
2. LIT - zatvoreni poligoni;
3. VT - Izvori, zone izviranja, vrulje, estavele, ponori, jame, špilje, bunari, bušotine, galerije, vodozahvati, površinski kopovi, pregrade, injekcijske zavjese, kanali, tuneli, opažačke stanice i dr.;
4. LIN - geomorfološki linijski elementi, razvodnice, hidroizohipse, granice vodonosnika i dr.;
5. KEM - termalna, mineralna i kemijska svojstva voda.

Prekrivanjem naznačenih slojeva dolazi se do konačnog grafičkog prikaza hidrogeološke karte.

Jednako tako veliki posao je i formiranje baza podataka, posebno baza otvorenih za korisničke programe. Već od samog početka smo se odlučili potpuno razdvojiti nepromjenljive od promjenljivih podataka. Dosta je vremena potrošeno na unošenje podataka iz starih katastarskih listova u novoformiranu banku podataka. U prvom redu trebalo je vrlo kompliciranе katastarske listove bitno pojednostaviti i sve dinamičke parametre osloboditi interpretativne stege hidrogeologa, koji prikupljaju te podatke, i banke otvoriti na takav način da se omogući njihovo širenje novim dinamičkim i drugim podacima i korištenje tih podataka različitim programima.

Logički model baze podataka je vrlo složen, jer odražava odnose u prirodnom sustavu. Hidrogeološki objekti kao jedan od najvažnijih dijelova baze, prikazani su hijerarhijom podskupova:

1. Izvori, vrulje i estavele;
2. Bunari;
3. Kopani bunari i galerije;
4. Opažačke stanice;
5. Morfološki objekti.



Sl. 8 Zaštitne zone Grada Rijeke.

Svaki podskup hidrogeoloških objekata i pojava predstavlja odvojenu bazu, a relacijski model omogućuje da se u svakom trenutku mogu ustanoviti razni oblici veza i utjecaja među tim objektima i pojavama, a time i potpunu analizu cijelog sustava.

Međusobna povezanost objekata i pojava utvrđuje se brojnim metodama, međutim za područje krša jedna od najefikasnijih metoda je trasiranje podzemnih tokova. U prikazanom logičnom modelu trasiranje je predstavljeno kao unarna veza među objektima i pojavama.

Najkompleksniji dio baze podataka su dinamički podaci hidroloških, kemijskih i hidrogeoloških karakteristika objekata. To su najvrednije informacije, jer osim prostorne sadrže i vremensku komponentu.

3. ZAKLJUČAK

Hidrogeološki informacijski sustav (HGIS) tematski je dio budućeg Vodoprivrednog informacijskog sustava (VIS) i preko VIS-a tematski dio Informacijskog sustava za okoliš Republike Hrvatke (ISO). Usmjeren je na podzemne vode, odnosno upravljanje podzemnim vodama, temeljnim vodnim resursom u vodoopskrbi Republike Hrvatske (90%). Kada govorimo o upravljanju podzemnim vodama podrazumijevamo njeno korištenje, jednako kao i zaštitu, jer u vodoopskrbne sustave može ući samo kvalitetna voda iz podzemlja.

Dosadašnji rad na Hidrogeološkom informacijskom sustavu programskim paketom ARC/INFO dao je dobre rezultate, iako se radi o vrlo kompleksnom paketu. Grafika je izuzetna, a banke podataka vrlo prilagodljive velikom broju poznatih korisničkih programa.

4. LITERATURA

BIONDIĆ, B., BRKIĆ, Ž. & SINGER, D. (1995): Izrada geografskog informacijskog sustava za rijeku Dravu - područje HE Novo Virje - I. faza - dio geologija i hidrogeologija.- IGI, Zagreb.

BIONDIĆ, B. & HRVOJIĆ, E. (1995): Podzemne vode Jadranskog sliva - Nacionalno izvješće.- IGI, Zagreb.

BIONDIĆ, B. & ŠARIN, A. (1995): COST 65 PROJECT "Hydrogeological Aspects of Groundwater Protection in Karstic Areas" - National Report for Croatia.- Zagreb.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE INC. (1994): ARC/INFO for UNIX ver. 7.0.2, USA.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE INC. (1994): ArcView for UNIX ver. 2.0c, USA.

ROCKWARE INC. (1995): RockWorks ver. 7.07, USA.

ŠARIN, A. (1988): Upute za izradu Osnovne hidrogeološke karte Jugoslavije M 1:100.000.- Savezni geološki zavod, Beograd.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 16-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	101 - 104	ZAGREB 1995

Simulacije otjecanja primjenom modela "NAM"

Danko **BIONDIĆ**

Ključne riječi: Dravski vodoprivredni sustav, upravljanje sustavom, sliv Dravinje, otjecanje, model "NAM"

Sažetak

Hidrološki ulaz je jedan od najvažnijih čimbenika o kojem ovisi upravljanje vodoprivrednim sustavom u svim razvojnim fazama. Za razliku od faza planiranja i projektiranja, u kojima se analize vrše s ranije zabilježenim veličinama, tijekom upravljanja sustavom u realnom vremenu nužno je raspolagati kratkoročnim hidrološkim prognozama dotoka na određene lokacije.

U radu je prikazan razvoj prognostičkog determinističkog modela otjecanja "NAM" (Technical University of Denmark) sa sliva rijeke Dravinje u Sloveniji. Dotok Dravinjom predstavlja najveći nekontrolirani doprinos ukupnom dotoku u akumulacijski bazen HE "Varaždin". Modelom su obuhvaćene sve glavne komponente otjecanja, a omogućuje kratkoročne prognoze dotoka isključivo na osnovi meteoroloških podataka i trenutnog stanja na slivu.

UVOD

Složenim vodoprivrednim sustavom nužno je upravljati u svim njegovim razvojnim fazama od planiranja, projektiranja, građenja, pa sve do eksploatacije (PETRIČEC et al., 1993). Cilj upravljanja sustavom tijekom eksploatacije je njegovo najefikasnije korištenje glede usklađivanja najčešće konfliktnih zahtjeva pojedinih korisnika i poštivanja vodoprivrednih ograničenja. Suvremena svjetska iskustva ukazuju na mogućnost rješavanja spomenutog problema primjenom principa "upravljanja sustavom u realnom vremenu", koji se u praksi može ostvariti korištenjem odgovarajućeg informacijskog sustava sastavljenog od: mjerno-opažačkog sustava, komunikacijskog sustava, baza podataka, te odjela za hidrološko prognoziranje i operativno upravljanje. Upravljačke odluke donose se u odjelu za operativno upravljanje na temelju analiza rezultata kontinuiranih simulacija efekata alternativnih načina pogona hidrosustava na matematičkim simulacijskim modelima.

Između brojnih ulaznih podataka za simulacije na upravljačkom modelu, izuzetno su važne blagovremeno prognozirane veličine dotoka na ulazima u sustav. Za rješavanje takve problematike, u inženjerskoj praksi danas se koristi veliki broj različitih prognostičkih modela, između kojih se za manje i srednje slivove često vrlo uspješno primjenjuju deterministički konceptualni modeli "oborina-otjecanje" zasnovani na zabilježenim ili prognoziranim meteorološkim veličinama i odgovarajućem trenutnom stanju na slivu.

Ovim radom prikazan je razvoj konceptualnog modela otjecanja sa sliva rijeke Dravinje u Sloveniji, koje predstavlja najveći nekontrolirani doprinos ukupnom dotoku u najuzvodniji hrvatski akumulacijski bazen na Dravi HE "Varaždin". Osnovica za modeliranje bio je opći hidrološki model "NAM" koji je sastavni dio složenog programskog paketa "MIKE-11", odabranog kao temelj za budući razvoj upravljačkog modela dravskog vodoprivrednog sustava (PETRIČEC et al., 1994).

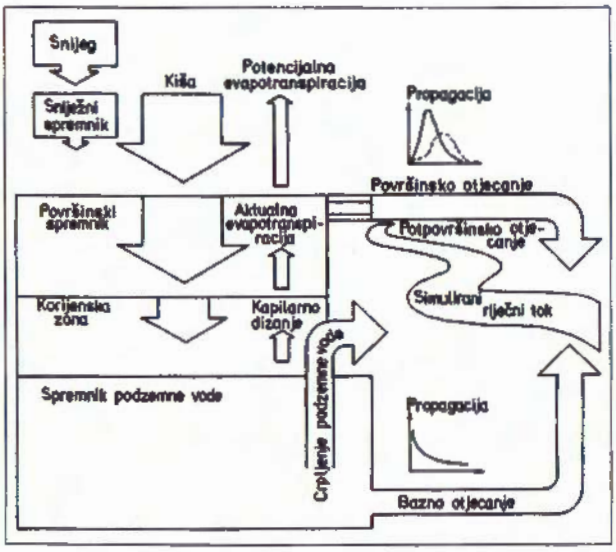
OSNOVNE ZNAČAJKE HIDROLOŠKOG KONCEPTUALNOG MODELA "NAM"

Hidrološki konceptualni model "NAM" namijenjen je za kontinuirane dnevne ili n-satne simulacije procesa "oborina-otjecanje" na prirodnim slivovima u različitim geološkim i klimatskim uvjetima. Njegov razvoj je započeo u Hidrološkom odjelu Instituta za hidrodinamiku i hidraulički inženjering pri Tehničkom sveučilištu Danske 1973. godine (Nielsen & Hansen), a nakon što je potvrđen na većem broju studijskih i projektnih aktivnosti širom svijeta, uključen je kao jedna od komponenti u složeni programski paket "MIKE-11" Danskog hidrauličkog instituta.

Prirodni sliv je u modelu "NAM" shematiziran sa četiri različita i međusobno povezana spremnika između kojih se odvija kruženje vode (sl. 1). To su: snježni spremnik, površinski spremnik, spremnik korijenske zone (nesaturirana zona) i spremnik podzemne vode. Prema tome, matematičku osnovu modela čine jednadžbe kontinuiteta, te dinamičke jednadžbe koje su uglavnom zasnovane na različitim empirijskim izrazima.

Ulazne veličine u simulacijama su zabilježene ili prognozirane meteorološke veličine na slivu, a izlazna veličina je odgovarajući simulirani hidrogram. Veličine modelskih parametara utvrđuju se tijekom postupaka

Institut za elektroprivredu i energetiku, d.d., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Struktura modela "NAM" (preuzeto iz uputstava za program).

kalibracije i verifikacije na osnovi usporedbi simuliranih i izmjerenih hidrograma ukupnog otjecanja na izlaznom presjeku odabranog sliva.

OSNOVNE KARAKTERISTIKE SLIVNOG PODRUČJA RIJEKE DRAVINJE

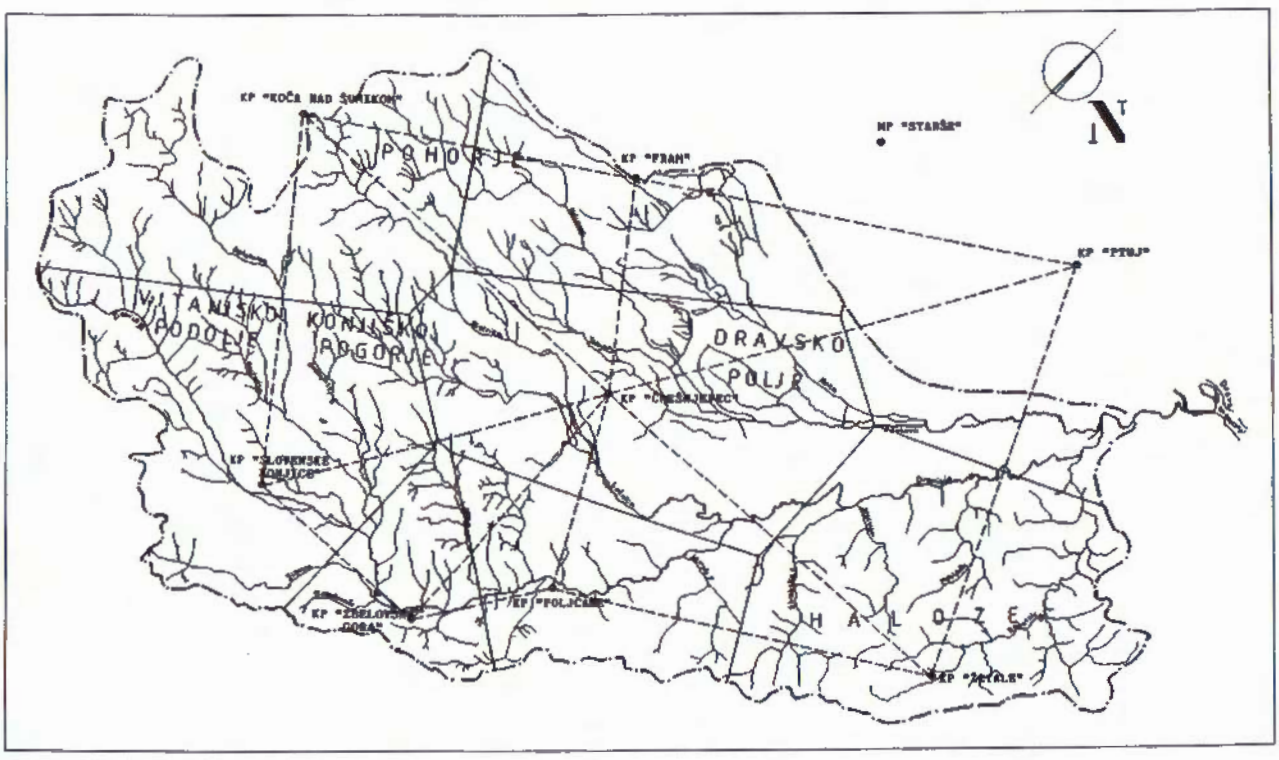
Rijeka Dravinja je desni pritok Drave na dionici između najnizvodnije slovenske hidroelektrane HE "Formin" i najuzvodnije hrvatske hidroelektrane HE "Varaždin". Njezino slivno područje prostire se na sjeveroistočnom dijelu Republike Slovenije, između državne granice s Republikom Hrvatskom i obronaka Pohorja. Slivom je obuhvaćen dio Dravskog Polja, zatim Dravinjske, Savinjske i Haloške Gorice, te jugozapadni obronci Pohorja i sjeverni obronci Konjiškog Pogorja (sl. 2).

Cjelokupno slivno područje Dravinje leži na propusnim i polupropusnim tlima položenim na vodonepropusnom horizontu, osim manjih izuzetaka s krškim fenomenima na Konjiškoj Gori i Boču (Hidrološka studija Dravinje, Vodnogospodarski inštitut, Ljubljana, 1980). Površina sliva iznosi 840 km^2, a više od 50% prekriveno je šumama. Srednja godišnja oborina na slivu je 1140 mm, a srednji višegodišnji protok na izlaznom presjeku sliva VP "Videm I" iznosi 12 m^3/s.

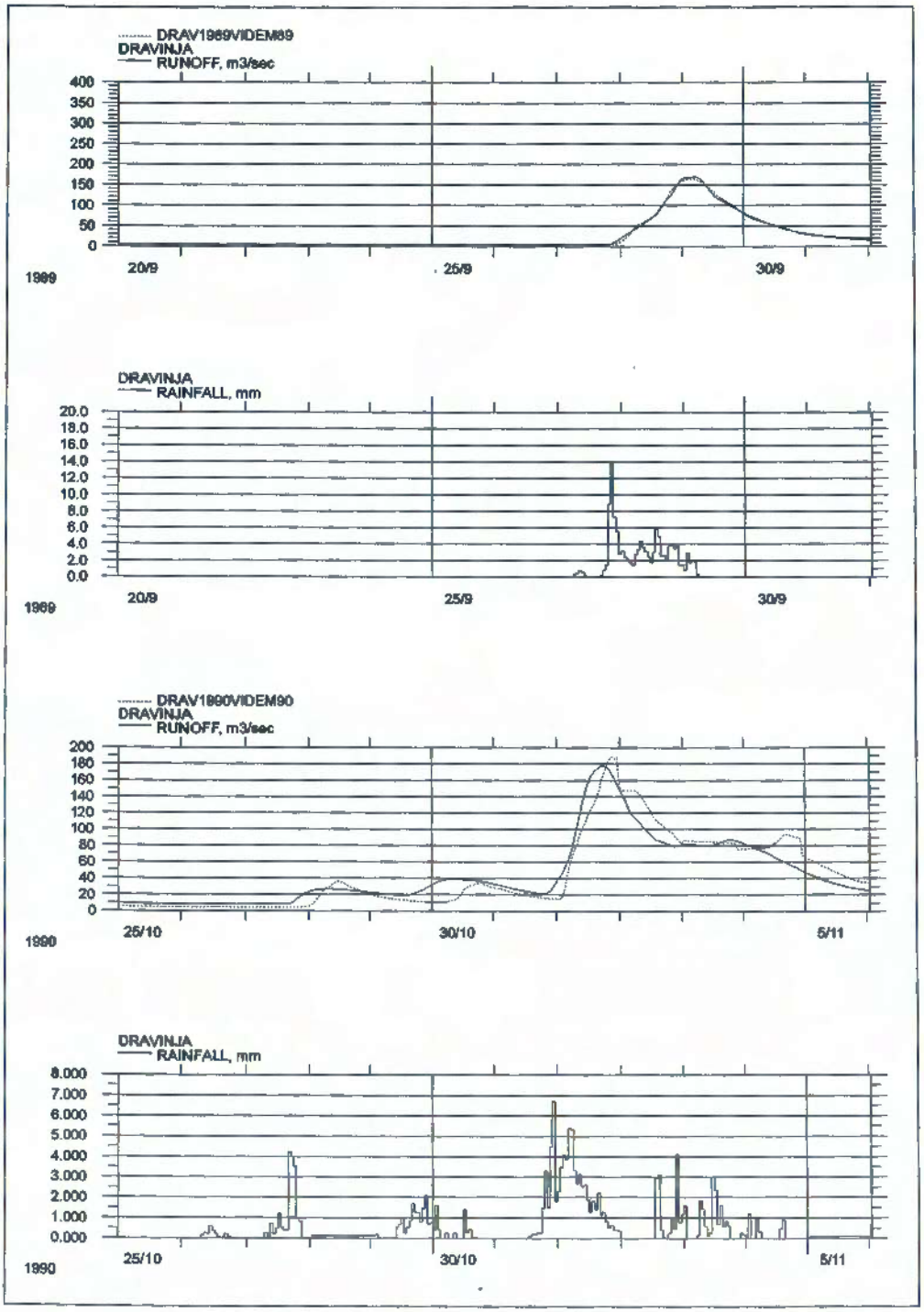
RAZVITAK, KALIBRACIJA I VERIFIKACIJA MATEMATIČKOG MODELA

Razvitak, kalibracija i verifikacija modela su u dosadašnjem stupnju modeliranja provedeni isključivo za vegetacijsko razdoblje bez sniježnih oborina (Hidrološko prognoziranje dotoka sa slivnog područja rijeke Dravinje, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1992). Dopuna ovog modela za mogućnost simulacija u zimskim razdobljima ostvarljiva je obzirom na raspoloživost osnovnih podloga.

Meteorološki ulazi u model su zabilježene ili prognozirane oborine na kišomjernim postajama: Slovenske Konjice, Koča nad Šumikom, Črešnjevec pri Slovenskoj Bistrici, Fram, Poljčane, Zbelovska Gora, Žetale i Ptuj, te potencijalna evapotranspiracija određena za meteorološku postaju Starše. Vrijednosti



Sl. 2 Situacijski prikaz sliva rijeke Dravinje.



Sl. 3 Rezultati kalibracije i verifikacije modela.

težinskih koeficijenata pojedinih kišomjernih postaja određene su primjenom Thiessenove metode (sl. 2), a njihove manje korekcije tijekom postupka kalibracije modela. Za početno definiranje mjerodavnih visina oborina primjena Thiessenove metode posve je opravdana (ŽUGAJ, 1981) i u konkretnom slučaju sliva Dravinje daje prihvatljive rezultate.

Identifikacija veličina modelskih parametara izvršena je tijekom postupka kalibracije modela na osnovi usporedbi simuliranih i izmjerenih hidrograma na izlaznom presjeku sliva VP "Videm I" za razdoblje od 1. kolovoza do 30. rujna 1989., uz odgovarajuće meteorološke podatke tada zabilježene na slivu (Hidrološko prognoziranje dotoka sa slivnog područja rijeke Dravinje, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1992). Verifikacija modela izvršena je za razdoblje od 1. listopada do 5. studenog 1990. Odabrani vremenski inkrement u svim simulacijama je jedan sat. Dio rezultata kalibracije i verifikacije modela za dva karakteristična visokovodna događaja prikazan je na slici 3.

Ukupni volumen izmjerenog otjecanja je za razdoblje kalibracije samo 4.5% veći od simuliranog, a za razdoblje verifikacije samo 3.2% manji, što znači da se odstupanja kreću u uobičajenim granicama. Poklapanje ordinata hidrograma simuliranih i izmjerenih otjecanja

također je posve prihvatljivo, jer su simulacije vršene uz satni vremenski inkrement sa razmjerno velikog sliva površine 840 km^2.

Analize osjetljivosti pokazale su da je model u početnim razdobljima simulacija izuzetno osjetljiv na zadane početne uvjete, poglavito na količinu vode u nesaturiranoj zoni. Taj utjecaj se s vremenom postupno smanjuje, sve dok se posve ne izgubi. To znači da je za kvalitetnu kalibraciju modela nužno raspolagati dovoljno dugim vremenskim nizovima zabilježenih hidrometeoroloških podataka.

ZAKLJUČAK

Dosadašnjim aktivnostima na kalibraciji modela "NAM" potvrđene su početne pretpostavke o njegovoj primjenljivosti na manjim i srednjim podslivovima u srednjem toku rijeke Drave. Ostvarenim modelom otjecanja sa slivnog područja rijeke Dravinje postižu se posve prihvatljivi rezultati za potrebe upravljačkog modela dravskog sliva. Provedbom nužnih dopuna kojima će se omogućiti simulacije i u zimskim razdobljima, te dopunskom kalibracijom s dužim vremenskim nizovima zabilježenih hidrometeoroloških veličina (3 do 5 godina), primjenljivost i pouzdanost modela u svakodnevnoj praksi još će se povećati.

Jedan od najvažnijih preduvjeta za operativno korištenje ostvarenog modela u upravljačkom centru dravskog sliva je uspostava trajne i kvalitetne veze s hidrometeorološkom službom Republike Slovenije. Takva veza mora omogućiti korisnicima modela trenutno izvješćivanje o svim izmjerenim vrijednostima potrebnih hidrometeoroloških veličina sa sliva.

Trajno praćenje svih eventualnih promjena na slivu, koje mogu imati znatniji utjecaj na uvjete otjecanja, također je nužan preduvjet za uspješno korištenje modela. U slučaju uočavanja značajnijih promjena, model će se morati rekalibrirati.

Razvojem hidrološkog prognostičkog modela sliva rijeke Dravinje, a u skladu s dinamikom razvoja upravljačkog modela dravskog sliva, ukazuje se potreba i za razvojem prognostičkih modela ostalih nekontroliranih dotoka u vodoprivredni sustav. Realizacijom takvih modela, te njihovom adaptacijom kod krajnjih korisnika biti će omogućena puna kontrola nad hidrološkim ulaznim veličinama u realnom vremenu.

Zbog činjenice da modelom "NAM" u sklopu složenog programskog paketa "MIKE-11" raspolažu "Hrvatska vodoprivreda" i "Hrvatska elektroprivreda", ovaj rad treba shvatiti i kao poticaj za istraživanja mogućnosti njegove primjene na slivovima sa bitno drugačijim uvjetima otjecanja od sliva Dravinje, poglavito na slivovima u kršu.

POPIS LITERATURE:

PETRIČEC, M., PLANTIĆ, K., BIONDIĆ, D. & PAVIĆ, I. (1993): Primjena matematičkih modela i baza podataka pri planiranju, projektiranju i eksploataciji vodoprivrednih sustava.- Energija, 42/5, 287-294, Zagreb.

PETRIČEC, M., PAVIĆ, I. & BIONDIĆ, D. (1994): Flood Routing Model Development for Drava and Mura River in Croatia.- XVIIth Conference of the Danube Countries, Budapest, 1994.

ŽUGAJ, M. (1981): Posebne analize u hidrotehnici.- Sveučilišna naklada Liber, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	105 - 108	ZAGREB 1995

Međuzavisnost geologije, hidrogeologije i hidrologije pri rješavanju hidrotehničkih problema

Ognjen **BONACCI**

Ključne riječi: multi i interdisciplinarnost, geologija, hidrogeologija, hidrologija

Sažetak

Multidisciplinarnost i interdisciplinarnost znanstvenih, ali i stručno-inženjerskih grana postali su nov i efikasan način rješavanja složenih, kompleksnih i difuznih problema koji se danas u pravilu javljaju u teoriji, ali i inženjerskoj praksi. Pokazalo se da je u cijelom svijetu niz dosadašnjih rješenja bio krajnje suboptimalan i zabrinjavajuće kratkoročno efikasan. Postizanje više razine efikasnosti vezano s vodama nemoguće je bez skladne i plodne suradnje niza znanstvenih disciplina. U radu će naglasak biti stavljen na analizu međuzavisnosti geologije, hidrogeologije i hidrologije prilikom rješavanja složenih inženjerskih hidrotehničkih problema. Navedeno je nekoliko primjera uspješne suradnje pri rješavanju problema korištenja i zaštite voda u granuliranim sredinama, kao i krškim vodonosnicima. Posebno se ističe da je proces suradnje i uvažavanja rezultata različitih znanstvenih grana značajan za njihov individualni razvoj, te da on ni u kom slučaju ne vodi ka utapanju i nestajanju pojedinih disciplina u neku opću znanost.

1. UVOD

Poticaj za pisanje ovog rada došao je iz dugogodišnje svakodnevne prakse. Uspjesi, a još više neuspjesi, ne samo kod nas nego doista u cijelom svijetu, svjedoče da je za rješavanje hidrotehničkih pa čak i šire svih inženjerskih problema jedini pravi put multidisciplinarnost i interdisciplinarnost. Kod toga se pod pojmom multidisciplinarnosti podrazumijeva prvenstveno mehaničko uključivanje različitih znanstvenih i stručnih disciplina kod analize nekog složenog problema. Interdisciplinarnost je viši i kvalitetniji vid suradnje koji pretpostavlja duboku interakciju, dakle suštinsko prožimanje uključenih disciplina.

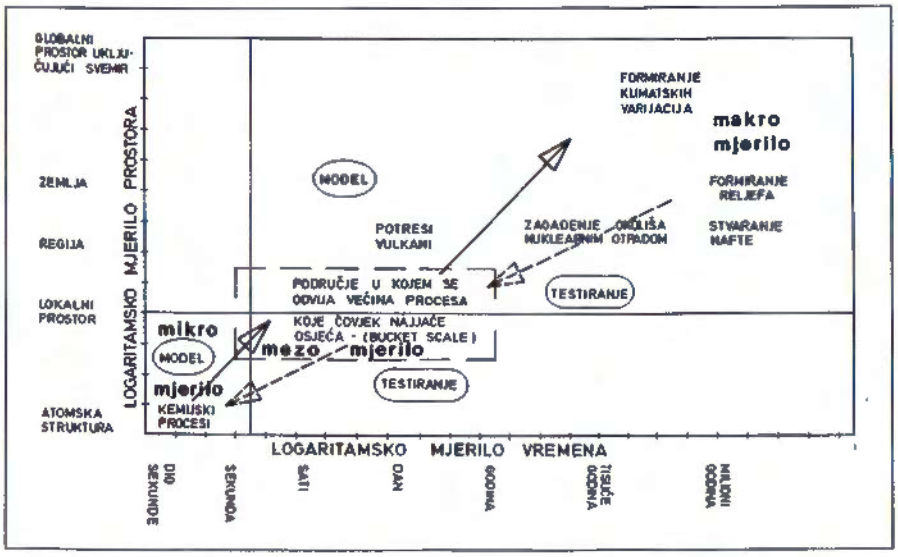
Koji je osnovni razlog da se o procesima multidisciplinarnosti i interdisciplinarnosti danas govori na svakom koraku? Da li je to nešto doista novo i revolucionarno u znanosti i struci? Kakvi su stvarni praktični uspjesi postignuti na tom planu u svijetu a posebno u Hrvatskoj?

Multidisciplinarnost i interdisciplinarnost postali su neophodni prvenstveno zbog toga jer su i problemi s kojima se danas susrećemo postali toliko složeni da se ne mogu obuhvatiti jednom znanstvenom disciplinom. Takovim problemima daje se atribut difuzni baš zbog toga jer ih je vrlo teško čak i odrediti. U uvodu treba naglasiti da će se nastavno govoriti prvenstveno o hidrotehničkim problemima u koje su uključene tri u naslovu spomenute znanosti geologija, hidrogeologija i hidrologija. To nikako ne znači da se time isključuju druge manje ili više bliske znanstvene grane. Čak naprotiv sve one su sa svojim znanjima i iskustvom ne samo dobro došle nego i neophodne za smanjenje suboptimalnosti ljudskih riješenja.

Potreba multi i interdisciplinarnosti nije ništa posebno novo u znanosti. Gotovo da je ona prisutna od kada postoji i znanost ali se problemu pristupalo principijelno drugačije. U povijesti razvoja znanosti, tj. objašnjenja prirode i rješavanja problema postojala su razdoblja kada su se stvarale nove znanstvene discipline ali je paralelno tekao i suprotan proces spajanja ili gomilanja znanja u nekoj znanstvenoj disciplini. Ambiciozniji i nadareniji pojedinci utjecali su na stvaranje ambicioznijih, širih, većih znanstvenih disciplina. Njihova je namjera bila krajnje časna i razumljiva. Želili su stvoriti znanost koja je sposobna dati odgovore na sva ili na barem većinu pitanja.

Sve složeniji problemi prirode prije svega sve drastičnije ljudske intervencije u nju kao i sve veći zahtjevi koje čovjek postavlja pred prirodu a time i znanost pokazali su golemu suboptimalnost postojećih rješenja. Doveli su prirodu a s njom i čovjeka do suštinskog pitanja golog opstanka. Jedini, čini se pravi odgovor ovom izazovu nađen je u, političkim rječnikom rečeno, prestrukturiranju znanosti. TORGERSEN (1994b) komentira poznatu AGU Chapman konferenciju (American Geophysical Union) čiji je naziv "Hidrogeološki procesi: Izgradnja i testiranje modela s dimenzijama od atoma do sliva." (Hydrogeological Processes: Building and Testing Atomistic to Basin Scale Models). Pokazalo se da se u hidrotehničkim problemima paralelno odvijaju procesi s atomskim i kilometarskim dimenzijama te da neki traju tek dijelić sekunde a drugi tisuće godina. Ovaj efekt je

Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Matice Hrvatske 15, 21000 Split, Hrvatska.



Sl. 1 Objašnjavanje efekta mjerila (prema TORGERSEN, 1994a).

poznat od prije kao efekt mjerila prostora i vremena. Njegov utjecaj na procese koji se odvijaju u hidrotehnici je toliko snažan da ga u ovom trenutku više ne može zaobići i zanemariti kao što je to rađeno do sada. Tome je bitno pridonijela primjena modernih tehnologija mjerenja ali i korištenje računala. O ovome će biti raspravljano u slijedećem poglavlju.

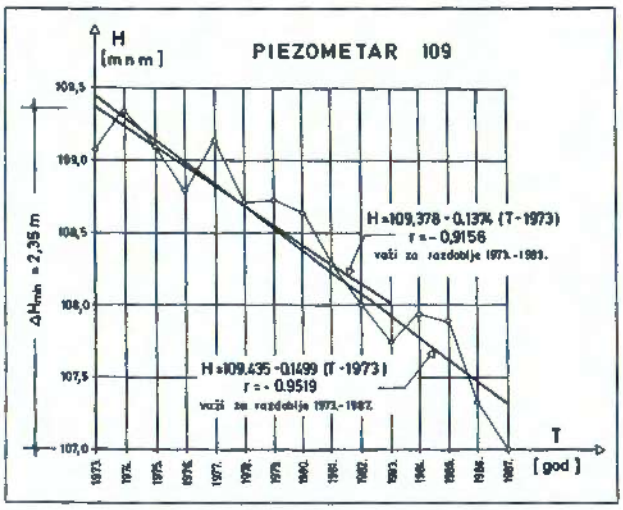
Na treće postavljeno pitanje o postignutim uspijesima primjenom spomenutog koncepta teško je dati pouzdan i konačan odgovor. Pristup mnogo obećava, daje određena poboljšanja ali nailazi i na ne male otpore. Uz to je njegov dosadašnji životni vijek kratak te nije imao niti dovoljno vremena na raspolaganju da se dokaže. Međutim, njegova ozbiljnost, fizička utemeljenost i sistematična novost predstavljaju snažne preduvjete za uspjehe ako ne apsolutne a ono barem relativne u odnosu na klasične pristupe, barem u rješavanju nekih specifičnih slučajeva. Što se stanja u Hrvatskoj tiče ono se može odrediti kao osluškivanje procesa koji se u svijetu zbivaju. Sa ciljem bržeg i efikasnijeg uključivanja u njih napisan je i ovaj referat.

2. EFEKT MJERILA

Na slici 1 preuzetoj od TORGERSEN-a (1994a) grafički je prikazan efekt mjerila uključen u vezu hidrološkog transporta masa i koncepta modeliranja i testiranja od dimenzije atoma do veličine slivne površine. Danas je moguće testirati fundamentalne parametre u laboratoriju na razini atoma te paralelno koristiti terenska mjerenja fluida i transporta masa u slivu s istim ciljem. Dok se prvi spomenuti procesi odvijaju u milimetarskim strukturama prostora i vremena paralelno s njima teku i mnogo krupniji ljudskom oku vidljivi procesi u vremenu i prostoru sliva. U literaturi se dimenzije prostora i vremena primjerena ljudskim osjetilima naziva "bucket scale". Doslovno bi se moglo prevesti kao "mjerilo lonca" što se slikovito može objasniti činjenicom da je svakome najrazumljivije i najbliže ono što dolazi iz njegovog lonca primjerenog veličini i navikama njegove obitelji. Sa slike 1 se vidi da u gornjem desnom kutu odvijaju makro procesi čije su vremenske i prostorne dimenzije daleko veće od ljudskih te su čovjeku nedovoljno bliske. Međutim i ovi procesi značajno utječu na one u srednjem (mezo) i makro mjerilu. Interakcije su toliko snažne da je današnje modeliranje hidroloških i hidrogeoloških procesa nemoguće bez njihovog uvažavanja, tj. uključivanja u modele. Gotovo da se može reći da je vrijeme klasičnih modela, bez obzira koliko oni bili složeni, kompleksni i s kolikim se matematičkim i/ili numeričkim aparatom služili, odzvonilo. Pred nama je novo doba tj. nova generacija geološko-hidrogeološko-hidroloških modela i modeliranja. Njihovo osnovno svojstvo bit će uvažavanje i usklađivanje utjecaja mikro, mezo i makro mjerila prostora i vremena na izučavani proces.

Općenito se može reći da današnja geologija prvenstveno pokriva makro mjerilo vremena te makro do mezo mjerilo prostora. Hidrologija se najvećim dijelom odvija u mezo mjerilu prostora i vremena te barem za sada vrlo malo ide u mikro dimenzije. Hidrogeologija se sve više razvija u pravcu izučavanja procesa u mezo ali i mikro mjerilu ne odvajajući se niti od makro mjerila već i zbog toga što predstavlja neotudivi dio geologije. Upravo u prethodno iznesenim konstatacijama leži moderno i suštinsko objašnjenje međuzavisnosti tri analizirane znanstvene discipline.

Treba naglasiti da se radi o doista novim pristupima (ili bolje reći pokušajima) znanstvenog rješavanja složenih dinamičkih hidrotehničkih problema. Kao vrlo jednostavan primjer podrške prethodnim stavovima mogu poslužiti i slijedeći navodi. Brojni mikro procesi izazvani na površini terena u slivu radom čovjeka (gnojidba, obrada tla, sječa šuma, izgradnja naselja i drugih umjetnih objekata, uzgoj vegetacije, erozijski procesi itd, itd) djeluju na promjenu atomske strukture materije kroz koju i/ili preko koje se odvija tečenje vode. Time se mijenjaju i uvijeti tečenja što direktno utječe na



Sl. 2 Trendovi srednjih godišnjih razina podzemnih voda izmjereni na piezometru 109 u blizini crpilišta Mala Mlaka.

hidrološko-hidrogeološke procese u slivu. Ovi pak imaju utjecaj i na geološke karakteristike prostora. Interakcije a preko njih i posljedice svakog čovjekovog zahvata velike su i za sada nesagledive. Čovječanstvo se obično "budi" poslije katastrofa koje je izazvalo ili barem ubrzalo svojim radom i to uvijek djelujući u najboljoj namjeri.

TORGERSEN (1994a) završava svoj članak zaključkom "Danas postoji snažno definirana potreba ali i računarske mogućnosti za izgradnju integrirnih, parametarsko realnih fizičko-kemijsko-mehaničko-termalno zasnovanih modela nestacionarnog tečenja u propusnim sredinama koji uključuju i dinamiku i zajedništvo efekta mjerila. Teorija i eksperimenti vezani s geološkim zaključcima i opažanjima hidrogeoloških procesa koji se odvijaju u makro, mezo i mikro mjerilu moraju biti korišteni za dublje objašnjavanje, razvoj i kvantitativnu procjenu dinamike hidrogeološko-hidroloških procesa na Zemlji. Slijedeća generacija hidrogeološko-hidroloških modela mora uključiti razvoj i korištenje parametara koji odgovaraju mikro, mezo i makro procesima koji se paralelno ali i međuzavisno odvijaju u istom trenutku i u istom razdoblju. Uspjeh ovog pristupa zavisi o sudjelovanju mnogih grana znanosti o Zemlji: hidrologije, geokemije, geofizike, mehanike, tektofizike itd. kao i sudjelovanja matematičara, fizičara, kemičara, građevinskih inženjera, ekologa, znanstvenika koji se bave tlom i vegetacijom itd. itd."

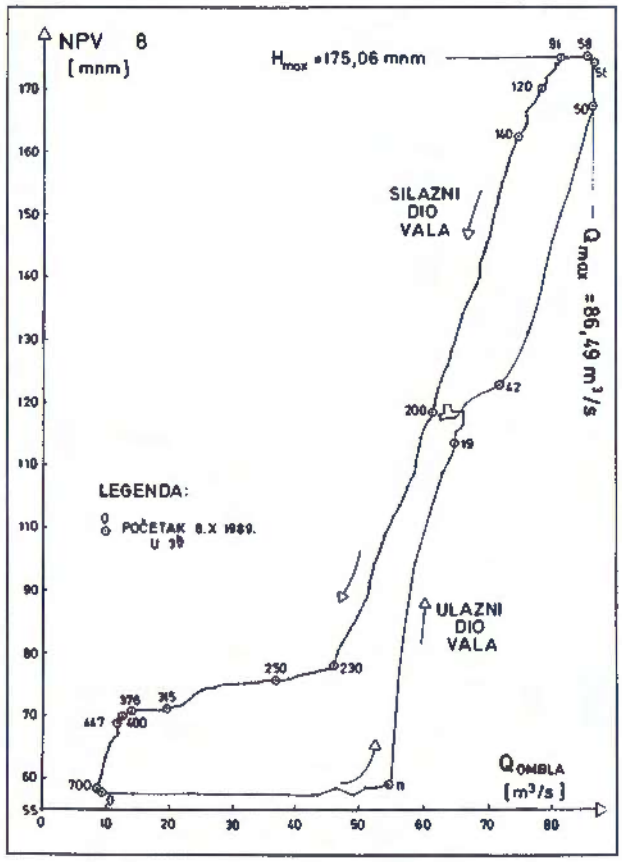
Okviri koji su prethodno izneseni očigledno su za svakodnevnu inženjersku praksu preširoki te ih je neophodno "prizemljiti", tj. približiti praksi i svakodnevnim inženjerskim problemima što će se nastvano pokušati načiniti. Prema velikom cilju definiranom kao izgradnja modela nove generacije treba se ići, a pokazat će se da se čak i kod nas ide, postepenim pragmatičnim, inženjerskim koracima. Pred dvadesetak godina BORELLI (1978) je efekt mjerila definirao kao neslaganje između "malog" i "velikog". Ukazao je na činjenicu da razlike u mjerilima izazivaju odstupanja od sličnosti između fizičkog modela i stvarnosti uslijed tzv. "parazitskih" efekata drugih činitelja u odnosu na one za koje je modeliranje izvršeno.

Praksa je ne jednom pokazala da vrijednosti parametara sustava koji se želi modelirati dobivene istraživanjem jednog segmenta ili dijela tog sustava nerijetko nisu reprezentativne za sustav u cijelosti. Ovakovi problemi stalno su prisutni kada se na pr. terenski mjerenjima žele definirati infiltracione karakteristike sliva, transportne karakteristike sredine kao i mogućnosti skladištenja vode u njoj. Ovakvo shvaćanje efekta mjerila kao odnosa dijela prema cjelini samo je jedan aspekt a moglo bi ga se nazvati i prvim stupnjem bitno kompleksnijeg problema prikazanog na slici 1. Gotovo da se može zaključiti da je to njegovo inženjersko objašnjenje. Proizlazi da "mali uzorci" ili "lokalni uzorci" ne mogu biti dovoljno ili potpuno reprezentativni za objašnjavanje procesa koji se odvijaju u velikom prostoru sliva, kako onog nadzemnog tako i onog podzemnog.

3. PRIKAZ MEĐUZAVISNOSTI NA PRAKTIČNIM INŽENJERSKIM ZADACIMA

Nezaobilazni zajednički zadatak hidrologije, hidrogeologije i geologije je odnos podzemnih i površinskih voda. Problem koji je i do sada zabrinjavao a uskoro će to činiti i intenzivnije je snižavanje razine podzemnih voda u vodonosniku iz kojeg se Zagreb snabdijeva pitkom vodom. Na slici 2 prikazani su trendovi opadanja srednjih godišnjih razina podzemnih voda opaženi na piezometru 109 koji se nalazi u blizini crpilišta Mala Mlaka (BONACCI & TRNINIĆ, 1991). Razlozi ovako drastičnog opadanja razina podzemnih voda višestruki su a pripadaju većem broju različitih mjerila kako vremena tako i prostora. Jedan od uzroka je povećano crpljenje podzemne vode u posljednjih dvadesetak godina. Drugi razlog su regulicioni radovi u samom koritu Save na potezu Podsused-Rugvica koji se obavljaju u posljednjih tridesetak godina. Neizbježan razlog leži i u brojnim i vrlo različitim radovima (vodoprivrednim, protuerozionim, vegetcionim, šumarskim, urbanizaciji, industrijalizaciji itd.) u cijelom slivu Save od izvora do profila Zagreba koji traju već stotinjak godina. Ne smije se zanemariti ni utjecaj klimatskih varijabilnosti posebno prisutnih u dvadesetom stoljeću. Znanstveno objašnjavanje a potom i rješavanje ovog problema zahtijeva vrlo usku suradnju prvenstveno hidrologa, hidrogeologa i geologa bez zanemarivanja uloga ostalih znanstvenih disciplina.

Krš kao medij predstavlja upravo školski primjer neophodnosti interdisciplinarne suradnje. Hidrogram a preko njega i krški vodonosnik može se analizirati izučavanjem promjena prirodnih elemenata ali i umjetnih trasera koje čovjek ubacuje u njega. Različite znanstvene discipline razvile su različite metode mjerenja i obrade te ih usvojile kao isključivo njihove.



Sl. 3 Odnos satnih razina podzemnih voda u piezometru 8 i odgovarajućih protoka Omble.

Bolji zaključci moći će se dobiti onda kada one postanu svojina cjelokupne znanstvene zajednice koja se bavi problemima krša. Jedan od najvećih i do danas nezadovoljavajuće riješenih problema u kršu se odnosi na određivanje granica i površina sliva. Klasični geološko-hidrogeološki pristupi su neophodni ali nisu i dovoljni. Hidrološki pristupi mogu dati odgovor tek na pitanje kolika je površina sliva ali ne i gdje su granice sliva. Suradnja je ovdje neizbježna jer ne korištenje znanja drugih sigurno vodi ka pogrešnom ili barem nedovoljno točnim rješenjima. MAGDALENIĆ et al. (1987), te BONACCI & MAGDALENIĆ (1993) pokazali su na primjerima izvora Bulaž i Sv. Ivan u Istri kao prvo dobru volju, a potom i bolje rezultate u rješavanju klasičnog problema krša, tj. određivanja granica i površina sliva.

Kako mjerilo vremena utječe na mogućnost zaključivanja o osnovnim procesima koji se odvijaju u krškom vodonosniku svjedoči grafički prikaz dat na slici 3 (BONACCI, 1995). Na slici je prikazan odnos satnih razina podzemnih voda u jednom piezometru u zaleđu izvora Ombla i odgovarajuće protoke Omble. Radi se o krivulji protoka izvora Ombla u zavisnosti od razine podzemne vode u jednom piezometru. Uočava se postojanje petlje uzrokovane bitno različitim karakteristikama tečenja prilikom porasta razine podzemne vode od onih koji vladaju tijekom opadanja. Zbog kratkoće rada ne može se ulaziti u detalje a čitaoce se upućuje na originalni rad (BONACCI, 1995). Da se raspolagalo sa mjerenjima u rjeđim vremenskim intervalima od na pr. jednog mjerenja razine vode u 24 sata do ovih se zaključaka ne bi moglo doći.

4. UMJESTO ZAKLJUČKA

U radu je ukazano na prirodnu povezanost i stoga neophodnost uske suradnje geologa, hidrogeologa i hidrologa. Posebno se ističe da je proces suradnje i uvažavanja rezultata različitih znanstvenih grana značajan za njihov individualni razvoj, te da on ni u kojem slučaju ne vodi ka utapanju i nestajanju pojedinih disciplina u neku opću znanost. Proces je upravo obrnut, a stimulira ga brži transfer znanja i informacija iz jedne znanstvene discipline u drugu potpomognut danas neizbježnim razvojem tehnologija koje bez iznimke koriste sve grane znanosti i inženjerstva.

5. LITERATURA

BONACCI, O. (1995): Ground water behaviour in karst: example of the Ombla Spring (Croatia).- Journal of Hydrology, 165, 113-134.

BONACCI, O. & MAGDALENIĆ, A. (1993): The catchment area of the Sv. Ivan karst spring in Istria (Croatia).- Ground Water, 31/5, 757-773.

BONACCI, O. & TRNINIĆ, D. (1991): Hydrologische, dursch die Aktivität des Menschen hervorgerufene Veränderungen in Flussgebiet der Sava bei Zagreb.- Wasserwirtschaft, 81/4, 171-175.

BORELLI, M. (1978): Efekat razmere u poroznim sredinama.- Zbornik VII Savjetovanja za hidraulička istraživanja, 1-32, Novi Sad.

MAGDALENIĆ, A., BONACCI, O. & JURAK, V. (1987): Sliv izvora Bulaž u središnjoj Istri.- Krš Jugoslavije, 2/1, 1-26, JAZU, Zagreb.

TORGERSEN, T. (1994a): Modeling and testing coupled hydrological processes.- EOS Transactions AGU, 75/7, 73-78.

TORGERSEN, T. (1994b): Chapman Conference on hydrogeological processes promotes interaction.- EOS Transaction AGU, 75/47, 547-554.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	109 - 112	ZAGREB 1995

Mineralne sirovine za cementnu industriju u tvornici "Našicecement" d.d. Našice

Željko **BORTEK**

Ključne riječi: cementna industrija, litostratigrafija, sirovinski materijal, vapnenac, lapor, glinovito-pjeskoviti sediment, Našice, Hrvatska

Key words: Cement industry, Lithostratigraphy, Mineral raw material, Limestone, Marl, Clay-quartz sediment, Našice, Croatia

Sažetak

Na osnovi terenskih i laboratorijskih (geoloških, geofizičkih, geotehničkih, geokemijskih) istražnih radova stvorena je realna slika o prirodnim uvjetima u ležištima površinskih kopova Bukova Glava i Vranović.

Radi se o sedimentnom tipu slojevitog ležišta postojane debljine sa niskim sadržajem štetnih komponenti za primjenu u cementnoj industriji.

Abstract

The real picture of natural conditions in the surface-excavation Bukova Glava and Vranović was based on the examination works in the field laboratory and also geological, geophysical, geotechnical and geochemical examination works.

Here we have sedimentary type of multi-layered bed with the constant thickness and low contents of disadvantageous components for the usage in the cement industry.

UVOD

Definirana je kvalitetna sirovinska osnova unutar granica eksploatacijskog polja, ležišta Bukova Glava i Vranović za potrebe tvornice cementa u budućoj tehnološkoj i gospodarsko-tehničkoj perspektivi. Utvrđene su rezerve visoke kategorije istraženosti koje količinom osiguravaju dugogodišnju kontinuiranu eksploataciju. Istražena mineralna sirovina se nalazi neposredno uz tvornicu, te se kao takva i sukcesivno koristi. Naslage sirovine se nalaze na površini tla i eksploatacija se odvija površinskim kopom.

GEOLOŠKI ISTRAŽNI RADOVI

Prva geološka istraživanja u svrhu ispitivanja i analize mineralne sirovinske osnove za cementnu industriju u Našicama izvršena su 1954. godine i izbušene su prve geološke bušotine, a iz uzoraka je napravljena poluindustrijska proba u tvornici "10 kolovoz" u Splitu. Analizom rezultata poluindustrijske probe urađena je procjena koja opravdava izgradnju cementare u Našicama.

Do 31.12.1994 godine izbušeno je 149 istražnih bušotina ukupne dužine 6.206 metara, gdje je prilikom kemijske obrade uzoraka napravljeno 1717 kompletnih kemijskih analiza.

Na osnovi terenskih i laboratorijskih radova izrađen je Elaborat o rezervama mineralne sirovine za cementnu industriju, gdje su rezerve verificirane od nadležne komisije pri Ministarstvu gospodarstva Zagreb.

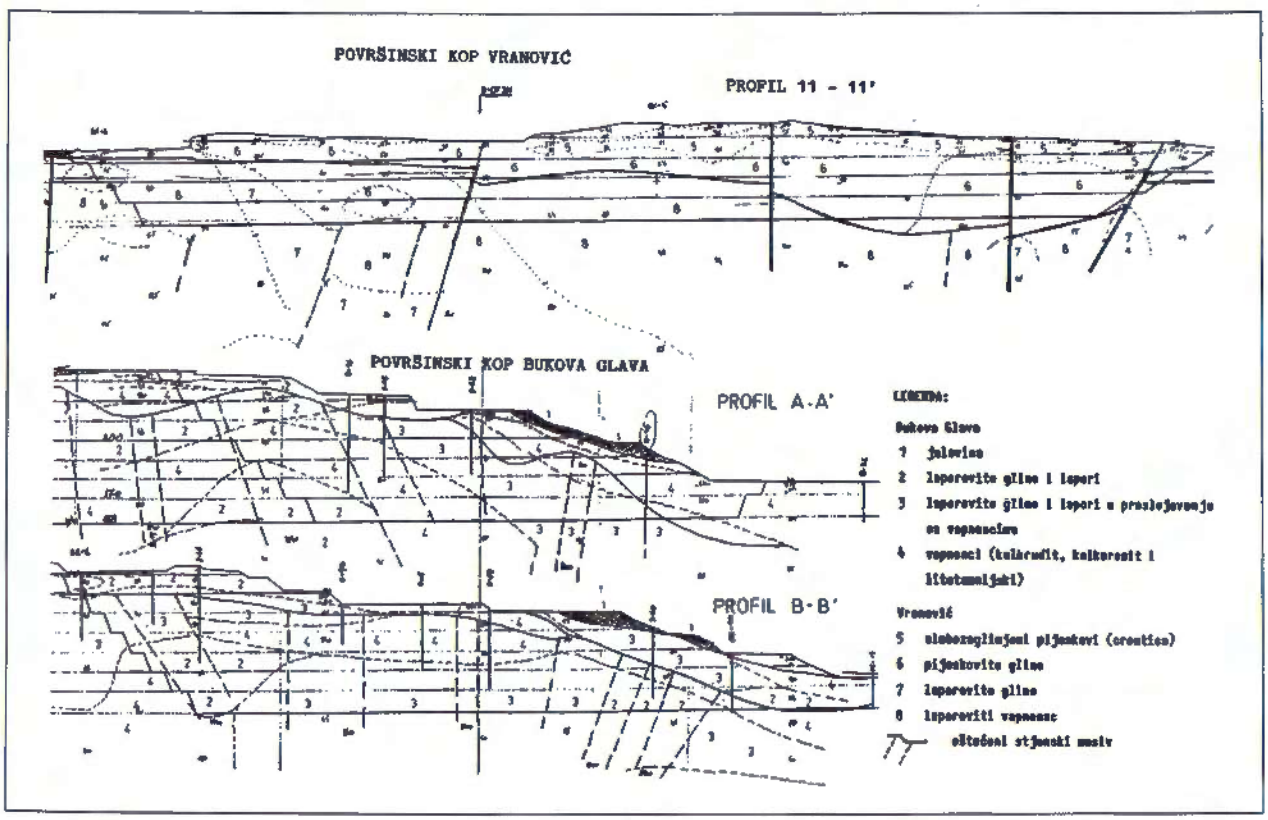
Da bi zadovoljili uvjete izgradnje objekata i otvaranja ležišta obavljena su istraživanja i ispitivanja za Fizičko-mehanička svojstva stijena i inženjerskogeološko zoniranje terena. Analiza stabilnosti pokosa rađena je za mjerodavne profile u sirovinama i rasjedima koji su puni vode. Taj tlak vode djeluje u punom intenzitetu na stabilnost kopa. Analizirana je stabilnost za projektirani pokos i to po metodi SPENSERA, HOEKA, FRITZA i KOVARI-a. Kada se dobio uvid u stanje učestalog pukotinskog sustava unutar vapnovito-laporovitih sirovina, a da se zadovolje faktori sigurnosti nagiba pokosa, za površinski kop Bukova Glava izračunati završni kut je <43°.

Na Vranoviću je situacija izmijenjena u odnosu na Bukovu Glavu. Tu razlikujemo dvije sredine mjerodavne za analizu. Analiza stabilnosti u dijelovima ležišta sa vapnovitim-laporom, gdje je završni kut = 40°, a za glinovito-pjeskovitu sredinu generalni nagib pokosa je sa kutem = 31°.

U sustavu geotehničkih istraživanja izvedeni su i geofizički radovi vezani uz problematiku stabilnosti radnih etaža i završnih kosina, fizikalnih karakteristika stijena, dubine površinskog sloja jalovine, prostiranje po dubini zdrobljene zone koje odgovaraju jače izraženim pukotinskim sustavima (sl. 1).

Finalni produkt obrade tehničkih podataka su geološki profili izrađeni i na osnovi standardnih geofizičkih istražnih radova:

„Našicecement„ d.d. Tajnovac 1, HR-34500 Našice, Croatia.



Sl. 1 Geološki profili površinskih kopova Vranović i Bukova Glava.

- geoelektričnog sondiranja koje je poslužilo za bolji uvid u litološku zastupljenost sedimenata u ležištima. Osnovna karakteristika svih izmjerenih krivulja je njihova višeslojnost što određuje slojne pakete unutar geološkog bloka različitih specifičnih električnih otpora;
- refrakcijske seizmike koja je izdvojila zone različitih brzina uzdužnih elestičnih valova u refraktoru. Dokazan je tektonski sustav u stijenama tako da je točno izdvojena potpovršinska kora trošenja heterogenog sastava i osnovni stijenski masiv unutar kojeg su izdvojene zone i položaji rasjeda. To je važan podatak u rudarstvu za odabir optimalne varijante otkopa sirovine.

REZULTATI RADA

LITOSTRATIGRAFSKI SASTAV LEŽIŠTA BUKOVA GLAVA

Na površinskom kopu i ležištu Bukova Glava zastupljeni su sedimenti tortonske i sarmatske starosti. Razdvajanje sedimenta na osnovi starosti nije pouzdano određeno, tako da su granice određene na osnovi litološkog sastava.

Stijenske mase se odlikuju velikom raznovrsnošću i promjenjivošću u pogledu kemijskog i litološkog sastava tako da su izdvojeni slijedeći litostratigrafski kompleksi:

- laporovite gline i lapori,
- laporovite gline i lapori u proslojavanju sa vapnencima,
- vapnenci (kalkrudit, kalkarenit i litotamnijski).

Laporovite gline i lapori su promjenljive debljine od 5 m do 10 m. Unutar ovih kompleksa dominiraju laporovite gline koje su srednje do visoko plastične. Po pravilu su degradirane i mekane (hidroskopne). Boje su žute i žutomrke. Na jezgri istražnih bušotina kao i na otvorenim profilima konstatirani su mehanički diskontinuiteti sa tragovima tektonskog kretanja. Ovi lapori su uglavnom masivne teksture, rjeđe tankoslojeviti.

Laporovite gline, lapori u proslojavanju sa vapnencima, su promjenjive debljine maksimalno do 28 m. U ovoj sredini kontakti laporovitih glina i vapnenca predstavljaju mehaničke diskontinuitete često i sa tragovima smicanja.

Vapnenci u pogledu litološke zastupljenosti u ležištu su najdominantniji. Uglavnom su to kalkruditi, kalkareniti i litotamnijski vapnenci. Maksimalne debljine su 50-60 m. U sjeveroistočnom dijelu kopa debljina im je 45 m, u središnjem dijelu kopa 20 m do 30 m, a na zapadnom dijelu do 19 m. Najzastupljeniji su litotamnijski vapnenci koji se nalaze u dubljim dijelovima ležišta. Rjeđe su zastupljeni u vidu manjih proslojaka i leća kalkruditi, vapnenci koji prate razlomne strukture, jer imaju izraziti diskordantan položaj. Vapnenci su masivne teksture, rjeđe slojevite.

Generalni pad slojeva je prema jugu (azimut pada 200 do 230°, a padni kut do 25°). Vapnenci su ispucali, pukotine su često ispunjene kristaliziranim kalcitom i

limonitom uslijed kretanja površinskih i podzemnih voda. Česte su pukotine ravnih i glatkih zidova sa tragovima smicanja. Uglavnom su to čvrste i kompaktne stijene.

TEKTONSKI SKLOP

Tektonski sklop ležišta je složen. Osnovna je karakteristika postojanje longitudinalnih i transverzalnih rasjeda, s obzirom na njihov položaj prema glavnom rasjedu u dolini Crnog Potoka. Duž tih rasjeda dolazilo je do gravitacijskog spuštanja blokova gdje su skokovi bili u granicama od 5 m do 30 m.

JALOVINA

Jalovinski pokrivač je glinovito-pjeskoviti sediment debljine od 0.3 m do 10 m, koji se prostire preko cijelog ležišta Bukova Glava-Vranović. Jalovina je sivo-crne boje, jako zaglinjena, primjećuju se ostaci bilja i korijenja, masna opipa i hidroskopna, a zbog povišenog sadržaja štetnih spojeva (Na_2O, K_2O, SO_3) se ne koristi u tehnološkoj proizvodnji klinkera.

LITOSTRATIGRAFSKI SASTAV LEŽIŠTA VRANOVIĆ

Na površinskom kopu i ležištu Vranović izdvojeni su glinovito-pijeskoviti sedimenti u krovini ležišta i sedimenti laporovitih vapnenaca. Geološka granica je diskordantni kontakt laporovitog vapnenca sa glinovitim pijeskom i pijeskom.

Pliocenske naslage su zastupljene u sjevernom i zapadnom dijelu lokaliteta. Uglavnom su izgrađene od glinovitog pijeska, siltoznih tinjčastih pijesaka kao i niza petroloških varijanti između ovih stijenskih masa. Pliocenske naslage sastoje se od:

- slabo zaglinjeni pijesci,
- pjeskovite gline.

Slabo zaglinjeni pijesci su sitnozrni, tinjčasti, siltozni crvenkastožute boje *croatica* pijesci, gdje se ponegdje zapaža slaba stratifikacija. Promjenljive su debljine, najveće u istočnom dijelu ležišta debljine od 6 m do 16 m. U srednjem dijelu ležišta pijesci se javljaju u vidu leća i manjih proslojaka, a na krajnjem zapadu pijesci izostaju. Unutar ovog pijeska su proslojci slabovezanog pješčenjaka i pjeskovitih lapora.

Pjeskovite gline najčešće se javljaju u vidu leća ili proslojaka. Heterogenog su sastava. U ovisnosti od sadržaja silicija prisutan je niz petroloških varijanti u kome svakako dominiraju glinoviti pijesci. Boje su promjenljive, u površinskom dijelu ležišta žutomrke (uslijed procesa kemijskih izmjena), a u dubljim dijelovima smeđe boje. Debljina sloja je promjenljiva od par milimetara do 27 m.

Zbog uvjeta priobalne sedimentacije, odnosno promjenljivog procesa taloženja materijala u sedimentnom bazenu, česta je izmjena po kakvoći i izmjena u sadržaju korisnih kemijskih komponenata, kako u vertikalnom tako i u horizontalnom dužinskom modelu ležišta.

Gornji miocen je sastavljen od kompleksa lapora, laporovitih glina, laporovitih vapnenaca i vapnenaca koji se obzirom na svoj sastav i položaj iz podataka istražnih bušotina mogu podijeliti u dvije zone:

- laporovite gline i
- laporoviti vapnenci.

Laporovite gline se nalaze u čitavom ležištu Vranović. Elementi pada sloja su sjeveroistok, azimut 55°, a padni kut sloja 20°. Debljina sloja je promjenljiva u intervalu od 10 m do 20 m. Masivne je teksture. U krovinskom dijelu ležišta, a na kontaktu sa glinovitim pijeskom uslijed djelovanja voda su izmijenjeni u smeđe lapore sa skramama limonita. U ovoj litološkoj sredini konstatirani su rijetki mehanički diskontinuiteti (tenzione pukotine).

Laporoviti vapnenci se međusobno proslojavaju sa laporovitim glinama. Uglavnom dominiraju sivi laporoviti vapnenci masivne teksture. Činjenica je da su glinoviti lapori hidroskopni sa vlagom i iznad 25%. Slojevi su debljine od 40 cm do 3 m.

TEKTONSKI SKLOP

Utvrđena su četiri rasjeda sa skokom 3m do 10m. Rasjedi su transverzalni u odnosu na glavni rasjed koji je formiran duž Crnog Potoka. Svakako da je najznačajnije da su svi ti rasjedi nosioci podzemnih vodenih tokova, što bi trebalo biti predmet izučavanja u narednom periodu.

ZAKLJUČAK

Na osnovi obavljenih geoloških istraživanja tijekom eksploatacije rudne mase vrše se operativna istraživanja sirovina za cementnu industriju tvornice "Našicecement" d.d. Našice, gdje je na osnovi ukupne stručne spoznaje cilj da se:

- izvrši izbor optimalne varijante sustava selektivnog otkopavanja za oba površinska kopa,
- izvrši izbor mehanizacije: pripreme sirovine (bušaće garniture, buldozeri), utovara i transporta,
- izvrši izbor optimalne varijante drobiličnog pogona za usitnjavanje, sušenje i meljavu sirovine,
- izvrši projektiranje visine etaža i kutevi završnih kosina kao podloga za Glavni rudarski projekt,
- osigura faktor sigurnosti, zaštita radnih etaža i sprječe pojave klizišta i puzišta, što može zaustaviti daljnje radove na eksploataciji sirovine,
- a sve za rješavanje problematike kakvoće materijala za tehnološki proces pripreme mineralne sirovine za proizvodnju u klinker.

LITERATURA

TOLIĆ, Lj. (1960): Analiza sirovinske baze tvornice cementa Našice.- Konstrukcioni biro građevinske industrije, Zagreb.

PAVLEKOVIĆ, M. (1986): Detaljni geološki istražni radovi i elaborat o rezervama sirovina za tvornicu cementa Našice ležišta Bukova Glava - Vranović.- INA Projekt, Zagreb.

MARIĆ, B. (1988): Studija stabilnosti radnih etaža i završnih kosina površinskog kopa za ležišta Bukova Glava i Vranović.- Geotehnika-Geoexpert, Zagreb.

BORTEK, Ž. (1991): Elaborat o prekategorizaciji rezervi C1 kategorije u rezerve B kategorije mineralnih sirovina za cementnu industriju tvornice cementa "Našicecement" d.d.- Našice.

DUJMIĆ, D. & JAGATIĆ, I. (1994): Geofizička istraživanja ležišta mineralnih sirovina Bukova Glava i Vranović.- "MOHO" d.o.o., Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	113 - 116	ZAGREB 1995

Geological Particularities of Horizontal Well Application in Petroleum Engineering

Zagorka **BOŠKOV STEINER**[1] & Ivo **STEINER**[2]

Key words: Horizontal drilling, Team work, Fluid bearing rocks, Geological control, Education

Abstract

Role of geology in planning, drilling and evaluation of horizontal wells. Input of structural data into planning and evaluation of horizontal drilling. Positioning of horizontal wells. Geological control of a horizontal well. Application of pulse-pressure and/or electromagnetic MWD and LWD system. Detecting geological markers while drilling. Reservoir characterisation by horizontal wells. Horizontal underbalanced re-entry drilling for increased production from existing reservoirs. Reasons for a multidisciplinary approach of various specialists in geology, drilling, reservoir engineering and others in design, drilling, completion and utilisation of horizontal wells.

INTRODUCTION

There is no greater challenge for a petroleum geologist than prospecting, mapping, planning, programming and supervising geologic activities of a horizontal well. By those activities a petroleum geologist is able to prepare and control a horizontal well by application of his/her professional skills in planning, programming and controlling vertical and deviated wells and by use of his/her knowledge in palaeontology, petrography, palaeogeography, stratigraphy, tectonics, geophysics and petroleum geology.

Success of the venture has to be ensured by embodying geologist into a basic work team together with other specialists, primarily drillers and reservoir engineers.

Horizontal drilling is used to enable primary, secondary and/or tertiary production from reservoirs not approachable or hardly approachable by vertical or deviated wells. It is used as well for increase of economic value of thin reservoirs and of those containing viscous fluids or having fissured porosity or of low permeability reservoirs. By horizontal wellbores reservoirs having heterogeneous structure, and particularly those of extremely heterogeneous structure may be developed. If a hydrocarbon reservoir lying on water directly or having a natural gas cap was drilled through by a horizontal well conning may be avoided or postponed. For demethanisation of a coal-bed the most efficient and the most economic solution may be application of a horizontal well.

There are numerous hardships and unpredictable occurrences during drilling a horizontal well. Since horizontal drilling is applied only when the expected results may be justified as thrifty, we are able to minimise risks and enable the successful fulfilment of tasks by governing the drilling operation and controlling the trajectory of the wellbore. During drilling there are ways for corrections of the inclination and azimuth of the well path.

It is advisable to apply existing geological, geochemical and geophysical methods simultaneously in geological analysis of a basin (MIALL, 1985). In evaluation of preparatory activity of a basin in a very moment it is essential to know in which phase of preparation it was found. A critical retrospection of the stage of acquaintance of the basin may eliminate unnecessary activities and shorten time of readiness of a new locality (PLETIKAPIĆ & BOŠKOV STEINER, 1973; BOŠKOV STEINER, 1985, 1986; BOŠKOV STEINER & STEINER, 1990).

When a horizontal well has to be drilled and how long its vertical, deviated and horizontal path have to be realised shall be decided by a team, consisting at least from geologists, drillers and reservoir engineers. In activities of such a team geologists should have a leading role in estimation of the type of reservoir rocks. It is because from homogeneous to heterogeneous rocks, from those with primary or secondary porosity to those with minimum porosity, from permeable rocks to those sealed mechanically or chemically, there are numerous variables whom geologists could and should evaluate by application of various specialities.

A team work is essential. That is a necessity and at the same time a warranty of success. In a team geologists are gradually involved in groups for preparing exploratory locations of vertical or deviated wells before spudding a horizontal well, for designing of horizontal wells, for control and analysing drilling of individual horizontal wells or clusters of such wells. By application of network planning technique, activity of

[1] Masarykova 24, HR-10000 Zagreb, Croatia.

[2] Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Croatia.

these groups as well as of all other relevant groups for preparation, control, corrections and estimation of success of each of horizontal wells is reconciled.

FLUID RESERVOIR ROCKS

Fluid reservoir rocks are the primary preoccupation of geologists. Basic area of research are vertical and lateral properties of those rocks, as well as properties of fluids which are their content. Properties of certain groups of rocks are of special interest because of their physical and chemical differences. They differ by way of package of grains and particles in them as well. These properties are preconditions for porosity and particularly for permeability of potential fluid bearing rocks.

Experience reached up to now has shown that fluid bearing reservoirs are usually sedimentary rocks having primary or secondary porosity and, only as exemptions, metamorphic rocks having secondary porosity. Eruptive rocks are known as rare fluid reservoir rocks. They should have secondary porosity as well.

Sedimentary rocks are the most often found fluid bearing rocks. They are important sealing rocks as well which prevent the destruction of fluid reservoirs. Of the primary importance to us are clastic rocks (clay, silt and gravel) and carbonate rocks.

The most often occurrence of sand and sandstone by shape are: *channel point bars* as a result of lateral increase in river channels, *braided stream systems* which originate in channels and which are, by lithology, lenses having small grains and low permeability and *fans of turbidite sequences* formed in turbid flows. They are a great challenge for horizontal well planning.

Carbonate rocks (limestone and late diagenetic dolomite) are often fluid bearing rocks. Limestone is of organic or inorganic origin. The primary structural components of carbonate are carbonate mud (calcilulite), intraclasts and lithoclasts, pellets and pellitoides, wrapped up grains, ooides, oncoides, aggregated grains and grapestone, fossils and bioclastite, biolithe: biostroma and bioherma, as well as LLH- and SH-stromatolite I, II and III.

Biostroma are lithoficied skeletons of organisms which are spread as layers or lenses. They are in concordant relation with base and hanging rocks. By horizontal drilling we are touching tangential biostroma as well as each other intrastratified limestone.

Relation of bioherma with its hanging rock may be discordant as well as concordant. By horizontal wells we connect cupolas (domes) of bioherma by that way that we connect tangential the more porous sides which primarily have been turned to the open sea.

In the early stage of dolomitization the pure dolomite lattices may preserve the primary constituent elements of the limy sediment (because in this stage crystals of dolomite are smaller than 0.015 mm). This are, for example, laminae of stromatholite, pellets of octracodae, skeletons of algae and others. This type of dolomite may serve as a good hanging rock, but if it is fissured secondary, it may be an oil and/or gas reservoir rock.

Late diagenetic dolomite crystals are large (between 0.1 and 0.4 mm) and they have pushed out the earlier structure of organic or inorganic natural structures of limestone and even the microcrystalic "sugar like" dolomite. If they include bitumen or clays, these crystals are zonally disposed, and the organic matter is disposed only on the edges of the crystals. This type of dolomite may be oil and/or gas reservoir rock.

Other rocks are metamorphic or eruptive rocks. The secondary porosity in them enables accumulation of fluids. These rocks are often in direct touch with clastic and carbonate rocks. Because of that fissures are often fulfilled with particles of identical properties and the permeability is of similar value. But similarity of their basic properties is a consequence of hydrodynamic integrity. The fissured system of the reservoir rock can be natural or provoked by hydraulic pressure as for example by hydraulic fracturing.

In a tectonically disturbed area it is mostly advisable to connect secondary fissures directly by horizontal wellbores (similar to drilling through permeable and less permeable rocks). The art of programming and controlling of direction of horizontal wells are common tasks of geologists, drillers and reservoir engineers.

Most of these geologic conditions and how horizontal wells can be situated in them is shown on Fig. 1.

Meanwhile, if the reservoir rock is of lower permeability, we may realise a hydraulic fracturing. As in vertical and deviated wells, in horizontal wells we are able to realise a better inflow of fluids and the engagement may be economically justified.

Density and connectivity between fractures are determining factors for optimum production of fluids from a fractured reservoir. By classical study of cores and by geophysical measurements (logging) we get data on dimensions and directions of fractures. More significant data on density and connectivity of fractures in studied areas (where enough of data are available), we are able to get by application of *fractal geometry* (LA POINTE, 1988). Data on disposition and dimensions of fracture traces inside grids we record quantitatively and divide by frequency in histograms. A software for a PC computes then how blocks are filled with fractures. As the natural so the hydraulically induced fracture system of reservoir rocks are often a hydraulically united integrity.

Because of that it is a common concern of geologists, drillers and reservoir engineers to have the horizontal well path situated in the upper part of the reservoir, far enough from water/oil contact level if there is a water bearing reservoir in the base rock or far enough from the gas/oil contact if there is a gas bearing reservoir in the hanging rock.

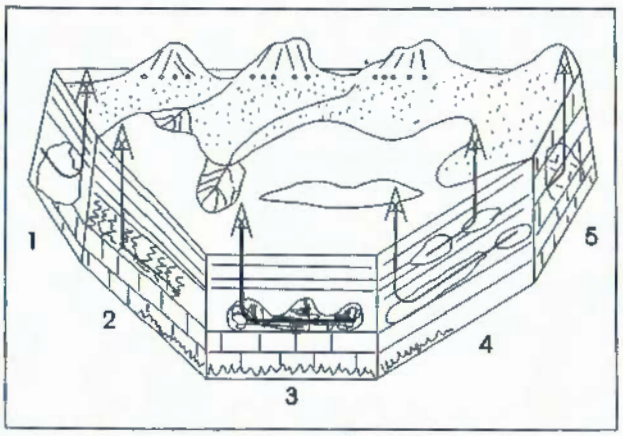


Fig. 1 Model of horizontal well (block diagram). Legend: 1 - palaeodelta; 2 - fissured carbonates; 3 - reef (biostroma and bioherma); 4 - lenses and strata; 5 - late-diagenetic dolomite.

LOCATION OF A HORIZONTAL WELL SITE

Horizontal drilling is applied where we can not reach by a vertical or deviated well the reservoir from which we want to produce fluid from. A geologist has to know or to judge trustworthy the magnitude and shape of the reservoir, the known or expected reservoir pressure, the geological structural build of formations above, inside and below the reservoir. These data serve as a basis for determination of azimuth of the planned horizontal well. At the same time these data serve for location of the well site either on land, on ice or in water of lakes, lagoons or sea. In the whole preparation of a location, as consequent, most important is professional knowledge and experience of geologists, drillers and reservoir engineers. Environment protection is a common care of all of them.

A geologist has to cooperate close with the driller in defining azimuths and dip angles of a well. Azimuth of extension and dip angle of a reservoir are usually judged from studies of surface maps, of data collected by previous regional exploratory wells, of other exploratory wells, of results of regional and local geophysical measurement.

Based on data of lithological properties of the fluid reservoir, achieved by study of rock cuttings transported from the hole bottom by drilling fluid, data from various logs, data from gas detection, and particularly on data achieved by study of core, a geologist has to form a conception on the azimuth of extension and the dip angle of formations. An oriented core is of first-rate significance in this study. All this work's results are helping the geologist in planning the azimuth and dip angle of the well which has to reach the studied reservoir laterally. After that study a tight co-operation with the driller follows in location of an appropriate well site and in definition of the path of the well till its kick-off point and till its final point of curvature to the horizontal direction. It is natural that drillers have to decide on technique and technology of horizontal wells. But definition of azimuth and dip angle of the well, from its vertical path to the horizontal one, should be a common care of geologists and drillers, as well as of reservoir engineers, who are concerned on productivity and recovery rate of the reservoir.

Recently a great number of vertical and slightly deviated wells situated in partly exhausted oil reservoirs are used for drilling re-entry wells from them. That are short horizontal well paths through the pay zone and by that way higher reservoir productivity and recovery are achieved with low costs. In an aim to prevent or to minimise formation damage in such wells underbalanced drilling is applied usually and often oil from the same reservoir is used as drilling fluid. The role of geologist is of great importance in selection of the depth of kick-off point of re-entry wells, their azimuth and length.

CONTROL OF THE WELL PROFILE

Basic difficulties which has a geologist belonging to a team controlling a horizontal drilling are how to recognise peculiarities of reservoirs, particularly those of heterogeneous and extremely heterogeneous structure and how to recognise peculiarities of probable fluid flow through the reservoir. Beside of this he/her have to recognise peculiarities of hanging and of base rocks. Answers on these questions a geologist can get:

- by analyses of cores and of rock cuttings transported by drilling fluid (STEINER, 1965);
- by gas detection;
- by analyses of well pressure (BOŠKOV STEINER & STEINER, 1981);
- by analyses of position of the well path from either pressure-pulse or electromagnetic MWD (measurement while drilling) data (STEINER & BOŠKOV STEINER, 1994);
- by interpretation of more significant logs achieved by LWD (logging while drilling), as natural gamma ray, spectral gamma ray, electrical resistance of rocks, neutron and neutron density logs (BONNER et al., 1992; BATEMAN, 1985; DESBRANDES, 1985).

Warranty of the success is in immediate analyses and interpretation of the well profile data and their comparing to the previous planning with common participation of geologists, drillers, reservoir engineers and other participants of the team with an aim to make necessary corrections immediately.

DISCUSSION

Geologic acquaintance of any basin or area where we intend to drill a horizontal well is the basic condition for a purposeful operation. At surface mapping often it is practical to separate formations as basic lithostratigraphic units. Numerous separated units

become handicap with time and not an add to stratigraphy as a scientific discipline. It is recommendable to do the official nomination at the end of a study as a result of overall scientific approach and efforts (HEDBERG, 1976; HERAK, 1984; HARLAND et al., 1982).

Primarily, by horizontal drilling are caught those reservoirs which can not be caught by other means or by that way fluid production can be raised from earlier found reservoirs. Selection of well site and well programming as well as well control have to be selected adequately.

Fluid reservoir rocks are determining components in selection of reservoirs in which a beneficial mastery by horizontal drilling is undertaken. Homogeneous reservoir rocks having satisfactory in situ pressure are object of complete studies primarily because of their different permeability in various directions. Studies are more complex at definition of the optimum well path through heterogeneous or extremely heterogeneous reservoir rocks because of great variations of permeability and pressure in them. Type of reservoir rock, permeability and pressure in it and its tendency towards to occur instability of wellbore walls are the most important parameters in selection of the equipment for drilling and completion of a horizontal well.

A geologist is an unavoidable member of the working team, together with driller and reservoir engineer. By taking part in preparation of a horizontal drilling project from its conception to the beginning of fluid production from the completed well, he/she is participating in all phases of the task. Being occupied in a horizontal drilling project, a geologist has to make an acquaintance of technical devices and to be informed about technology of drilling. That is necessary for correct interpretation of data collected during each phase of drilling. By continuous control of Master log in real time as well as by simultaneous control of the gas detection log and all other factors which help in getting acquainted with lithologic properties of drilled rocks, a geologist is able to make previous supposition on reservoir properties. That is important because it enables to define necessary and immediate corrections of the azimuth and/or dip angle of the well path.

Only by participation in a work team of professionals of various specialities from the beginning till the end of a horizontal drilling a geologist is able to contribute to the realisation of the venture by professional approach. All other studies, as professional and scientific nomination of the rocks so new contributions to understanding of the developed area are promotions of individual disciplines and knowledge as whole, particularly for the considered basin or area.

For a geologist, a driller or a reservoir engineer the classical education is not satisfactory for successful realisation of tasks in horizontal drilling. There is a need of specialisation or formation of new types of professionals having broader horizons and accentuated inclination to work on syntheses. Work teams formed from such professionals are warranty of successful horizontal drilling.

REFERENCES

BATEMAN, R.M. (1985): Log Quality Control.- Internat. Human Resourc. Develop. Corp., Boston, 398p.

BONNER, S., CLARK, B., HOLENKA, J., VOISIN, B., DUSANG, J., HANSEN, R., WHITTE, J. & WALSGROVE, T. (1992): Logging While Drilling: A Three-Year Perspective.- Oilfield Review, 4/3, 4-21.

BOŠKOV STEINER, Z. (1985): Razmatranje geneze i stratigrafske pripadnosti ležišta nafte i plina.- Nafta, 36/4, 133-143, Zagreb.

BOŠKOV STEINER, Z. (1986): Specifičnosti potencijala ugljikovodika i pratećih supstanci u Jadranskom arealu.- Nafta, 37/3, 123-126, Zagreb.

BOŠKOV STEINER, Z. & STEINER, I. (1981): Utvrdjivanje abnormalnih tlakova u naslagama prije i tijekom bušenja.- Nafta, 31/5, 215-219, Zagreb.

BOŠKOV STEINER, Z. & STEINER, I. (1990): Possible Geotectonic Units of the SW Part of the Pannonian Basin.- Internat. Symposium"Geodynamic Evolution of the Pannonian basin", 4, 3-8, Beograd.

DESBRANDES, R. (1985): Encyclopedia of Well Logging.- Editions TECHNIP, Paris, 584p.

HARLAND, W.B., COX, A.V., LLEWELLYN, P.G., PICKTON, C.A.G., SMITH, A.G. & WALTERS, R. (1982): A Geologic Time Scale.- Cambridge Earth Science Series, Cambridge University Press, Cambridge, 131p.

HEDBERG, H.D. (ed.) (1976): International Stratigraphic Guide.- John Wiley and Sons, New York, 200p.

HERAK, M. (1984): Geologija.- Školska knjiga, Zagreb, 429p.

LA POINTE, R.P. (1988): A Method to Characterize Fracture Density and Connectivity Through Fractal Geometry.- Int. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 25/6, 421-429.

MIALL, A.D. (1985): Principles of Sedimentary Basin Analysis.- Springer Verlag, New York-Berlin-Heidelberg-Tokyo, 480p.

PLETIKAPIĆ, Z. & BOŠKOV STEINER, Z. (1973): Primjena tehnike mrežnog planiranja u istraživanju ležišta nafte i plina.- Nafta, 24/12, 654-660, Zagreb.

STEINER, I. (1965): Sa koje dubine potječu krhotine iznesene isplakom iz bušotine?.- Nafta, 16/2-3, 51-55, Zagreb.

STEINER, I. & BOŠKOV STEINER, Z. (1994): Tehnologija vodoravnoga bušenja.- Barbat, Zagreb, 180p.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	117 - 120	ZAGREB 1995

Brojnost speleoloških pojava u Istri i njihova rasprostranjenost u odnosu na geološku građu

Srećko **BOŽIČEVIĆ**

Ključne riječi: speleološke pojave, jame, špilje, ponori, sedimenti kredne, jurske i paleogene starosti, brojnost pojava, urušavanje korodiranog nadsloja

Key words: Spelaeologic phenomena, Pits, Caves, Sinkholes, Cretaceous, Jurassic and Paleogene sediments, Number of phenomena, Caving in of corroded overthrust

Sažetak

Od 1365 registriranih speleoloških pojava na području Istre utvrđeno je da među njima ima 75% jama, 22% špilja i svega 3% ponora. Prema geološkoj starosti naslaga najveći broj tih speleoloških objekata izgrađen je u sedimentima kredne starosti (79%). Znatno manji broj nađen je u naslagama paleogena (19%), dok na speleološke pojave u sedimentima jurske starosti otpada svega 2% (očito radi male površinske rasprostranjenosti tih naslaga na području Istre).

Brojnost speleoloških pojava na jednom četvornom kilometru također je različita: na istarskom vapnenačkom platou je 1-3 u minimumu, te do 10 u maksimumu, dok je na prostoru Ćićarije i Učke maksimalno 10-15 objekata na 1 km^2. Voda, kao stalna hidrološka pojava registrirana je u nešto preko 100 jama, špilja i ponora.

Otvaranje novih jama, odnosno pojava speleoloških objekata kao rezultata urušavanja ili "obrušavanja" korodiranog nadsloja postojećih podzemnih šupljina, odnosno njihovo otvaranje ili otkrivanje prilikom izvođenja građevinskih radova u kršu, samo je potvrda činjenice da je krški prostor Istre još uvijek u najvećoj mjeri u fazi svog razvoja. U podzemnim šupljinama još uvijek se vrši proces okršavanja te napredovanje stalne faze kemijsko-mehaničke razgradnje vapnenaca.

Abstract

It has been determined that 75% out of 1365 registered spelaeologic phenomena in the Istria region accounts for pits, 22% for caves and only 3% for sinkholes. According to geological age of sediments, it could be said that the greatest number of these spelaeologic objects has emerged in Cretaceous sediments (79%). Significantly smaller number was found in Paleolithic sediments (19%) while only 2% accounts for spelaeologic phenomena originating in the rocks from Jurassic period (obviously due to poor surface distribution of these sediments in the region of Istria).

The number of spelaeologic phenomena per one square kilometer also varies on the Istrian limestone plateau (1-3 as minimum and 10 as maximum) and the region of Ćićarija and Učka (max. 10-15 objects per 1 km^2). The water, being a permanent hydrological phenomenon, has been registered in somewhat above 100 pits, caves and sinkholes.

The opening of new pits, i.e. the occurrence of spelaeologic objects resulting from caving in of corroded overthrust of existing underground caves, or their opening or uncovering during construction works performed in karst, prove the fact that the karst region of Istria is still mainly in the phase of development. The process of karstification is still going on in underground cavities as well as the progress of continuous chemical and mechanical decomposition of limestone.

UVODNA NAPOMENA

Istarski poluotok je najmarkantniji dio vrlo razvedenog reljefa istočne strane Jadranskog mora, formiran na rubu prostornog sustava naših Dinarida. Svojom veličinom Istra je u makroreljefu obalnog pojasa naše strane Jadrana najveća jedinica kopnenog prostora sa vlastitim i specifičnim hidrogeološkim karakteristikama bez povezanosti sa neposrednim okolnim zaledem. Njezin današnji prostor promatramo kao rezultat taloženja mezozojskih i kenozojskih sedimenata i kao rezultat orogenetskih procesa navlačenja, odnosno tektonskih gibanja od postkrednih do najmlađih diluvijalnih faza kada je (prije oko 25.000 god.) morska razina Jadrana bila za 96 m niža od današnje. Kao daljnji faktori oblikovanja promatranog područja dolaze procesi urezivanja postojećih vodenih tokova te procesi erozije i denudacije na flišolikim i karbonatnim površinama. Na području izgrađenom od vapnenaca oborinske vode uglavnom poniru, te vrlo polagano otapaju i ne troše samu površinu (osim stvaranja crvenice). Reljef izgrađen od pješčano-laporovitih naslaga brže se mijenja i kao rastrošen materijal biva postepeno odnašan u niže depresije ispod Ćićarijskih uzvišenja ili na ušće rijeke Mirne u more.

Iako neki istraživači misle da ovaj prostor nije bio zahvaćen glacijacijom i prekriven ledenim pokrovom zbog svoje relativno male visine (1300 m), mišljenja sam, da je on u prošlosti bio ipak na višim hipsometrijskim kotama. No on je u neposrednom zaleđu ili

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

okruženju (s klimatskog stajališta!) imao Gorsko kotarska i Velebitska uzvišenja za koja je i potvrđeno da su bila pod oledbom. Prema tome i Istra je u geološkoj prošlosti bila pod hladnijim i vlažnijim utjecajima za zračne mase vrlo bliskog prostora. Zato je i teško zamisliti da bi rascjepkanost i erodiranost fliškog reljefa i sve nastale promjene na Ćićarijsko-Učkoj uzvisini bile tako jako i izrazito modelirane da to čitavo područje nije bilo pod vrlo snažnim uplivom mnogo većih i stalnijih oborinskih djelovanja nego što je to danas. Klimatski odnosi na području Istre bez sumnje su rezultat činjenice da je Istra poluotok okružen s tri strane morem (ŠEGOTA, 1975). Dio sjevernog Jadrana pod utjecajem je toplijeg prostora Sredozemnog mora te pod utjecajem masiva Alpa koji dolazi u njegovom zaleđu. Preko Istre danas se kreće utjecaj Đenovske ciklone, a uzdignuti greben Učke svakako daje specifičnost klimatskih i ostalih pojava na ovom protoru, dok je u geološkoj prošlosti ta razlika morala biti i mnogo veća i izrazitija.

O GEOLOŠKOJ GRAĐI ISTRE

Iako je istarski poluotok geološki istraživan već od sredine prošlog stoljeća on svojom interesantnom problematikom ili specijalističkom primjenom novih metoda niti danas ne prestaje biti područje na kom se geološka istraživanja ne obnavljaju ili dopunjuju. Činjenica je da za čitavo ovo područje postoji izrađena Osnovna geološka karta M 1:100.000 uz koju su tiskani i tumači s detaljno obrađenim geološkim podacima, tektonskim prikazima, poviješću stvaranja terena te hidrogeološkim karakteristikama i rudnim bogatstvom.

Najveći dio istarskog poluotoka izgrađen je od naslaga mlađeg mezozoika i paleogena uz prevladavanje karbonata nad klastičnim sedimentima. Gornjojurski vapnenci i dolomiti, kao najstarije naslage u Istri pojavljuju se u jezgri zapadnoistarske mezozojske antiklinale, koju periklinalno okružuju sve mlađi stratigrafski članovi u kontinuiranom slijedu sve do senona. Kredne jedinice imaju značajnu površinsku rasprostranjenost u Učki i Ćićariji, gdje se pojavljuju i u nizu tektonskih ljusaka, navučene ili reversno uzdignute preko mlađih paleogenskih članova: fliša ili foraminiferskih vapnenaca.

Jurske naslage otkrivene su u jezgri istarske brahiantiklinale, a pojavljuju se polukružno od Poreča preko Žbandaja, Limskog kanala do Rovinja. Granicu između starijeg i mlađeg jurskog kompleksa obilježava kratkotrajna lokalna emerzija s mjestimičnim pojavama boksita i paleookršavanja. Granica jure s kredom obilježena je dolomitnom zonom, koja se kontinuirano prati od Poreča do Rovinja.

Donjokredne naslage u Istri se pojavljuju kao plitkomorske karbonatne stijene u kojima dominiraju vapnenci. Značajnije pojave dolomita - kao sekundarni kasnodijagenetski dolomiti - registrirani su na granici donje s gornjom kredom. Gornjokredne naslage normalno slijede na krilima zapadnoistarske i bujske antiklinale, a dijelom u Ćićariji i Učki gdje su granice najčešće tektonske.

Paleogenske naslage su sedimentirane na okršenu gornjokrednu podlogu koja ponegdje sadrži i boksit. Prvo nalazimo transgresivne breče, zatim slatkovodnobrakične liburnijske naslage paleocena, a potom foraminiferske vapnence paleocena i eocena. Foraminiferski vapnenci podijeljeni su u tri supepozicijska člana: miliolidni, alveolinski i numulitni.

TEKTONSKI UVJETI ZA OKRŠAVANJE RELJEFA

Promatramo li starost tektonskih pokreta u Istri tada vidimo da okopnjavanje, okršavanje i taloženje boksita u okolici Rovinja na granici kimeridž - titon povezujemo s utjecajem novokimerijskih pokreta.

Reversnim rasjedanjem i navlačenjem narušeni homogenitet karbonatnih masa poremećen je mrežom mnogobrojnih normalnih rasjeda, pukotina i pukotinskih sustava. Tako površinski otvoren uz intenzivnu eroziju izdignuti površinski je reljef izložen dugotrajnom procesu okršavanja koji traje još i danas. Potvrda za tu konstataciju je postojeća brojnost (više od 1300) speleoloških pojava na području čitave Istre. I fotogeološki registrirana tektonska zbivanja vidljiva su u mnoštvu pukotina, a uz neke od njih registrirane su i zone jačeg javljanja speleoloških objekata. Od speleoloških pojava prevladavaju jame nad špiljama ili pećinama. Iako neki autori napominju da je velika brojnost špilja, jama i ponora dokaz ili karakteristika "zrelog" krša, napomenimo da to ipak ovisi o litofacijelnom karakteru karbonatnih naslaga. Bujski karbonatni vapnenački prostor od Savudrije do Buzeta prostire se u smjeru istok-zapad i duboko je okršen bez stalnog vodenog toka na površini. Speleološke pojave javljaju se uz rub, uglavnom kao povremeni ponori. Pri promatranju razvoja speleoloških pojava na ovom prostoru tektonska zbivanja su svakako odigrala svoju odlučujuću inicijalnu ulogu. Pri kasnijem nastajanju ili urušavanju jama od osnovne važnosti bila je odgovarajuća litologija naslaga, brzina okršavanja, odnos vodonepropusne podloge i okršenog nadsloja (BOŽIČEVIĆ, 1981).

PREGLED SPELEOLOŠKIH POJAVA U ISTRI

Razdijelivši speleološke pojave na jame, špilje i ponore nastojao sam utvrditi u kojoj se ovisnosti nalazi brojnost njihova pojavljivanja prema geološkoj građi naslaga, kakav je odnos visinskog položaja i dubine objekata, kakova je brojnost pojavljivanja istih po 1 km^2 na uravnjenom zapadno-istarskom vapnenačkom platou ili na području Ćićarije i Učke. Stupanj istraženosti i brojnost izrađenih nacrta također je jedan

od elemenata saznanja, dok je uzeta u obzir i činjenica o pojavi vode u speleološkim objektima kao pokazatelj hidrogeoloških osobina naslaga. Na promatranom području Istre od registriranih 1356 speleoloških pojava podjela je slijedeća:

jama	1019, odnosno	75.1%
špilja (pećina)	297, odnosno	21.9%
ponora	40, odnosno	3.0%
	1356	100.0 %

Prema speleološkoj morfološkoj klasifikaciji dubine jama su predočene slijedećim veličinama:

dubina do 10 m	86 objekata
dubina od 10 do 60 m	512 objekata
dubina od 60 do 100 m	87 objekata
dubina od 100 do 300 m	47 objekata
dubina veća od 300 m	1 objekat

Morfološka klasifikacija špilja prema poznatim parametrima pokazuje slijedeću razdiobu:

male (do 50 m dužine)	182 objekta
srednje velike (od 50 do 500 m)	53 objekta
velike (od 500 do 5000 m)	3 objekta

Promatrajući visinske pojave speleoloških objekata u Istri radi preglednosti su izdvojeni vapnenački plato, visinsko područje Ćićarije i Učke te prelazni prostor. Prikupljeni podaci su prikazani u tablici 1.

POJAVLJIVANJE SPELEOLOŠKIH POJAVA PREMA GEOLOŠKOJ GRAĐI NASLAGA

Geološka starost naslaga u kojima se javljaju speleološke pojave, registrirana je prema Osnovnim geološkim kartama istarskog poluotoka. Jurske naslage dolaze samo na listu Rovinj 4, dok naslage kredne starosti, a pogotovo paleogenske nalazimo na više geoloških karata, na kojima su pojedini autori koristili različite litološke kriterije uz nejednake simbole. Za kredne naslage koristio sam tri razdiobe, dok je paleogen tretiran kao jedna cjelina (tablica 2).

Pošto naslage kredne starosti prekrivaju najveći dio površine Istre, logično je da su i speleološke pojave u njima i najbrojnije.

U jurskim naslagama nalazimo kratke špilje i relativno plitke jame (dužine do 24 m i dubine nešto preko 20 m).

Oko jurskih naslaga, naslage donje krede zapremaju najveći dio prostora istarske vapnenačke ploče, a polukružno ih zahvaćaju naslage gornje krede koje dopiru i na prostor Učke i Ćićarije. Paleogen dolazi u dijelu terena oko Raše, uz rub fliške sinklinale, te u području Ćićarije.

U krednim naslagama ima dosta dubokih jama, dok su špilje, prevladavajuće horizontalne, razvijene duž međuslojnih ploha. Na prostoru krške ploče tlocrti su im jednostavni, prevladavajući samo s jednim krakom ili kanalom. Objekti u tim naslagama na području Ćićarije i Učke zbog navlačne tektonike i poremećenosti naslaga imaju prevladavajuće složene odnose kanala i vertikala, kako u jamama tako i u špiljama. To isto vrijedi i za naslage paleogena, gdje su danas manji objekti zapravo ostaci nekad većih i dužih špiljskih ili jamskih formi.

Blago nagnuti jugozapadni istarski vapnenački plato sadrži 59% svih speleoloških pojava, dok na prelazni prostor s Ćićarijom i Učkom otpada 41%.

Pošto je brojnost pojavljivanja speleoloških pojava također vezana za geološku podlogu, ali i za druge parametre (litološki sastav i tektonski odnosi) nastojao sam i taj stupanj okršenosti reljefa iskazati s određenim veličinama za 1 km^2.

U području jurskih naslaga brojnost speleoloških pojava nije velika, tj. i dužina i dubina ne prelazi im

Vapnenački plato		Prelazni prostor		Ćićarija i Učka	
Visina	Broj objekata	Visina	Broj objekata	Visina	Broj objekata
0 - 100	218	0 - 400	97	450 - 600	75
100 - 300	380	400 - 450	58	600 - 800	213
300 - 400	207			1000 - 1300	22
	805		155		396
				Sveukupno:	1356

Tablica 1 Zastupljenost speleoloških objekata u području Istre prema visini.

Geološka star. naslaga	Površina km^2 (cca)	Broj speleoloških pojava		
Jura	95		22	2%
K_1		495		
Kreda $K_{1,2}$	1850	50	1071	79%
K_2		526		
Paleogen	260		258	19%
Kvartar	50		5	
			1356 objekata	

Tablica 2 Zastupljenost speleoloških objekata u području Istre prema geološkoj građi naslaga.

znatno više od 20-tak metara. Brojnost po 1 km^2 iznosi od 1 do maksimalno 4 objekta.

U naslagama donje krede zastupljenost speleoloških pojava je već mnogo veća jer su sedimenti tektonikom znatnije "oslabljeni" pa je okršavanje bilo intenzivnije. Tako na primjer: oko Baderne brojnost speleoloških pojava na 1 km^2 iznosi i 10 objekata. Takovu brojnost nalazimo i od Nove Vasi prema Višnjanu i Vižinadi. Idući prema istoku - oko Žminja - brojnost na 1 km^2 je kao i oko Pazina: 4-6 speleoloških objekata. Sličnu situaciju nalazimo i oko Barbana, dok idući dalje prema jugu (Vodnjan-Marčana-Pula) taj broj se smanjuje na 1-3 objekta po 1 km^2 uz rijetke iznimke (do 6 objekata) na listu Pula u području bunara s vodom i ponora u kvartaru. Veća brojnost jama s dubinama od 10-100 m na ovom prostoru (oko 260 objekata) znak je prisustva ili ostatka izraženog procesa okršavanja manifestiranog kako dubljim vertikalama, tako i razvijenim bočnim kanalima u nekim od objekata. Prodiranje vode u dubinu bilo je prvenstveno vertikalno, dok horizontalni kanali nastaju uzduž međuslojnih proširenja.

Prostor Ćićarije i Učke karakteriziran je znatno većim brojem speleoloških pojava, tj. dubljim jamama, brojnim ponorima, a i većim brojem špiljskih sistema. U terenu prevladavaju jame duboke 10-100 m (oko 340 objekata) te preko 20 jama dubine 100-300 m. Ovdje se nalazi i najdublja jama-ponor Rašpor, dubine preko 360 m i nabušeni špiljski sistem uz cestovni tunel "Učka" dug 1490 m s visinskom razlikom od 150 m. Ovdje je registrirano preko stotinu spiljskih pojava dužine do 50 m, ali i srednje velikih špilja ima također više nego na zaravnjenom vapnenačkom platou. Brojnost na 1 km^2 istoč. od Lanišća je 10-15 objekata, u zaleđu Opatije 5-7 objekata, te 5-6 objekata u zaleđu Lovrana (BOŽIČEVIĆ, 1983).

ZAKLJUČAK

Na području poluotoka Istre registrirano je 1356 speleoloških pojava: jama, špilja i ponora. Na jame otpada 75%, na špilje 22%, a na ponore 2%. Na vapnenačkom platou nalazi se prevladavajući broj objekata (800), u prelaznom manji (oko 150), a na uzdignutom planinskom približno polovica (400 objekata) od onih na vapnenačkoj ploči. Prema geološkoj starosti naslaga, najveći broj objekata je izgrađen u sedimentima kredne starosti (79%), u paleogenskim naslagama registrirano je oko 19% pojava, dok na speleološke objekte u sedimentima jurske starosti otpada svega 2%. Danas vidljiva dubina okršavanja u najvećem broju objekata "prekinuta" je ili "završena" za naša promatranja zbog različito debelog sloja kamenog nabačaja današnjih dna jama. Slično je i sa naslagama zemljanih sedimenata u istraživanim špiljama, kao i s istaloženim kalcitnim talozima koji su pregradili prolaze u dublje dijelove. Otvaranje novih jama, odnosno pojava speleoloških objekata nastalih "obrušavanjem" njihovih "tavanica" ili otvaranjem istih prilikom izvođenja građevinskih zahvata u kršu, samo je potvrda činjenice da je krški prostor Istre još uvijek, i u najvećoj mjeri u fazi svog razvoja uz postepeno formiranje podzemnih šupljina.

LITERATURA:

BOŽIČEVIĆ, S. (1981): Morfološke i hidrološke karakteristike krškog podzemlja Istre.- Liburnijske teme, 4, Prirodna podloga Istre, Opatija.

BOŽIČEVIĆ, S. (1983): Speleološke pojave na području Opatijskog krasa.- Liburnijske teme, 5, Opatija.

ŠEGOTA, T. (1975): Sjeverno Hrvatsko primorje. Klima.- U: Geografija Hrvatske, 5, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	121 - 124	ZAGREB 1995

Podzemne šupljine u temeljima objekata na području Rijeke

Srećko **BOŽIČEVIĆ**, Branimir **ŠABAN** & Željko **VULIĆ**

Ključne riječi: vapnenačke naslage, kvartarne tvorevine, građevinski objekti, podzemne šupljine, sanacioni radovi

Key words: Limestones, Quaternary formations, Buildings, Underground cavities, Remedial works

Sažetak

Područje jugozapadnog dijela Rijeke i njegove neposredne gradske okolice izgrađuju naslage vapnenaca mezozojske starosti. Njih ponegdje prekrivaju nanosi mlađih kvartarnih tvorevina sastavljeni od krupnoklastičnih sedimenata - breča, te crvenice, ponegdje i s ulomcima kršja, kao rezultat rastrožbe same površine okršenog reljefa.

Prilikom izgradnje gradskih i prigradskih naselja s pratećom infrastrukturom pri građevinskim iskopima i pri izradi geomehaničkih bušotina u nekoliko desetaka slučajeva naišlo se na veće ili manje pojave vertikalnih uskih ili prostranijih podzemnih šupljina. Negdje su se vertikalni prolazi nastavljali u horizontalne kanale raznih veličina i dužina.

Speleološkim uvidom i ispitivanjem uočena su i dokumentirano registrirana sva dostupna podzemna proširenja, te predloženi najrealniji zahvati za njihovu sanaciju. U radu se iznose neki najkarakterističniji primjeri takovih predviđenih i nepredviđenih otkrića.

Abstract

The area of southwestern part of the city of Rijeka and that of immediate city surroundings are made of Mesozoic limestones. They are in places covered by sediments of younger Quaternary formations composed of coarse-grained clastic sediments - breccias, red soil and occasional karst fragments resulting from the decay of the very surface of karstified relief.

During the construction of the city and suburban settlements with accompanying infrastructure as well as during construction excavations and drilling of geomechanical boreholes, narrow or more spacious underground cavities were found in scores of cases. In places, vertical passages prolonged into horizontal channels of various sizes and lengths.

All accessible underground dilations have been spotted and recorded in documents by means of spelaeologic inspection and testing and most pragmatic works for their remedy proposed. This paper presents some most characteristic examples of such foreseen and unforeseen findings.

UVODNA NAPOMENA

Uz opće poznatu činjenicu da se u karbonatnim stijenama, odnosno u vapnencima i dolomitima, mogu vrlo lako graditi ili izvoditi građevinski objekti niskogradnje i visokogradnje potrebno je ipak i pri tome poštivati ili uvažavati određene uvjete, raznolikosti i karakteristike tih naslaga.

Kako je okršenost najbitnija karakteristika karbonatnih naslaga u njihovom pripovršinskom dijelu, u njima se kroz postojeće sisteme pukotina događaju površinski i podzemni procesi mehaničko-kemijskog razaranja, koji doprinose smanjivanju kompaktnosti i sigurnosti projektiranog objekta. To upozorava da istražnim radovima za temeljenje objekata u kršu treba pristupiti pažljivo i multidisciplinarno (inženjerskogeološki i geofizički radovi, istražno bušenje i geomehaničko-geotehnički radovi).

INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRILAZ RJEŠENJU

Područje grada Rijeke najvećim je dijelom izgrađeno od karbonatnih dobro očvrslih stijena starosti od donje krede do eocena. Osim njih prisutne su i dobro očvrsle krupno klastične stijene starosti s prijelazom donje u gornju kredu i eocensko-oligocenske starosti.

Karbonatne dobro očvrsle stijene zastupljene su pretežno vapnencima, manje dolomitičnim vapnencima i dolomitima. Krupnoklastične stijene zastupljene su dolomitičnim i vapnenačkim brečama te konglomeratima. Zauzimaju relativno malo područje.

U strukturnom smislu ove naslage nalaze se u antiklinalnim dijelovima boranih cjelina na području grada, dok sinklinalne djelove izgrađuju sitnoklastične flišne naslage. Jugozapadni dio Rijeke u kojem je registrirano najviše inženjerskogeoloških i speleoloških pojava jugozapadno je krilo sinklinale Škurinje koja prema zapadu prelazi u antiklinorij područja Kastva. Izgrađeno je od dobro očvrslih karbonatnih stijena.

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

Stijene su dobro uslojene, deformirane i okršene. U cjelini to je vrlo dobra geotehnička cjelina za većinu građevinskih zahvata. Međutim gledajući u detalje, kroz veličinu tlocrta pojedinog objekta, prisutna je anizotropnost koja se ogleda u prisustvu pojačanih deformacija (sustavi pukotina, rasjedi, rasjedne zone) i pojava okršavanja (jame, špilje, ponori, šupljine sa ili bez ispune). U fazi istražnih radova za projektiranje teži se izradi inženjerskogeološkog modela (inženjerskogeološki i geofizički radovi i istražno bušenje) kao podloge za izradu geotehničkog projekta za temeljenje. Obzirom da su speleološke i inženjerskogeološke pojave u izvjesnoj mjeri neočekivane i postojećim metodama teško uočljive moguća su iznenađenja.

U fazi iskopa, ove pojave postaju dostupne i prilika je to da se snimanjem i interpretacijom dopuni prethodni model i geotehnički projekt temeljenja.

Ovisno o veličini i položaju pojava ili pojave, podloga temelja se sanira, adaptira temeljna konstrukcija ili se u krajnjem slučaju mijenja.

SPELEOLOŠKE POJAVE

Već u vrijeme kada su na određenim lokacijama izbušene geomehaničke bušotine u nekim od njih opažena su određena "propadanja", što je bio znak da se na tom mjestu nalazi kavernozna odnosno jamsko-špiljska šupljina nepoznate veličine i protezanja.

Pri iskopu pak samih temelja ili zasjeka na kosinama, bilo da se radilo o zgradama ili cestovnim površinama, naišlo se na otvore različite veličine. Ovisno o veličini otvora i dubini šupljine nekada se samo na prvi pogled moglo vidjeti, da li se radi o manjoj okršenoj šupljini ili se ona nastavlja u veću dubinu. Svaka i najmanja proširena i otvorena pukotina ukazuje na mogućnost speleološke pojave, te je niz njih otkriveno tek nakon proširenja ulaza. Često puta se u nepoznatim veličinama podzemnih prostora nalazila velika opasnost koja je mogla bitno umanjiti pretpostavljenu stabilnost temeljenja na određenom mjestu.

Pošto su procesi okršavanja koji se događaju u podzemlju podložni raznim klimatskim uvjetima koji su u bližoj ili daljoj geološkoj prošlosti bili na sadašnjem prostoru, njihov rezultat je različit i ne podliježe unificiranom propisu, "zakonu" ili ponašanju. Iz navedenih konkretnih primjera vidljivo je da je veličina i dubina vrlo različita, a uz to i širina podzemnih prolaza - kanala, hodnika i "dvorana". Važan detalj pri tome je koliko se materijala obrušilo ili urušilo otvaranjem otvora u otkrivenu šupljinu, odnosno da li je on začepio ili pregradio prirodno postojeći nastavak u još veću dubinu? Naime, na tako nastalim suženjima u nekoliko slučajeva čišćenjem ili miniranjem otkriven je nastavak kavernoznog prostora, pa se je sa sigurnošću mogla i osigurati stabilnost predviđenog građevinskog zahvata.

Od svih nekoliko desetaka registriranih slučajeva izdvojeni su uglavnom samo oni koje smatramo da su najmarkantniji ili istovjetni i za druga područja krša naših Dinarida.

Grafički prilozi su uglavnom priređeni bez svih tom prilikom uočenih tektonsko-morfoloških detalja koji su predočeni izvođaču radova u vrlo detaljnom mjerilu - od 1:50, 1:100, 1:200 do 1:500.

- Prilikom iskopa temelja zgrade Š-5 u stambenom naselju Rastočine otkrivene su tri jame (sl. 1-A) dubine od 8-11 metara s relativno uskim proširenjima vertikalnih kanala. U svakoj od njih dno je bilo prekriveno urušenim kamenim nabačajem pa nam prirodna dubina nije ustanovljena.

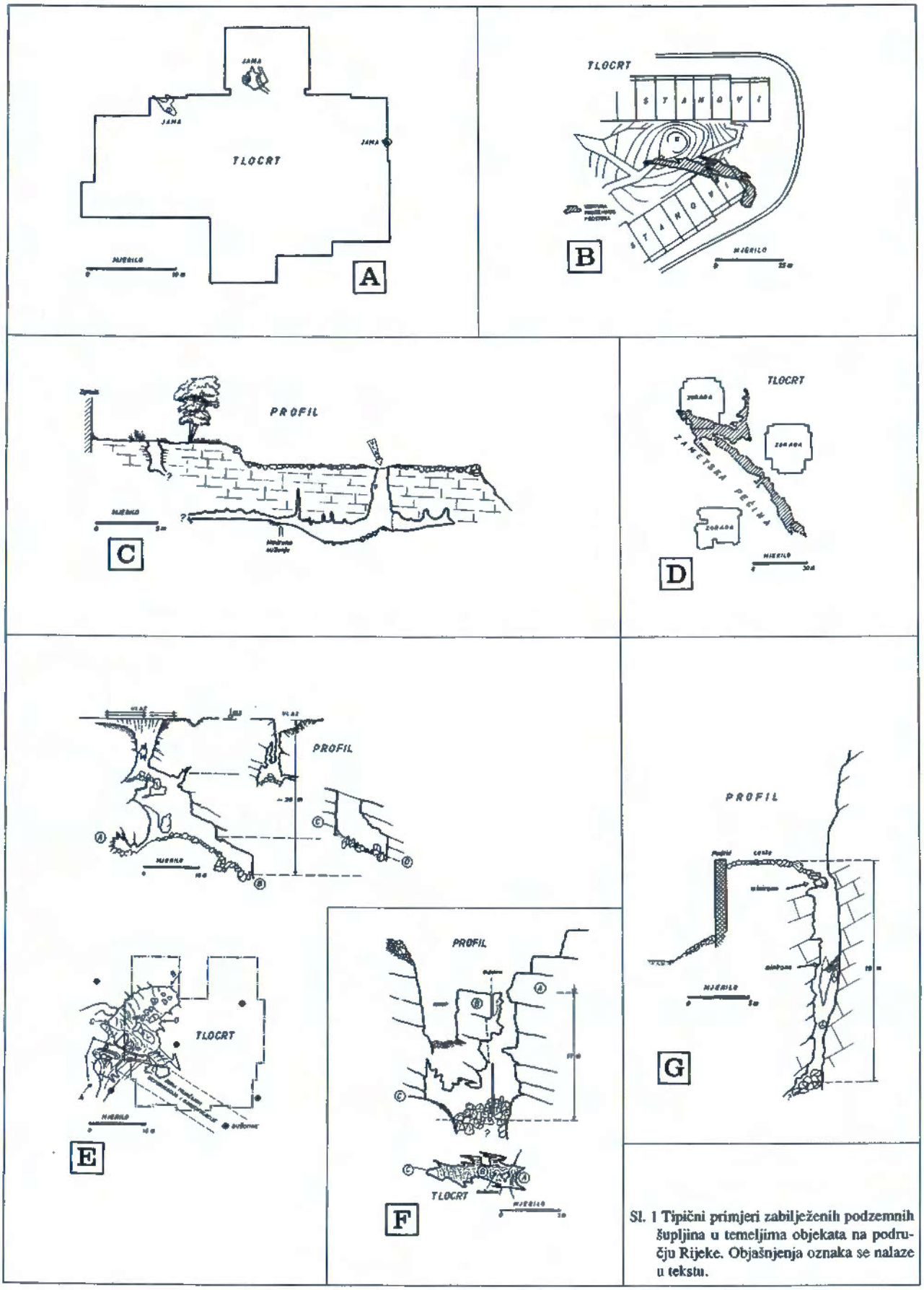
- U stambenom naselju Čikovići ispred objekta pod brojem 293 registrirano je poniranje oborinskih voda sa krovišta u jednu pukotinu na tlu. Proširivanjem iste napravljen je otvor kroz koji se moglo sići za oko 6 metara niz duboku kosu šupljinu. Istraživši ju utvrđen je njezin nastavak u splet kanala ukupne dužine od 34 metra. Pošto se šupljina protezala ispod kuće zapunjena je s 59 m^3 betona (sl. 1-B).

- U stambenom naselju Marčeljeva draga na trasi buduće ceste otkrivena je nešto preko 5 m duboka jama u kojoj je registriran relativno niski i uski horizontalni kanal istražene dužine od 22 m. U dio kanala ušlo se tek nakon miniranja uskog suženja (sl. 1-C).

- U naselju Malonji prilikom temeljenja planiranih nebodera trebalo je detaljno istražiti i locirati rasprostiranje kanala i dvorana Zametske pećine za koju se pretpostavljalo da bi se mogla urušiti i smanjiti stabilnost podloge za predviđenu gradnju (sl. 1-D).

- Pri temeljenju slijedećeg nebodera u naselju zapadni Zamet naišlo se pri čišćenju pukotina uz rub granice objekta na jednu jamu. Promatrajući s površine, jama je bila duboka oko 10 m s vidljivim suženjem prema dnu. U prvi čas problem nije izgledao neriješiv, jer se činilo da je u nju potrebno ubaciti samo kamenje i sve zaliti betonom. No pri speleološkom ispitivanju koje je ipak zatraženo na do tada vidljivom dnu jame nađen je nastavak i proširenje u jednu pećinsku dvoranu. Ta podzemna šupljina prostirala se ispod predviđenog objekta u dužini od 14 metara sa širinom od 5 do 10 m. Očito je bilo da se takva pojava ne smije omalovažavati i da je svakako treba riješiti na odgovarajući način. Uz pomoć speleologa kroz postavljene cijevi na dno jame se pod pritiskom uz pomoć pumpe ubacivao beton i uz stalan nadzor pri ispunjavanju se postupno izvlačila prema otvoru. U toku cjelokupnog rada ispunjavanja u podzemlje je ubačeno oko 70 miksera betona ili oko 210 m^3 mase, kako bi se jamu ispunilo do vrha (sl. 1-E).

- U stambenom naselju Krnjavo na objektu G već pri bušenju registrirano je postojanje šupljine nekoliko metara ispod površine. Prilikom iskopa temelja naišlo se na nabušenu šupljinu kojoj je ukupna dubina tada iznosila 11 metara s uzdužnim proširenjem od 8 m na tada vidljivom dnu. Dno je tvorio s površine urušen kameni nabačaj u pretpostavljenoj debljini od 2-3 m.



Sl. 1 Tipični primjeri zabilježenih podzemnih šupljina u temeljima objekata na području Rijeke. Objašnjenja oznaka se nalaze u tekstu.

Jama se očito nastavljala ispod tog nabačaja dalje u dubinu vjerojatno sistemom užih ili širih pukotina (sl. 1-F).

- Prilikom izrade ceste Rastočine-Kozala u boku jednog usjeka otkrivena je šupljina koja se nastavljala u dubinu. Miniranjem uskog ulaza i suženja u središnjem dijelu jame uspjelo se spustiti 18 m ispod nivelete ceste, a nastavak u još dublji dio pregradilo je upalo kameno kršje (sl. 1-G).

Daljnji nalazi speleoloških objekata sa sličnim primjerima jamskih pojava vertikalnih kanala što vode prema dubini otkriveni su pod objektom A-2 u naselju Rastočine. Ovdje se radilo o tri jame dubine do 3.5 m s uskim prolazima koji su na dnu bili prekriveni kamenim nabačajem.

U naselju Kozala na objektu K-10 otkriven je uz rub temelja otvor u omanju špiljsku šupljinu, dok se druga nalazila par metara dalje. Još nekoliko vertikalnih šupljina manje širine nije bilo prolazno zbog obrušenih kamenih blokova što je registrirano i u nađenim špiljskim prostorima.

U stambenom naselju Škurinjska draga u temeljima objekta 8-1 otvoren je otvor za silaz u usko izduženo proširenje sistema pukotina. Istražena dubina bila je 9 m, ali s kamenim nabačajem pri dnu uz uočljiv nastavak u veću dubinu.

Moramo napomenuti činjenicu da pri nekim za izvođača manjim pojavama otkrivenih pukotina ili kavernoznih proširenja nismo bili niti pozvani, a on ih je sam rješavao na za sebe mogući način.

ZAKLJUČNE NAPOMENE

Otkrivene i istraživane speleološke pojave na ostalim radilištima u raznim dijelovima grada Rijeke dokazala su već od ranije znanu okršenost vapnenačkih naslaga uz postojanje podzemnih šupljina različite dubine i širine (BERTARELLI & BOEGAN, 1926).

Najdublja vertikalna pojava registrirana je na rubu ceste Rastočine-Kozala s dnom od 18 m ispod razine ulaza. Složeni sistem jame s podzemnim proširenjem na dnu nađen je u zapadnom Zametu - dubina 28 m, dužina 14 m i širina 10 m. Horizontalni splet kanala u Čikovićima imao je 34 m, niski i uski kanal u Marčeljevoj dragi 22 m, dok je jedino podzemna šupljina Zametske pećine u naselju Malonji imala ukupnu dužinu od oko 150 metara. Ostale otkrivene jame u temeljima ili uz njihov rub bile su manjih dimenzija s uglavnom zatrpanim nastavcima koji su vodili prema prirodnom dnu svake od njih (BOŽIČEVIĆ, 1983).

Sve istražene speleološke pojave nastale su na sistemu pukotina, koje su registrirane i pri geološkom kartiranju. Voda se drenirala u geološkoj prošlosti kroz njih i na njihovim sjecištima turbulencijom stvarala određena proširenja kanala i omanjih dvorana u kojima je daljnjim korozivno-erozivnim procesima došlo do oblikovanja današnjeg izgleda. U šupljinama s većim nadslojem (Zametska pećina) od procjeđivanja vode istaloženi su i kalcitni saljevi znatne debljine i dužine. U ostalim objektima ove pojave nisu registrirane.

U dva navedena slučaja nađene šupljine zapunjavane su betonom pod pritiskom iz doveženih miksera, a ostali su slučajevi rješavani ubacivanjem kamenog nabačaja i zalijevanjem betonskom smjesom radi vezivanja s okolnim čvrstim dijelom stijene, premoštenjem ili promjenom projekta temeljenja.

Svi izvedeni speleološki obilasci i istraživanja dokazali su da se pri jednom multidisciplinarnom pristupu nastalom problemu on može i riješiti na zadovoljavajući način sa stanovišta realizacije stabilnosti određenog građevinskog zahvata.

Izneseni primjeri upozoravaju da se u području krša geotehnički nadzor mora vršiti uz prisustvo projektanta te uz sudjelovanje inženjer-geologa i speleologa, što treba prihvatiti kao obvezno. Eventualni dopunski istražni radovi te ostale dopune pa i izmjene projektnih rješenja moraju se prihvatiti kao realna i moguća činjenica radi potpune sigurnosti objekta koji se gradi.

LITERATURA

BERTARELLI, V.L. & BOEGAN, E. (1926): Duemila grotte.- Touring club Ital., Milano.

BOŽIČEVIĆ, S. (1983): Mehanika stijena, temeljenje, podzemni radovi. Otkrivanje i proučavanje šupljina pod građevinama u kršu.- Druš. građ. inž. i tehn., Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	125 - 130	ZAGREB 1995

Inženjerskogeološko modeliranje

Karlo **BRAUN**, Davor **POLLAK** & Željko **MLINAR**

Ključne riječi: inženjerska geologija, modeliranje

Key words: Engineering geology, Modeling

Sažetak

Inženjerskogeološko modeliranje, osnovano na vrlo detaljnim i različitim terenskim mjerenjima, manjem broju laboratorijskih analiza, kompleksnim geofizičkim istraživanjima i primjeni metoda matematske statistike i teorije vjerojatnosti, podloga je geotehničkom projektiranju.

Kod izrade inženjerskogeološkog modela, terenska istraživanja, osim uobičajenih geoloških, geofizičkih i inženjerskogeoloških postupaka, uključuju stratimetrijska i druga potrebna sedimentološka istraživanja, zatim snimanja tektonskog sklopa s genetskom klasifikacijom diskontinuiteta, mjerenje razmaka između diskontinuiteta istovjetnih familija, određivanje morfoloških i drugih karakteristika diskontinuiteta metodama koje se primijenjuju i interpretiraju u mehanici stijena i dr.

Laboratorijska ispitivanja uključuju sve potrebne analize za definiranje karakteristika osnovne stijene.

Osnova obrade rezultata terenskih i laboratorijskih istraživanja je njihovo sintetiziranje, uzimajući u obzir postojanje tektonskih blokova, različitu stratigrafsku pripadnost i litofacijelne karakteristike stijena, razvrstavanje stijenskih masa po tipovima unutar tektonskih blokova i u cjelini, te određivanje svih ulaznih podataka potrebnih za klasifikaciju stijenskih masa postupcima koje preporučuje Internacionalna asocijacija za mehaniku stijena. Ovako sintetizirani podaci svih istraživanja omogućuju formiranje inženjerskogeološkog modela za zadani objekt, u kojem su dati svi relevantni podaci potrebni za uspješno geotehničko projektiranje.

Abstract

Modeling in engineering geology represents a very important foundation for geotechnical projects. It is based on very detailed and various field observations and measurements, less number of laboratory analysis, complex geophysical investigations as well as statistic data processing.

Creation of engineering geological model assume common geological, geophysical and engineering geological researching, next to specific investigations such as: stratigraphy, sedimentology, tectonics and genesis of discontinuities, their classification, under methods in rock mechanics.

Laboratory tests involves analysis of intact rock.

The basics in processing the field and laboratory investigations data is their synthesis. Synthesis of the data has to suppose diverse tectonic blocks, stratigraphic and lithofacies characteristics of rocks leading to classification of rock masses recommended by ISRM. Categorization of rock masses is performed inside particular tectonic blocks and in general.

If the results of investigations are synthesized on this way it is liable to form an engineering geological model, which contains all data needed for geotechnical projects, for particular construction.

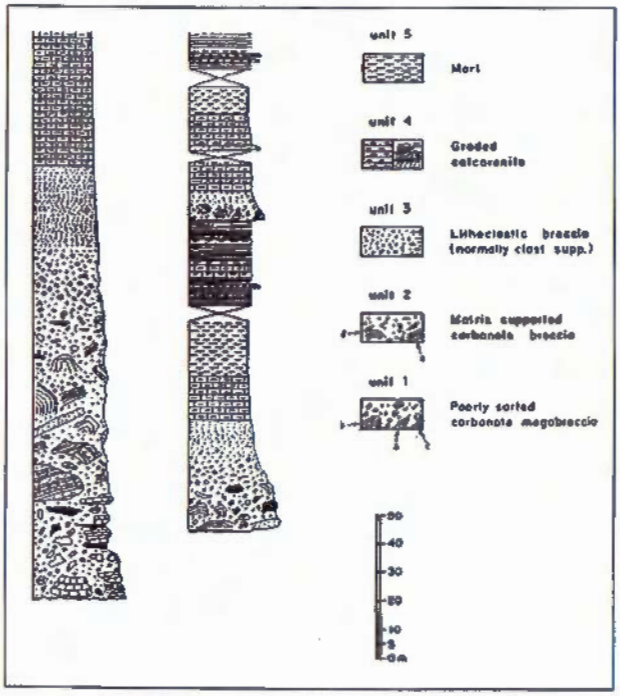
UVOD

Rezultati inženjerskogeoloških istraživanja u geotehničkom projektiranju mogu se optimalno primijeniti tek onda kada su adekvatno kvantificirani. Takav, deterministički pristup, zahtijeva brojna istraživanja i laboratorijske analize, kojih, za točno definiranje uvjeta izgradnje nekog objekta, nikada nije dovoljno. U novije vrijeme, podaci za geotehničko projektiranje se sve češće daju na osnovu inženjerskogeološkog modeliranja, osnovanom na vrlo detaljnim i različitim terenskim mjerenjima, manjem broju laboratorijskih analiza, kompleksnim geofizičkim istraživanjima i primjeni metoda matematske statistike i teorije vjerojatnosti (probabilistički pristup).

Terenska istraživanja, osim uobičajenih geoloških, geofizičkih i inženjerskogeoloških postupaka uključuju stratimetrijska i druga potrebna sedimentološka istraživanja, osobito u terenima s graduiranom slojevitosti ili drugim sedimentološkim specifičnostima, zatim snimanja tektonskog sklopa s genetskom klasifikacijom diskontinuiteta, mjerenje razmaka između diskontinuiteta istovjetnih familija, određivanje morfoloških i drugih karakteristika diskontinuiteta metodama koje se primjenjuju i interpretiraju u mehanici stijena (empirijski pristup) i dr.

Laboratorijska ispitivanja uključuju sve potrebne analize za definiranje karakteristika osnovne stijene, najčešće određivanje jednoaksijalne čvrstoće direktnim smicanjem ili na osnovu indeksa točkastog opterećenja,

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



Sl. 1 Dijelovi sedimentacijskih sekvencija flišnih naslaga srednjeg paleocena do donjeg eocena ("megaslojevi" i turbiditi) u području Južnih Julijskih Prealpa (preuzeto iz TUNIS & VENTURINI, 1992).

Fig. 1 Parts of the Sedimentological Sequences of the Flysch Deposits in Middle Paleocene and Lower Eocene ("Megabeds" and Turbidites) of the Southern Julian Prealps (from TUNIS & VENTURINI, 1992).

mjerenje brzina uzdužnog i poprečnog seizmičkog vala na uzorcima ultrazvukom i dr.

Osnova obrade rezultata terenskih i laboratorijskih istraživanja je njihovo sintetiziranje, uzimajući u obzir postojanje tektonskih blokova, različitu stratigrafsku pripadnost i litofacijelne karakteristike stijena, razvrstavanje stijenskih masa po tipovima, unutar tektonskih blokova i u cjelini, te određivanje svih ulaznih podataka potrebnih za klasifikaciju stijenskih masa postupcima koje preporučuje Internacionalna asocijacija za mehaniku stijena. Ovako sintetizirani podaci svih istraživanja omogućuju formiranje inženjerskogeoloških modela za zadani objekt u kojem su dati svi relevantni podaci potrebni za uspješno geotehničko projektiranje.

ŠTO JE INŽENJERSKOGEOLOŠKI MODEL

Inženjerskogeološki model je obično definiran kao sistematski opis stijenske mase kao odraz njene prirode (geneze, teksture, strukture i dr.), stanja (deformacije i ispucalost, okršenost, trošnost) i mehaničkih svojstava stijena od kojih je izgrađen (osnovne stijene i stijenske mase u cjelini). Taj se opis osniva na analizama, generalizaciji i kategorizaciji "in situ" opažanja i mjerenja, kao i laboratorijskih ispitivanja, uz korištenje analogije s drugim ispitivanim područjima, sličnih genetskih ili litoloških karakteristika te rezultata statističkih postupaka i analiza (YUFIN, 1995).

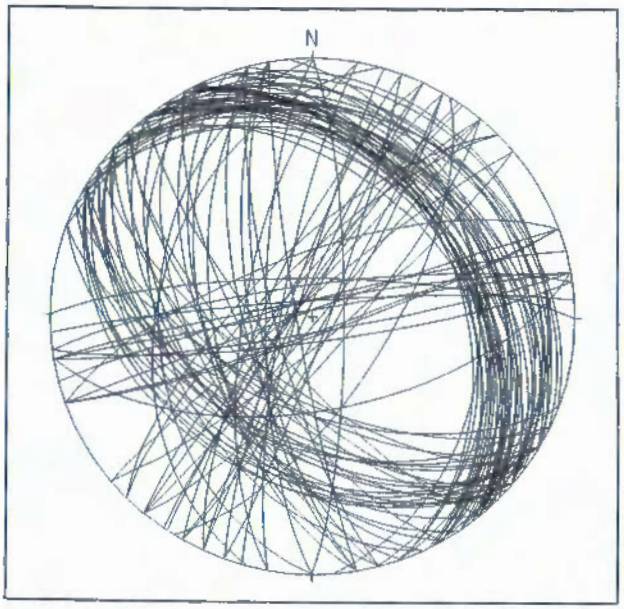
Inženjerskogeološko modeliranje prvi je, vrlo važan korak pri projektiranju građevina, posebno podzemnih, jer se tek na osnovu inženjerskogeološkog modela može izraditi adekvatni geotehnički model, za potrebe projektiranja i izvođenja građevinskih objekata. Kod toga je bitno da inženjerskogeološki model sadrži dovoljno numeričkih podataka jer "ako možeš izmjeriti ono o čemu želiš govoriti i izraziti to brojčano, onda nešto i znaš o tome" (Lord Kelvin, iz YUFIN, 1995).

U suštini, inženjerskogeološko i geotehničko modeliranje su interaktivni. Primjena rezultata inženjerskogeološkog modeliranja na konkretan prototip ovisi o točnosti podataka, nedvosmislenosti rezultata i mogućnosti usporedbe prototipa s realnim modelom, odnosno, stvarnim stanjem na terenu. Zbog toga se obično rezultati dobiveni inženjerskogeološkim i geotehničkim modeliranjem uspoređuju s mjerenjima i opažanjima u toku izvedbe objekata, modificiraju i takvi modificirani dalje obrađuju (ROBERTS, 1977). Povratnim analizama geotehničkih modela, objektiviziraju se i podaci inženjerskogeološkog modela (HOEK, 1995).

LITOLOŠKE KARAKTERISTIKE STIJENSKIH MASA

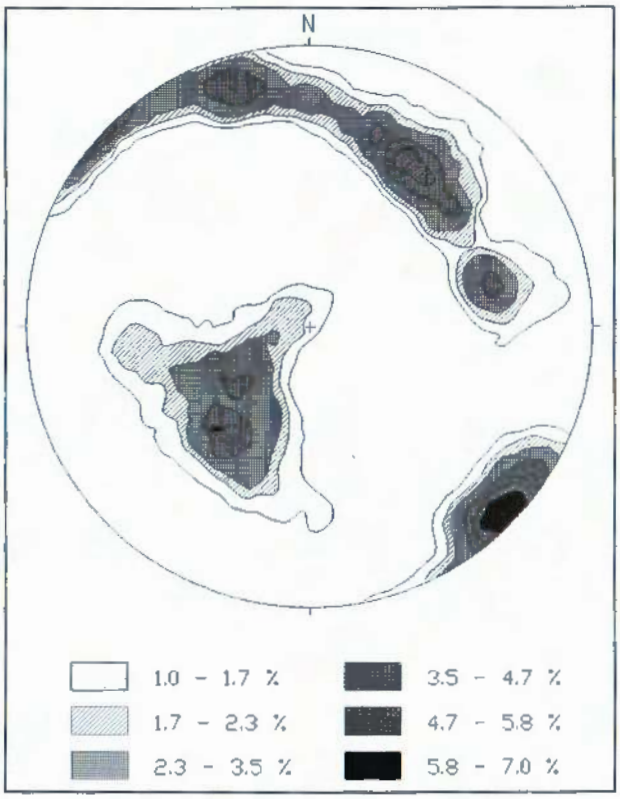
Litološke karakteristike stijenskih masa u inženjersko-geološkom modelu mogu u pojedinom slučaju biti definirane kao litološke jedinice, kada za to postoje uvjeti (obično kod karbonatnih stijena). Ima međutim slučajeva, osobito kod klastičnih i vulkanogeno-sedimentnih kompleksa, kada podjednostavljivanje modela nije moguće, jer strukturno-teksturne i fizičko-mehaničke karakteristike stijena unutar takvih kompleksa ovise o ambijentalnim karakteristikama bazena u kojem su stvarane, a time i o položaju pojedinog litotipa u sedimentološkom profilu ili stupu.

O ambijentalnim uvjetima stvaranja klastičnih, ali i karbonatnih sedimentnih kompleksa ovisi i filozofija uzorkovanja, obzirom na kasnije korištenje rezultata analiza fizičko-mehaničkih svojstava stijena, ocjena dužine diskontinuiteta koji odgovaraju slojevitosti, hrapavosti i niza drugih karakteristika, koje se kao ulazni podaci koriste u klasifikaciji stijenskih masa. Time ambijentalni uvjeti stvaranja stijena i stijenskih masa direktno utječu na njihove geotehničke osobine. Izraziti primjer su marinske paleogenske flišne naslage, koje, iako izgrađene od istih petrografskih varijeteta stijena, imaju, ovisno o ambijentalnim uvjetima njihova stvaranja (sl. 1), bitno različite geotehničke osobine i ponašanje. Smatramo da to samo potvrđuje tezu, da sedimentološkim istraživanjima u inženjerskogeološkom modeliranju treba dati bitno veće značenje od onog koje sada ima.



Sl. 2 Strukturni dijagram diskontinuiteta snimljenih u jednom od tektonskih blokova na trasi željezničkog tunela "Ćićarija".

Fig. 2 Structural diagram of the discontinuities, recorded in one of the tectonic blocks, along the "Ćićarija" tunnel line.



Sl. 3 "Beta"-dijagram presječnica istog tektonskog bloka tunela "Ćićarija".

Fig. 3 "Beta"-Intersection Lineations between the Discontinuities of the same Tectonic Block of the "Ćićarija" Tunnel.

STRUKTURNO-TEKTONSKI SKLOP

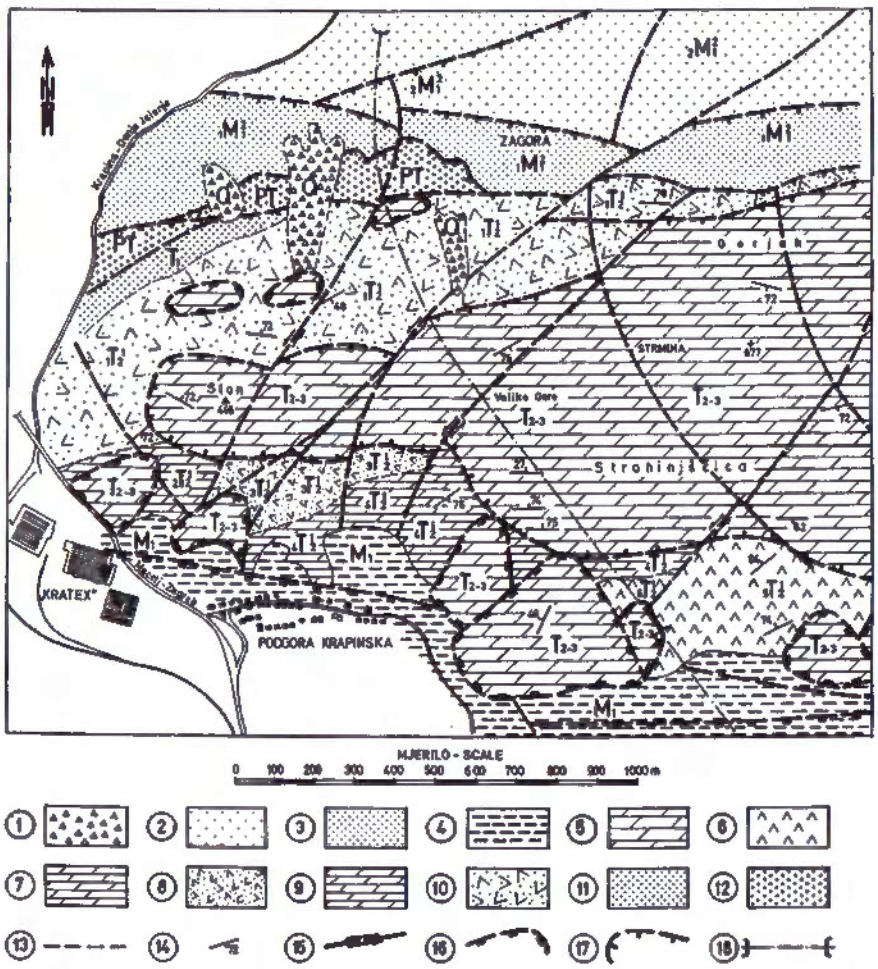
Metodološki pristup izradi inženjerskogeoloških modela trebao bi sadržavati izradu regionalno-tektonskog modela i određivanje lokacije objekta istraživanja u općem seizmotektonskom sklopu, kod čega je obično krajnji cilj ove vrste istraživanja definiranje projektnih seizmičkih parametara (CVIJANOVIĆ, 1983; KUK et al., 1994). Dalja detaljnija analiza strukturnog sklopa koristi se metodama strukturne geologije i geofizičkih istraživanja (metodama plitke seizmičke refrakcije ili refleksivne seizmike).

U prirodi su sve stijene, pa i najmlađe, pod utjecajem tektonskih pokreta deformirane, borane i raspucale. U svakoj tektonskoj fazi može nastati čitav skup diskontinuiteta od kojih se mogu izdvojiti:

- međuslojni klivaž, odnosno diskontinuiteti koji su paralelni slojevitosti,
- diskontinuiteti paralelni klivažu aksijalne ravnine,
- pukotine okomite na lokalnu ili regionalnu strukturnu os "b",
- reversni ili gravitacioni rasjedi sa subvertikalnom "a"-lineacijom,
- smični (transkurentni) rasjedi sa subhorizontalnom "a"-lineacijom,
- "peraste" tenzione pukotine uz rasjede,
- tenzione pukotine okomite na smjer tenzije i relaksacione pukotine okomite na smjer maksimalne kompresije i dr.

Orijentacija diskontinuiteta u prostoru nije slučajna, nego ovisi o orijentaciji elipsoida deformacije određene tektonske faze odnosno, tektonskih osi, što se strukturno-geološkim metodama može odrediti. Čitav mikrotektonski sklop kod toga mora odgovarati regionalno-tektonskoj slici i regionalnim morfotektonskim karakteristikama širih područja. U svim tektonskim fazama, ne moraju se stvoriti svi nabrojeni diskontinuiteti. Česta je pojava, da se diskontinuiteti nastali u starijim fazama, u mlađim reaktiviraju s promjenom njihovog karaktera, kao posljedice promjene smjera regionalnog stresa, ili dolazi do rotacije pojedinih tektonskih elemenata ili tektonskog sklopa u cjelini, naročito uz veće transkurentne rasjede. Promjene smjera regionalnog ili lokalnog stresa moguće je pratiti snimanjem "a"-lineacije kliznih diskontinuiteta (određivanjem tektonskih osi ili primjenom metode pravih diedara), a smjer recentnog lokalnog stresa kontrolirati polarnom seizmičkom metodom.

Intenzitet i ekstenzitet pojavljivanja pojedinih tipova diskontinuiteta je različit, kao što su različite i njihove morfološke karakteristike. Različiti diskontinuiteti, po starosti i genezi, a time i morfologiji (koja proizlazi iz starosti i geneze), različito utječu na inženjerskogeološka i geotehnička svojstva stijenskih masa, a predisponiraju i efekte postgenetskih egzogenih procesa koji dovode do promjena inženjerskogeoloških karakteristika pojedinih tipova stijena (na pr. karstifikacija karbonatnih stijena, postanak klizišta i dr.). Osim kao ulazni parametar za klasifikaciju stijenskih masa orijentacija diskontinuiteta tektonskog sklopa osnova je za



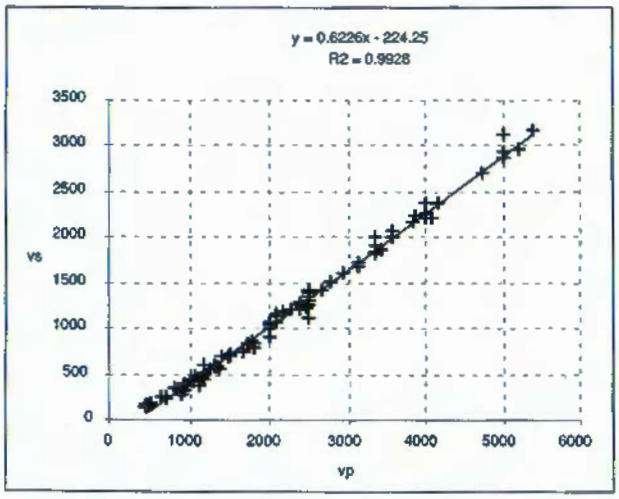
Sl. 4 Geološka karta šire okoline cestovnog tunela "Strahinjčica". Legenda: 1) (Q) Kvartar, sipari; 2) ($_2M_1^2$) Donji miocen. Siltozni lapori, laporovite gline; 3) ($_1M_1^2$) Donji miocen. Pješčenjaci, siltiti i kalcitične gline; 4) (M_1) Donji miocen. Lapori, pješčenjaci i pijesci; 5) ($T_{2,3}$) Srednji do gornji trijas. Dolomiti i dolomitne breče; 6) ($_5T_2^1$) Srednji trijas. Vulkanogeno-sedimentna formacija. Spiliti, spilitizirani efuzivni dijabazi, piroklastiti; 7) ($_4T_2^1$) Srednji trijas. Dominantno dolomitni horizont, s proslojcima piroklastita i rožnaca; 8) ($_3T_2^1$) Srednji trijas. Dominantno piroklastični horizont, s proslojcima dolomita i rožnaca; 9) ($_2T_2^1$) Srednji trijas. Dolomiti i dolomitne breče; 10) ($_1T_2^1$) Srednji trijas. Piroklastiti s proslojcima dolomita i vapnenaca; 11) (T_1) Donji trijas. Šejlovi, pješčenjaci, dolomiti; 12) (PT) Permotrijas. Pješčenjaci, šejlovi, dolomiti, evaporiti; 13) Geološka granica; 14) Položaj slojeva; 15) Transkurentni rasjedi; 16) Gravitacioni rasjedi; 17) Navlake i reversni rasjedi; 18) Os tunela.

Fig. 4 Geological map of the wider area of the Strahinjčica tunnel. Legend: 1) (Q) Quaternary. Rockfalls; 2) ($_2M_1^2$) Lower Miocene. Silty marls, marly clays; 3) ($_1M_1^2$) Lower Miocene. Sandstones, siltstones, calcitic clays; 4) (M_1) Lower Miocene. Marls, sandstones and sands; 5) ($T_{2,3}$) Middle to Upper Triassic. Dolomites and dolomite breccias; 6) ($_5T_2^1$) Middle Triassic. Volcanic-sediment formation. Spilites, spilitizide extrusive diabaze, pyroclastes; 7) ($_4T_2^1$) Middle Triassic. Prevailing dolomitic horizont, with interbedded pyroclastites and chert; 8) ($_3T_2^1$) Middle Triassic. Prevailing pyroclastic horizont, with interbedded dolomite and chert; 9) ($_2T_2^1$) Middle Triassic. Dolomites and dolomite breccias; 10) ($_1T_2^1$) Middle Triassic. Pyroclastites with interbedded dolomite and limestones; 11) (T_1) Lower Triassic. Shales, sandstones and dolomites; 12) (PT) Permotriassic. Sandstones, shales, dolomites and evaporites; 13) Geologic border; 14) Bedding orientation; 15) Share faults; 16) Gravitatonal faults; 17) Overthrusts, and reverse faults; 18) Tunnel axis.

grafičko određivanje stabilnosti kosina u odnosu na ravni lom (sl. 2), dok je konturni dijagram presječnica svih diskontinuiteta (sl. 3) pogodan kod grafičke ocjene stabilnosti kosina u odnosu na "klinasti" slom. Opisi i klasifikacije diskontinuiteta se, osim s genetskim principima, moraju uskladiti i s principima usvojenim u mehanici stijena, što znači da se najveći broj njihovih obilježja kvantificira, ili empirijskim načinom, ili direktnim "in situ" mjerenjima, s primjenom matematske statistike u obradi mjerenih veličina (na primjer razmaka između diskontinuiteta ili veličine stijenskih fragmenata omeđenih diskontinuitetima). Probabilistički pristup i u ovom slučaju omogućuje determinaciju srednjih veličina, maksimalne frekvencije mjerenih vrijednosti kao i procjenu raspona unutar kojeg se nalaze mjerene veličine, u području normalnog očekivanja.

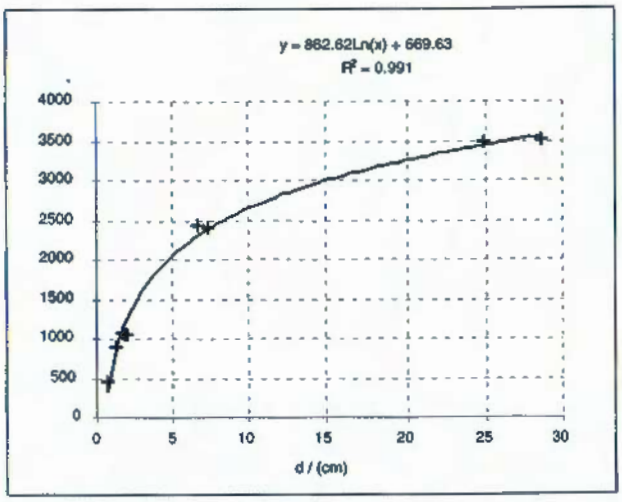
Strukturno-geološka istraživanja pokazala su se vrlo efektivnim kod prognoziranja stabilnosti kosina geometrijskom metodom (HOEK & BRAY, 1974; BRAUN et al., 1993), kao i kod modeliranja inženjerskogeoloških profila tunela. Bez strukturno-geoloških istraživanja (sedimentoloških opažanja i geofizičkih istraživanja), najvjerojatnije ne bi bilo moguće prognozirati inženjerskogeološke karakteristike stijena tunela kroz Strahinjčicu (sl. 4), gdje navlaka srednje trijaskih stijena prekriva osnovnu tektonsku strukturu, izgrađenu od stijena starosti od paleozoika do srednjeg trijasa, subvertikalnog i vrlo vjerojatno, inverznog stratigrafskog položaja, kroz koju prolazi os tunela.

Strukturno-geološka istraživanja imala su veliko značenje i kod prognoziranja inženjerskogeoloških svojstava stijenskih masa tunela na cesti Zagreb-Rijeka -



Sl. 5 Dijagram korelacije brzina uzdužnih i poprečnih seizmičkih valova snimljenih u gornjekrednim vapnencima (MOHO - Zagreb).

Fig. 5 Correlation Diagram of the Velocities of the Longitudinal and Transversal Seismic Waves recorded in Upper Cretaceous Limestones (MOHO - Zagreb).



Sl. 6 Korelacija između brzina uzdužnih seizmičkih valova i prosječne veličine stijenskih fragmenata.

Fig. 6 Correlation between the Velocity of the Longitudinal Seismic Waves and Rock Fragment Average Dimensions.

dionici Kupjak-Bosiljevo, željezničkog tunela Ćićarija, vodnog tunela Krka-Čikola, te usjeka i zasjeka "Dedin", "Bajer-Vrata" i dr. također na cesti Zagreb-Rijeka.

GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA I MEHANIČKA SVOJSTVA STIJENSKIH MASA

Za određivanje mehaničkih karakteristika stijena i stijenskih masa sigurno bi najbolje bilo izvođenje odgovarajućih "in situ" ispitivanja (u bušotinama, raskopima i dr.) ili laboratorijskim ispitivanjima neporemećenih uzoraka. Ukoliko bi se deterministički pristup strogo primijenio, ispitivanja bi morala biti brojna i egzaktna, a to znači i dugotrajna, često komplicirana do neprovediva. Zbog toga su brojni istraživači pokušali različite mehaničke i druge osobine stijena i stijenskih masa dovesti u korelaciju s određenim parametrima, koji su se na terenu mogli izmjeriti jednostavnim tehnikama, brzo i relativno jeftino.

Metoda, na koju se u tom pogledu oslanja najveći broj istraživača, je metoda plitke seizmičke refrakcije, mjerenje brzina širenja seizmičkih valova u bušotinama ("down-hole") ili između bušotina ("cross-hole") i mjerenje brzina širenja ultrazvučnih valova na uzorcima. Mjerenja brzina širenja ultrazvučnih valova na uzorcima se najčešće koreliraju sa svojstvima intakntne stijene, dok se rezultati primjene seizmičke refrakcije i mjerenje brzine širenja valova u bušotinama ("down-hole" i cross-hole") primjenjuje za ocjenu stanja i svojstava stijenskih masa. Odnos mjerenja na uzorcima i u masivu koristi se za određivanje koeficijenta oslabljenja stijenske mase, a uzimajući u obzir i efekte mjerila ("scale effect"), može se indicirati i stupanj kvaziizotropije ili anizotropije stijenskog masiva (LOMTADZE, 1970; KUJUNDŽIĆ, 1983).

Kod procjene mehaničkih karakteristika stijenskih masa primjenom plitke refrakcijske seizmike, opće su poznate relacije za određivanje Poissonovog koeficijenta (m) iz brzina uzdužnih i poprečnih seizmičkih valova, dinamičkog modula elastičnosti (Edin), dinamičkog prostornog modula (Kdin) i dinamičkog modula smicanja (Gdin), iz kojih se za pojedine tipove stijena (po našem mišljenju ograničeno i na pojedine lokalitete ili inženjerskogeološke cjeline) izvode korelacione veze i s drugim mehaničkim karakteristikama stijenskih masa. Takve korelacione veze indicirane su i sa statičkim modulom elastičnosti, čvrstoće stijenske mase (KUJUNDŽIĆ & PETROVIĆ, 1980; ALEKSOVSKI & MIRAKOVSKI, 1988; DUJMIĆ & KOŽINEC, 1988), kutem unutrašnjeg trenja i prividnom kohezijom (ALEKSOVSKI & MIRAKOVSKI, 1988). Kako je za prognoziranje mehaničkih karakteristika potrebno poznavati brzine širenja i uzdužnih i poprečnih seizmičkih valova, onda je za inženjerskogeološko modeliranje bitno, da se zna, da odnos brzina tih valova ovisi i o litotipu u kojem se mjerenja izvode, ali i o nizu drugih faktora, kao što su prisutnost podzemne vode, zaglinjenih zona i dr. Za gornjokredne rudistne vapnence, bez prisustva podzemne vode, korelaciona veza između brzine poprečnih (Vs) i uzdužnih (Vp) seizmičkih valova, određena iz podataka "down-hole", bila je Vs=0,6226*Vp-224,25 (sl. 5). Ova je korelaciona veza kasnije korištena u interpretaciji rezultata seizmičkog refrakcijskog profiliranja, kojom su prilikom mjereni samo uzdužni seizmički valovi.

Brzine uzdužnih seizmičkih valova nanesene kao kumulativne frekvencije njihove distribucije na papir vjerojatnosti, kad se raspolaže dovoljno velikim skupom podataka, mogu indicirati granice razdvajanja pojedinih geotehničkih cjelina u inženjerskogeološkom modelu. Karakteristike pojedinih izdvojenih cjelina mogu se dodatno kontrolirati direktnim mjerenjem

određenih parametara na većim stijenskim izdancima, uz statističku obradu dobivenih rezultata. U karbonatnim stijenama, na primjer, postoji i korelaciona veza između brzine uzdužnih seizmičkih valova i prosječne veličine fragmenata stijena u masi (BOŽIĆ & BRAUN, 1991), što zapravo odgovara i prosječnom razmaku između diskontinuiteta (sl. 6).

Opće je poznato da postoji korelacija razmaka između diskontinuiteta i RQD, ali i druge, pa se uspoređivanjem statistički izračunatih vrijednosti i analize jezgre istražnih bušotina i iz nje uzetih uzoraka (postotak jezgre, RQD, jednoaksijalna tlačna čvrstoća, određivanje brzina širenja uzdužnih i poprečnih seizmičkih valova primjenom ultrazvuka i dr.), mogu znatno proširiti saznanja o ispitivanim stijenama i stijenskim masama i na taj način inženjerskogeološki model istraživanog područja ili objekta približiti potrebama geotehničkog projektiranja.

ZAKLJUČAK

Budući da je inženjerskogeološko modeliranje prvi korak pri projektiranju građevina, bitno je da odgovarajući inženjerskogeološki model sadrži dovoljno numeričkih podataka.

Kod izrade inženjerskogeološkog modela, terenska istraživanja, osim uobičajenih geoloških, geofizičkih i inženjerskogeoloških postupaka, uključuju stratimetrijska i druga potrebna sedimentološka istraživanja, zatim snimanja tektonskog sklopa s genetskom klasifikacijom diskontinuiteta, mjerenje razmaka između diskontinuiteta istovjetnih familija, određivanje morfoloških i drugih karakteristika diskontinuiteta metodama koje se primjenjuju i interpretiraju u mehanici stijena i dr., dok laboratorijska ispitivanja uključuju sve potrebne analize za definiranje karakteristika osnovne stijene.

Osnova obrade rezultata terenskih i laboratorijskih istraživanja je njihovo sintetiziranje, uzimajući u obzir postojanje tektonskih blokova, različitu stratigrafsku pripadnost i litofacijelne karakteristike stijena, razvrstavanje stijenskih masa po tipovima, unutar tektonskih blokova i u cjelini, te određivanje svih ulaznih podataka potrebnih za klasifikaciju stijenskih masa postupcima koje preporučuje Internacionalna asocijacija za mehaniku stijena. Ovako sintetizirani podaci svih istraživanja omogućuju formiranje inženjerskogeološkog modela za zadani objekt, u kojem su dati svi relevantni podaci potrebni za uspješno geotehničko projektiranje.

Ovakav pristup inženjerskogeološkom modeliranju ima velike šanse da omogući relativno visoku točnost podataka, nedvosmislenosti rezultata i mogućnosti usporedbe prototipa s realnim modelom, odnosno, stvarnim stanjem na terenu. Zbog toga se obično rezultati dobiveni inženjerskogeološkim i geotehničkim modeliranjem uspoređuju s mjerenjima i opažanjima u toku izvedbe objekata, modificiraju i takvi modificirani dalje obrađuju. Povratnim analizama geotehničkih modela, objektiviziraju se i podaci inženjerskogeološkog modela, čiji elementi tada mogu poslužiti i kod rješavanja drugih inženjerskogeoloških zadaća u sličnim sredinama ili cjelinama.

LITERATURA

ALEKSOVSKI, D. & MIRAKOVSKI, G. (1988): Mogućnost korišćenja seizmičkih brzina za određivanje parametara deformabilnosti, otpornosti i čvrstoće stenskih masa.- I. jugoslavenski simpozij o tunelima, 1, 7-16, Brijuni.

BRAUN, K., MLINAR, Ž. & BATURIĆ, I. (1993): Potencijalno nestabilna kosina iznad separacije u kamenolomu dolomita "Očura" kraj Lepoglave.- RGN zbornik, 5, 99-108, Zagreb.

CVIJANOVIĆ, D. (1983): Proračun projektnih seizmičkih parametara.- Mehanika stijena, temeljenje i podzemni radovi, I, 11-149, Zagreb.

HOEK, E. & BRAY, J. (1974): Rock Slope Engineering.- Institution of Mining and Metallurgy, Gresham press, 309 p., London

HOEK, E. (1995): The Challenge of Input Data for Rock Engineering.- ISRM News Yournal, 23-24, Lisboa.

KUJUNDŽIĆ., B. & PETROVIĆ, Lj. (1980): Korelacija statičkih i dinamičkih karakteristika deformabilnosti krečnjačkih stenskih masa.- 5. simpozij JDMSPR, Split.

KUJUNDŽIĆ, B. (1983): Opšta fizičko-strukturna svojstva stenskih masa.- Mehanika stijena, temeljenje i podzemni radovi, I, 183-211, Zagreb.

KUK, V., PRELOGOVIĆ, E., MARIĆ, K., SKOKO, D., JAMIČIĆ, D. & MARKOVAC, Z. (1994): Seizmološka i seizmotektonska studija za lokaciju mosta preko Novskog Ždrila.- Arh. geofizičkog zavoda "Andrija Mohorovičić" Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

LOMTADZE, V.D. (1970): Inženjernaja geologija - Inženjernaja petrologija.- Njedra, Lenjingradskoe otdelenie, 516 p., Lenjingrad.

ROBERTS, A. (1977): Geotechnology.- Pergamon press, 342 p., Oxford - New York - Toronto.

TUNIS. G. & VENTURINI, S. (1992): Evolution of the Southern Margin of the Julian Basin with Emphasis on the Megabeds and Turbidites Sequence of the Southern Julian Peralps (NE Italy).- Geologia Croatica, 45, 127-151, Zagreb.

YUFIN, S.A. (1995): General Report.- Eurock '93, Balkema, 1029-1041, Rotterdam.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	131 - 135	ZAGREB 1995

O pristupu ocjeni obnavljanja podzemne vode na području Ravnik-Kutina

Željka BRKIĆ

Ključne riječi: poluzatvoreni vodonosnik, polupropusne pokrovne naslage, hidrogeološki parametri, rubni uvjeti, obnavljanje podzemne vode

Key words: Semiconfined aquifer, Semipermeable covering deposits, Hydrogeological parameters, Boundary conditions, Groundwater recharge

Sažetak

Krovinu zahvaćenog kvartarnog vodonosnika na području Ravnik-Kutina izgrađuju polupropusne naslage sastavljene od praha i prašinastih glina unutar kojih se pojavljuju leće i proslojci pijeska. Utjecaj hidrogeoloških parametara ovih naslaga (vertikalne hidrauličke vodljivosti i specifične izdašnosti) na razvoj depresionog konusa pri relativno kratkotrajnom pokusnom crpljenju vrlo je mali. Ta pojava može dovesti do pogrešnih zaključaka o rubnim uvjetima vodonosnika. Istraživanje stvarnih rubnih uvjeta poluzatvorenog vodonosnika, provedeno na temelju dugotrajnog opažanja i relativno intenzivnog crpljenja na crpilištu Ravnik, pokazalo je da veličina procjeđivanja iz polupropusnih pokrovnih naslaga u vodonosnik značajno raste u prvim godinama eksploatacije.

Abstract

The roof of tapped aquifer in the area of Ravnik-Kutina is composed of silty and clayey sediments with interlayers and lenses of sand. The influence of hydrogeological parameters of these deposits (vertical hydraulic conductivity and specific yield) on the development of depression cone is very small under a relatively short-lasted test pumping. This phenomenon can result in wrong conclusions on the aquifer boundary conditions. The explorations on the true boundary conditions of semiconfined aquifer, which was performed on the basis of a long monitoring and a relatively intense extraction from the pumping site Ravnik, showed that the leakage amount from semipermeable covering deposits increases considerably during the first years of extraction.

1. UVOD

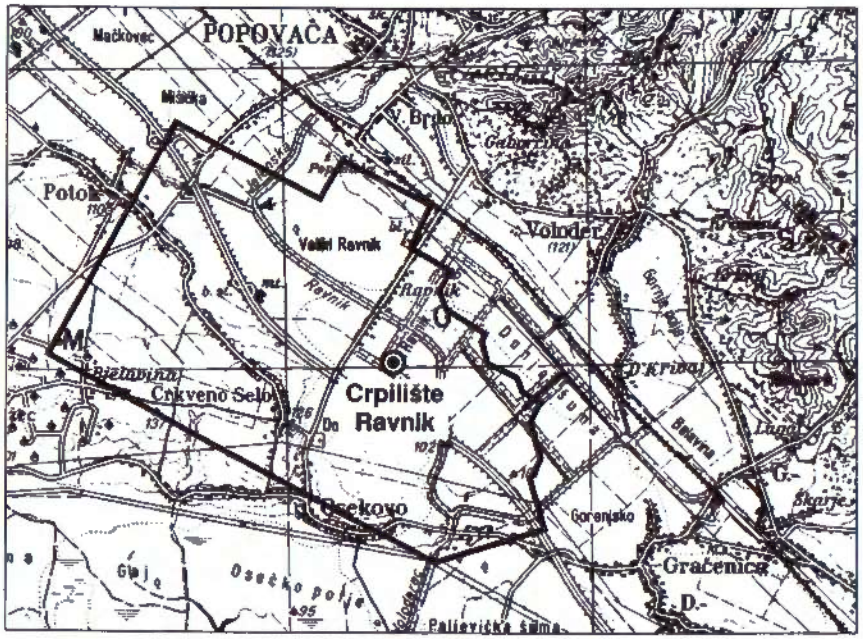
Vodoopskrba Kutine, Popovače i okolnih naselja zasniva se na eksploataciji podzemne vode sa crpilišta Ravnik. Hidrogeološka istraživanja ovog područja u tu svrhu su započeta 1973. (URUMOVIĆ et al., 1973), a nastavljena su i nakon puštanja crpilišta u eksploataciju (URUMOVIĆ et al., 1986, 1993). Od puštanja crpilišta u pogon rujna 1983. godine pa do danas, načinjeno je deset bušenih zdenaca od kojih se podzemna voda crpi iz njih osam. Kako je rastao broj eksploatacijskih zdenaca tako su se povećavale i crpne količine i 1992. godine ukupna je izdašnost crpilišta iznosila oko 60 l/s. Zbog potreba za vodom izvedena su istraživanja zaliha podzemne vode crpilišta Ravnik radi povećanja crpnih količina.

U okviru ovih istraživanja posebna je pozornost posvećena istraživanju procesa napajanja poluzatvorenih vodonosnika, kakav se pojavljuje na crpilištu Ravnik, u uvjetima relativno intenzivnog dugotrajnog crpljenja. Za istraživanje se koristio matematički model strujanja u dvoslojevitoj sredini, koji omogućava rješavanje hidrogeološke problematike vodonosnika i određivanje bilance podzemne vode. Osnovni pristup u modeliranju vodonosnika satojao se u usporedbi računatih razina podzemnih voda s izmjerenim vrijednostima u crpljenim zdencima i opažanim objektima za modelirano razdoblje. Usporedba izmjerenih i izračunatih vrijednosti usmjeravala je kriterije za potrebne korekcije u ulaznim podacima, sve dok nisu postignute zadovoljavajuće sukladnosti rezultata.

2. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

U litološkom sastavu kvartarnog vodonosnika pojavljuju se pijesak i rijede šljunak koji izgrađuju propusne, te prah i glina koji izgrađuju polupropusne slojeve. Pojave šljunka su rijetke, a najčešće su zastupljene sitnim valuticama šljunka prisutnim u donjim dijelovima propusnih članova. U gornjem dijelu tih članova prevladava grublje zrnati pijesak čija se granulacija prema krovinskom dijelu sloja smanjuje, a povećava se udio prašinastih materijala. Debljine pojedinih propusnih, odnosno, polupropusnih slojeva su dosta neujednačene i mjestimice dolazi do uklinjavanja pojedinih članova. Narušeni kontinuitet slojeva je uvjetovan načinom taloženja i neotektonskim pokretima. Prema tome, vodonosni horizont nije ni homogen niti izotropan. Ukupna debljina kvartarnog vodonosnog

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



Sl. 1 Područje obuhvaćeno modelom. Mjerilo 1:100.000.
Fig. 1 The area comprised by model. Scale 1:100,000.

kompleksa iznosi oko 200 m, a zahvaćenog vodonosnika prosječno oko 30 m.

U krovini vodonosnika dolaze polupropusne prašinaste i glinovite taložine unutar kojih se pojavljuju proslojci i leće pijeska. Debljina krovinskih naslaga raste idući od rijeke Save prema sjeveru. Slabopropusne pokrovne naslage su izgrađene od gornjopleistocenskih močvarnih prapora koje su prekrivene holocenskim prašinastim sedimentima. Unutar ovog pokrovnog sloja formira se procjedni vodonosni horizont u kome se akumulira voda dospjela infiltracijom padalina.

Obnavljanje podzemnih voda je pod dominantnim utjecajem vertikalnih faktora bilance. Napajanje vodonosnog sloja odvija se procjeđivanjem kroz polupropusne glinovito-prašinaste međuslojeve iz pokrovnog sloja s višom piezometarskom razinom prema vodonosniku s nižom. Prema tome, bilanca voda u izvornom sloju je uvjetovana infiltracijom padalina i procjeđivanjem u vodonosnik.

Podina zahvaćenog vodonosnika sastavljena je od nepropusnih naslaga, pa vertikalni tok postoji samo iz polupropusnog pokrovnog sloja u vodonosnik.

3. MATEMATIČKI MODEL TOKA

3.1. OSNOVNE POSTAVKE MODELA

Osnovno svojstvo vodonosnika zahvaćenog na crpilištu Ravnik je njegova izrazita nehomogenost, te pokrivenost polupropusnim naslagama kroz koje se odvija napajanje poniranjem padalina. Zbog toga je vodonosni sustav shematiziran kao poluzatvoreni vodonosnik u kojem se odvija dvodimenzionalno nestacionarno teèenje podzemne vode.

Na bazi Darcy-evog zakona i zakona održanja mase, bilanca podzemne vode u poluzatvorenom vodonosniku je opisana slijedećom jednadžbom (BEAR, 1979):

$$KM\left[\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}\right]-P+\frac{k'}{m'}\left(h'-h\right)=S\frac{\partial h}{\partial t}$$

gdje je: M - saturirana debljina vodonosnika [L], K - hidraulička vodljivost vodonosnika [L/T], S - koeficijent uskladištenja vodonosnika [bezdimenzionalna veličina], k' - vertikalna hidraulička vodljivost pokrovnog sloja [L/T], m' - saturirana debljina pokrovnog sloja [L], h - razina podzemne vode u vodonosniku [L], h' - razina podzemne vode u pokrovnom sloju [L], P - količina crpljenja [L^3/T].

Za pokrovni sloj, također se može postaviti jednodimenzionalna diferencijalna jednadžba:

$$I_w-n'\left(\frac{\partial h}{\partial t}\right)=\left(\frac{k'}{m'}\right)\left(h'-h\right)$$

gdje je: I_w - napajanje pokrovnog sloja (infiltracija padalina), n' - specifična izdašnost pokrovnog sloja.

Pokrovni sloj je pretpostavljen otvorenog tipa, tako da u njemu vodna ploha koleba u skladu s procesima napajanja i pražnjenja koji su promjenljivi u vremenu.

Za rješavanje ovih parcijalnih jednadžbi, u korištenom je programu primijenjena metoda konačnih razlika za slučajeve heterogenog vodonosnika. Ona zahtijeva podjelu cjelokupnog promatranog prostora na male, konačne poligone u čijim središtima su smješteni čvorovi. Kao ulazni parametri, svakom čvoru su dodijeljene vrijednosti pojedinih hidrogeoloških parametara vodonosnika i hidrogeoloških parametara pokrovnog polupropusnog sloja. Na dodirnoj plohi s vodonosnikom odvija se međuslojno procjeđivanje, a na vodnoj plohi prirast od poniranja i/ili gubitak uzrokovan evapotranspiracijom.

3.2. DISKRETIZACIJA PODRUČJA, POČETNI I RUBNI UVJETI

Diskretizacija područja je prilagođena hidrogeološkim uvjetima i rasporedu raspoloživih podataka. Budući da su se raspoloživi podaci o razinama podzemne vode odnosili samo na neposredno područje crpilišta, granice modela su postavljene u području preko kojeg nije bila moguća ekstrapolacija razina vode zbog nedostatka mjerenih podataka. Tako uokvirena površina modela iznosi oko 22 km^2 (sl. 1). Granice su pretpostavljene kao nepropusne barijere, te je horizontalna hidraulička vodljivost između rubnih unutarnjih i vanjskih čvorova jednaka ništici. Postavljanje granica nultog dotoka omogućava da eventualne pogreške idu na stranu sigurnosti.

Za početne uvjete je uzeto prirodno stanje podzemne vode na zdencima i piezometrima snimljeno prije početka rada crpilišta, koje je zatim interpolirano i ekstrapolirano po cijelom području modela. Rubnim uvjetima su definirane mjesečne promjene crpnih količina pojedinačnih zdenaca i infiltracije padalina tijekom devetgodišnje eksploatacije.

3.3. KALIBRACIJA MODELA

Postupak kalibracije modela načinjen je za dva vremenska intervala s različitom vremenskom diskretizacijom. U prvom koraku je izvršena kalibracija pokusnog crpljenja, a u drugom kalibracija devetgodišnjeg rada crpilišta. Vrijednosti hidrogeoloških parametara dobivene analitičkom interpretacijom probnih crpljenja pokazale su se vrlo različite i vrlo nesigurne da bi poslužile kao ulazni parametri u kalibracijski postupak, pa se u prvom koraku prišlo njihovoj identifikaciji preko podataka pokusnih crpljenja četri zdenca. Razvoj depresionog konusa tijekom pokusnog crpljenja je pod dominantnim utjecajem osnovnih hidrogeoloških parametara vodonosnog horizonta: hidrauličke vodljivosti (odnosno transmisivnosti) i koeficijenta uskladištenja, te se ova faza kalibracije sastojala u identifikaciji njihovih vrijednosti. Utjecaj karakteristika pokrovnog polupropusnog sloja, kao i rubnih uvjeta u njegovoj krovini vrlo je mali, pa se njihove veličine nisu detaljno istraživale u prvoj fazi.

Nakon identifikacije vrijednosti hidrauličke vodljivosti i koeficijenta uskladištenja, prišlo se analizi devetgodišnjeg rada crpilišta (od rujna 1983. do listopada 1992) koji je podjeljen na 110 mjeseci za koje su definirani rubni uvjeti, a svaki je mjesec u računskom postupku podijeljen na 50 potkoraka. Kako je već prije navedeno, rubne uvjete su predstavljale mjesečne crpne količine i prosječna mjesečna infiltracija u razmatranim čvorovima. Uz postignute zadovoljavajuće vrijednosti hidrauličke vodljivosti i koeficijenta uskladištenja u prvom koraku, za dugotrajno razdoblje kalibracije pozornost je posvećena identifikaciji karakteristika pokrovnog polupropusnog sloja i njegovih rubnih uvjeta. Pri identifikaciji stvarnog razvitka devetgodišnjeg rada crpilišta, istraživana su tri slučaja rubnih uvjeta (BRKIĆ, 1995):

1. Slučaj zatvorenog vodonosnika, tj. pretpostavka o nepropusnoj krovini vodonosnika (k'=0),
2. Slučaj polupropusne krovine, ali bez obnavljanja podzemnih voda infiltracijom padalina (k'≠0, n'≠0, Iw=0),
3. Slučaj polupropusnih krovinskih naslaga koje se obnavljaju povremenom infiltracijom padalina i koje omogućavaju napajanje vodonosnika (k'≠0, n'≠0, Iw>0). Podaci o mjesečnim količinama padalina tijekom devet godina preuzeti su s kišomjerne stanice Osekovo.

4. REZULTATI KALIBRACIJE MODELA

Rezultati kalibracije su prikazani na slikama 2 i 3 usporednim prikazom mjerenih podataka i rezultata kalibracije proteklog rada crpilišta za sva tri navedena slučaja.

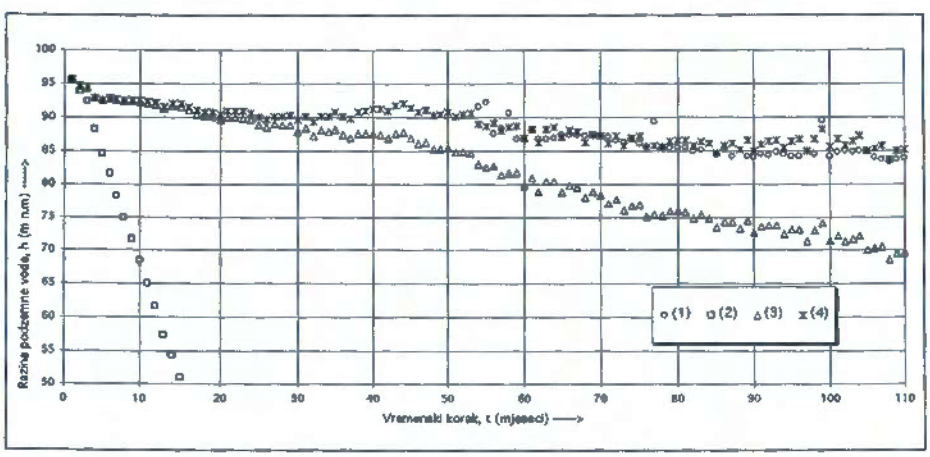
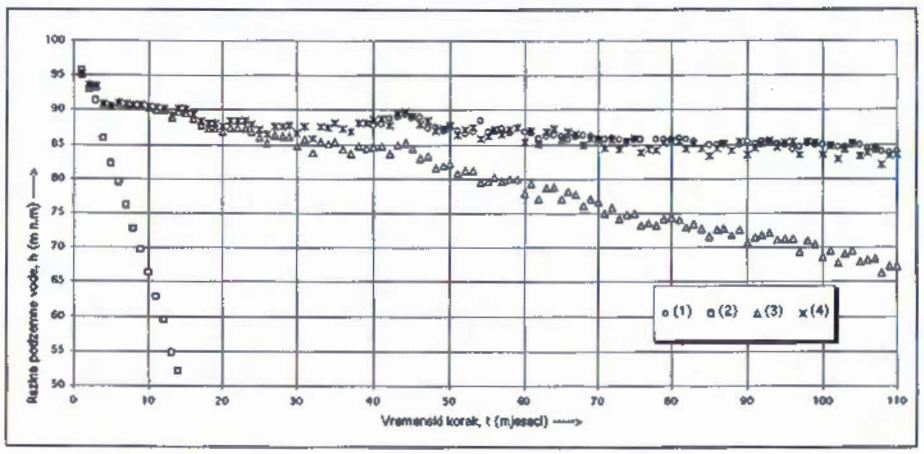


Fig. 2 A parallel review of calibration results for pumped well B-1A. Legend: 1) observed groundwater level; 2) calculated groundwater level for the first scheme of boundary conditions (k'=0); 3) calculated groundwater level for the second scheme of boundary conditions (k'≠0, n'≠0, I_w=0); 4) calculated groundwater level for the third scheme of boundary conditions (k'≠0, n'≠0, I_w>0).

Sl. 2 Usporedni prikaz rezultata kalibracije za crpljeni zdenac B-1A. Tumač oznaka: 1) mjerene razine podzemne vode; 2) računate razine podzemne vode prema prvoj shemi rubnih uvjeta (k'=0); 3) računate razine podzemne vode prema drugoj shemi rubnih uvjeta (k'≠0, n'≠0, I_w=0); 4) računate razine podzemne vode prema trećoj shemi rubnih uvjeta (k'≠0, n'≠0, I_w>0).



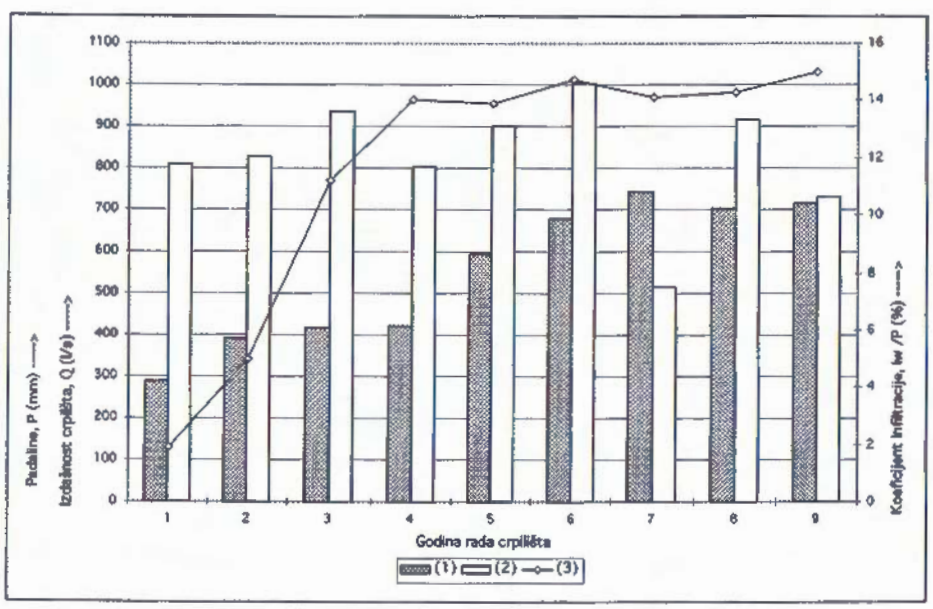
Sl. 3 Usporedni prikaz rezultata kalibracije za piezometar MP-9A. Tumač oznaka: 1) mjerene razine podzemne vode; 2) računate razine podzemne vode prema prvoj shemi rubnih uvjeta (k'=0); 3) računate razine podzemne vode prema drugoj shemi rubnih uvjeta (k'≠0, n'≠0, I_w=0); 4) računate razine podzemne vode prema trećoj shemi rubnih uvjeta (k'≠0, n'≠0, I_w>0).

Fig. 3 A parallel review of calibration results for observed boreholes MP-9A. Legend: 1) observed groundwater level; 2) calculated groundwater level for the first scheme of boundary conditions (k'=0); 3) calculated groundwater level for the second scheme of boundary conditions (k'≠0, n'≠0, I_w=0); 4) calculated groundwater level for the third scheme of boundary conditions (k'≠0, n'≠0, I_w>0).

Simulacija prema prvoj shemi rubnih uvjeta odmah je pokazala izrazito velika sniženja za sve razumne vrijednosti hidrauličke vodljivosti vodonosnika, pa je ona odbačena.

Simulacija prema drugoj shemi rubnih uvjeta je pokazala relativno dobra podudaranja mjerenih i računatih razina podzemne vode u prve dvije godine rada crpilišta. Međutim, nakon toga je uslijedio nagli pad razina vode koji je doveo općenito do prevelikih sniženja, koja se naročito zapažaju posljednjih godina opažanja rada crpilišta. Provedena simulacija je dovela, dakle, do stanja na temelju kojega je stvoren zaključak da bi moralo postojati obnavljanje podzemnih voda polupropusnog sloja. Na slikama kalibracije se uočava da bi bez infiltracije razina podzemne vode regionalno pala daleko ispod mjerenih vrijednosti.

Simulacijom prema trećoj shemi rubnih uvjeta zapažena je vrlo mala infiltracija padalina na početku rada crpilišta. Ovdje treba naglasiti da su u razdoblju kada se vodonosnik prilagođava na izazvano uzbuđenje, tj. u vrijeme pripreme i puštanja crpilišta u pogon, podaci o razinama podzemnih voda vrlo oskudni. U daljnjem radu crpilišta infiltracija je rasla, a veličina napajanja i postotak infiltriranih padalina rastao je s povećanjem crpnih količina i povećanjem ukupnih godišnjih padalina (slika 4), dok je visina mjesečne infiltracije ovisila o klimatskim uvjetima razmatranog i prethodnog razdoblja. Infiltracija padalina je u prve tri godine rada crpilišta iznosila 2 do 11%, a od četvrte do devete godine rada se kretala u relativno uskom rasponu od 14 do 15% srednjih godišnjih padalina, što bi značilo da je, uz prosječne godišnje padaline od oko 826 mm, prosječno godišnje obnavljanje iznosilo oko 120 mm. Na slikama rezultata kalibracije vidljivo je da su postignute dobre podudarnosti između mjerenih i računatih mirnih razina vode i u crpljenim i u opažanim



Sl. 4 Usporedni prikaz: 1) prosječnih godišnjih izdašnosti crpilišta, Q [l/s]; 2) prosječnih godišnjih padalina, P [mm]; 3) koeficijenta infiltracije I_w/P [%].

Fig. 4 A parallel review of: 1) the mean annual pumping rates of a pumping site, Q [l/s]; 2) the mean annual precipitation, P [mm], and 3) infiltration coefficient, I_w/P [%].

objektima uz navedenu infiltraciju.

U provedenom su postupku kalibracije identificirane slijedeće vrijednosti osnovnih hidrogeoloških parametara: K - ekvivalentna hidraulička vodljivost vodonosnika se kreće od 6 do 16 m/dan; S - koeficijent uskladištenja vodonosnika je usvojen u iznosu od 0.0015; k' - vertikalna hidraulička vodljivost pokrovnog polupropusnog sloja usvojena je u rasponu od 0.003 do 0.005 m/dan; n' - specifična izdašnost pokrovnog polupropusnog sloja procjenjena je u rasponu 0.03-0.09; I_w - efektivna infiltracija padalina općenito raste u prvim godinama rada crpilišta, što se može dovesti u vezu s opadanjem razine u polupropusnom pokrovnom sloju i posljedicom koju ona izaziva, vjerojatno prvenstveno u smislu smanjenja evapotranspiracije.

5. ZAKLJUČAK

Kod istraživanja zaliha podzemnih voda crpilišta Ravnik posebna je pozornost posvećena istraživanju procesa napajanja poluzatvorenog zahvaćenog vodonosnika u uvjetima relativno intenzivnog dugoročnog crpljenja. Napajanje podzemnih voda odvija se preko pokrovnog polupropusnog sloja izgrađenog od prašinastih i glinovitih taložina unutar kojih se pojavljuju proslojci i leće pijeska, prosječne debljine oko 30 m. Površinski sloj je zasićen podzemnom vodom koja nastaje infiltracijom padalina. Otjecanje podzemne vode iz ovog sloja uvjetovano je napajanjem vodonosnika i evapotranspiracijom.

Istražujući obnavljanje podzemne vode na modelu regionalnog toka, utvrđeno je da registrirano ponašanje razina podzemnih voda izražava pojavu obnavljanja koje se odvija infiltracijom padalina u pokrovne polupropusne naslage, koje pak predstavljaju izvorni sloj za zahvaćeni vodonosnik.

U ukupnom sustavu gospodarenja vodama, podzemne vode su jedan od osnovnih izvora vodoopskrbe. Stoga je u svakom trenutku nužno raspolagati s informacijama o njihovom stanju i zalihama, a to je jedino moguće stalnim praćenjem promjena razina vodâ pod utjecajem dugotrajnih crpljenja. Na primjeru crpilišta Ravnik je prikazano istraživanje procesa obnavljanja vodonosnika preko numeričkog modela poluzatvorenog vodonosnika. Uporabljeni numerički model vrlo je pogodan za prikazivanje ponašanja podzemnih voda u prirodi, ali je za to neophodno raspolagati sa što većim brojem opažačkih objekata. Pri tomu je nužno posvetiti veću pozornost ne samo opažanjima razina vode u vodonosniku, već i u pokrovnim naslagama preko kojih se odvija proces napajanja zahvaćenog vodonosnika.

6. LITERATURA

BEAR, J. (1979): Hydraulics of groundwater.- Mc-Graw Hill Inter. Book Comp., 567p., New York.

BRKIĆ, Ž. (1995): Zalihe podzemnih voda crpilišta Ravnik-Kutina.- Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu.

URUMOVIĆ, K., MILETIĆ, P., BLAŠKOVIĆ, V. & TURIĆ, G. (1973): Vodoopskrba Popovače i Volodera, hidrogeološki uvjeti.- Izvješće, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

URUMOVIĆ, K., GOLD, H. & ŠARIN, A. (1986): Studija eksploatacionog kapaciteta crpilišta Ravnik.- Izvješće, Inst.geol.istr., Zagreb.

URUMOVIĆ, K., BRKIĆ, Ž., ŠARIN, A. & GOLD, H. (1993): Eksploatacijski kapacitet crpilišta Ravnik. Konačno izvješće.- Inst.geol.istr., Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 16-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	137 - 142	ZAGREB 1995

Litostratigrafska raščlamba dolomitnih naslaga trijasa jugozapadnog Žumberka u okviru radova na Geološkoj karti Republike Hrvatske 1:50.000

Josip **BUKOVAC**, Tonći **GRGASOVIĆ**, Željka **GLOVACKI JERNEJ**, Georg **JERINIĆ**, Ivan **GALOVIĆ** & Božo **PRTOLJAN**

Key words: Geological map of the Republic of Croatia, Žumberak, Samoborska gora, Middle and Upper Triassic, Carbonate platform, Tidal flat, Peritidal, Formations, Members, Dolomites, Earlydiagenetic dolomitisation, Cyclic sedimentation

Abstract

Detailed lithostratigraphic surveillance of geological columns has been carried out on the areas of Žumberak and SW part of Samoborska gora. The columns included Middle and Upper Triassic dolomite deposits. On the basis of sedimentary-petrographic and biostratigraphic analysis, formations and members of unique sedimentary and environmental characteristics have been identified. Generally, entire complex was deposited in peritidal environment, under established carbonate platform sedimentary system. In the lower part of the complex is Ruškovlje formation represented by earlydiagenetic dolopelmicrites, dolointramicrites and dolostromatolitic laminae. Besides them, Ruškovlje formation consists of clastics of Anisian and Ladinian age. Clastic deposits, which are here present in two levels, are separated as Berdiki and Kolići members. Overlying is Slapnica formation consisting of alternating thin-bedded earlydiagenetic dolomicrites, fenestral dolomicrites and dolostromatolites. Two members have been separated within this formation. In the lower part is Vranjak member characterised by the input of clays. In the upper part are dolomites of Drenovac member rich in organic matter and with an appearance of coal. Topmost of the succession is Glavni dolomit (Main dolomite) formation characterised by irregular alternation of thick-sequences of earlydiagenetic dolomicrites, fenestral dolomicrites and thin-laminated dolomitized stromatolites. Near the top of this formation, dolomite breccias with slumps have been separated as Gmajna member.

UVOD

U okviru geoloških istraživanja na izradi Geološke karte Republike Hrvatske 1:50.000 programirana su i detaljna litostratigrafska snimanja otvorenih profila na prostoru Žumberka i Samoborske gore s ciljem identificiranja prisutnih litostratigrafskih jedinica. Zahvaljujući izrazitom reljefu Žumberak se odlikuje relativno dobro otvorenim profilima naslaga, posebno u predjelu Kostanjevca i kanjona rječice Slapnice, što je olakšalo snimanje detaljnih litostratigrafskih stupova, dok je složena tektonska građa znatno otežala njihovu međusobnu korelaciju.

U ovom je radu prvi puta prikazana litostratigrafska raščlamba naslaga trijasa u području Dinarida, te je biostratigrafski dokumentirana starost pojedinih formacija i članova.

Osim autora ovog rada u procesu istraživanja sudjelovali su i drugi. Ugodna nam je dužnost zahvaliti Ivi VELIĆU na iscrpnom izvješću o odredbi trijaske mikrofaune, a Kreši SAKAČU na izvješću o obradi ladiničke cefalopodne faune. Ujedno zahvaljujemo na stručnoj i znanstvenoj pomoći pri snimanju litostratigrafskih stupova i interpretaciji Branku SOKAČU, Josipu TIŠLJARU, Josipu HALAMIĆU i Damiru SLOVENCU.

PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1894) izlaže rezultate svojih istraživanja geološke građe i strukturnih odnosa Samoborske i Žumberačke gore.

U elaboratima pohranjenim u fondu dokumenata Instituta za geološka istraživanja CABAS & PENIĆ (1924), te PASKIEVIĆ et al. (1941) izvješćuju o istraživanjima pojava ugljena u "vapneno dolomitičnim škriljavcima" trijaske starosti, odnosno o škriljavcima bogatim organskom tvari u području potoka Drenovac, te sela Žumberka i Grgetića sjeverozapadno od Krašića.

HERAK (1966, 1968) i HERAK et al. (1965) objavljuju nove paleontološke podatke o osnovnim stratigrafskim jedinicama Žumberka.

O problematici neotektonskih zbivanja u sjevernom dijelu Žumberka piše PRELOGOVIĆ (1970). ŠIKIĆ & BASCH (1975) daju iscrpan prikaz geologije ovog i šireg prostora. U razmatranju tektogeneze utvrđuju navlačenje dolomita gornjeg trijasa, s naslagama jure i krede u krovini, na Žumberački autohton.

Kompleksnim geološkim istraživanjima provedenim tijekom izrade Osnovne geološke karte 1:100.000 na listovima Zagreb (ŠIKIĆ et al., 1979) i Novo Mesto (PLENIČAR et al., 1976) zahvaćeno je i područje Žumberka, dajući prvi cjeloviti prikaz razvoja kronos-

Institute of Geology, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia.

tratigrafskih jedinica i njihovih strukturnih odnosa. HERAK (1986), u svom radu o konceptu geotektonike Dinarida, kontakt geotektonskog pojasa karbonatne platforme - Dinarika i eudinamskog bazenskog prostora - Supradinarika locira u prostor južnog Žumberka. BUKOVAC (1988), na osnovi razvoja litostratigrafskog kompleksa u kontaktnoj zoni ova dva geotektonska pojasa u prostoru južnog Žumberka i Pokuplja (Karlovac), izdvaja genetske cjeline - tektonske jedinice, kao dijelove pojasa Dinarika i Supradinarika. HERAK & BUKOVAC (1988) u analizi odnosa Vivodinskog fliša i dolomita trijasa koji ih okružuju u području Duralija - jugozapadni Žumberak, utvrđuju da naslage fliša predstavljaju tektonsko okno, dio pojasa Dinarika ispod navučenog kompleksa Supradinarika. BUKOVAC & SOKAČ (1989) utvrđuju navlačni odnos naslaga gornjeg trijasa, donjeg i srednjeg lijasa i berijasa prema flišu gornje krede, na sjevernim padinama Žumberačke gore (Gorjanci).

OPIS LITOSTRATIGRAFSKIH JEDINICA

Unutar naslaga srednjeg i gornjeg trijasa izdvojene su litostratigrafske jedinice zasebnih taložno-okolišnih karakteristika, koje su i biostratigrafski dokumentirane (sl. 1). Ove naslage predstavljene su uglavnom ranodijagenetskim dolomitima. Primarni ranodijagenetski dolomiti često su naknadno rekristalizirani, pa su tu nazočni kristalinični (tzv. šećerasti) dolomiti, prividno u potpunosti neuslojeni. Ova rekristalizacija primarnih ranodijagenetskih dolomita vezana je uz tektonske zone i javlja se u svim formacijama, a naročito ispod i iznad Kolići člana. Kod ovih kristaliničnih dolomita je često prisutan i proces dedolomitizacije, što je lijepo uočljivo u kamenolomu na ulazu u kanjon Slapnice.

RUŠKOVLJE FORMACIJA (Rd/T_2)

Sedimentni stup formacije Ruškovlje karakterizira izmjena slojeva ranodijagenetski dolomitiziranih stromatolita, dolopelmikrita i fenestralnih dolopelmikrita. Skeletne čestice su malobrojne, uglavnom predstavljene fragmentima školjkaša, rjeđe foraminiferama i fragmentima skeleta modrozelenih algi. Stromatolite tvore milimetarske lamine, nepravilno valovite. Ovakav slijed naslaga ukazuje da se i taloženje odvijalo u plitkom okolišu peritajdala, uz povremene oscilacije morske razine. Bazu Ruškovlje formacije označavaju dolomitne konglomeratične breče.

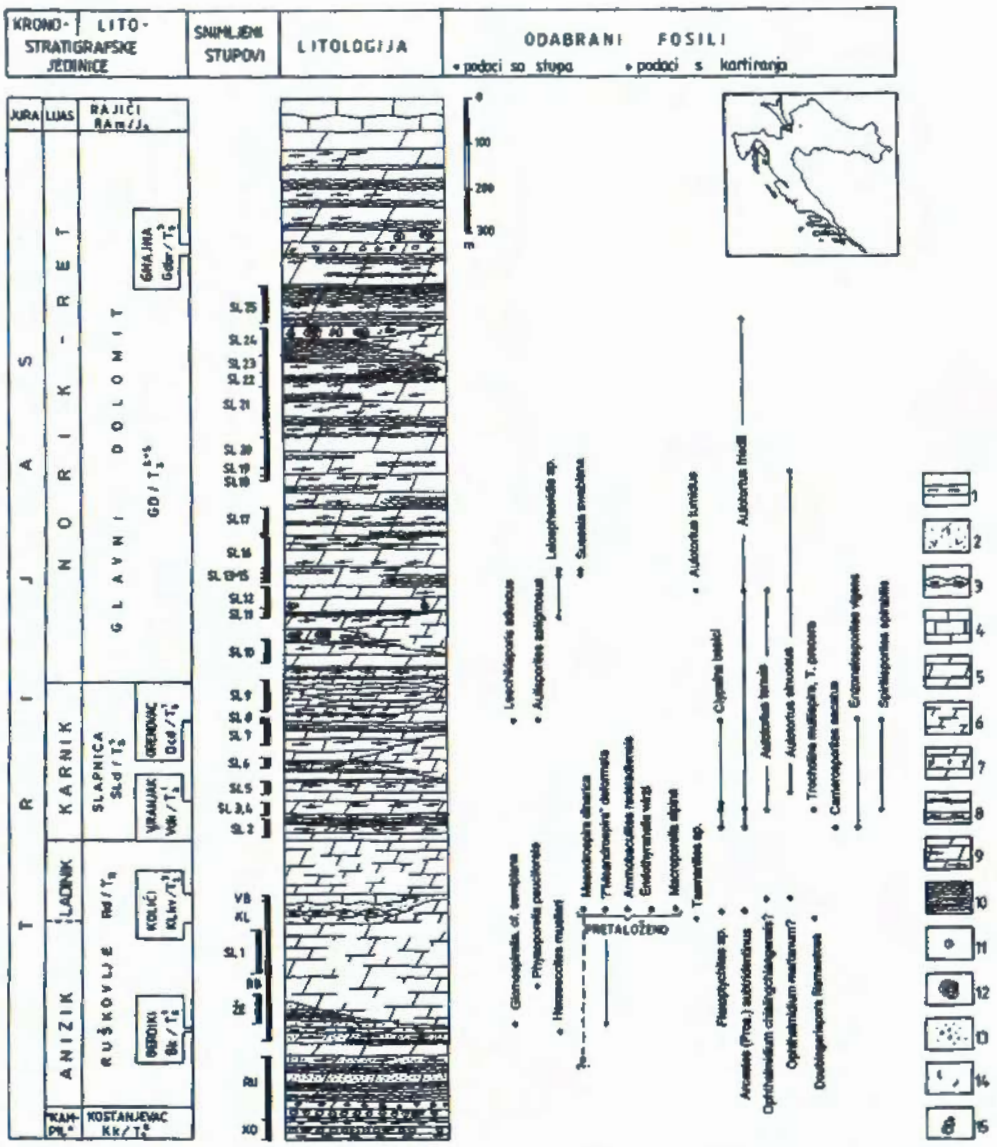
U okviru formacije Ruškovlje izdvojena su i dva litostratigrafska člana predstavljena klastitima. U donjem dijelu formacije (Stup Begovo Brdo) izdvojen je Berdiki član (Bk/T_2^1), kojega čine uglavnom crveni pjeskoviti lapori, a ukupna debljina mu iznosi od 0,5 do 8 m. U gornjem dijelu formacije izdvojen je Kolići član ($KLkm/T_2^2$), koji je izgrađen od naslaga siltita, lapora, piroklastita i rožnjaka, te u vršnom dijelu slijeda naslaga od silicificiranih vapnenaca i pločastih sivih vapnenaca tipa madstona s pojavama rožnjaka. Debljina klastitne serije iznosi od 5 m pa do 42 m, a pločastih madstona od 0 m do maksimalno 23 m.

Vrijeme taloženja Berdiki i Kolići članova predstavlja privremeni prekid karbonatno-platformskog taložnog sustava. Formiranje riftnih struktura (PAMIĆ, 1982), praćenih diferencijalnim gibanjem pojedinih blokova, uzrokuje stvaranje manjih produbljenih bazenskih prostora uz slabiju ili jaču vulkansku aktivnost, pa se tu talože piroklastiti, rožnjaci i peliti, a u gornjem dijelu madstoni s pojavama rožnjaka kao rezultat smirivanja dna sedimentacijskog prostora i ponovnog uspostavljanja platformskog režima. Na uzdignutijim dijelovima nastavlja se karbonatna sedimentacija, odnosno nastupa emerzijska faza uz redepoziciju. Egzaktno utvrđivanje odnosa u podini i krovini Kolići člana nije moglo biti istraženo na stupovima uslijed intenzivne tektonizacije na kontaktima.

U uzorcima s litostratigrafskih stupova Ruškovlje i Begovo Brdo, koji zahvaćaju donji i srednji dio formacije Ruškovlje, utvrđeni su presjeci foraminifera *Glomospira* sp., *Glomospirella* cf. *semiplana*, *Glomospirella* sp., *?"Meandrospira" deformata*, *M. dinarica*? i *?Pilammina densa*, uz duostominide, fischerinide i nodosariide, te problematični fosil *Earlandia tintinniformis*. Na osnovi ovih nalaza može se utvrditi da je ovaj dio naslaga Ruškovlje formacije anizičke starosti. Tijekom kartiranja nađena je anizička alga *Physoporella pauciforata*. Na snimljenom litostratigrafskom stupu Kolići, koji superponira stupu Begovo Brdo, u vapnenim fragmentima koji su redeponirani s eroziji izloženih dijelova tog sedimentacijskog prostora, utvrđena je pretaložena mikrofosilna zajednica anizika: alge *Macroporella alpina* i *Thaumatoporella parvovesiculifera*, te foraminifere *Meandrospira dinarica*, *"Meandrospira" deformata*, *Ammobaculites radstadtensis* i *Endothyranella wirzi*.

Naslage Kolića člana, međutim, na osnovi brojnih nalaza cefalopoda u madstonima, odnosno madstonima s rožnjacima, nedvojbeno kronostratigrafski pripadaju ladiniku. Kako na stupu Kolići (KL), tako i na stupu Vlašić Brdo (VB), utvrđena je cefalopodna zajednica: *Arcestes* (*Proarcestes*) *subtridentinus*, *A.* (*P.*) *esinensis*, *Monophyllites* cf., *sphaerophyllus*, *M.* cf. *wengensis*, *Flexopthychites flexuosus*, *Gymmites* cf. *incultus*, *G. bosnensis nodosus*, *Trachyceras* (*Protrachyceras*) cf. *arhaelans*, *T.* (*P.*) *dorae* (SAKAČ, 1994). Ova zajednica se podudara s poznatom ladinićkom amonitskom faunom Gregurić brijega kraj Samobora (SALOPEK, 1912). Uz navedene cefalopode masovno se javljaju "filamenti", tj. fragmenti ljušturica pelagičkih školjkaša, te radiolarije, a u vapnencima kalcisfere i foraminifere *Ophthalmidium martanum*?, *O. chialingchiangensis* i *Ophthalmidium* sp.

Sprovedena palinostratigrafska interpretacija iz uzoraka Berdiki člana ukazuje na nazočnost anizičke zajednice sporomorfa: *Hexasaccites muelleri*, *Gutattisporites* sp., *Punctatisporites* sp. i *Calamaspora* sp. (VISSCH-



Sl. 1 Pregledni litostratigrafski stup dolomitnih naslaga trijasa jugozapadnog Žumberka. Tipovi stijene: 1) lapor; 2) piroklastiti; 3) rožnjak; 4) vapnenac; 5) dolomikrit; 6) rekristalizirani "šećerasti" dolomit; 7) dolomitna breča; 8) laminirani crni dolomikrit bogat organskom tvari, glina; 9) fenestralni dolomikrit; 10) dolomitni stromatolit. Čestice: 11) ooidi; 12) onkoidi; 13) peloidi i intraklasti; 14) bioklasti općenito; 15) gastropodi.

ER & BRUGMAN, 1981), a palinofacijes ukazuje na proksimalne dijelove bazena anoksične sredine taloženja. Identična istraživanja sprovedena u naslagama klastita Kolića člana utvrdila su nazočnost ladiničke zajednice sporomorfa: *Doubingenrispora filamentosa*, *Leiosphaeridia* sp., *Tasmanites* sp., *Veryhachium* sp. (VISSCHER & BRUGMAN, 1981). Palinofacijes ukazuje na distalniju sredinu s elementima pretaložavanja i utjecajem pelagijala, a sredina taloženja je disoksična.

Debljina naslaga Ruškovlje formacije kontrolirana je većim dijelom snimljenim detaljnim stupovima, no zbog djelomične pokrivenosti terena i nemogućnosti točnog mjerenja vršena je i djelomična aproksimacija, kontrolirana profilima u okviru geološke karte. Tako dobivena ukupna debljina Ruškovlje formacije iznosi oko 590 m.

SLAPNICA FORMACIJA (SLd/T_3^1)

U neposrednom kontaktu s rekristaliziranim, krupnokristaliničnim dolomitima iz vršnog dijela Ruškovlje formacije, superponirajući njima, slijedi serija ranodijagenetskih dolomita predstavljena učestalim više ili manje pravilnim ritmovima dolomikrita, fenestralnih dolomikrita i dolomitnih stromatolita debljine od 20 cm, pa u prosjeku do 65 cm. Najdeblji ritmovi, koji se povremeno javljaju, dosežu do 250 cm. Dolomikritni član ritma čini oko 70% ukupne debljine ritma. Naslage su taložene u peritajdalnom okolišu uz smjenjivanje okolišnih uvjeta od subtajdala i intertajdala do supratajdala. Svaki ritam u sukcesiji ima tendenciju oplićavanja prema gore. U dva navrata je utvrđena i pojava peritajdalnih dolomitnih breča, vezanih uz plimske kanale metarskih dimenzija.

U fenestralnim dolomikritima nalazimo ponegdje ostatke školjkaša-megalodontida, foraminifera, i to najčešće involutinida, te fragmente dazikladalnih alga, uz pelete i sitne intraklaste.

U okviru Slapnica formacije izdvojena su dva litostratigrafska člana: u donjem dijelu izdvojen je Vranjak član, a u gornjem dijelu Drenovac član.

Vranjak član (Vdk/T_3^1)

Povremeno se unutar ranije opisanog ritma javljaju proslojci žutozelenih glina milimetarske do centimetarske debljine. Najdeblji glinoviti sloj od 50 cm utvrđen je na stupu Slapnica 3. Organski ostatak većine analiziranih uzoraka proslojaka gline pokazuje procese sekundarne oksidacije uslijed tektonske deformacije proslojaka. Skroman organski ostatak ipak ukazuje na primarno suboksične uvjete taloženja u proksimalnim facijesima s dominantno terestričkim elementima, što povrđuje relativno dobro očuvan organski ostatak jednog uzorka iz stupa SL-3. Ovi su unosi glinovitih proslojaka vezani uz opća regionalna zbivanja na karbonatnoj platformi početkom gornjeg trijasa, koja se očituju dijelom ubrzanijim spuštanjem segmenata platforme i na pojedinim mjestima taloženjem klastita, zvanih rabeljskim naslagama, odnosno uzdizanjem blokova s regionalno-erozijskom fazom.

Drenovac član (Dcd/T_3^1)

U vršnom dijelu Slapnica formacije izdvojen je Drenovac član, koji se odlikuje prisustvom slojeva dolomikrita bogatih organskom supstancijom, pa su to "crni dolomiti". Uz taj član vezane su i pojave tankih proslojaka organogenog sedimenta kojeg možemo klasificirati kao ugljen vrlo dobre kvalitete, zbog toga što ima relativno visok udio amorfnog liptinita bogatog lipidima, koji mu povećavaju kaloričnu vrijednost. Udio mineralne komponente tih organogenih sedimenata je vrlo mali, najviše do 10%. Te su pojave u prošlosti i istraživane, te postoje potkopi u obalama kanjona Drenovac potoka gdje se pokušavalo kopati ugljen. Međutim, to su samo tanki, prostorno ograničeni proslojci u seriji dolomita. Debljina ugljenog sloja u Drenovac potoku iznosi 100 cm, dok je na stupu Slapnica 9 u kanjonu Slapnice maksimalno debeo 3 cm. Taložni sustav u vrijeme te epizode odgovara laguni izrazito anoksičnih uvjeta, gdje je taložena organska tvar akvatičnog podrijetla, te snažnim procesima anaerobne biodegradacije pretvarana u amorfni liptinit. Postupnim zapunjavanjem lagune i širenjem vegetacije i u lagunu raste udio lignohuminske komponente, što predstavlja glavnu fazu formiranja ugljenog sloja. Potom slijedi preplavljivanje i ponovno uspostava intertajdalnog, anoksičnog režima taloženja s dolomikritima. Izvanredno bogati organski ostatak osobito onih dolomikrita koji se nalaze u neposrednoj podini ugljenog sloja, izgrađen je od amorfnog liptinita (tip kerogena II) i u znatno manjoj mjeri od lignohuminskog materijala (tip kerogena III). Takvi dolomikriti predstavljaju matičnu stijenu koja bi u povoljnim strukturnim i termičkim uvjetima bila sposobna generirati naftu i vlažni plin (TISSOT & WELTE, 1984).

U fenestralnim dolomikritima Slapnica formacije ponekad nalazimo okrugle ili elipsaste šupljine koje predstavljaju kalupne šupljine involutinidnih foraminifera, karakterističnog vretenastog oblika. Vrlo rijetko se mogu uočiti sačuvani tragovi unutarnje građe. U stupovima Slapnica 2, 3 i 5 utvrđeno je prisustvo vrsta *Aulotortus friedli*, *A. sinuosus* i *A. tenuis*. Uz njih dolaze i *Trocholina procera* i *T. multispira*, kao vrste tipične za razdoblje karnika. Karnička starost ovih naslaga sigurno je dokumentirana i nalazom alge *Clypeina besici* u stupovima SL 2, 3, 4 i 8. Uz nju dolaze još i problematične alge *Thaumatoporella* sp., *Tubiphytes obscurus* i *Bacinella irregularis*. Analizom palinomorfa u stupovima SL 3, 8 i 9 utvrđeno je prisustvo sporomorfa: *Spiritisporites spirabilis*, *Leschikisporites aduncus*, *Enzonalasporites vigens*, *Camerosporites secatus*, *Aulisporites canalis*, *A. astigmosus*, uz fitoplankton: *Leiosphaeridia nidusiforma*, *Hyalinsphaeridia hyalina*. Prisustvo navedenih palinomorfa nedvojbeno ukazuje na karničku starost istraživanih naslaga (VISSCHER & BRUGMAN, 1981).

Na osnovi mjerenih debljina snimljenih stupova, kao i procjene profila s obzirom na pokrivene dijelove nedostupne mjerenju, ukupna debljina Slapnica formacije procijenjena je na oko 360 m. Od toga na Vranjak član otpada oko 90 m, te Drenovac član također oko 90 m, s tim da debljine prostorno variraju.

GLAVNI DOLOMIT FORMACIJA (GDd/T_3^{2+3})

U normalnoj sukcesiji na naslagama Slapnica formacije, odnosno na Drenovac članu, slijede naslage ranodijagenetskih dolomita imenovanih Glavni dolomit formacija. Osnovno obilježje taložnog režima ove formacije je konačna stabilizacija karbonatne platforme za duže razdoblje. Predstavljena je nepravilnom vertikalnom i bočnom izmjenom triju strukturnih tipova ranodijagenetskih dolomita: dolomikrita, fenestralnih dolomikrita i dolomitnih stromatolita. Dolomikriti su najčešće bez alokema, takozvani "mrtvi mikriti". U fenestralnim dolomikritima nalazimo neskeletne čestice - pelete, sitne intraklaste i koprolite, a katkad dolaze malobrojne skeletne čestice - ostrakodi, foraminifere, alge i puževi. Fenestre su izdužene i paralelne slojevitosti, a često i geopetalno ispunjene. Mnoge pokazuju naknadno otapanje. Stromatoliti imaju karakteristike koje ih razlikuju od onih u drugim foramacijama. Njihova laminacija je vrlo tanka i naglašeno valovita, a stromatolitni intervali su izrazito tamnije boje od ostalih litoloških tipova. Osim toga, u mikroskopskim preparatima se vidi da stromatoliti nisu izgrađeni samo od aglutiniranih čestica koje su se hvatale na cijanobakterijske pokrove kao kod formacije Ruškovlje i Slapnica ("aglutinirani stromatoliti" prema RIDING, 1991). Uz sedimenne čestice prisutni su i skeleti cijanobakterija u obliku mikritnih cjevčica ("skeletni stromatoliti" prema RIDING, 1991). Ponekad se stromatolitne lamine smjenjuju s laminama fenestralnih dolomikrita, pa je taj strukturni dio stijene nazvan fenestralni stromatolit. Naslage su masivne građe, a slojne plohe su skoro isključivo stilolitske.

Okoliš u kojem su formirane ove naslage odgovara plimskoj ravnici - peritajdalu, sa smjenjivanjem taložnih sredina plićeg subtajdala niske energije vodene

sredine, intertajdala i supratajdala, no nisu nađeni tragovi vadozne dijageneze. Utvrđena je povremena pojava tempestitskih breča s fragmentima dolomikrita, fenestralnih dolomikrita i pokidanih lamina stromatolita u dolomikritskoj osnovi, a povremeno i tankih leća s onkoidima. Jedno od osnovnih obilježja ove formacije jest dugotrajnije održavanje istih okolišnih uvjeta taloženja, tako da pojedini članovi tog ciklusa dosežu i do 40 m debljine.

U gornjem dijelu ove formacije izdvojen je Gmajna litostratigrafski član, koji predstavlja naslage intraformacijskih breča maksimalne debljine cca 20-30 m. Breče su komponirane od većih fragmenata dolomikrita, fenestralnih dolomikrita i stromatolita u dolomikritnoj osnovi. Utvrđeno je i prisustvo slampova kao rezultat početka promjena u sedimentacijskom prostoru koncem gornjeg trijasa. U dijelu naslaga iznad Gmajna člana povećan je udio dolomikrita, a smanjen udio stromatolita, što ukazuje na izvjesno produbljavanje sedimentacijskog prostora. Ovaj dio Glavnog dolomita nije još obuhvaćen detaljnim litostratigrafskim stupovima, već samo geološkim profilima.

Kronostratigrafska pozicija formacije Glavni dolomit je dobro dokumentirana nalazima zajednice involutinida-aulotortina provodne za norik i ret: *Aulotortus sinuosus*, *A. friedli*, *A. tenuis*, *A. tumidus* i *Semiinvoluta clari*, uz relativno česte trohaminide. Osim njih javljaju se i presjeci za sada još nedeterminiranih dazikladalnih algi. Analiza palinoflore upućuje na kronostratigrafsku poziciju ovih naslaga u rasponu norik-ret, osobito nalaz dinociste *Suessia swabiana* koja jasno markira starost gornji norik - ret (Stup SL 15) (WILLIAMS et al., 1993). Uz ovu formu prisutne su još i *Leiosphaeridia* sp., *Cymatiosphaera* sp. i *Dapcodinium* sp. Analiza relativno bogatog organskog ostatka u stromatolitima ukazuje da je prisutan tip kerogena II-S, te da odnosne naslage predstavljaju matične stijene solidnog potencijala generiranja nafte koja sadrži izvjesnu količinu sumpora (TISSOT & WELTE, 1984). Obzirom na ukupnu debljinu stromatolita, koji čine oko 10% ukupne debljine ove formacije, može se govoriti o značajnoj količini akumuliranog kerogena tipa II-S u naslagama Glavnog dolomita. Nastanak amorfnog liptinita, odnosno kerogena tipa II-S i njegovo očuvanje od procesa oksidacije unutar lamina stromatolita se objašnjava tako da svaka nova prevlaka cijanobakterija blokira oksidaciju cijanobakterijske organske mase u sloju ispod i na taj način pokreće procese anaerobne biodegradacije i stvaranje amorfnog liptinita. U uvjetima taloženja na karbonatnoj platformi nema donosa teških iona (primjerice Fe), pa se oslobođeni sumpor, koji je nastao anaerobnom biodegradacijom cijanobakterijske organske mase direktno ugradivao u kerogen, odnosno amorfni liptinit.

Na temelju snimljenih debljina naslaga formacije Glavni dolomit (868 m), kao i procjene na geološkom profilu do kontakta s vapnencima donjeg lijasa, ukupna debljina ove formacije mogla bi iznositi oko 1210 m.

ZAKLJUČAK

U okviru geoloških istraživanja na izradi formacijske geološke karte Republike Hrvatske 1:50.000, snimani su detaljni litostratigrafski stupovi kroz naslage dolomita trijasa u području Žumberka i jugozapadnog dijela Samoborske gore. Izvršena je preliminarna raščlamba i izdvajanje formacija s pripadnim članovima kao dijelovima tog sedimentnog sustava koji imaju neke zasebne značajke u okvirima taložnih okoliša. Osim toga detaljno je dokumentirana starost pojedinih litostratigrafskih jedinica pomoću raznovrsnih fosilnih skupina foraminifera, algi, amonita, polena, spora i dinocista. U odnosu na geološku kartu 1:100.000 to je novi doprinos ukupnom znanju o geologiji ovog prostora.

U donjem dijelu identificirana je Ruškovlje formacija sa Berdiki i Kolići članovima. Ruškovlje formaciju predstavljaju ranodijagenetski dolomiti taloženi u okolišu peritajdala uz povremene oscilacije morske razine. Berdiki član u donjem i Kolići član u gornjem dijelu slijeda naslaga predstavljaju privremene prekide karbonatno-platformskog taložnog sustava, uz formiranje riftnih struktura, diferencijalno gibanje blokova i vulkansku aktivnost, što je uzrokovalo taloženje klastita i piroklastita, te konačno pločastih vapnenaca s rožnjacima u gornjem dijelu Kolići člana. Analiza prisutne fosilne flore i faune kao i palinomorfa ukazuje da naslage Ruškovlje formacije kronostratigrafski pripadaju razdoblju anizika i ladinika. Berdiki član se javlja u vrijeme anizika, a Kolići član početkom ladinika. Debljina ove formacije iznosi oko 590 m.

U neposrednom kontaktu s rekristaliziranim krupnokristaliničnim dolomitima iz vršnog dijela Ruškovlje formacije je kompleks ranodijagenetskih dolomita. U donjem dijelu ove serije izdvojena je Slapnica formacija koja se odlikuje smjenjivanjem više manje pravilnih ritmova debljine od 20-65 cm sastavljenih od dolomikrita, fenestralnih dolomikrita i dolomitnih stromatolita. Naslage su taložene u okolišu peritajdala, uz smjenjivanje okolišnih uvjeta od subtajdala, intertajdala do supratajdala, s tendencijom oplićavanja prema vršnom dijelu ritma. U okviru ove formacije identificirana su i dva litostratigrafska člana. U donjem dijelu je to Vranjak član, kojega karakterizira unos glinovite komponente u sedimentacijski prostor, tako da su ritmovi prekidani slojem žutozelene gline. U gornjem dijelu formacije izdvojen je Drenovac član, u kojem se u slijedu opisanih ritmova javljaju i crni dolomikriti bogati organskom tvari, te tanki proslojci ugljena s visokim udjelom amorfnog liptinita. Oni su rezultat formiranja laguna izrazito anoksičnih uvjeta, gdje je nataložena organska tvar podvrgnuta procesima anaerobne biodegradacije. Biostratigrafska analiza prisutnog fosilnog sadržaja nedvojbeno je ukazala da su naslage Slapnica formacije karničke starosti. Debljina formacije iznosi oko 360 m, a svakog pojedinog člana oko 90 m.

Slijedi Glavni dolomit formacija koja se odlikuje nepravilnom bočnom i vertikalnom izmjenom ritmova

ranodijagenetskih dolomikrita, fenestralnih dolomikrita i dolomitnih stromatolita, gdje pojedini članovi dosežu i do 40 m debljine. Naslage su formirane u okolišu plimske ravnice - peritajdala. Osnovno obilježje formacije je dugotrajnija stabilizacija karbonatno-platformske sedimentacijske sredine. Početak promjena u sedimentacijskom bazenu pri vrhu ove formacije označavaju breče izdvojene kao Gmajna član, gdje su prisutne i slamp strukture. Provedenom biostratigrafskom analizom utvrđeno je da je ova formacija taložena tijekom norika i reta. Debljina formacije iznosi oko 1.210 m, a Gmajna člana oko 20-30 m.

Ukupna debljina naslaga formacije Ruškovlje, Slapnica i Glavnog dolomita procijenjena je na oko 2.460 m.

Općenito se može reći da su taložno-okolišne prilike kroz razdoblje srednjeg i gornjeg trijasa, u kojem su taložene opisane naslage, bile gotovo ujednačene u okviru karbonatno-platformskih uvjeta, uz varijacije u vremenu i prostoru, te povremene prekide, kada je dolazilo do intenzivnijih strukturnih deformacija. Generalno se može zaključiti da je prisutna tendencija stabilizacije sedimentacijskog prostora prema kraju trijasa, tako da je formacija Glavni dolomit, koja čini gotovo polovicu debljine čitavog dolomitnog kompleksa, taložena na potpuno stabiliziranoj karbonatnoj platformi. Klima je kroz gotovo čitavo razdoblje bila vruća i suha, s jakom evaporizacijom, što je i dovelo do ranodijagenetske dolomitizacije.

LITERATURA:

BUKOVAC, J. (1988): Tectonics of the contact zone of the Dinaricum and Supradinaricum in the area of Krnjak-Barilović-Karlovac (Croatia). (Tektonski odnosi u kontaktnoj zoni Dinarika i Supradinarika u području Krnjak-Barilović-Karlovac (Hrvatska).- Acta geologica, 1, 1-12, Zagreb.

BUKOVAC, J. & SOKAČ, B. (1989): O gornjotrijaskim i donjolijaskim vapnencima sjeverne padine Gorjanaca, južno od Kostanjevice (JZ Slovenija) i njihovom značenju za tumačenje geotektonskih odnosa u širem prostoru. (Upper Triassic - Lower Liassic limestones on the northern slopes of Mt. Gorjanci and south of Kostanjevica (Southeast Slovenia) and their significance for the geotectonics of the larger area).- Geol. vjesnik, 42, 7-13, Zagreb.

CABAS, A. & PENIĆ, A. (1924): Izvještaj o istražnim radovima na ugljeniku u Žumberku.- Fond struč. dok. IGI, 4199, Zagreb.

GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1894): Geologija gore Samoborske i Žumberka (Geologie des Samoborer und Žumberak gebirge).- Rad JAZU, 120, 1-82, Zagreb.

HERAK, M. (1966): Geološko istraživanje krša Žumberka.- Ljetopis JAZU, 71, 263-265, Zagreb.

HERAK, M. (1968): Noviji rezultati istraživanja osnovnih stratigrafskih jedinica u Žumberku (Neu Ergebnisse der Untersuchungen von Stratigraphischen haupteinheiten in Žumberak (W Kroatien)).- Geol. vjesnik, 21, 111-116, Zagreb.

HERAK, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides (Nova koncepcija geotektonike Dinarida).- Acta geologica, 16/1, 1-42, Zagreb.

HERAK, M., MAJCEN, Ž. & KOROLIJA, B. (1965). Prilog paleontološkoj dokumentaciji mezozoika u Samoborskom gorju i SJ Žumberku (Beitrag zur paläontologischen dokumentation des Mezozoikums im Samoborer gebirge und dem NE-Žumberak).- Geol. vjesnik, 18/2, 325-332, Zagreb.

HERAK, M. & BUKOVAC, J. (1988): Tektonsko okno Duralije (The tectonic window of Duralije in Žumberak).- Geol. vjesnik, 41, 231-236, Zagreb.

PAMIĆ, J. (1982): Trijaski magmatizam Dinarida (Triassic magmatism of the Dinarides).- Nafta, 236 str., Zagreb.

PASKIEVIĆ, K., ŠUKLJE, F. & TOLIĆ, Lj. (1941): Pojave ugljena u trijasu Žumberka.- Fond struč. dok. IGI, 101, Zagreb.

PLENIČAR, M., PREMRU, U. & HERAK, M. (1976): Osnovna geološka karta 1:100.000, list Novo Mesto.- Geol. zavod Ljubljana, Sav. geol. zav. Beograd.

PLENIČAR, M. & PREMRU, U. (1977): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Novo Mesto.- Geol. zavod Ljubljana, Sav. geol. zav. Beograd, 61 str.

PRELOGOVIĆ, E. (1970): Neotektonska kretanja u području između Orlice, Samoborske gore i Medvednice.- Geol. vjesnik, 23, 151-161, Zagreb.

RIDING, R. (1991): Classification of Microbial Carbonates.- In: RIDING, R. (ed.): Calcareous Algae and Stromatolites. Springer Verlag, 21-51, Berlin.

SAKAČ, K. (1994): Srednjotrijaski cefalopodi Žumberka.- Vijesti Hrv. geol. druš., 31/2, 41-42, Zagreb.

SALOPEK, M. (1936): O cefalopodnim vapnencima Gregurić brijega u Samoborskoj gori.- Prir. istraž. JAZU, 20, 201-228, Zagreb.

ŠIKIĆ, K. & BASCH, O. (1975): Geološka zbivanja od paleozoika do kvartara u zapadnom dijelu zagrebačke regije (Geological events from Paleozoic to Quaternary in the western part of Zagreb area).- Zbornik II. skupa ZSN-JAZU, 69-84, Zagreb.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1977): Osnovna geološka karta 1:100.000, list Zagreb.- Institut za geol. istraž. Zagreb, Sav. geol. zav. Beograd.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1979): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Zagreb.- Institut za geol. istraž., Zagreb, Sav. geol. zav. Beograd, 81 str.

TISSOT, B.P. & WELTE, D.H. (1984): Petroleum formation and occurrence.- Springer verlag, 699 str., Berlin.

VISSCHER, H. & BRUGMAN, W.A. (1981): Ranges of selected palynomorphs in the Alpine Triassic of Europe.- Rev. Palaeobot. Palynol., 34/1, 115-129, Amsterdam.

WILLIAMS, G.L., STOVER, L.E. & KIDSON, E.J. (1993): Morphology and Stratigraphic Ranges of selected Mesozoic-Cenozoic Dinoflagellate Taxa in the Northern Hemisphere.- Geological Survey of Canada, 92/10, 1-137, Calgary.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	143 - 146	ZAGREB 1995

Integrated Geological Mapping of South-Transdanubia, Hungary

Géza **CHIKAN**, Mária **CHIKAN-JEDLOVSZKY**, András **KOKAI**, László **KOLOSZAR**, István **MARSI** & Péter **PAPP**

Key words: Integrated geological mapping, South-Transdanubia, Hydrogeology, Engineering geology, Environment protection

Abstract

Geological mapping in Hungary started in the middle of the last century. In the seventies environmental aspects have come into prominence in geological mapping, and we started to make new, integrated geological map-series. This series includes geological, hydrogeological, agrogeological, engineering geological and environmental geological maps too. In 1989 we started to make this new geological map-series about the southern part of Transdanubia, in Somogy and Baranya counties. The editing of maps is going on with the help of PC, using the Intergraph Microstation programs. The mapping of South-Transdanubia is going on in a scale of 100.000 on the hilly and plain area, and in a scale of 25.000 on the montaneous area. We hope that the first map-sheets would become complete this year.

INTRODUCTION

Regular geological mapping in Hungary started in the last century. As a result, detailed geological survey was made of a big part of the country. Slight attention has been paid to the mapping of flat and hilly areas until the last decades, as exploitable mineral resources were improbable to find in this areas.

This attitude was changed some decades ago. The scientists recognized that soil and water are also as important natural resources as minerals. Since then more attention has been paid to the research of the - till that point - less examined areas. Thus first the mapping of the Great Hungarian Plain in a 1:100,000 scale, later the mapping of the Little Hungarian Plain in a 1:100,000 scale started. During the work, the scientists of the Geological Institute gained experiences in the mapping of areas covered by unconsolidated Quaternary deposits. In 1989 we started the integrated geological mapping of the area between Lake Balaton and the Southern border based on these experiences. Mapping in cross-sections was carried on in this area only in the last century.

There is a need for comprehensive geological substence of knowledge - based on a unified data base to satisfy updated demand - in the research area, to be able to solve the problem of long-rage regional planning, research of exploitable material, water- and energy supply, waste depositing and investigation of soil. Therefore we decided the mapping of flat and hilly parts of the area in a 1:100,000 scale and the highland parts (Mecsek crystalline substratum, Villányi-mountain) mapped not in details until now - of the area in a 1:25,000 scale. Based on experiences gained on the Little Hungarian Plain, mapping must be complemented by research of middle depth which is supported partly by drillings, partly by geophysical survey, because this domain of depth is almost absolutely unknown: it is not deep enough for hydrocarbon-research and too deep for water and building material-research.

FORMER INVESTIGATIONS

During the research we are planning the survey of the area between Lake Balaton and the Southern border (Fig. 1). The area to be mapped in details is approximately 500 km^2 in Villányi-mountain, and 300 km^2 in Mecsek crystalline substratum.

A lot of maps, reports and summary works reflect the results of researches made earlier. Beside the map illustrating the whole country in a 1:144,000 scale edited in the last century and the maps in 1:300,000 and 1:200,000 scales also illustrating the whole country, the uncovered geological map of Mecsek mountain - which is in the area - was published in a 1:25,000 scale in print. The monographies summarizing the works connected to these maps dealt with formations older than Quaternary.

A lot of drillings of various depths, process and aims were made in the area, from the soil mechanical ones of some metres to the hydrocarbon-researching ones of more than 2000 m. The data of these help the map-editing significantly, especially in the investigation of deeper levels.

Geophysical researches laid down only the achievement of special concrete targets in the bigger part of the area, so no complex evaluation was made of them. A

Geological Institute of Hungary, Stefania ut 14, 1143 Budapest XIV, Hungary.

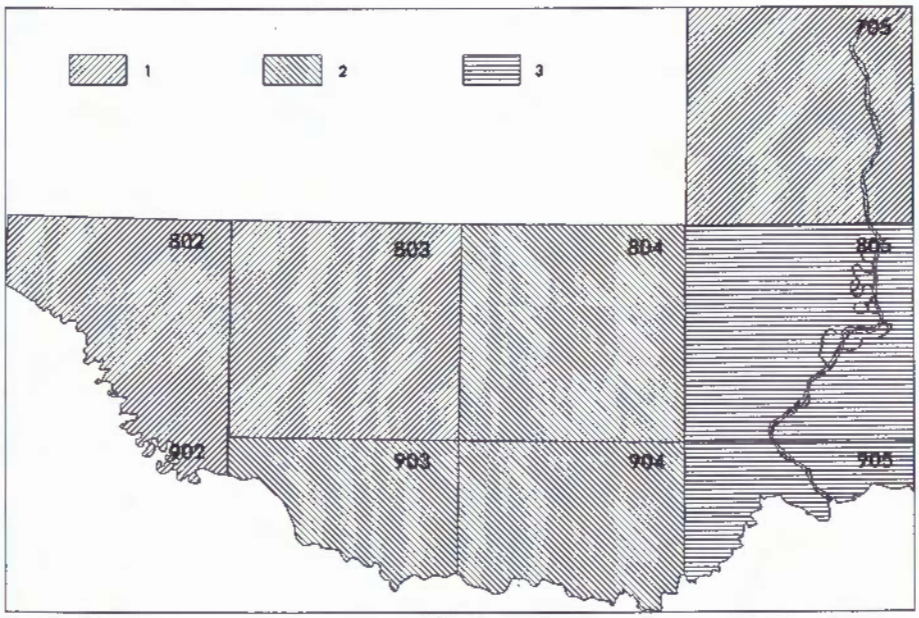


Fig. 1 Mapping area of the South-Transdanubia, Hungary.
Legend: 1) Geological maps are edited; 2) Field works are finished; 3) Field investigations are in progress; 802) Number of map-sheets.

lot of seismical mensurations were made of hydrocarbon-research aims, and relatively less electric measurings of water- and rock-research aims. Due to the lack of complex evaluation and measurings of numeruous areas the tectonical and faciological knowledge of deeper levels is inadequate.

TASKS AND METHODS OF INVESTIGATIONS

The most important task is the mapping of the area in a 1:100,000 scale. All investigations connected to this will be made to be interpretable for other fields of research (hydrogeology, pedology, agrogeology, engineering geology, etc.). We solve the research of surfacial and near-surfacial formations by field work following the evaluation of air photos, investigations of natural and artificial exposures and making and investigating shallow boreholes. We make comprehensive map-series by using geomorphological, hydrogeological, engineering geological, environment-geological and agrogeological methods, and we are going to prepare the detailed, covered and uncovered geological map of the mountain-area.

During the mapping of the Great Hungarian Plain and the Little Hungarian Plain the Geological Institute developed a net-like shallow drilling system, which we use here too, adjusted to the characteristics of the area. We get a data-net from the laboratory investigations of samples taken from the same depths of the averagely 10 m deep boreholes made in every 6 km^2, which can be evaluated in a unified way in the whole area, can be processed by computer and can be used in a lot of ways in characterization of young formations.

According to our original plans we would drill a 40-50 m deep borehole by every 50 km^2 to correlate near-surfacial formations, a 500 m deep one by every 800 km^2 to do the research of middle depths and a 2,000 m one by map-sheets (1,600 km^2) to do the research of great depths. Due to financial reasons we had to give up this part of our plan, and we have to pause detailed geological surveys too.

Modern geophysical research is also indispensable for the comprehensive investigation of the area. The scientists of Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary set up a separate plan of geophysical research connected to this mapping program, and they appraised the geophysical methods to be adopted. The results of geophysical researches gain place on the certain thematical map-versions and on the special geophysical maps too. We plan particularly multi-parametric engineering geophysical soundings for the investigations of smaller depths, they substitute partly drillings and bring a lot of lithological, hydrogeological and engineering geological data. VES-measurings can be used for the investigations of middle depths, as the number of boreholes of such depth is few. Geophysics contributes to the investigation of great depths by measuring some principal seismical cross-sections (using the results of former hydrocarbon-researching seismical measurings) and taking tellurical and magnetotellurical mensurations.

To reinforce the results of field work we are planning to do a lot of laboratory investigations. We choose the types of these investigations after doing the thematical investigations (engineering geological and pedological investigations) bringing data needed for editing special map-versions, beside doing basic mineral-petrological, chemical investigations. We do investigation-series suitable for computer process by sampling at fixed depth-sections from the material of the shallow boreholes drilled in the net.

We produce a complex, comprehensively appliable map-series as a result of investigations done in the area. In the beginning of the program the collection of regional data was carried out in the first years. After

that we carry out the job for the certain parts of the area (which include areas of traditional segmentation in 1:100,000 scale) in a four-year research period. In the first year field research is going to be made, in the second and third year thematical, cameral work, drillings of various depths, geophysical mensurations and laboratory investigations are going to be made. In the fourth year synthesization, map-editing and hopefully map-printing is going to be managed.

As a result of the program a so various map-series is going to be edited of the area, the wide-ranging usability of which gives the until now missing geological basis to the long-term development of the region.

Simultaneously with the preparation of the map-series such computer data base is going to be made, which creates a unified structure with the data basis of similar topics, contains all the available geological data of the area, and which is usable at any time and for any aim.

The planned map-versions of the map-series are the next:

1. Geological observation map
2. Surfacial geological map
3. Isopach map of Quaternary formations
4. Contour line map of Quaternary deposits
5. Contour line map of Pannonian deposits
6. Contour line map of Neogene formations
7. Geological and depth-map of Tertiary basement
8. Hydrogeological observation map
9. Rest level of soil water under surface
10. Rest level of soil water in comparison with sea-level
11. Total soluted salt-content of soil water

12-17. Map of the quantity of main cations and anions

18. Map of the hardness of soil water
19. Map of the spreading of the best water-supplier stratum under surface
20. Geomorphological map
21. Map of actual surface-forming processes

22-24. Map of formations found in 1.5 m, 5 m, 10 m depths

25-27. Basing maps of 1.5 m, 5 m, 10 m depths

28. Construction-geological rayonmap
29. Map of construction raw materials
30. Genetical pedological map
31. Map of fertility impeding factors of the soil
32. Surfacial pollution-sensitivity map
33. Complex geological map of environment protection
34. Map of exploitable mineral resources
35. General plan of geophysical mensurations
36. Typical engineering-geophysical sections
37. Spreading of surfacial - near-surfacial coarse-grained formations
38. Hydrogeological sketch of middle depth
39. Typical geophysical sections to ~500 m depth
40. Tellurical A^{-1} map
41. Typical MT and combined seismical-MT maps
42. Sketch of basement-quality and basement-structure.

The preciseness of part of the maps mentioned above does not reach the adequate level, as the available data are very few. In these cases we can consider illustrations in a smaller scale (1:200,000).

THE RESULTS OF INVESTIGATIONS

In case of managing the complex research program the studiedness of a significant part of South-Transdanubia will reach the level geological process of other areas of similar structure in Hungary (Great and Little Hungarian Plain). The map-versions to be published, the legends and the data base can be applied in a lot of fields of research to gain sum-up knowledge or to plan further, more detailed researches. Complexity ensures the usability of results for solving water-economic, engineering geological, pedological problems and for long-term, regional planning.

The results of research can be used for the estimation and increasing of the economic potential of Drava-valley and Drava-basement, for the examination of environmental effects of bigger establishments planned in the area, for the investigation of the water-supply program in Somogy and Baranya counties and for the investigation of perspectives of the reginal raw material-research program.

RECENT STATE OF THE PROGRAM

Since the birth and beginning of the program significant changes have been occured in the circumstances determining the continuation. Part of them was advantageous, other part was disadvantageous for the completion of tasks. The result is, that certain sections of the research went on faster, at the same time the financial problems - which became stronger and stronger during the last years - slowered the fulfilment of some tasks.

During the preparation of the research program it was not totally clear for us, how significant computers will be in publishing our results. The computer background available in the beginning of the program has developed intensively, and now most of our map-productions is made by computer technics. Our data basis are mainly based on dBase, and beside using the various programs of Microsoft we produce our maps with the help of Intergraph MicroStation, which has been set up as a system in the Hungarian Geological Institute.

On Fig. 1. we illustarted not only the place of the research area, but we showed its actual state in a sketchy way. We started the research in the Western part, in the region of Barcs, and simultaneously we started the detailed survey of Mecsek crystalline substratum. We carry out the investigations from West to East in the area, and we reached the Danube in this year with field work and shallow boreholes drilled in net. Meanwhile, the originally planned investigation-area

expanded in NE direction: on behalf of the Nuclear Power Plant, Paks we had to map the wider surrounding of the PP, and the results of this mapping are built in our current program. Although numeruous conditions are missing in this area to complete the map-sheet fitting totally in the program, getting to know the surfacial geological potentialities we got closer to build the results of investigations in this area in the research process.

The various geological map-versions and thematical maps of about 3,000 km^2 in the Western part of the area are ready, and in this year we prepare the harmonizing and publishing of these maps. Recently we have few possibilities to do field work, so the collection of data needed for further map-editings slowed down. It is important to keep up the continuity of research, so we carry on the drilling of shallow boreholes planned in the area until our technical facilities make it possible. After finishing and harmonizing the certain map-versions we make an attempt to publish our map-series in form of atlases or in print, according to earlier institutional practice.

The Southern boundary of our research area is the national border. According to our hopes a cooperation with the Croatian scientists can be created, within the scope of which we can publish our maps of similar topics with harmonized key and content in the form of full map-sections together.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	147 - 150	ZAGREB 1995

Hidrogeološka obilježja geotermalne vode Lipika kao podloge zdravstvenom turizmu

Mirko CZUKOR[1], Radovan ČEPELAK[2] & Ivan OPIĆ[3]

Ključne riječi: obnova i razvoj, zdravstveni turizam, geotermalna voda, gospodarenje georesursima

Sažetak

Svoju stogodišnju turističku tradiciju Lipik može zahvaliti termomineralnim izvorima, danas bušotinama, koje su svojom ljekovitom termalnom vodom stoljećima pomagali u liječenju bolesnika i invalida. Nakon Domovinskog rata, te kad Lipik ponovno dobije obnovljene sve svoje ratom uništene građevinske i prirodne objekte, razvoj zdravstvenog turizma će postati neminovnost i stvarna budućnost. Pretpostavka za to je da se adekvatno i pravilno gospodari resursima raspoložive termomineralne vode. Zahvaljujući gotovo stodvadesetgodišnjem praćenju, ti resursi pokazuju određene promjene, koje se odražavaju u oscilaciji statičkog nivoa podzemnih voda, kao i njenoj mineralizaciji.

Poseban problem predstavlja proces gospodarenja danas instaliranim kapacitetima, kojima se može ugroziti ne samo očekivani razvoj zdravstvenog turizma, nego i njihov opstanak.

Sve to nam ukazuje na oprez i potrebu stručnog pristupa problemu.

POVIJESNI PREGLED

Upotreba termomineralne vode u Lipiku, kao ljekovitog sredstva, počela je već prije 300 godina, nakon oslobađanja ovih krajeva od Turaka, u doba kad je i formirano naselje oko ljekovitih izvora (PAVIČIĆ, 1953).

Prvi pisani podaci o postojanju termomineralnih izvora u Lipiku potiču iz druge polovine XVIII vijeka, kad je izvore, 1773 godine, ispitao J. B. Lalangue. Rezultate njegovih istraživanja objavio je H. J. von Crantz, koji je iz poslanih uzoraka mineralne vode napravio i kvalitativnu analizu. Crantz među ostalim spominje četiri prirodna izvora i primitivno uređeno kupalište (LALANGUE, 1779).

Godine 1783 u Lipiku su boravili M. Piller i L. Mitterpacher. Oni također opisuju četiri prirodna izvora termalne vode, koji se međusobno razlikuju samo temperaturom. Oni su prvi izmjerili temperaturu sva četiri izvora (51.9, 41.7, 38.3, 45.0°C) (PILLER & MITTERPACHER, 1783).

Godine 1839, prema izvješću D. Wagnera, postoji već uređeno kupalište koje je podigao tadašnji vlasnik lipičkog posjeda, grof I. Janković daruvarski. Wagner je napravio i prvu kvantitativnu kemijsku analizu te vode, te utvrdio da ona sadrži veliku količinu joda (KOCH, 1854). Taj nalaz znakovito doprinosi razvoju lječilišta i samog mjesta.

Postojeća količina termomineralne vode nije bila dovoljna za novonastale potrebe, budući je punjenje bazena trajalo 10 do 12 sati, a za sušnih perioda i dulje. Godine 1869. na 1870., pod nadzorom W. von Zsigmondy-a, u neposrednoj blizini postojećih izvora, ručno je izbušen "arteški bunar". Bušotina je doseglo dubinu od 234.7 m i u početku je davala 17.4 l/sek termomineralne vode, a kasnije 6.8 l/sek, s temperaturom od 64°C (ZSIGMONDY, 1873). Smatra se da je to jedna od prvih bušotina termomineralne vode u ovom dijelu Europe (BAĆ, 1960). Nakon što je bušotina puštena u pogon stari prirodni izvori su uskoro presahnuli, pa se danas tek pretpostavlja gdje su se nalazili.

Do 1960 godina u Lipiku postoji samo jedna bušotina termomineralne vode i ona, manje više, zadovoljava potrebe tadašnjeg lječilišta. No, s porastom broja korisnika lječilišta javlja se potreba za većom količinom termomineralne vode. Tijekom dugogodišnjeg korištenja dolazi do dotrajalosti te bušotine, te se 1960. godine, u neposrednoj blizini buše dvije nove bušotine, a do pred sam Domovinski rat ima ih deset, od kojih sedam u lječilišnom perivoju, na površini od 500 m^2. Više vlasnika i sve veći broj bušotina doveli su do problema ažuriranja i šifriranja (tablica 1).

Lipik je jedno od lječilišnih mjesta u Hrvatskoj koje je nažalost, tijekom agresije na Hrvatsku, strahovito stradalo. Tada je razoreno i uništeno staro neobarokno jezgro Lječilišta i Lipika. Bušotine na sreću nisu uništene. Od postojećih 10 bušotina, od kojih je sedam u lječilišnom perivoju, a tri su van njega, koristi se danas svega dvije ili tri bušotine, dok su ostale napu-

[1]Hrvatske mladeži 9, 34551 Lipik, Hrvatska.
[2]Zavod za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Demetrova 27, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[3]GEOIST, Antuna Nemčića 33, 10430 Samobor, Hrvatska.

Oznaka bušotine	Godina izvedbe	Bolnica / dubina	Lipički Studenac / dubina	Općina / dubina
B - I	1870	B - I / 234.70 m		
	1960 produbljena	B - I / 315.33 m		
B - II	1960 blokirana	B - II / 265.80 m		
B - III	1961	B - III / 300.00 m		
B - IV	1971	B - IV / 173.00 m		
B - V	? / blokirana		?	
B - VI	? / blokirana		?	
B - VII	1973		B - VII / 231.40 m	
B - VIII	1972		B - VIII / 379.50 m	
B - IX	1989	B - IVa / 304.0 m		
B - X	1990			B - IX / 750.0 m nije testirana

Tablica 1 Prikaz fonda termomineralnih bušotina u Lipiku.

štene ili blokirane. Napuštanje starih bušotina uvjetovano je visokom cijenom njihove obnove.

U tijeku je obnova cijele zapadne Slavonije, mjesta Lipik i lječilišnog kompleksa. Jedan od resursa u razvoju gospodarstva općine je što skorija obnova i daljnji razvoj turizma, posebno zdravstvenog i rekreacijskog, ali i ostalih oblika turizma za koje postoje uvjeti.

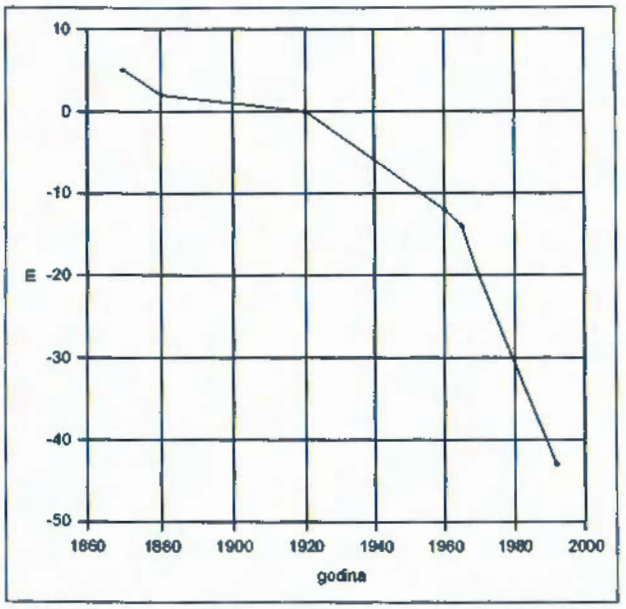
ZDRAVSTVENI ASPEKTI LIPIČKE TERMOMINERALNE VODE

Prva kvantitativna kemijska analiza vode iz bušotine **B-I** utvrdila je visoku koncentraciju joda od 17 mg/l (HELLER, 1871). Nakon toga lipička hiperterma postala je poznata i cijenjena kao izvanredno ljekovito sredstvo za neke bolesti, i kao takva je korištena skoro sto godina, sve dok ju nije u drugi plan potisnuo razvoj farmacije i kemije. Posljednjih trideset godina termomineralna voda sve manje se koristi kao lijek, a sve više postaje značajna njezina uloga u prevenciji raznih bolesti. Osim toga njezina fizikalna svojstva postala su nezamjenljiva u medicinskoj rehabilitaciji. Terapeutski učinak termomineralne vode pripisuje se dominantnim kemijskim elementima, te u posljednje vrijeme, elementima u tragovima, čiji značaj postaje sve veći. Uz fizikalna svojstva, učinak termomineralne vode na čovječji organizam je vrlo kompleksan i teško ga je znanstveno valorizirati. Kad se ovom kompleksnom mehanizmu djelovanja dodaju razne suvremene metode fizikalne terapije, i kad se sve to događa u jednom drugom od uobičajenog, promijenjenom načinu života, u kojem ima više relaksacije, razonode i zabave, pa ako dodamo još i promijenjeni način prehrane, onda to mora utjecati na zdravstveno stanje bolesnog, pa i zdravog organizma. Na taj način se podiže kondicija i jača imuni sustav, da bi se što lakše odhrvalo suvremenim stresnim situacijama.

Sagledavanje ponašanja termomineralne vode u bušotinama Lipika jedna je od bitnih komponenti za obnovu i razvoj gospodarstva i turizma u općini Lipik. Posebnu pažnju treba posvetiti statičkom nivou vode u bušotinama, koji s godinama opada, što može ugroziti razvoj lječilišnog turizma kao i opstojnost postojećih privrednih subjekata baziranih na korištenju termomineralnih resursa.

ANALIZA GEOKEMIJSKOG SADRŽAJA

Opći osvrt na dugogodišnje analitičko praćenje geokemijskog sadržaja termomineralne vode u Lipiku bilo je moguće analizirati uz prethodna preračunavanja sadržaja starijih mjerenja na današnji način prikazivanja rezultata. Termomineralna voda izvorišnog područja Lipika balenološki je obilježena kao: mineralna, fluorna, natrijeva-hidrokarbonatna-kloridna, hipertermalna (mineralizacija 3156.2 mg/l, F 6.7 mg/l, Na 86.7 mval %, HCO_3 59.5 mval %, Cl 26.9 mval %, T 59°C). Prema izvršenoj komparaciji analitičkih podataka kroz proteklih 156 godina, vidljivo je da se balenološka obilježja vode nisu bitno izmijenila, na što ukazuje lagani pad mineralizacije od približno 1 g/l, uz neznatne oscilacije. Izuzetak čini ponašanje joda, kod koga se može pratiti izraziti pad koncentracije. Pogotovo je to izraženo u prvim analizama iz perioda 1839-1885 godine. U to vrijeme lipička termomineralna voda balenološki je opisivana kao jodna (J 17 mg/l), te je kao takva reklamirana u ljekovite svrhe. Tijekom vremena koncentracija joda se bitno izmijenila do danas gotovo neznatne koncentracije (J 0.2-0.3 mg/l). Prema međunarodnoj klasifikaciji lipička termomineralna voda više nije jodna (MIHOLIĆ, 1937). Ne može se sa sigurnošću tvrditi da li je ta voda zaista bila jodna, zbog toga što se u starim analitičkim postupcima jod mogao zamjeniti sa fluorom. Naime, u vrijeme kad su vršene prve kemijske analize (1839-1885), fluor još nije bio poznat. Nije vršena kvantitativna odredba fluorida. Tek kasnije utvrđena je količina fluora od 11.24 mg/l (TOMIĆ, 1948).



Sl. 1 Sniženje nivoa podzemne termomineralne vode u Lipiku za period od 1870-1995. godine.

GEOLOŠKO OKRUŽENJE

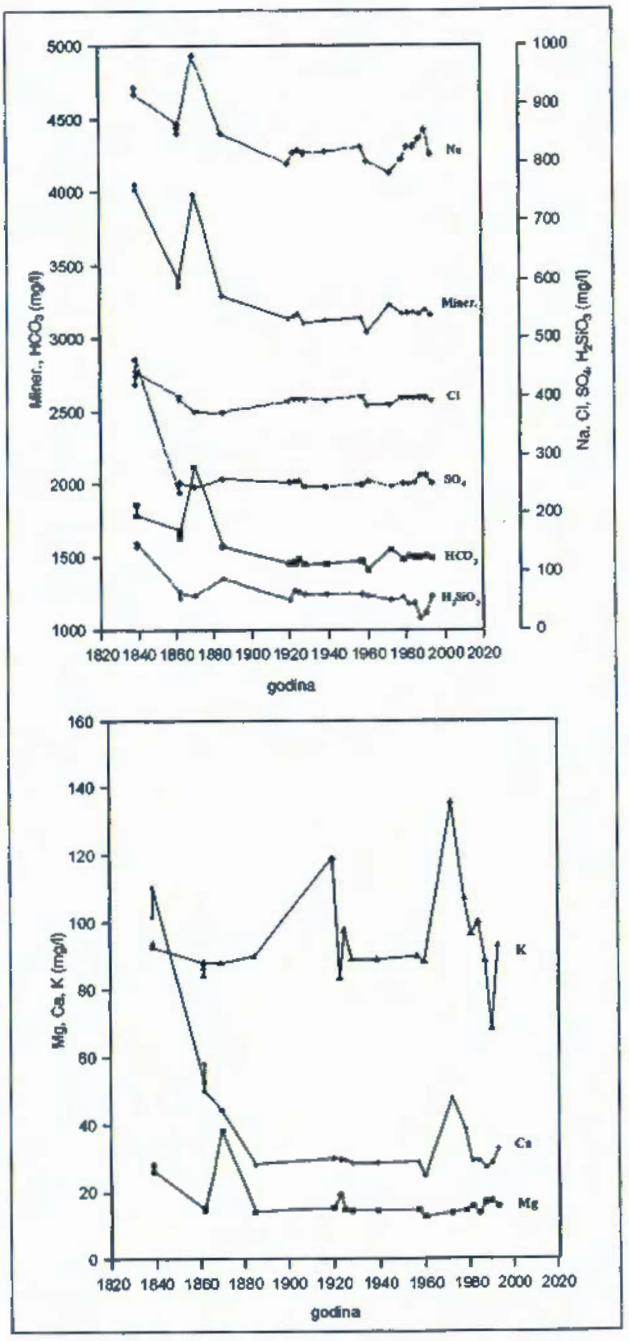
Geotermalni izvori Lipika nalaze se na zapadnim obroncima Psunja. Nastali su zahvaljujući tektonskim lomovima naslaga različite starosti i litološke građe. Intenzivne tektonske aktivnosti omogućile su komuniciranje vode između podzemlja i površine. Geotermalna energija potječe iz granodioritskog batolita, koji kontinuirano zagrijava vodu i znatno utiče na njen geokemijski sadržaj.

Mogućnost uspoređivanja raznih analitičkih rezultata, kroz dugi vremenski niz, od velike je važnosti kako za balenološka zaključivanja, tako i za istraživanja geoloških i hidrogeoloških odnosa u podzemlju. Analizirajući dostupnu literaturu iz koje se vidi stanje lječilišta i njegovih bušotina posljednjih 120 godina, došli smo do znakovitih i korisnih podataka.

Tijekom proteklih 120 godina primjećeno je da statički nivo podzemne termomineralne vode opada, zadnjih 20 godina čak nešto brže. Godine 1870 na bušotini **B-I** statički nivo iznosio je plus 5 metara, a 1995. na bušotini **B-VIII** je minus 43 metra (sl. 1).

U budućim istraživanjima neophodno je, pored ostalog, obratiti pažnju na uspoređivanje vremenskih nizova o seizmotektonskim aktivnostima i promjenama nivoa podzemnih voda, te njihovoj eventualnoj uzročno-posljedičnoj vezi.

Primjećene su promjene temperature termomineralne vode u bušotinama. Godine 1870. u bušotini **B-I** temperatura vode je 64°C, a 1993. godine u bušotini **B-VII** je oko 57°C. Uz pretpostavku o jedinstvenom hidrodinamskom sustavu navedeni parametri su veoma znakoviti. Ukazuju na interaktivan odnos hidrodinamskog okruženja i čovjekovog djelovanja. Budući se taj odnos može bitno narušiti neophodno je uspostaviti trajan proces gospodarenja georesursom termomineralne



Sl. 2 Geokemijski sadržaj termomineralne vode u Lipiku za period 1839-1993. godine.

vode, kao podloge u obnovi i razvoju lipičkog gospodarstva.

Analizom ponašanja promjene ukupne mineralizacije i koncentracije pojedinih mikroelemenata, na osnovu višegodišnjih mjerenja, uočene su određene zakonitosti u ponašanju (sl. 2).

Prva grupa krivulja karakterističnog ponašanja opisana je oblikom krivulje mjerenih iznosa ukupnog mineralnog sadržaja. Toj grupi pripadaju mikroelementi Na, HCO_3 i Mg. Međusobno se razlikuju u redu veličine mjerenih vrijednosti. Drugu grupu krivulja nepravilnijeg oblika ponašanja predstavljaju mikroelementi Cl, SO_4, H_2SiO_3 i Ca. Za pojedine mikrokomponente (Br, F, Li, Mn, Sr) ne postoji dovoljan broj

mjerenja, te se njihovo ponašanje ne može detaljnije pratiti sa vremenom.

Na osnovu svih navedenih podataka može se konstatirati:

- da su statički nivoi podzemnih termomineralnih voda u postojećim bušotinama zavisni,
- da prekomjerno crpljenje vode u jednoj bušotini utječe na statički nivo u drugima,
- da je pri bušenju novih bušotina primjećen utjecaj na već postojeće,
- da je geokemijski sastav termomineralne vode u svim bušotinama približno isti,
- da je temperatura vode u svim bušotinama približno ista.

Ovi podaci nam govore da se vjerojatno radi o jednom sustavu ili međusobno povezanim vodonosnicima odakle se crpi termomineralna voda, ograničenog kapaciteta. Hidrodinamsko ponašanje bušotine **B-X,** izbušene 1990. godine, nije do kraja istraženo, pa se ne može sagledati da li ovi zaključci vrijede i za nju. Dubina većine bušotina kreće se od 200-400 metara, osim tri bušotine koje se nalaze van lječilišnog perivoja i koje su dublje.

ZAKLJUČAK

Razmatranja u ovom radu preliminarnog su karaktera i treba ih dopuniti drugim relevantnim pokazateljima. Povjesni podaci ukazuju na potrebu gospodarenja georesursom termomineralne vode. Trebalo bi uvesti monitoring nad tim resursima, budući predstavljaju podlogu za obnovu i razvoj šireg područja općine Lipik. Neophodno je uvesti konzorcij od predstavnika vlade, lokalne uprave, zdravstva, turizma i proizvođača termomineralne vode. Sa stajališta istraživanja isto je neophodno dugoročno programirati i sustavno provesti na širem području Lipika. Do ovog zaključka došlo se na osnovu djelomičnog poznavanja ponašanja hidrogeoloških karakteristika pojedinih bušotina, te njihove povezanosti, što je u svezi sa složenim tektonskim odnosima i geološkom građom okolnog terena.

LITERATURA

BAĆ, J. (1960): Dnevnik rada o istražnim i kaptažnim radovima izvršenim na termomineralnim izvorima u Lipiku, u vremenu od 7.1.1960 do 9.5. 1960.

HELLER, J.F. (1871): Chemische Analyse des Wassers und Gasse die neuen Bohrquelle zu Lipik in Slavonien.- 9 str., Wien.

KOCH, E.J. (1854): Die mineral quellen des gesamthen Oster. kaiser strates.- 423 str., Wien.

LALANGUE, J.B. (1779): Tractatus de aquis medicatis regnorum Croaties et Sclavoniae etc...- 103-105, Zagreb.

MIHOLIĆ, S. (1937): Kemijska analiza termalnih vrela u Lipiku.- Glasnik hemijskog društva Kraljevine Jugoslavije, 6/3, 169-177.

PAVIČIĆ, S. (1953): Podrijetlo naselja i govora u Slavoniji.- 178-194, Zagreb.

PILLER, M. & MITTERPACHER, L. (1783): Iter per Poseganam Sclavoniae Provinciam.- 101 str., Požega.

TOMIĆ, D. (1947): O sadržaju fluora u termomineralnim vodama Ilidže kod Sarajeva i Varaždinskih Toplica.- Farmaceutski glasnik, 8, 129-131, Zagreb.

ZSIGMONDY, v.Z. (1873): Mitheilungen fiber die Bohrtherme zu Harcany auf dem Margareteninsel nachts und zu Lipik.- 50 str., Pest.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	151 - 154	ZAGREB 1995

Dinosaur Evidence in the Cretaceous of Istria (Croatia)

Fabio Marco **DALLA VECCHIA**[1] & Alceo **TARLAO**[2]

Key words: Dinosaurs, Dinosaur tracks, Cretaceous, Istria

Abstract

All the dinosaur evidence of Cretaceous age till now discovered in Istria (Croatia; Dinaric Platform) is here reviewed. In one case there are bone remains (Late Hauterivian/Early Barremian), the others are tracks and trackways (at least 10 sites of Late Barremian, Albian and Late Cenomanian/Early Turonian age). Some considerations about the paleogeographic and paleoenvironmental implications of the presence of dinosaurs in the Cretaceous carbonate platforms are reported.

1. INTRODUCTION

The presence of dinosaur tracks in Istria was reported in some brief paleontological notes (BACHOFENECHT, 1925a, b; GOGALA, 1975; GOGALA & PAVLOVEC, 1978; PAVLOVEC & GOGALA, 1992; RAMOVŠ, 1967), in stratigraphic and sedimentological papers (POLŠAK, 1965; VELIĆ & TIŠLJAR, 1987; TIŠLJAR et al., 1983) or in more detailed but poorly distributed publications (LEGHISSA & LEONARDI, 1990). Recently the interest on Istrian dinosaurs has been stimulated by the discovery of bone remains near the village of Bale (BOSCAROLLI et al., 1993; DALLA VECCHIA et al., 1993; DALLA VECCHIA, 1994, 1995). New sites with tracks were found during the last years by A. Tarlao. The authors collaborate to a scientific project of the Croatian Ministery of Science and Technology lead by dr. M. Šparica of the Geološki Zavod of Zagabria. The study of the Istrian dinosaurs is part of the post-doctorate research "Studio sui rettili mesozoici nella regione Sudalpino - adriatica con particolare riferimento alle faune terrestri", which one of us (F.M. Dalla Vecchia) is doing at the Department of Geology, Paleontology and Geophysic of the University of Padova. The research of dinosaur footprints is supported by a "The Dinosaur Society" grant.

If not specified, the datations of the sites are based on previous paleontological works, on VELIĆ & TIŠLJAR (1987) and TIŠLJAR et al. (1983). The acronym FL means "foot lenght".

2. DINOSAUR EVIDENCES

UPPER HAUTERIVIAN/LOWER BARREMIAN (TUNIS et al., 1994)

- **Bale**: the only dinosaur bones found until now in Istria come from this locality. This is the first outcrop rich in skeletal dinosaurian remains found in the Adriatic region. The fossiliferous rocks are placed below the sea level; only some bones brought to the shore by storms or freed from rocky matrix and exposed at the sea bottom were collected. For this reason the studied remains are mostly fragmentary; much more material in a better state of preservation is still conglobated into the rocks at the bottom (Boscarolli, pers. comm.). The identified bones (cervical, dorsal and caudal vertebrae, cervical ribs, the distal part of a femur, etc.) belong to sauropods, plant-eating, quadrupedal dinosaurs (DALLA VECCHIA, 1994, 1995). These remains belong to many individuals, with different sizes, from very small to medium-large (probably up to 15 m long or more; fig. 2). The detailed description of this material is in progress by F. M. Dalla Vecchia. Other remains (for example, caudal vertebrae) suggest also the presence of non-sauropod dinosaurs (Ornithopods or/and Theropods).

- **Barbariga**: in this site there are some layers which resemble the levels bioturbated by the passage of large dinosaurs (dinoturbation, cf. LOCKLEY, 1991). The levels at Barbariga are chaotic breccias with large holes and depressions at the upper bed surface and clasts which appear to be "pushed" into a plastic matrix, sometimes with an unusual orientation (for example, tabular clasts are placed subvertically; Venturini and Tunis, pers. comm.). We think it is likely that dinosaurs trampled and bioturbated the muddy tidal flats and sea or lake shores of the Cretaceous Istria. Unfortunately, we have not enough data to affirm with certainty that those apparently trampled levels are related with the activity of large vertebrates. However, this possibility should be considered.

[1]Museo Paleontologico Cittadino di Monfalcone - Gruppo Speleologico A.D.F., Via Valentinis 134, 34074 Monfalcone (Gorizia), Italy, and Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica, Università di Padova, Via Giotto 1, 35137 Padova, Italy.
[2]Via S. Martino 42, 34100 Trieste, Italy.

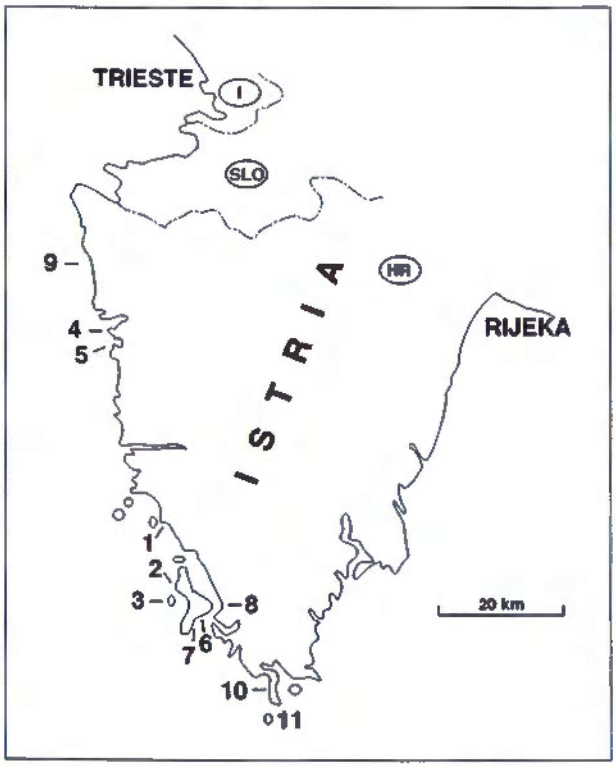


Fig. 1 Sites with dinosaur evidence in Istria. Late Hauterivian-Early Barremian: Bale (1); Late Barremian: Pogledalo promontory (2), Vanga island (3); Albian: Mirna river mouth (4), Červar (5), Ploče promontory (6), Plješivac promontory (7), Puntižela (8); Late Cenomanian/Early Turonian: south of Umag (9), near Premantura (10), Fenoliga islet (11).

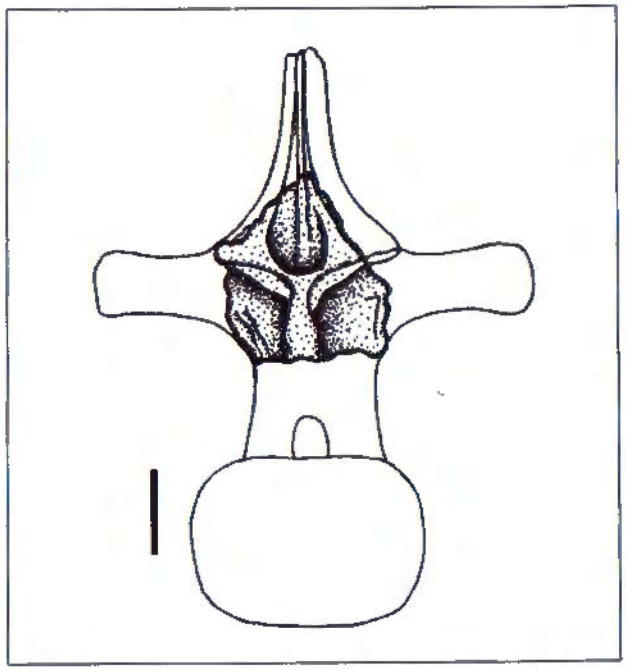


Fig. 2 The zygapophyseal part of a neural arch from a dorsal vertebra of a sauropod, found in the site of Bale, with the reconstruction of the entire vertebral outline. The scale bar is 10 cm. The large size of the individual is clear. A dorsal vertebra of *Apatosaurus* (after GILMORE, 1936) is taken as reference.

UPPER BARREMIAN

- **Pogledalo promontory (Veli Brijuni island)**: about 20 large tridactyl footprints (FL = about 35-40 cm) are preserved in a stromatolitic bed. These footprints were generally attributed to the ornithopod *Iguanodon* but they most probably belong to medium-large sized theropods (cf. DALLA VECCHIA et al., 1993), as testified clearly by some morphological characters (see fig. 3). This site was cited in many pubblications (for example, DALLA VECCHIA et al., 1993; VELIĆ & TIŠLJAR, 1987) but was never the object of a detailed study.

- **Vanga island**: GOGALA & PAVLOVEC (1978, p. 192) reported the personal communication of B. Godec about the presence of hundreds of footprints in the gulf of the Vanga island. GOGALA & PAVLOVEC (1978, p. 192) wrote that these footprints "are ascribed to the genus *Iguanodon*". This island of the Brijuni archipelago, is not accessible at present. Probably, the age is the same as the facing Pogledalo promontory and the tracks could belong to theropods by analogy.

ALBIAN

- **Mirna river mouth** (Upper A.): many tracks and trackways were visible on the beach of the camping "Lanterna" during the 70es. They were impressed by middle sized theropods and perhaps by relatively small ornithopods (FL = 20-25 cm) (DALLA VECCHIA et al., 1993). This outcrop was mostly destroyed.

- **Červar** (Punta del Dente) (? Upper A.): A wide bed surface covered by dinosaur tracks is exposed at the Sv. Marina locality. Many tracks belong to small sized sauropods (DALLA VECCHIA, 1995); tridactyl footprints (small sized theropods?) are rarer. The tracks are never organized in trackways. A few dozens of meters from this outcrop there is a second bed surface with

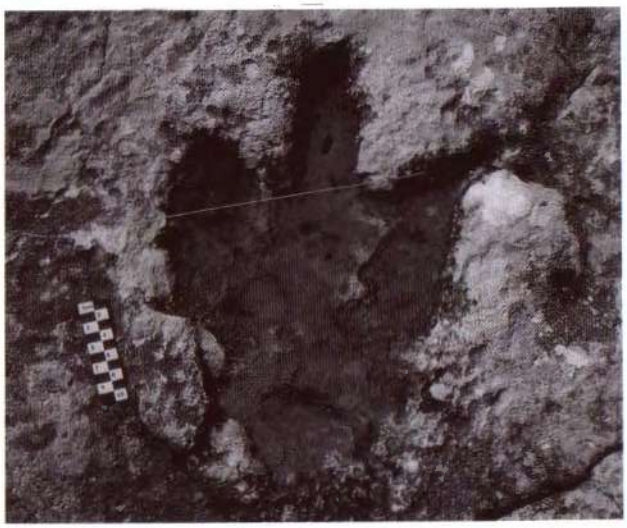


Fig. 3 A theropod footprint from the Upper Barremian of Pogledalo Promontory, Veli Brijuni island. Typical features of theropod footprints are: elongation and slenderness of digit III, deep claw mark in digit III (the narrow claw mark dips into the layer), medial curvature of digit II, low interdigital angle. It is the print of a left foot. Scale bar: 10 cm.

four possible sauropod trackways and some tridactyl footprints (medium-small sized theropods?) all badly preserved. This site has been object only of a preliminary reconnaissance (DALLA VECCHIA, 1995).

- **Ploče promontory** (Veli Brijuni island) (Lower A.): many tracks are visible on a bed surface at this southern promontory of the island. They are tridactyl footprints of bipedal dinosaurs, probably small-medium sized theropods (FL = 18-25 cm) mostly organized in trackways. These footprints, rather badly preserved, are very probably the trackways observed by BACHOFENECHT (1925a, b) (Rocca Kapp = Ploče promontory) and attributed by him to individuals of *Iguanodon* at different stages of growth. This identification was considered valid also in recent pubblications (for example, CALLIGARIS, 1988; POLŠAK, 1965; RAMOVŠ, 1967; VELIĆ & TIŠLJAR, 1987; VELIĆ et al., 1989) but it is very doubtful (LEGHISSA & LEONARDI, 1990; DALLA VECCHIA & POSOCCO, in progr.).

- **Plješivac (Kamnik) promontory (Veli Brijuni island)** (Upper A.): at this site there are two printed surfaces, at the top of two superimposed layers. The stratigraphically lower bed preserves a long trackway apparentely made by a bipedal dinosaur with a foot 25-30 cm long; it is very difficult to identify the trackmaker (theropod or ornithopod?) because of the very bad quality of the footprints. On the upper bed there are several tridactyl footprints very badly preserved (L. Posocco, pers. comm.); they probably belong to small-medium sized theropods. We were not allowed to make the necessary observations to describe this outcrop, since at present it is placed in a military area.

- **Puntižela, south of Fažana**: there are two tridactyl trackways at two different stratigraphic levels. The lower trackway was impressed by an undeterminate small bipedal dinosaur (FL = 17 cm); the upper one was left by a small-medium sized theropod (FL = 21 cm).

- **"Zlatne stijene" near Pula**: B. Godec communicated to have found dinosaur tracks in the Albian of this locality (pers. comm. in GOGALA & PAVLOVEC, 1978, p. 192) but we have not a positive evidence of it.

UPPER CENOMANIAN/LOWER TURONIAN

- **South of Umag** (Upper C.; S. Venturini, pers. comm.): there are about 40 tridactyl footprints left by bipedal dinosaurs, very probably small-medium sized theropods (FL = 20-23 cm), on a single bed surface. The preservation is not good. The detailed study of this outcrop is in progress.

- **Fenoliga islet**: there is a wide bed surface particularly rich in dinosaur tracks. A long trackway was attributed to a small sized sauropod (5-8 metres) by LEGHISSA & LEONARDI (1990). Three trackways of tridactyl footprints left by bipedal dinosaurs, perhaps medium sized theropods, and three trackways difficult to attribute to (cf. PAVLOVEC & GOGALA, 1992) are also recognizable. This outcrop should be studied in detail.

- **near Premantura**: on a bed surface there are at least two parallel trackways made by bipedal dinosaurs, very probably small-medium sized theropods.

- **Unije Island**: the inhabitants of this island - just external to the Istrian region but geologically related - signalled the presence of dinosaur tracks. An inspection to verify their actual presence has not been done yet.

B. Godec affirmed to have found footprints in the "Upper Cretaceous" near Medulin (pers. comm. in GOGALA & PAVLOVEC, 1978, p. 192). GOGALA & PAVLOVEC (1978, p. 193) however, were not able to found them.

Very probably the report of dinosaur tracks in the Senonian near Carnizza (cf. BOSCAROLLI et al., 1993) is not correct. However bone remains identified as dinosaurian (BRAZZATTI & CALLIGARIS, 1995), were found recently in the Lower Senonian (TARLAO et al., 1994) at the Villaggio del Pescatore (Trieste, Italy) just outside the Istrian region. This material is not yet adequately prepared to be studied and correctly identified. The only element suggesting the possible attribution of these scattered remains to dinosaurs is the shape of a presumed pubis (BRAZZATTI & CALLIGARIS, 1995, fig. 1), which is similar to those of the Hadrosauridae. If this identification is correct, it would be the pubis of a juvenile, as testified by the small size and the unossified anterior end.

3. PALEOENVIRONMENTAL AND PALEOGEOGRAPHICAL IMPLICATIONS

The presence of large plant-eaters dinosaurs in the site of Bale (Late Hauterivian/Early Barremian) implies the existence around the site of an emerged area sufficiently wide to allow their survival. In particular, the supply of vegetation and fresh water should have been sufficient to feed them. Also the populations of bipedal dinosaurs, probably mainly consisting of carnivorous forms, testified by the footprints found in the Upper Barremian, Albian and Upper Cenomanian/Lower Turonian, needed wide emerged areas, fresh water and populations of plant-eaters to predate. The dinosaur evidence (mainly the tracks) indicate, therefore, the existence of wide emersions of the carbonate platform, even when the geological record of them is limited by the lack of outcrops on wide areas. In fact, the identification of areal expanse of an emersion of the carbonate platform is always affected by the scarce and local outcropping of the rocky bodies. We should bear in mind that on the emerged areas, where erosion prevailed on sedimentation, the dinosaurs could not leave evidence of their presence. The prints of the Istrian dinosaurs were left in the environments of deposition where the chance of preservation was higher: the tidal flats, or, in general, the zones where the sea level was very low, the

rate of sedimentation high and the sediments were fine-grained, soft and waterlogged. These zones were probably belts surrounding the emerged areas where the dinosaurs usually lived. It is logical to assume that these large animals ventured into the slippering tidal flats or around the facies with rudists only occasionally.

By the study of the bones from Bale it will be possible to recognized the affinities with dinosaurs found in other places and, perhaps, to hypothesize a route of colonization of the Dinaric Platform. At the present state of geological knowledge the provenance from Africa appears to be the most probable.

Using the footprint length and the stride length it is possible to estimate the height at the hip and the speed of a dinosaur and to recognize its gait (THULBORN, 1989). Also the maximum absolute water depth can be estimated, since the water level could not be higher than the narial openings of the animal when it left its prints at the sea bottom (LOCKLEY, 1986).

Since dinosaurs often moved parallel to the shore line (LOCKLEY, 1986, 1991), the preferential direction of the dinosaur trackways can be added to the usual sedimentological indicators (for example, the ripple marks) to identify its local direction.

4. REFERENCES

BACHOFEN-ECHT A. (1925a): Iguanodon-Fährten auf Brioni.- Palaeont. Z., 7/3, 172-173.

BACHOFEN-ECHT A. (1925b): Die Entdeckung von Iguanodontenfährten im Neokom der Insel Brioni.- Sitzunganz. Akad. Wiss., Math.- nat. Kl., 12.02.1925.

BOSCAROLLI, D., LAPROCINA, M., TENTOR, M., TUNIS, G. & VENTURINI, S. (1993): Prima segnalazione di resti di dinosauro nei calcari hauteriviani di piattaforma dell'Istria meridionale (Croazia).- Natura Nascosta, I/, 20p.

BRAZZATTI, T. & CALLIGARIS, R. (1995): Studio preliminare di reperti ossei di dinosauri del Carso Triestino.- Atti Mus. civ. Stor. nat. Trieste, 46, 221-226.

CALLIGARIS, R. (1988): I rettili fossili degli "strati calcarei ittioliti-ci di Comeno e dell'isola di Lesina.- Atti Museo civ. St. Nat. Trieste, 41/1, 1-125.

DALLA VECCHIA, F.M. (1994): I dinosauri dell'Istria.- In: LIGA-BUE, G. (ed.): Il tempo dei dinosauri. Le Scienze Quaderni, 76, 82-86.

DALLA VECCHIA, F.M. (1995): Jurassic and Cretaceous sauropod evidence in the Mesozoic carbonate platforms of the Southern Alps and Dinarids.- Gaia, 8, 1-9.

DALLA VECCHIA, F.M., TARLAO, A. & TUNIS, G. (1993): Theropod (Reptilia, Dinosauria) footprints in the Albian (Lower Cretaceous) of the Quieto/Mirna river mouth (NW Istria, Croatia) and dinosaur population of the Istrian region during the Cretaceous.- Mem. Sci. Geol. Padova, 45, 139-148.

GILMORE, C.W. (1936): Osteology of Apatosaurus, with special reference to specimens in the Carnegie Museum.- Mem. Carnegie Museum, XI/4, 175-300.

GOGALA, M. (1975): Sledi iz davnine na jugu Istre.- Proteus, 37, 229-232.

GOGALA, M. & PAVLOVEC, R. (1978): Še enkrat o sledovih dinozavrov.- Proteus, 40, 192-193.

LEGHISSA, S. & LEONARDI, G. (1990): Una pista di sauropode scoperta nei calcari cenomaniani dell'Istria.- Centro di Cultura Giuliano Dalmata, Milano, 30p.

LOCKLEY, M.G. (1986): The paleobiological and paleoenvironmental importance of dinosaur footprints.- Palaios, 1, 37-47.

LOCKLEY, M.G. (1991): Tracking dinosaurs - A new look at an ancient world.- Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney, 238 p.

PAVLOVEC, R. & GOGALA, M. (1992): Na novo odkrite dinozavrove stopinje na otočku Fenoliga.- Proteus, 55, 110-112.

POLŠAK, A. (1965): Geologija južne Istre s osobitim obzirom na biostratigrafiju krednih naslaga.- Geol. vjesnik, 18/2, 415-510.

RAMOVŠ, A. (1967): Dinozavrovi sledovi tudi na Brionih.- Proteus, 29, 153-154.

TARLAO, A., TENTOR, M., TUNIS, G. & VENTURINI, S. (1994): Evidenze di una fase tettonica nel Senoniano inferiore dell'area del Villaggio del Pescatore (Trieste).- Gortania - Atti Museo Friul. Storia Nat., 15, 23-34.

THULBORN, T. (1989): Dinosaur tracks.- Chapman and Hall, London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 410 p.

TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., RADOVČIĆ, J. & CRNKOVIĆ, B. (1983): Upper Jurassic and Cretaceous peritidal, lagoonal, shallow marine and perireefal carbonate sediments of Istria.- In: BABIĆ, Lj. & JELASKA, V. (eds.): Contributions to Sedimentology of some carbonate and clastic units of the coastal Dinarides. Excursion Guide-Book, 4th IAS Regional Meeting, Split 1983, 13-35, Split.

TUNIS, G., ŠPARICA, M. & VENTURINI, S. (1994): Lower Cretaceous dinosaurs from Bale (Istria, Croatia): stratigraphical, sedimentological and palaeoenvironmental problems.- Abstracts 14th International Sedimentological Congress, Recife 1994, S5 14-15.

VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1987): Biostratigraphic and sedimentologic characteristic of the Lower Cretaceous deposits of the Veli Brijuni Island and comparison with the corresponding deposits in SW Istria (Western Croatia).- Geol. vjesnik, 40, 149-168.

VELIĆ, I., TIŠLJAR, J. & SOKAČ, B. (1989): The variability of the Barremian, Aptian and Albian carbonates as a consequence of changing depositional environments and emersion in western Istria (Croatia, Yugoslavia).- Mem. Soc. Geol. It., 40, 209-218.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	155 - 157	ZAGREB 1995

Oxygen and Carbon Isotopic Composition of Surficial Sediment from the Adriatic Sea

Tadej **DOLENEC**[1, 3], Jadran **FAGANELI**[2] & Jože **PEZDIČ**[3]

Abstract

The isotopic composition of the surficial sediments from the Adriatic Sea shows the variation of $\delta^{18}O$ in the range between +26.27‰ and +32.31‰ (SMOW) and of $\delta^{13}C$ between -2.54‰ and +1.60‰ (PDB). The geographical distribution of surficial sediment depleted in ^{18}O and ^{13}C is mostly restricted to the NW and SW coastal parts of the Adriatic which are strongly influenced by the river Po and other Italian river inflows, and, to a lesser extent to the SE part of the Adriatic affected by local Albanian and Croatian riverine inputs. The area of higher ^{18}O and ^{13}C content in sediments appears along the NE Adriatic coast due to the enrichment with dolomite which is being carried into the basin from the surrounding islands and coastal areas. Sediments with the highest ^{18}O and ^{13}C contents are located in the deepest parts of the Adriatic, i.e. the Jabuka and the south Adriatic Pits. This enrichment is due to the ingression of colder and isotopically heavier water from the eastern Mediterranean and higher ^{13}C content of seawater dissolved inorganic carbon (DIC).

INTRODUCTION

The stable isotope composition of carbonate sediments has been primarily used to examine the depositional and diagenetic conditions of their formation. In recent years it has become clear that the carbon isotope composition may reflects changes in the carbon cycle, a shift from a reduced phase (organic carbon) to an oxidized phase (dissolved carbonate). The variations of oxygen isotope composition usually reflect the sea water conditions. They may have been caused by a change of temperature of deposition, or by a change in $\delta^{18}O$ of the water, or some combination of the two. In this study we relate the stable isotope composition of surficial sediments from the Adriatic to the hydrological, sedimentological, environmental and temperature conditions in this sea.

RESULTS AND DISCUSSION

The stable isotope composition of bulk surface sediments has been used to examine their depositional and diagenetic environments. The isotopic composition of the surface sediment shows the variation of $\delta^{18}O$ in the range between +26.27‰ and +32.31‰ (SMOW) and of $\delta^{13}C$ between -2.54‰ and +1.60‰ (PDB) (Fig. 1). The variability of $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ is governed by: (1) the isotopic composition and the amount of detritial calcite and dolomite present in the sediment, (2) the isotopic composition and the amount of biogenic and authigenic carbonate phases, (3) the temperature and the oxygen isotopic composition of the sea water as well as by the carbon isotopic composition of the aqueous carbon bearing species. However the oxygen and carbon isotope in biogenic and authigenic phase is accompanied by temperature dependent fractional effect and can be in biogenic phase modified by unequilibrium conditions (vital effects) as well as by postdepositional changes.

The geographical distribution of surfice sediment enriched with light oxygen and carbon isotope is mostly restricted to the shallow coastal area along the eastern and western part of the Adriatic which is strongly influenced by isotopically light riverine inputs. Variations in $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ corespond to variations of oxygen and carbon isotopic composition of the coastal waters and may be also related to local conditions. In the norhtern Adriatic the sediments have the lightest $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ values which generally ranging from +26.27‰ to +28.82‰ and from -1.73‰ to +0.87‰. Outside this range are the sediments of the western Istria and the Kvarner region enriched in detrital dolomite. A clear trend of ^{18}O and ^{13}C depletion towards the outflow points of local river systems is also observed. The ^{18}O depletion of surface sediments close to the river mouth can be attributed to ^{18}O depleted biogenic and authigenic carbonate phases precipitated in these environments as well as to the presence of less or more isotopically altered carbonate detritus from the coastal area. The ^{13}C depleted character of the sediments is mainly inherited by the incorporation of ^{13}C depleted riverine derived dissolved inorganic carbon (Dragonja river $\delta^{13}C$ DIC = -12.74‰) and organic derived CO_2 produced by decomposition of organic matter. $\delta^{13}C$ of sedimentary organic matter in the Gulf of Trieste varies from -25.78

[1]University of Ljubljana, Faculty of Science and Technology, Department of Geology, Aškerčeva 12, 61000 Ljubljana, Slovenia.
[2]Marine Biology Station, Fornače 65, 66330 Piran, Slovenia.
[3]Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 61000 Ljubljana, Slovenia.

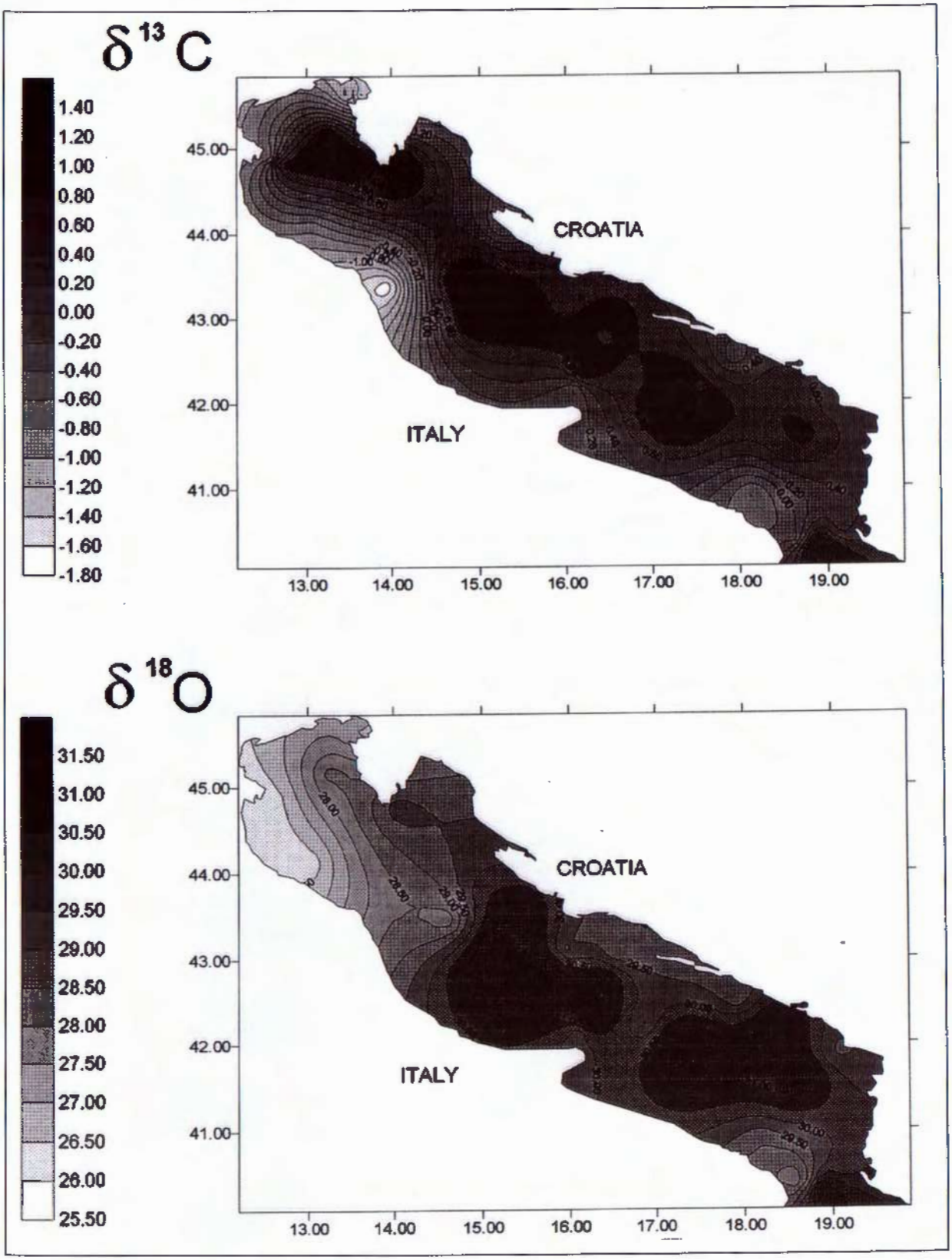


Fig. 1. Geographical distribution of $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ in surficial sediments from the Adriatic Sea.

to -21.45‰ (FAGANELLI et al., 1991; DOLENEC et al., 1993).

The area of higher ^{13}O and ^{13}C content appears along the offshore side of the norteastern Adriatic coast (western Istria and Kvarner region) due to the sediment enriched in dolomite. The variable abundance of dolomite seems to be an obvious and important factor govering the isotopic composition of this region. Its presence should be expected because the main structural type of this region are carbonates (limestones and

dolomites) mostly of the Mesozoic age (ŠKRIVANIĆ & MAGDALENIĆ, 1979). Preliminary investigations of these rocks from deep bore holes show that dolomites have usually higher ^{18}O and ^{13}C contents than limestones. We therefore assume that this sediments contain a mixture of dolomite and calcite, presumably of marine origin which are being carried into the basin from the surrounding islands and coastal area, and carbonate especially calcite of biogenic and authigenic origin. Sediments enriched in heavy isotopes exhibit $\delta^{18}O$ values between +28.73‰ and +30.35‰ and $\delta^{13}C$ values that varied from -0.24‰ to +1.39‰. Changes in the dolomite content of these samples are seen to be corelated to changes in the $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ of the carbonate fraction.

The isotopic composition of the sediments in the near shore facies of the central basin being close to that found in sediments of northern Adriatic, while the sediments from the coastal area of the southern basin are somewhat enriched with both heavy. Their $\delta^{18}O$ values have a range from +25.77‰ to +29.77‰ and $\delta^{13}C$ from -2.16‰ to -0.02‰. Isotopically the lowest are sediments from brackish to marine - brackish environments created by local riverine inputs or by freshwater supply through submarine sources. The sediments with the highest ^{18}O and ^{13}C content are restricted to the deepest parts of the both basins filled by isotopically heavier water. Towards the deepest parts is seen to increase the calcite content of the carbonate fraction and $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ values. The absence of aragonite X-ray peak must be related to its transformation into calcite during post depositional changes. Deep water sediment usually exhibit $\delta^{18}O$ values between +29.30‰ to +32.31‰ and $\delta^{13}C$ values which varried from -0.05‰ to +1.60‰. This enrichment with both heavy isotopes can simply be explained by the equilibration of carbonates with isotopic heavy waters at lower temperature as well as by the presence of isotopicaly heavier carbon in the central part of both basins. Outside this range are only $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ values of sediments from the western coast affected by isotopicaly lighter water.

Vertical distribution of oxygen and carbon isotopes in short cores (up to 30 cm) have shown the enrichment of sediments with light oxygen and carbon isotopes below the interface. As far as can be ascertained from the limited number of samples analyzed, perhaps this enrichment is due to diagenetic reactions which affected both the primary chemistry of the sediments and their isotopic composition. In all cases the $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ drop from the surface values. The total decrease in $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ attains up to 1‰ and 0.75‰. The explanation for the changes in $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ below the water - sediment interface is not definitive, no satisfactory explanation can be offered for the observed isotopic changes. Perhaps this trend probably indicates the influence of isotopically light bicarbonate produced during sulfate reduction of sedimentary organic matter on authigenic calcite precipitation and equilibration with ^{18}O depleted pore water. Decrease in pore water $\delta^{18}O$ values during early diagenesis can be atributed to precipitation of ^{18}O enriched authigenic minerals and alteration of organic matter (COLEMAN & RAISWELL, 1981; SASS et al., 1991; MOZLEY & CAROTHERS, 1992; MOZLEY & BURNS, 1993).

CONCLUSIONS

The oxygen and carbon isotopic compositions of the bulk surficial sediment appear to reflect the nature of the depositional environment, local carbonate sedimentary composition and post-depositional changes. The regional distribution of surficial sediment depleted in ^{18}O and ^{13}C is restricted to the coastal parts of the Adriatic strongly influenced by riverine inflows. An area of higher ^{18}O and ^{13}C content in sediments appears along the NE Adriatic coast due to enrichment with detrital dolomite. The highest values are measured in the deepest part of the central and southern Adriatic influenced by colder and isotopically heavier water. Below the sediment-water interface the variability of $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ is influenced by early diagenetic reactions affecting the primary oxygen and carbon isotopic composition.

REFERENCES

COLEMAN, M.L. & RAISWELL, R. (1981): Carbon, oxygen and sulphur isotope variations in concretions from the upper Lias of NE England.- Geochim. Cosmochim. Acta, 45, 329-340.

DOLENEC, T., PEZDIČ, J., HERLEC, U., FAGANELI, J., OGORELEC, B. & MIŠIČ M. (1987): Isotopic investigation of recent depositional environment in the northern and central part of the Adriatic Sea, Yugoslavia.- IAS meeting, Tunis.

FAGANELI, J., PLANINC, R., PEZDIČ, J., SMODIČ, B., STEGNAR, P. & OGORELEC, B. (1991): Marine geology of the Gulf of Trieste, B-Geochemical aspects.- Mar. Geol., 99, 93-101.

MOZLEY, P.S. & BURNS, S.J. (1993): Oxygen and carbon isotopic composition of marine carbonate concretions: an overview.- Jour. Sed. Pet., 63, 73-83.

MOZLEY, P.S. & CAROTHERS, W.W. (1992): Elemental and isotopic composition of siderite in the Kuparuk formation, Alaska: effect of microbial activity and water/sediment interaction on early pore water chemistry.- Jour. Sed. Pet., 62, 691-692.

SASS, E., BEIN, A. & ALMOGI-LABIN, A. (1991): Oxygen-isotope composition of diagenetic calcite in organic-rich rocks: evidence for 18O depletion in marine anaerobic pore water.- Geology, 19, 839-842.

ŠKRIVANIĆ, A. & MAGDALENIĆ, Z. (1979): Cruises of the Research Vessel "Vila Velebita" in the Kvarner region of the Adriatic Sea. IX. Quaternary sea-bottom sediments.- Thalassia Jugosl., 15, 35-60.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	159 - 161	ZAGREB 1995

Stable Isotopic Composition of Biogenic Carbonates from the Adriatic Sea

Tadej **DOLENEC**[1,2], Uroš **HERLEC**[1] & Jože **PEZDIČ**[2]

Abstract

The isotopic composition of mollusc shells from the Bay of Piran in the northern Adriatic (*Bittium reticulatum, Mytilus galloprovincialis, Gibbula* sp.) and from the Pirovac Bay in central Adriatic (*Ostrea edulis, Arca noae, Mytilus galloprovincialis, Venus verrucosa, Gourmia vulgata, Murex* sp.) show a somewhat higher content of light oxygen, and to a certain degree also the light carbon isotope than those from the deep water environment of the Jabuka Pit (*Ostrea cochlear, Cardium echinatum, Isocardia cor*). The results show that the variability of $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ in biogenic calcite and aragonite reflects environmental conditions such as temperature and isotopic composition of ambient water, vital effects, growth rate history and dietary habits. The $\delta^{18}O$ variations of biogenic carbonates follow closely those estimated from ambient temperature variations if adequate equation and correct $\delta^{18}O$ of ambient water is used. The carbon isotope data suggest that the investigated mollusc shells are not in expected equilibrium with the atmospheric CO_2. This probably indicates lower ^{13}C content in the ambient seawater bicarbonate compared to those usually measured in ocean water.

INTRODUCTION

The oxygen and carbon isotopic analyses of marine biogenic carbonates have become established as a routine technique in paleoclimatological, paleotemperature and environmental research, and have made some important contributions to our understanding of the biology of marine organisms and their mechanisms of calcification (WEBER & WOODHEAD, 1970; SPAETH et al., 1971; EMILIANI et al. 1978; GROSSMAN, 1984). Variations in the oxygen and carbon isotopes of biogenic carbonates have also proved to be an useful tool in the reconstruction of environmental characteristics in the Gulf of Trieste in the Northern Adriatic (FAGANELI et al. 1987).

In this paper only isotopic results for living specimens of *Ostea cochlear, Natica hebraea, Cardium echinatum, Isocardia cor* from deep water environment of the Central Adriatic basin in the Jabuka Pit are presented. The bulk of the data are from isotopic measurements made on the specimens from the Pirovac Bay in shallow coastal water environment slighty influenced by fresh water from the Vrana Lake (*Ostrea edulis, Arca noae, Mytilus galloprovincialis, Venus verrucosa, Gourmya vulgata, Murex* sp., and fish otoliths - *Mugil* sp.) and from the shallow open marine environment around the Kornati islands (fish otoliths - *Corvina nigra* and coralline algal nodules). The isotopic data of the specimens from the Piran Bay in northern Adriatic are also included (*Bittium reticulatum, Mytilus galloprovincialis, Gibbula* sp.).

RESULTS AND DISCUSSION

MOLLUSC SHELLS

The isotopic composition of mollusc shells from the Northern Adriatic and from the coastal area of the Central Adriatic show somewhat higher content of light oxygen, and to a certain degreee also the light carbon isotope than in the deep water environments. The isotopic composition of mollusc shells from the Pirovac Bay and the Piran Bay thus reflects the influence of fresh water, which is higher in the Piran Bay that in Pirovac Bay. In the Piran Bay, the difference in the isotopic composition of oxygen in mollusc shells from brackish and marine environments attains up to 2‰, while that difference in Pirovac Bay are on the average less that 1‰ (DOLENEC et al. 1987). It is therefore to be expected that quite a range in $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ can exist in shallow coastal mollusc shells even if they were deposited in isotopic equilibrium.

It is clear that considerable variations exist in the oxygen and carbon composition and temperature of Northern Adriatic and coastal water from Central Adriatic. Considering an annual temperature range between 9 and 27°C and the $\delta^{18}O$ range of ambient seawater between -1.0‰ and +1.0‰, equilibrium aragonite should have $\delta^{18}O$ between +29.88 ‰ and +34.15 ‰ on the SMOW scale using GROSSMAN & KU (1981) relation, while equilibrium calcite should exhibit $\delta^{18}O$ values from +27.00‰ to +33.07‰ (O'NEIL et al., 1969). Because the molluscs from these environments exhibit ^{18}O values in the range between +29.85‰ and + 32.27‰ the equilibrium precipitation of carbonate during colder to moderate seasonal conditions can be assumed. For individual taxa, correlations between $\delta^{13}C$

[1]University of Ljubljana, Faculty of Science and Technology, Department of Geology, Aškerčeva 12, 61000 Ljubljana, Slovenia.
[2]Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 61000 Ljubljana, Slovenia.

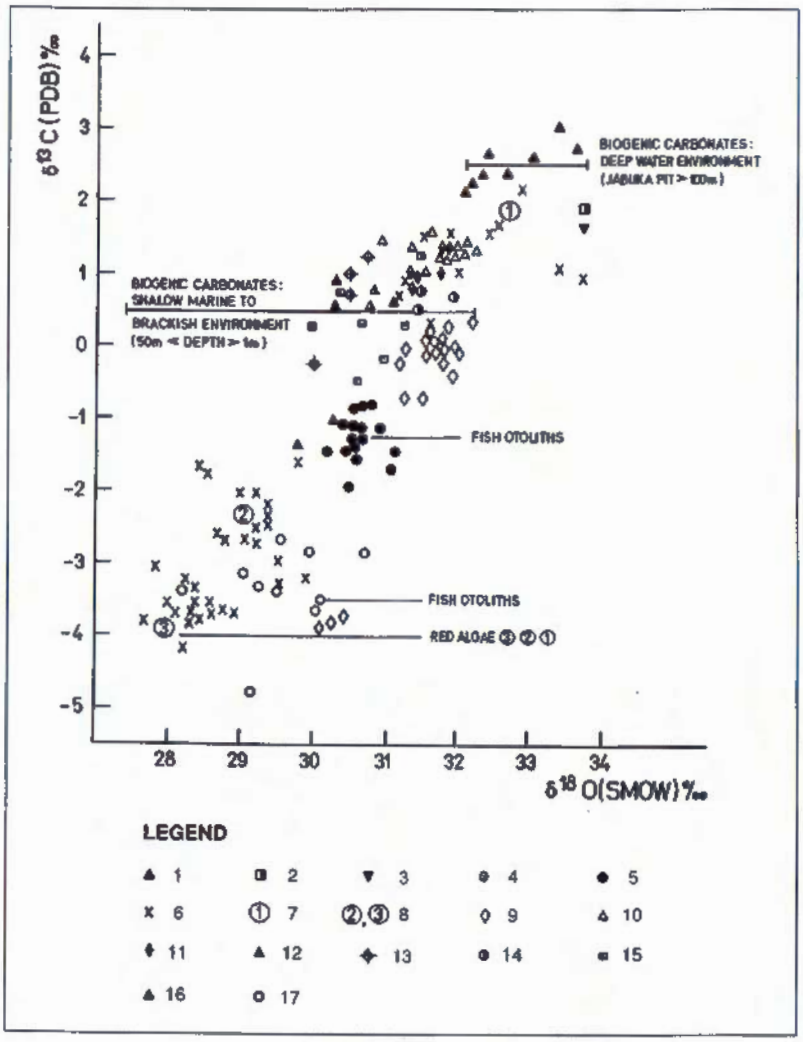


Fig. 1 Scatter plot of $\delta^{18}O$ versus $\delta^{13}C$ for biogenic carbonates. Legend: Deep water environment (Jabuka Pit): 1 - *Ostrea cochlear*; 2 - *Isocardia cor*; 3 - *Cardium echinatum*; 4 - *Natica hebraea*; Shallow open marine environment (Kornati islands): 5 - *Corvina nigra*; 6 - red algae: 7 - inner part, 8 - periphery; Shallow coastal environment (Pirovac and Piran Bay): 9 - *Mytilus galloprovinctalis*; 10 - *Ostrea edulis*; 11 - *Arca noae*; 12 - *Venus verrucosa*; 13 - *Gourmia vulgata*; 14 - *Murex* sp.; 15 - *Bittium reticulatum*; 16 - *Gibbula* sp.; 17 - *Mugil* sp.

and $\delta^{18}O$ exist (Fig. 1). To a first approximation this relationships are attributed to relatively large ranges in temperature, ^{13}C bicarbonate variability, vital effects and dietary habits.

Carbonate of various molluscs living in deep water environment of the Jabuka Pit is enriched in heavy isotopes reflecting the isotopic composition of ambient water ($\delta^{18}O_w$ = + 1.26‰) and the mean annual temperature, which is in the Jabuka Pit below the 100 m depth between 9 and 15°C. High $\delta^{13}C$ values indicate the presence of dissolved DIC that is enriched in ^{13}C. The equilibrium temperature in the Jabuka Pit calculated for aragonite according to using GROSSMAN & KU (1986) ranges from 12 to 19°C, while the equilibrium temperature for calcite (O'NEIL et al., 1969) is slightly lower and ranges from 8 to 14°C. The results show that $\delta^{18}O$ variations closely follow those expected from ambient temperature variations, and suggest the precipitation of biogenic carbonates during the warmer period of the year.

FISH OTOLITHS

Distributions of oxygen and carbon stable isotope in fish otoliths from non migrator *Corvina nigra* living in depth of about 10 m and migrator *Mugil* sp. which inhabits the shallow surface water of the Pirovac Bay were also investigated. Our results show a depletion in ^{18}O and ^{13}C of *Mugil* sp. otoliths relative to otoliths of *Corvina nigra* (Fig. 1). This depletion may reflect either higher ambient temperature or isotope depletion of ambient water of *Mugil* sp. The variability of both $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ values is larger for migrator *Mugil* sp. than for non-migrator *Corvina nigra*. The calculated equilibrium temperature from *Corvina nigra* otoliths shows values in the range between 17 and 20°C while that from *Mugil* sp. ranges from 16 to 27°C. The temperature range for both species is quite consistent with measured annual range of ambient seawater temperature and its oxygen isotopic composition ($\delta^{18}O_w$ - *Corvina nigra* = +0.65‰; $\delta^{18}O_w$ - *Mugil* sp. - range between -1.0‰ and +0.45‰). These data may, therefore, indicate that aragonite of fish otoliths was formed in isotopic equilibrium with sea water. Similar conclusions were also drawn by KALISH (1991). The variability of $\delta^{13}C$ values in both species seems to reflect nonequilibrium conditions due to different metabolic rates and dietary habits. However, the incorporation of carbon from brackish and riverine water in *Mugil* sp. otoliths cannot be excluded. A temperature dependent

relationship between $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ values was not found and it is supposed to be overprinted by the metabolic effect (KALISH, 1991).

RED ALGAL CALCITE

Coralline algal nodules and concretions made up mostly of *Lithophillum* sp., recognized as rodoliths were the next object of this investigations. They were collected in a shallow water environment, between 2 and 1 meters, around the island of the Central Adriatic. Isotopic data of algal nodules and concretions exhibited a large dispersion of $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ from +28.75 ‰ to +32.83 ‰ and from -4.15 ‰ to +2.21 ‰, respectively. A positive correlation between carbon and oxygen isotope composition was found in algal calcite (Fig. 1). Certain rodoliths show increasing ^{16}O and ^{12}C content and gradual depletion in $MgCO_3$ concentrations from the inner part to the periphery. TARUTANI et al. (1969) showed that Ca vs. Mg substitution can increase the ^{18}O content of the carbonate by 0.06‰ per mol percent of $MgCO_3$. The fact that our data show considerable enrichment, up to 3‰, suggests that the ^{18}O enrichment processes in these algal are strongly influenced by metabolic processes which overprinted the effects of temperature variations and mineralogy. ^{18}O enrichment in algal calcite due to metabolic processes is not unusual and wa s also reported by WEFER & BERGER (1981). The calculated temperature (O'NEIL et al. 1969) cover a range from 6 to 24°C, and suggests that the algal calcite is not too far from presumed isotopic equilibrium.

It is supposed that the dispersion of $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ and the positive corelations between ^{13}C and ^{18}O content of red algal calcite may be generally due to seasonal variations of water temperature, difference of mineralogy, as well as the vital effects. Carbon isotopic disequilibrium due to vital effect is obvious and is also clearly of greater magnitude than oxygen isotopic disequilibrium. The isotope patterns of each nodules or algal crust thus reflect distinc differences in life history, growth rate history, life-span and mineralogy. The realization that living rodoliths may be tens to hundreds years old means that a relatively long-term record of environmental conditions concerning the information on depth, temperature and hydraulic characteristics is thus preserved in algal calcite.

CONCLUSIONS

The oxygen and carbon isotopic composition of biogenic carbonates reflects the environmental conditions which can be slightly overprinted due to the vital effects of certain carbonate secreting organisms. The processes belived to be most responsible for the variability of the $\delta^{13}C$ in investigated biogenic carbonates are: variable isotope composition of the ambient water bicarbonate, vital effects, growth-rate temperature history and dietary habits, while the variability of $\delta^{18}O$ is mostly governed by the oxygen isotopic composition of the ambient water and temperature and to a lesser degree by vital effects and mineralogy of certain organisms. Concerning the application of the method to temperature analyses, the calculated temperatures of biogenic carbonates are in general close to those expected from ambient temperature variations and confirm the utility of investigated biogenic carbonates as good environmental temperature indicators.

REFERENCES

DOLENEC, T., PEZDIČ, J., HERLEC, U., FAGANELI, J., OGORELEC, B. & MIŠIČ, M. (1987): Isotopic investigation of recent depositional environment in the northern and central part of the Adriatic Sea, Yugoslavia.- IAS meeting, Tunis.

EMILIANI, C., HUDSON, J.H., SHINN, E.A., GEORGE, R.Y. & LIDZ, B., (1978): Oxygen and carbon isotopic growth record in a reef coral from the Florida. Keys and a deep-sea coral from Blake Plateau.- Science, 292, 627-629.

FAGANELI, J., PLANINC, R., PEZDIČ, J., SMODIČ, B., STEGNAR, P. & OGORELEC, B. (1991): Marine geology of the Gulf of Trieste, B-Geochemical aspects.- Mar. Geol., 99, 93-101.

GROSSMAN, E.L. (1984): Stable isotope fractionation in live benthic foraminifera from the Southern California Borderland.- Paleogeogr. Paleoclim. Paleoecol., 47, 301-327.

GROSSMAN, E.L. & KU, T.L. (1981): Aragonite water isotopic paleotemperature scale based on benthic foraminifera Hoeglundina elegans.- Geol. Soc. Am. Ann. Meet., Abstr. prog., pp. 464.

GROSSMAN, E.L. & KU, T.L. (1986): Oxygen and carbon isotope fractionation in biogenic aragonite: temperature effects.- Chem. Geol., 59, 59-74.

KALISH, J. M. (1991): ^{13}C and ^{18}O isotopic disequilibria in fish otoliths: metabolic and kinetic effects.- Mar. Ecol. prog. Ser., 75, 191-203.

O'NEIL, J.R., CLAYTON, R.N. & MAYEDA, T.K. (1969): Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates.- J. Chem. Phys., 51, 5547-5558.

SPAETH, C., HOEFS, J. & VETTER, U. (1971): The isotopic composition of belemnites and related paleotemperatures.- Geol. Soc. Amer. Bull., 82, 3139-3150.

TARUTANI, T., CLAYTON, R.N. & MAYEDA, T.K. (1969): The effect of polymorphism and magnesioum substitution on oxygen isotope fractionation between calcium carbonate and water.- Geochim. Cosmichim. Acta, 33, 987-996.

WEBER, J.N. & WOODHEAD, P.M.J. (1970): Carbon and oxygen isotope fractionation in the skeletal carbonate of reef building corals.- Chem. Geol., 6, 93-123.

ZORE-ARMANDA, M. (1968): The system of currents in the Adriatic Sea.- Rev. Gen. fish. Count. Medit., 34, 34 p.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	163 - 165	ZAGREB 1995

The Permian-Triassic Boundary in the Karavanke Mountains (Slovenia): Stable Isotope Variations

Tadej **DOLENEC**[1,3], Bojan **OGORELEC**[2] & Jože **PEZDIČ**[3]

Abstract

The stable isotope composition of the Upper Permian and Lower Triassic beds in the Karavanke Mountains of Tržič area has been used to investigate carbon and oxygen variations of the marine carbonate sequence across the Permian-Triassic boundary. The lithostratigraphic boundary between the lower Triassic-Scythian beds and underlying Upper Permian beds is transitional so that no exact line can be drawn between them. The transition from Permian to Triassic is characterised by a shift of $\delta^{13}C$ toward more positive and of $\delta^{18}O$ toward more negative values. The results suggest that the stable isotope variability at the P/Tr boundary reflects the changes in the carbon cycle and/or climatic changes, probably controlled by eustatic oscillations of the Bellerophon Sea level and by tectonics.

INTRODUCTION

The stable isotope composition of carbonate sediments primarily reflects depositional and diagenetic conditions of their formation. Although these variations may be related to local conditions, several observations in recent years suggest that the carbon isotope composition may indicate global changes in the carbon cycle which are known from the Precambrian onward (ORTH et al., 1986; XU et al., 1986; PLAYFORD et al., 1984; MAGARITZ et al., 1988; MAGARITZ & HOLSER, 1991; DOLENEC & OGORELEC, 1995; HSU & MCKENZIE, 1990; IVANY & SALAWITCH, 1993). Shifts in $\delta^{18}O$ values primarily indicate seawater temperature changes. They may have been also caused by a change in $\delta^{18}O$ of the water and/or by the post-depositional exchange with isotopically light meteoric water. The aim of this study was to determine whether there have been any systematic changes in $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ during the Permian-Triassic transition in the Karavanke Mountains of Tržič area related to a worldwide collapse of terrestrial ecosystems and the end-Permian mass extinction.

RESULTS AND DISCUSSION

After the Middle Permian period during which clastic Val Gardena sandstones were deposited in continental environments, gradual subsidence affected the area of the Karavanke Alps. The subsidence was controlled by marine transgression. It was a time of climatic and geographic changes from continental to marine environments which are reflected in an intertongued lithofacies. Thin dolomite layers interlock by mutual penetration in shale and sandstone. This interlayered suite appears to be up to ten metres thick. Only thereupon did marine sedimentation become widespread. The Upper Permian beds of the investigated area are composed of up to 60 m thick evaporitic sequence composed of cellular dolomite intercalated with bituminous dolomite and marls. The evaporitic sequence is overlain by a gray dolomite up to 250 m thick. A foraminifer *Hemigordiopsis* sp. was determined from this member. From the bottom to the top, the sedimentary facies of the Upper Permian beds thus evolved from more or less restricted lagoon dolomites alternated with sabkha gypsum toward open lagoon - shallow shelf biomicrite dolomite. The carbon and oxygen isotope data show a gradual enrichment (from +1.23‰ to +5.12‰ and from +24.50‰ to +30.58‰) of the bottom evaporitic sequence with heavy carbon and oxygen isotopes, followed by a gradual ^{13}C and ^{18}O depletion (from +4.60‰ to -0.13‰ and from +30.60‰ to +27.28‰) of overlying biomicrite dolomite (Fig. 1). The $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ shift in the evaporitic section of the Upper Permian beds toward more positive values is correlated with the Bellerophon Sea transgression, while the $\delta^{13}C$ shift in the topmost part of the Upper Permian dolomite probably reflects the lowering of the Bellerophon Sea level and flux of isotopically light organic derived carbon in a depositional environment. The partially parallel negative excursion in $\delta^{18}O$ can similary be interpreted as due to the influence of isotopically lighter water during this period of inferred marine regression.

The Upper Permian beds are overlain by the Scythian beds which are subdivided into two lithologi-

[1]University of Ljubljana, Faculty of Science and Technology, Department of Geology, Aškerčeva 12, 61000 Ljubljana, Slovenia.
[2]Institute of Geology, Geotechnics and Geophysics, Dimičeva 14, 61000 Ljubljana, Slovenia.
[3]Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 61000 Ljubljana, Slovenia.

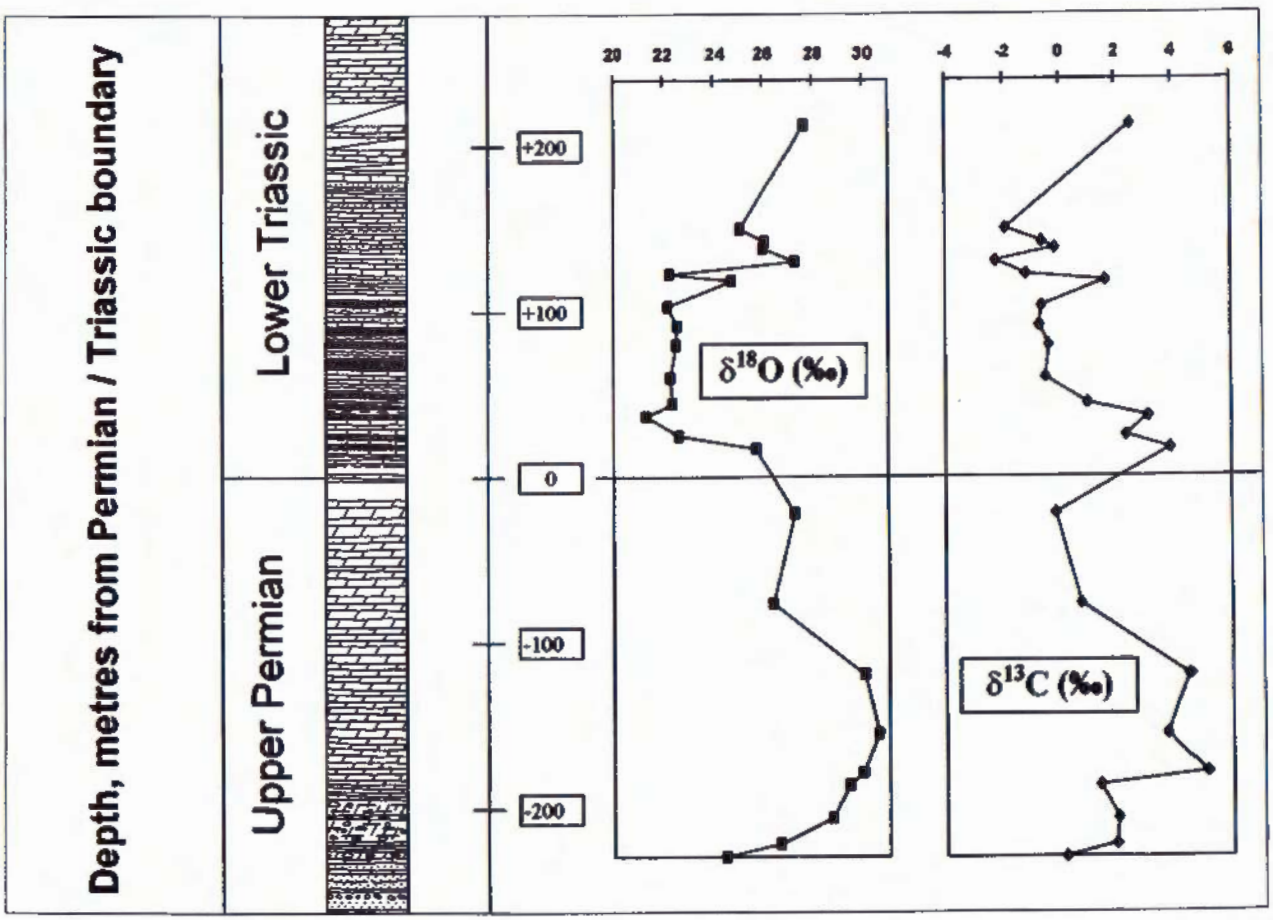


Fig. 1. $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ stratigraphy from P/Tr boundary at Tržič.

cal units, each of them about 100 m thick. The lower consists of dolomites, biomicritic limestones, silty shales and marls interbeded with reddish oolitic limestones. The red colour of the limestone refers to the presence of disseminated clay minerals and hematite. Gastropod shells of the species *Holopela Gracilior* SCHAUROTH occur in oolitic beds. Ooids were formed in intertidal channels and deltas. The upper unit is composed mainly of dark gray limestones and rare shales; however, no oolitic limestone can be found in this unit. The stratigraphic range of the beds is indicated by the foraminifer *Glomospira sinensis* HO. The lithostratigraphic boundary between the Lower Triassic-Scythian beds and the underlying Upper Permian beds is transitional and no exact line can be drawn between them. The transition from Permian to Triassic is characterised by a shift in $\delta^{13}C$ toward more positive values and $\delta^{18}O$ towards more negative values (Fig. 1). The shape of the carbon isotope curve of the Scythian beds reflects at least three separate phases of subaerial erosion and oxidation of organic matter due to some major transgressive-regressive cycles, probably controled by eustatic oscillations and by tectonics. The $\delta^{18}O$ data for the negative excursion at the P/Tr transition (from +27.28‰ to +21.36‰) cannot be interpreted only in terms of water temperature. They may have also been caused by a change in $\delta^{18}O$ of the water, decrease of salinity, post depositional alterations or some combinations of all the mentioned possibilities. However, the cause of such a large shift in $\delta^{18}O$ near the P/Tr boundary also obvserved by MAGARITZ & HOLSER (1991) in the Carnian Alps of Austria still remains open. The gradual return to more positive $\delta^{18}O$ values (from +21.36‰ to +27.66‰) above the P/Tr boundary could be interpreted as the results of a global cooling trend in the Scythian.

CONCLUSIONS

Our results indicate that there is a strong shift to the lighter isotopes of carbon and oxygen in the transition from Permian to Triassic. These observations provide clear evidence that something unusual happened at the time of P/Tr boundary. According to our speculative interpretation of existing data, we suppose a causal connection between the isotopic anomalies and a widespread regression during the terminal Permian, leading to increased erosion of organic material, oceanic anoxia and to the suggested end-Permian mass extinction.

REFERENCES

DOLENEC, T. & OGORELEC, B. (1995): The Permian - Triassic boundary in the Karavanke Mountains (Slovenia): Carbon isotope variations.- IAS 16th Regional Meeting of Sedimentology, Book of Abstract, Publication ASF, 58.

HSU, K.J. & McKENZIE, J.A. (1990): Carbon isotope anomalies et era boundaries.- In: SHARPTON, V.L., WARD, P.D. & BURKE, T. (eds.): Global Catastrophes in Earth History: An Interdisciplinary Conference on Impacts, Volcanism and Mass Mortality. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 247, 61-69.

IVANY, L.C. & SALAWITCH, R.J. (1993): Carbon isotope evidence for biomass burning at the K - T boundary.- Geology, 21, 487-490.

MAGARITZ, M., BAR, R., BAUD, A. & HOSLER, W.T. (1988): The carbon - isotope shift at the Permian - Triassic boundary in the Southern Alps is gradual.- Nature, 331, 337-339.

MAGARITZ, M. & HOLSER, T. (1991): The Permian - Triassic boundary in the Carnic Alps of Austria (Gartnerkofel Region).- Abh. Geol. B.-A., 45, 149-163.

ORTH, C.J., GILMORE, J.S., QUINTANA, R.R., & SHECHAN, P.M. (1986): Terminal Ordovician extinction: Geochemical analysis of the Ordovician/Silurian boundary, Anticosti Island, Quebec.- Geology, 14, 433-436.

PLAYFORD, P.E., McLAREN, D.J., ORTH, C.J., GILMORE, J.S. & GOODFELOW, W.D. (1984): Iridium anomaly in the Upper Devonian of the Canning Basin, Western Australia.- Science, 228, 437-439.

XU, D.Y., YANG, Z., ZHANG, Q.W., SHAN, Z.D., SU, Y.Y. & Y, L.F. (1986): Significance of a $\delta^{13}C$ anomaly near the Devonian/Carboniferous boundary at the Uuhua section, South China.- Nature, 321, 854-855.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	167 - 172	ZAGREB 1995

Novi podaci o stratigrafiji donje krede otoka Cresa

Ladislav **FUČEK**, Ivo **VELIĆ**, Igor **VLAHOVIĆ**, Nenad **OŠTRIĆ**, Boško **KOROLIJA** & Dubravko **MATIČEC**

Ključne riječi: donja kreda, stratigrafske jedinice, foraminifersko-algalne zajednice, karbonatna platforma, otok Cres, Hrvatska

Key words: Lower Cretaceous, Stratigraphic units, Foraminiferal-algal assemblages, Carbonate platform, Island of Cres, Croatia

Sažetak

Unutar donjokrednih naslaga sjevernog dijela otoka Cresa izdvojeno je šest neformalnih litostratigrafskih jedinica i devet biostratigrafskih zona kronostratigrafskog raspona od (?berijas-) valendisa do najgornjega alba. Prva jedinica **Dragozetići-1** obuhvaća *Favreina njegosensis - Favreina cf. dinarica biozonu* i *Vercorsella camposaurii biozonu* raspona ?berijas - valendis. Druga jedinica **Dragozetići-2** sadrži *Clypeina solkani - Campanellula capuensis biozonu* i *Salpingoporella muehlbergii - Salpingoporella melitae biozonu* kronostratigrafskog raspona od prijelaza otriv-barem do najgornjeg barema. Treća jedinica **Creski žuti** odgovara *Palorbitolina lenticularis biozoni* donjoaptske starosti. Četvrta jedinica **Crna-1** obuhvaća *Salpingoporella dinarica biozonu* u gornjem aptu i *Orbitolina (Mesorbitolina) texana biozonu* u donjem albu. Peta jedinica **Crna-2** odgovara *Nerinea fleuriaui biozoni* mladega donjeg alba i *Valdanchella dercourti i Salpingoporella turgida biozoni* gornjeg alba. Zadnja, šesta jedinica **Crna-3** predstavljena je isključivo kasnodijagenetskim dolomitima bez fosila, a kronostratigrafski bi najvjerojatnije odgovarala najgornjem albu.

Abstract

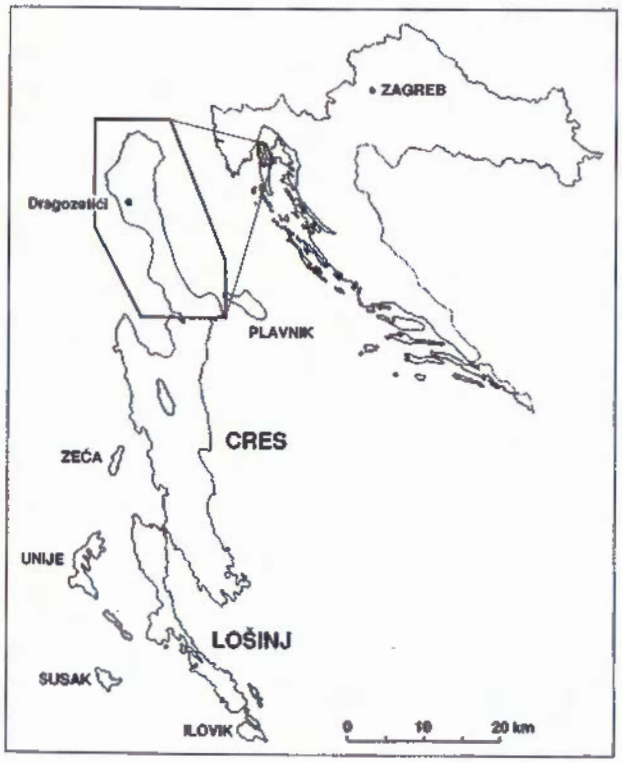
Lower Cretaceous deposits of the northern part of the Island of Cres have been divided into six informal lithostratigraphic units and nine biostratigraphic zones ranging from (?Berriasian-) Valanginian to uppermost Albian. The first unit **Dragozetići-1** comprises *Favreina njegosensis - Favreina cf. dinarica biozone* and *Vercorsella camposaurii biozone* of stratigraphic range ?Berriasian - Valanginian. The second unit **Dragozetići-2** comprises *Clypeina solkani - Campanellula capuensis biozone* and *Salpingoporella muehlbergii - Salpingoporella melitae biozone* ranging from Hauterivian-Barremian transition to the uppermost Barremian. The third unit **Creski žuti** corresponds to the *Palorbitolina lenticularis biozone* of the Lower Aptian age. The fourth unit **Crna-1** comprises *Salpingoporella dinarica biozone* in the Upper Aptian and *Orbitolina (Mesorbitolina) texana biozone* in the lower Albian. The fifth unit **Crna-2** corresponds to the *Nerinea fleuriaui biozone* of the younger Lower Aptian and *Valdanchella dercourti and Salpingoporella turgida biozone* of the Upper Albian. The last unit, **Crna-3**, is characterised by late-diagenetical dolomites without fossil remains, probably of the uppermost Albian age.

UVOD I VAŽNIJA PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Slijed donjokrednih naslaga kod mjesta Dragozetići na sjevernom dijelu otoka Cresa, poslužio je kao temelj za izdvajanje i definiranje genetski homogenih litostratigrafskih cjelina. Na istraženom području, kao dijelu Jadranske karbonatne platforme, izdvojeno je šest neformalnih litostratigrafskih jedinica i devet biostratigrafskih zona kronostratigrafskog raspona od ?berijasa do gornjega alba. Biostratigrafska raščlamba donje krede provedena je na temelju analiza mikrofosilnih zajednica koje sadrže pretežito bentosne foraminifere *(Ataxophragmiidae* i *Orbitolinidae* i vapnenačke alge *(Dasycladaceae)*. Litofacijesnom analizom utvrđeni su okoliši zaštićene lagune, plitkog subtajdala s promjenljivom energijom vode i plitkog subtajdala s umjerenom i višom energijom vode, koji je karakteriziran nepotpunim parasekvencijama oplićavanja naviše s pokrupnjavanjem zrna, olujnim sedimentima i povremenim okopnjavanjima - emerzijama.

Istraživanja sjevernog dijela otoka Cresa započela su već sredinom prošlog stoljeća u okviru proučavanja geološke građe šireg područja sjevernog Jadrana i Istre. Prve važnije podatke o stratigrafiji krede daje STACHE (1859), koji utvrđuje da se otok Cres sastoji od vapnenaca, pješčanih dolomita srednje kredne zone i svijetlih vapnenaca gornje rudistne zone. Prema Haueru (HAUER, 1868) kredne naslage sjevernog jadranskog područja pripadaju cenomanu i donjem turonu. WAAGEN (1904) dolomite u srednjem i južnom dijelu otoka Cresa postavlja u bazu gornje krede. Najviše stratigrafskih podataka o donjoj kredi sjevernog dijela otoka Cresa daju ŠIKIĆ & POLŠAK (1973), koji naslage s mikrofosilnom zajednicom *Trocholina conica* (SCHLUMBERGER), *Orbitolina* sp., *Pseudocyclamina*

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



Sl. 1 Položajna skica istraživanog područja.

lituus YOKOYAMA i dr. stavljaju u niže dijelove donje krede, utvrđuju barem-aptsku starost vapnenaca vrstom *Salpingoporella dinarica* RADOIČIĆ, te pretpostavljaju prijelaz iz donje u gornju kredu vrstom *Ovalveolina ovum* (D'ORBIGNY).

Tijekom 1994. i 1995. godine na sjevernom dijelu otoka Cresa obavljena su opsežna terenska istraživanja za Geološku kartu Republike Hrvatske M 1: 50 000.

SLIJED NASLAGA I LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE

Gotovo neporemećen, normalan slijed donjokrednih naslaga istraživan je sjeveroistočno od ceste Cres-Porozina kod mjesta Dragozetići (sl. 1).

Stratimetrijskim snimanjem obuhvaćeno je 818 metara normalnog superpozicijskog slijeda, unutar kojeg je definirano šest neformalnih litostratigrafskih jedinica kronostratigrafskog raspona od pretpostavljenog berijasa i utvrđenog valendisa do gornjega alba, s ukupno devet izdvojenih biostratigrafskih zona (sl. 2).

Najstarija neformalna litostratigrafska jedinica **DRAGOZETIĆI-1** predstavljena je debelo uslojenim, sivosmeđim madstonima koji u pojedinim horizontima sadrže veću koncentraciju skeletno-kalupnih šupljina i fenestri, te rijetke, tanje proslojke i džepove favreinskih pekston-grejnstona. Zrnasti varijeteti vapnenaca izgrađeni su od dobro sortiranih favreina te slabo sortiranih peloida i mikritnih intraklasta. Sporadično se javljaju ostrakodi, bentosne foraminifere, gastropodi i alge. Izmjerena debljina jedinice iznosi 330 metara. U njezinom donjem dijelu (prvih 70 m) slojevitost varira od 100 do 250 cm, dok je u preostalom dijelu od 30 do 50 cm.

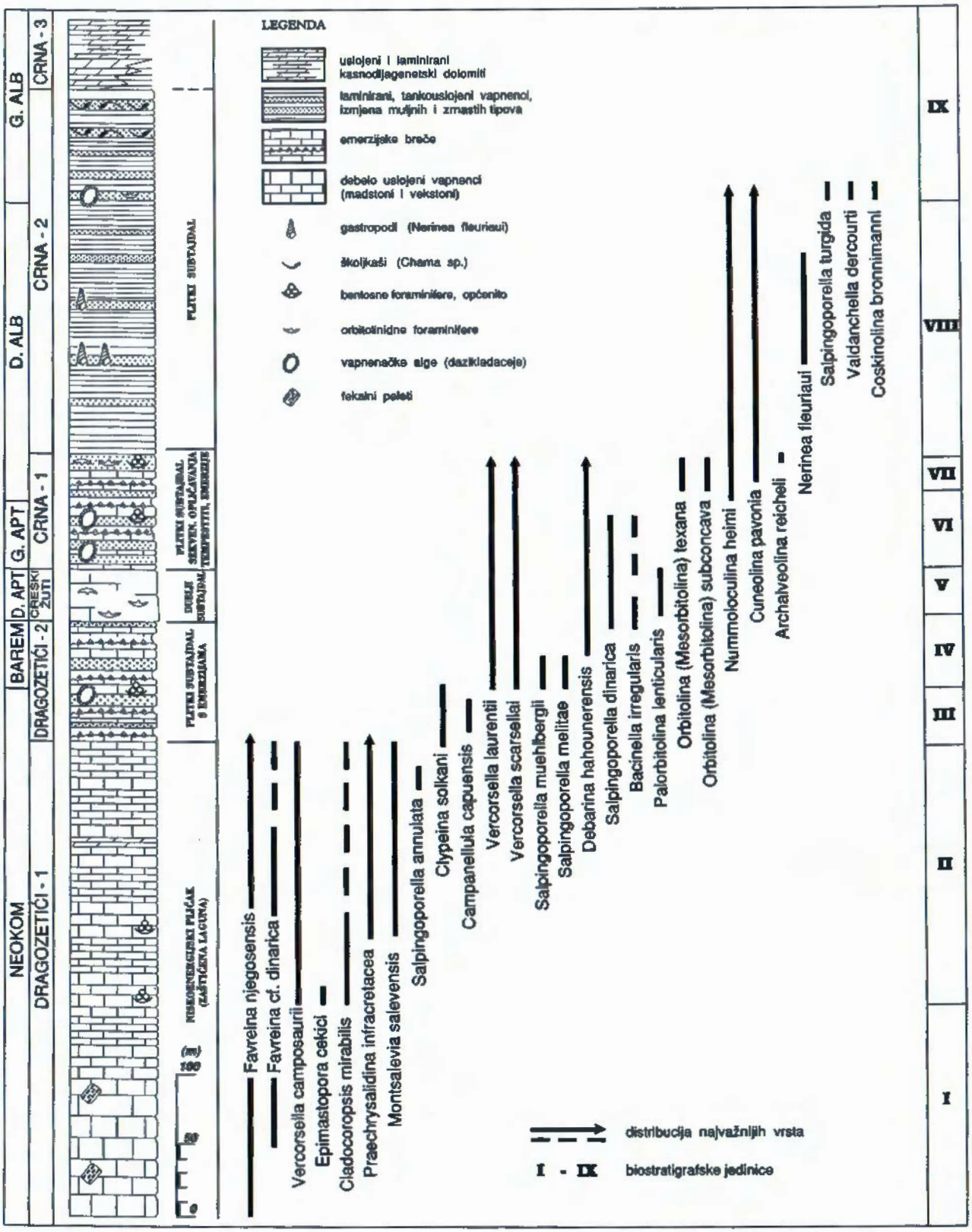
Utvrđena mikrofosilna zajednica sadrži: *Favreina njegosensis* BRÖNNIMANN, *Favreina* cf. *dinarica* BRÖNNIMANN, *Vercorsella camposaurii* (SARTONI & CRESCENTI), *Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO-SINNI, *Montsalevia salevensis* (CHAROLLAIS et al.), *Valvulina lugeoni* SEPTFONTAINE, *Novalesia* sp., *Cladocoropsis mirabilis* FELIX, *Epimastopora cekici* RADOIČIĆ* i *Salpingoporella annulata* CAROZZI. S obzirom da donji dio jedinice sadrži isključivo favreinske pelete definiran je kao (I) ***Favreina njegosensis i Favreina cf. dinarica zona.*** Za ostali dio jedinice značajna je provodna foraminiferska vrsta prema kojoj je definirana (II) ***Vercorsella camposaurii zona.*** Analizom mikrofosilnog sadržaja utvrđena je neokomska starost raspona ?berijas-valendis.

Naslage su taložene pretežito u području plićeg subtajdala, djelomice i donjeg intertajdala, pri čemu je energija vode varirala od niske do umjerene. Rijetko prisutne bentosne foraminifere, vapnenačke alge i mjestimice gusto pakirane mnogobrojne favreine u centimetarski tankim proslojcima, povremenim su strujama nanašane iz platformnih plićaka u mirnije, zaštićenije lagunarne okoliše. Istovremene naslage na širem području ne odražavaju bitne promjene u litofacijesu i mikrofosilnom sadržaju, što jedinicu čini homogenom cjelinom koja je prepoznatljiva na cijelom sjevernom dijelu otoka Cresa.

Glavne kriterije za izdvajanje neformalne litostratigrafske jedinice **DRAGOZETIĆI-2** predstavljaju pojava intraformacijskih breča s pretežito jasnim emerzijskim značajkama i promjena biofacijesnih obilježja naslaga. Izdvojena jedinica je ukupne debljine oko 130 m, a debljina pojedinih slojeva varira između 20 i 200 cm, najčešće između 30 i 70 cm. Od mikrofosila dominiraju bentosne foraminifere i vapnenačke alge. Utvrđena je slijedeća zajednica: *Campanellula capuensis* DE CASTRO, *Vercorsella arenata* ARNAUD-VANNEAU, *Vercorsella scarsellai* (DE CASTRO), *Vercorsella laurentii* (SARTONI & CRESENTI), *Maycina bulgarica* LAUG et al., *Debarina hahounerensis* FOURCADE et al., *Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO-SINNI, *Trocholina molesta* GORBATCHIK, *Sabaudia minuta* (HOFKER), *Cuneolina* sp. (?*C. hensoni* DALBIEZ), *Novalesia distorta* ARNAUD-VANNEAU, *Haplophragmoides* sp., *Pseudocyclammina* sp., *Nummoloculina* sp., *Pseudolituonella* sp., *Salpingoporella muehlbergii* (LORENZ), *Salpingoporella melitae* RADOIČIĆ, *Clypeina ?solkani* CONRAD & RADOIČIĆ, vj. *Cylindroporella ivanovici* SOKAČ, vj. *Salpingoporella biokoviensis* SOKAČ &

* Autori zahvaljuju kolegi dr. Branku SOKAČU na odredbama vapnenačkih alga.

VELIĆ, te mnogobrojne sitne specifički i generički neodredive miliolide, ataksofragmide, lituolide i dr. Navedena mikrofosilna zajednica podijeljena je na dvije biostratigrafske jedinice: (III) ***Clypeina ?solkani i Campanellula capuensis zonu***, koja kronostratigrafski odgovara prijelaznim naslagama iz otriva u barem, i (IV) ***Salpingoporella muehlbergii i Salpingoporella melitae zonu***, koja predstavlja intervalnu zonu od zadnjih pojava *C. capuensis* do prvih nalaza palorbitolina, a kronostratigrafski odgovara baremu. Dakle, opisana



Sl. 2 Pregledni stup donjokrednih naslaga sjevernog dijela otoka Cresa s izdvojenim litostratigrafskim jedinicama, biostratigrafskim zonama i kronostratigrafskim rasponom najvažnijih vrsta.

jedinica ima kronostratigrafski raspon gornji otriv - barem.

Početak jedinice obilježen je dobrouslojenim (50 do 80 cm) madstonima s rijetkim bentosnim foraminiferama i vapnenačkim algama taloženim u niskoenergijskom plićaku, s učestalom pojavom intraformacijskih tektogeno-siparišnih i emerzijskih breča. Mlađi dio jedinice sadrži pretežito zrnaste tipove stijena (vekstonpekstoni, pekstoni i grejnstoni) i intraformacijske breče. Analizom biofacijesa i sedimentno-petrografskom analizom utvrđeno je taloženje u plitkom subtajdalu s umjerenom do visokom energijom vode i učestalim izronjavanjima. Pojavu intraformacijskih tektogeno-siparišnih i emerzijskih breča moguće je objasniti kao posljedicu sinsedimentacijske tektonike, uslijed koje su već djelomice litificirane naslage izdizane i trošene, pri čemu je transport bio vrlo kratak. Uz jače rasjedne zone takve su breče nerijetko tektonizirane, što je odraženo u njihovu znatno kompleksnijem strukturnom sklopu.

Prestanak pojavljivanja emerzijskih breča, litofacijesne promjene u slijedu naslaga i prve pojave palorbitolina označavaju početak nove litostratigrafske jedinice nazvane **CRESKI ŽUTI.** Njezino glavno obilježje su debelo uslojeni madstoni i vekstoni žućkastosmeđe boje s prepoznatljivim fosilnim sadržajem, koji čine istaknutiji reljef od podinskih i krovinskih naslaga. Izmjerena debljina ove jedinice na profilu kod Dragozetića iznosi 35 m, pri čemu donji dio sadrži veću količinu bačinela, a prve pojave palorbitolina i drugih orbitolinida joj daju temeljno biostratigrafsko, litostratigrafsko i kronostratigrafsko obilježje. U mikrofosilnoj zajednici određene su slijedeće vrste: *Bacinella irregularis* RADOIČIĆ, *Palorbitolina lenticularis* (BLUMENBACH), *Praeorbitolina cormyi* SCHROEDER, *Sabaudia minuta* (HOFKER), *Vercorsella scarselai* (DE CASTRO), *Vercorsella laurentii* (SARTONI & CRESCENTI), *Neotrocholina friburgensis* GUILLAUME & REICHEL, *Voloshinoides murgensis* LUPERTO-SINNI & MASSE, *Debarina hahounerensis* FOURCADE, RAOULT & VILA, *Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO-SINNI, *Sabaudia briacensis* ARNAUD-VANNEAU, *?Nezzazatinella picardi* (HENSON) i *Salpingoporella dinarica* RADOIČIĆ. Navedena zajednica obuhvaća raspon dominantne vrste *P. lenticularis*, pa je na temelju nje i cijela litostratigrafska jedinica biostratigrafski označena kao (V) ***Palorbitolina lenticularis zona***, koja kronostratigrafski više-manje odgovara donjem aptu (točnije najgornji barem - kraj donjega apta). Okoliši taloženja naslaga tijekom donjega apta odgovaraju nešto dubljim, zaštićenim lagunarnim uvjetima, vjerojatno kao posljedica regionalnog porasta morske razine, koji je zapažen i u drugim dijelovima Jadranske karbonatne platforme.

Neposredno nakon zadnjih pojava palorbitolina bitno se mijenja taložni sustav, pa je izdvojena nova neformalna litostratigrafska jedinica nazvana **CRNA - 1.** Njezino glavno obilježje predstavlja izmjena muljnih i zrnastih tipova vapnenaca s emerzijskim brečama, a unutar nje se nalazi i regionalno poznata gornjoaptska emerzija. Na profilu kod Dragozetića debljina jedinice iznosi oko 100 m, a debljina pojedinih slojeva varira između 30 i 80 cm. Utvrđena je mikrofosilna zajednica koja sadrži slijedeće oblike navedene po redoslijedu pojavljivanja: *Salpingoporella dinarica* RADOIČIĆ, *Debarina hahounerensis* FOURCADE et al., *Vercorsella scarsellai* (DE CASTRO), *Haplophragmoides* cf. *globosus* LOZO, *Nezzazatinella picardi* (HENSON), *Novalesia* sp., *Nummoloculina heimi* BONET, *Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO-SINNI, *Cuneolina pavonia* D'ORBIGNY, *Vercorsella arenata* ARNAUD-VANNEAU, *Vercorsella laurentii* (SARTONI & CRESCENTI), *Sabaudia minuta* (HOFKER), *Sabaudia auruncensis* (CHIOCCHINI & DI NAPOLI), *Orbitolina (Mesorbitolina) texana* (ROEMER), *Orbitolina (Mesorbitolina) subconcava* LEYMERIE, *Mayncina bulgarica* LAUG et al., *Sabaudia capitata* ARNAUD-VANNEAU, *Archalveolina reicheli* (DE CASTRO), *Cuneolina parva* HENSON, *?Charentia cuvillieri* NEUMANN, *Orbitolina (Mesorbitolina) pervia* DOUGLASS, *Hemicyclammina sigali* MAYNC i *Pseudocyclammina* sp. Navedena mikrofosilna zajednica definira vremenski raspon od gornjega apta do donjega alba, unutar kojeg razlikujemo dvije biostratigrafske jedinice. Donji dio je određen kao (VI) ***Salpingoporella dinarica zona*** koja obilježava maksimume razvoja tipične *S. dinarica* i *P. infracretacea*, a završava prvim pojavama *N. heimi*, što odgovara gornjem aptu. Biostratigrafska jedinica (VII) ***Orbitolina (Mesorbitolina) texana zona*** počinje prvim nalazima vrsta *N. heimi*, *C. pavonia* ili *C. parva* te mezorbitolinama, što odgovara početku donjega alba. Sâm završetak litostratigrafske jedinice CRNA-1 i ujedno *O. (M.) texana* zone, karakteriziran je masovnijom pojavom vrste *A. reicheli* unutar nekoliko zadnjih slojeva mezorbitolinskih tempestita.

Naslage su taložene pretežito u plitkom subtajdalnom okolišu s umjerenom i povišenom energijom vode, u obliku nepotpunih parasekvencija oplićavanja i pokrupnjavanja naviše s tempestitima (olujnim sedimentima). Takav režim sedimentacije prekidan je, osobito tijekom gornjega apta, čestim fazama okopnjavanja, što je rezultiralo stvaranjem emerzijskih breča. To je odraz izrazite i regionalno prisutne gornjoaptsko - donjoalbske emerzije.

Nakon zadnjih mezorbitolinskih tempestita slijedi nova neformalna litostratigrafska jedinica nazvana **CRNA-2.** Prepoznatljiva je po dobro uslojenim vapnencima, dijelom laminiranim, čija slojevitost varira između 10 i 30 cm, rijetko do 50 cm. Na profilu kod Dragozetića ukupna debljina jedinice iznosi 190 metara. Uočljiva je nepravilna izmjena madstona i miliolidnih vekston-pekstona, a u višem dijelu jedinice miliolidno-gastropodnih grejnstona i pekston-grejnstona s hamama. Od fosila dominiraju bentosne foraminifere, gastropodi, školjkaši i rijetko vapnenačke alge. Utvrđena je slijedeća fosilna zajednica: *Nerinea fleuriaui* D'ORBIGNY, *Chama* sp., *Nummoloculina heimi* BONET, *Mayncina bulgarica* LAUG et al., *Cuneolina*

parva HENSON, *Cuneolina pavonia* D'ORBIGNY, *Sabaudia minuta* (HOFKER), *Vercorsella scarsellai* (DE CASTRO), *Debarina hahounerensis* FOURCADE et al., *Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO-SINNI, *Valdanchella dercourti* DECROUEZ & MOULLADE, *"Coskinolina bronnimanni"* DECRO-UEZ & MOULLADE, *Nezzazatinella picardi* (HENSON) i *Salpingoporella turgida* (RADOIČIĆ).

Interval naslaga od zadnjih pojava mezorbitolina i arhalveolina do prvih pojava tzv. primitivnih orbitolinida nema provodnih mikrofosila, a česta je pojava gastropoda, pa je taj dio stupa biostratigrafski izdvojen kao (VIII) ***Nerinea fleuriaui zona***, općenito albske starosti. Tek prve utvrđene pojave *V. dercourti* i drugih orbitolinida u zajednici sa *S. turgida* određuju gornjoalbsku starost i biostratigrafski definiraju (IX) ***Valdanchella dercourti* i *Salpingoporella turgida* zonu.**

Na temelju sedimentno-petrografskih analiza utvrđeno je da su naslage litostratigrafske jedinice Crna-2 taložene u plitkom subtajdalnom okolišu vrlo promjenljive energije vode. Tijekom povremenih oluja taloženi su centimetarski do decimetarski proslojci miliolidno-gastropodnih grejnstona i pekston-grejnstona s hamama. Ovom litostratigrafskom jedinicom završava slijed donjokrednih vapnenaca, pa se pouzdano može ustvrditi da su najmlađe sigurno dokumentirane donjokredne naslage u sjevernom dijelu otoka Cresa gornjoalbske starosti.

Najmlađa izdvojena neformalna litostratigrafska jedinica **CRNA-3** predstavljena je sivim kasnodijagenetskim dolomitima laminirane građe, koji po teksturnim obilježjima odgovaraju vršnim slojevima prethodne jedinice. Stoga se može pretpostaviti najvjerojatnije gornjoalbska starost ove jedinice, čija debljina na profilu kod Dragozetića iznosi oko 25 metara. S obzirom da je dolomitizacija bila kasnodijagenetska različito je duboko zahvatila podinske vapnence, pa debljina litostratigrafske jedinice Crna-3 na istraživanom području varira između 20 i 90 metara.

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Slijed donjokrednih naslaga kod mjesta Dragozetići poslužio je kao temelj za izdvajanje i definiranje genetski homogenih litostratigrafskih cjelina. Na istraženom području izdvojeno je šest neformalnih litostratigrafskih jedinica i devet biostratigrafskih zona kronostratigrafskog raspona od ?berijasa i valendisa do uključujući gornjega alba. Mikrofosilne zajednice sadrže uglavnom bentosne foraminifere i vapnenačke alge, dok su makrofosili zastupljeni rijetkim gastropodima i školjkašima.

Litostratigrafska jedinica DRAGOZETIĆI-1 je (?berijas-) valendiske starosti, zastupljena vapnencima taloženim u niskoenergijskim plićacima, odnosno zaštićenijim dijelovima laguna. Debelo uslojeni madstoni s rijetkim foraminiferama i vapnenačkim algama, te centimetarski proslojci favreinskih vekstona i vekston-pekstona vrlo su slični neokomu kopnenog dijela Hrvatske (SOKAČ & VELIĆ, 1978). Biostratigrafski je ta jedinica raščlanjena na: (I) *Favreina njegosensis i F. cf. dinarica zonu* te (II) *Vercosella camposaurii zonu.* Tijekom otriva i barema dolazi do promjene u sedimentacijskom prostoru, pa se pretežito talože vapnenci u plitkom subtajdalu s umjerenom do visokom energijom vode uz česta okopnjavanja s emerzijskim brečama. Zato je taj dio stupa izdvojen kao zasebna litostratigrafska jedinica DRAGOZETIĆI-2. Međutim, učestala izronjavanja uzrokovana sinsedimentnom tektonikom nisu se odrazila na biozajednice gornjeg otriva i barema toliko negativno koliko bi se očekivalo. Očito su ekološki uvjeti za rast alga i foraminiferskih zajednica bili povoljni. Izdvojena jedinica je podijeljena na dvije biozone: (III) *Clypeina solkani i Campanellula capuensis zona* koja stratigrafski odgovara prijelaznim naslagama iz otriva u barem i (IV) *Salpingoporella muehlbergii i Salpingoporella melitae zona* karakteristična za barem Dinarida (VELIĆ & SOKAČ, 1983). U donjem aptu prevladavaju zaštićeniji, lagunarni uvjeti taloženja izdvojeni kao zasebna litostratigrafska jedinica CRESKI ŽUTI. Temeljno obilježje te jedinice su debelo uslojeni, žućkastosmeđi madstoni i vekstoni s palorbitolinama, i u donjem dijelu česte pojave baćinela. Biostratigrafsku jedinicu s masovnom pojavom palorbitolina VELIĆ & SOKAČ (1976) su nazvali "donji orbitolinski vapnenac", dok je u Istri horizont s baćinelama poznat kao vrlo kvalitetan arhitektonsko-građevni kamen pod komercijalnim nazivom *Istarski žuti* (TIŠLJAR, 1978; VELIĆ & TIŠLJAR, 1987). Biostratigrafski gledano izdvojena litostratigrafska jedinica je definirana kao (V) *Palorbitolina lenticularis zona*. Za gornji apt Jadranske karbonatne platforme karakterističan je maksimum učestalosti tipičnog oblika alge *S. dinarica* u zajednici s prvim razvijenijim mezorbitolinama (VELIĆ & SOKAČ, 1976). U profilu kod Dragozetića to je potvrđeno što se tiče salpingoporela, dok mezorbitoline nisu nađene u tom rasponu, što je i razumljivo s obzirom na šire poznate eustatičke promjene (HAQ et al., 1987), čiji je odraz regionalna emerzija u gornjemu aptu, a na našem profilu i tijekom donjega alba. Dio stupa koji obuhvaća plitkovodne vapnence s nepotpunim sekvencijama oplićavanja, tempestitima i emerzijskim brečama izdvojen je kao litostratigrafska jedinica CRNA-1, a sadrži dvije biostratigrafske jedinice: (VI) *Salpingoporella dinarica zonu* i (VII) *Orbitolina (Mesorbitolina) texana zonu.* VELIĆ & SOKAČ (1976) mezorbitolinske vapnence donjega alba s više vrsta mezorbitolina među kojima prevladava *O. (M.) texana* nazivaju "gornji orbitolinski vapnenci". Prvi nalazi vrsta *N. heimi, C. parva* ili *C. pavonia*, nakon kojih slijede i mezorbitoline, označavaju ujedno i početak alba, tako da je vremenski raspon litostratigrafske jedinice Crna-1 gornji apt - donji alb. Nakon zadnjih pojava emerzijskih breča i mezorbitolinskih tempestita slijedi nova litostratigrafs-

ka jedinica CRNA-2 prepoznatljiva po dobro uslojenim vapnencima taloženim u plitkom subtajdalu s promjenljivom energijom vode. Česti nalazi miliolidnih i miliolidno-gastropodnih grejnstona kao centimetarskih do decimetarskih proslojaka u madstonima i fosilifernim vekstonima govori o vrlo povoljnim ekološkim uvjetima u platformnim plićacima, što je omogućilo bujan razvoj foraminifersko-molusknih zajednica. Donji dio izdvojene jedinice (biostratigrafska zona VIII) nema provodnih vrsta, a prisutne foraminifere i gastropodi (*Nerinea fleuriaui*) upućuju na alb općenito. Tek prve pojave tzv. primitivnih orbitolinida u zajednici sa *S. turgida* odreduju gornjoalbsku starost i početak biostratigrafske (IX) *V. dercourti i S. turgida zone*. Završetak stupa obilježen je litostratigrafskom jedinicom CRNA-3 koja sadrži kasnodijagenetske dolomite s teksturnim obilježjima vrlo sličnim najmlađim vapnencima iz prethodne jedinice, tako da se može pretpostaviti najvjerojatnije gornjoalbska starost.

LITERATURA

HAQ, B.U., HARDENBOL, J. & VAIL, P.R. (1987): Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic.- Science, 235, 1156-1167.

HAUER, F. (1868): Geol. Übersichtskarte der Österreichische Monarchie. Blatt X, Dalmatien.- Erlauterungen Jahr. Geol. Reichsanst., 17, Wien.

SOKAČ, B. & VELIĆ, I. (1978): Biostratigrafska istraživanja donje krede Vanjskih Dinarida (I). Neokom zapadne Istre.- Geol. vjesnik, 30/1, 243-250, Zagreb.

STACHE, G. (1859): Übersicht der Quarnerischen Inseln.- Jahrb. Geol. Reichstanst., 10, Wien.

ŠIKIĆ, D. & POLŠAK, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ, Tumač za list Labin, L 33-101.- Inst. za geol. istraž. Zagreb (1963), Sav. geol. zavod, Beograd.

TIŠLJAR, J. (1978): Onkolitni i stromatolitni vapnenci u donjokrednim sedimentima Istre (Oncolites and stromatolites in Lower Cretaceous carbonate sediments in Istria, Croatia, Yugoslavia).- Geol. vjesnik, 30/2, 363-382, Zagreb.

VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1976): Izvještaj o geološkom kartiranju za Osnovnu geološku kartu na listu Ogulin -107 u 1975. godini.- Geol. vjesnik 29, 429-433, Zagreb.

VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1978): Biostratigrafska analiza jure i donje krede šire okolice Ogulina (središnja Hrvatska).- Geol. vjesnik, 30/1, 309-337, 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. (1987): Biostratigrafske i sedimentološke značajke donje krede otoka Veli Brijun i usporedba s odgovarajućim naslagama jugozapadne Istre.- Geol. vjesnik, 40, 149-168, Zagreb.

WAAGEN, L. (1904): Die Aufnahmen auf der Insel Cherso im Kartenblatte, zone 26, kol. X. u. XI.- Verhandl. Geol. Rechsanst., Wien.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	173 - 175	ZAGREB 1995

Povišeni sadržaj radioaktivnosti u nekim ležištima boksita i ugljena u Istri

Anto **GABRIĆ**[1] & Esad **PROHIĆ**[2]

Ključne riječi: radionuklidi, boksit, voda, ugljen, Istra

Key words: Radionuclides, Bauxite, Water, Coal deposits, Istria

Sažetak

U okviru istražnih radova na projektu "Karta mineralnih sirovina Republike Hrvatske" na području Istre uočene su povećane koncentracije radioaktivnih elemenata praćenih procesima piritizacije, u nekim ležištima boksita. Najnoviji radovi o rudnicima piritiziranih boksita u Minjeri potaknuli su pitanje porijekla sumpora (pirita) i radionuklida, te medija i vremena kada su ti procesi izvršeni. Već prva ispitivanja radioaktivnosti uzoraka piritiziranih boksita s područja Minjere i Karojbe rezultirala su jasnim anomalijama.

Razmatrajući regionalni strukturno-tektonski sklop naslaga sjeverne Istre, akceptirajući od ranije utvrđene smjerove tokova podzemnih voda, moguće je dovesti u vezu visoki sadržaj sumpora (pirita) te povišenu radioaktivnost u piritiziranim boksitima sjeverne Istre kao i u raškim ugljenima, s radioaktivnom termomineralnom vodom Istarskih Toplica.

Daljnja laboratorijska ispitivanja uzoraka sivih malmskih boksita kod Rovinja, donjokrednih sedimenata Limske Drage kao i vode iz rudnika Raša, kvalitativno su dokazale istovrsne geokemijske preobrazbe. Navedene preobrazbe putem radioaktivnih i sulfatnih podzemnih voda time dobivaju regionalni karakter, a traju od eocena do danas.

Abstract

Within the frame of the project "Map of Mineral Deposits of Republic of Croatia" in the area of the Istria peninsula, we observed the increase of radionuclides content in some bauxite deposits associated with the process of pyritization. The recent studies of pyritized bauxites in the Minjera mine have raised the question of the origin of sulphur and radionuclides together with media and timing of the mentioned processes. Even first preliminary results in the areas of the Minjera mine and Karojba reveal a clear anomalies.

Taking into the consideration the structural and tectonic framework of the deposits in the northern Istria, as well as previously determined directions of groundwater flows, it is possible to link the high content of sulphur (pyrite), and increased radioactivity in pyritized bauxites in the northern Istria and in the Raša coal deposits with the radioactive thermomineral water of the Istria spa.

Further laboratory investigations of greyish bauxite samples of the Malmian age, Lower Cretaceous sediments of Limska Draga and mine-water samples of the Raša mine proved qualitatively certain geochemical transformations and redistributions. This gives the regional dimension to mentioned redistributions by means of radioactive and sulphate-bearing groundwaters which, as a process has lasted from the Eocene up to the recent time.

UVOD

Tijekom istražnih radova na projektu "Karta mineralnih sirovina Republike Hrvatske", vezanih za područje Istre, uočene su povećane koncentracije radioaktivnih elemenata u nekim ležištima boksita, što uz poznate pojave radioaktivnosti raških ugljena te termomineralne vode Istarskih Toplica upućuje na širi, zapravo regionalni karakter pojavljivanja. Ispitivanja povećanog sadržaja radioaktivnosti započeta na pojavama piritiziranih boksita, rezultirala su jasnim anomalijama.

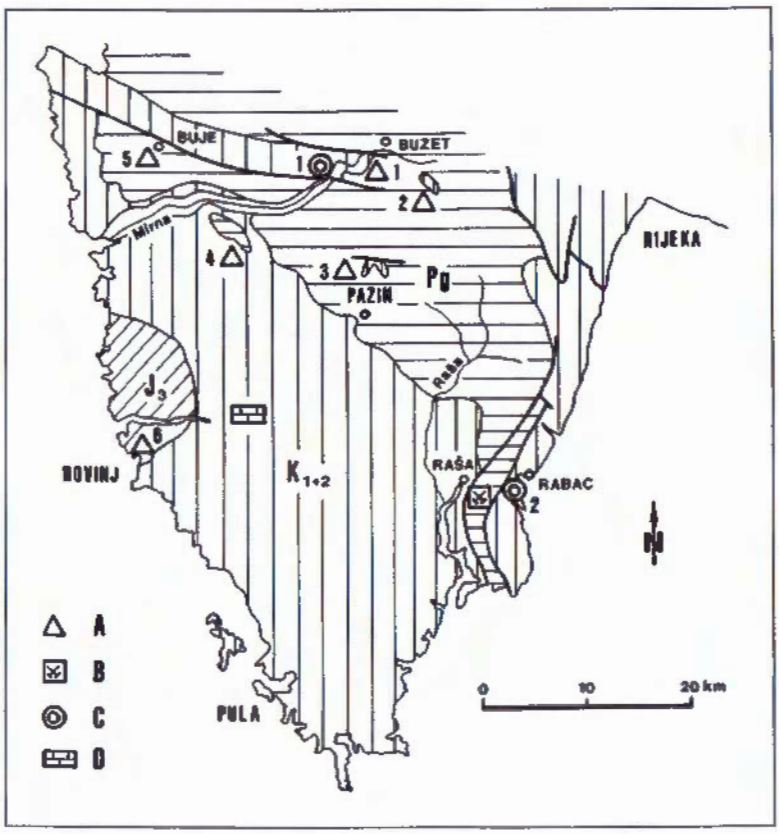
Pojave piritiziranih boksita nisu rijetke unutar boksitonosnog područja sjeverne Istre. Najčešće se javljaju kao manji ili veći dio unutar klasično crvenog boksitnog rudnog tijela. Redovito ih se otkriva površinskom eksploatacijom i potom deponira kao svojevrsnu jalovinu. Registrirani su i uz tektonsko-erozijske prodore gornjokrednih vapnenaca s manjim pojavama boksita, kakve se nalaze kod Blatne Vasi nedaleko Roča te kod mjesta Grdoselo. Također se spominju kao sivi boksiti u izvješću Pleničara još iz 1951. godine (PLENIČAR et al., 1951), kod Vilanije nedaleko Buja.

Opis niza ležišta piritiziranih paleocenskih boksita iz "Minjere" u doloni Mirne, utvrđen njihov mineralni i kemijski sastav, povijesno značajna jamska eksploatacija iz 16. stoljeća, kao i neposredno uz rudnik izgrađena tvornica za proizvodnju vitriola i alauna, detaljno su prikazani u nedavno objavljenim radovima (SAKAČ et al., 1993; MARUŠIĆ et al., 1993; ŠINKOVEC et al., 1994; MARUŠIĆ et al., 1995).

Prostorni raspored navedenih pojava piritiziranih boksita ukazuje da su locirane u dosta širokoj zoni,

[1]Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.

[2]Prirodoslovno-matematički fakultet, Mineraloško-petrografski zavod, Demetrova 1, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1. Lokacije kontaminiranih mineralnih sirovina. Legenda: A - piritizirani boksiti: 1 - MINJERA; 2 - BLATNA VAS; 3 - GRDOSELO; 4 - KAROJBA; 5 - BUJE; 6 - ROVINJ; B - ugljen: RAŠA; C - voda: 1 - ISTARSKE TOPLICE; 2 - RABAC; D - vapnenac: LIMSKA DRAGA.

ispod tektonski značajnog južnog reversa bujske antiklinale.

Uvodno citirani radovi potencirali su značaj pitanja porijekla sumpora (pirita) i radionuklida u boksitima, te medija i vremena u kojima su ti procesi izvršeni.

Razmatranjem regionalnog strukturno-tektonskog sklopa tog dijela Istre, ukazala se i mogućnost preobrazbe paleocenskih crvenih boksita cirkulirajućim podzemnim vodama, koje su po sastavu i porijeklu istovjetne nedalekom uzgonskom izvoru termomineralne vode Istarskih Toplica.

Obilaskom terena s pojavama piritiziranih boksita kod Minjere i Karojbe uočene su na niz ležišta složene tektonske prilike, karakterizirane ustrmljenim kontaktnim plohama te brojnim još strmijim rasjedima i dijaklazama, duž kojih vode stalno cirkuliraju ili bar vlaže, što sve ukazuje na otvorenu komunikaciju s tipično krškim režimom podzemnih voda. Na prisustvo podzemnih voda obogaćenih sulfatima ukazuju i pojave kristalastog gipsa u vidu kora po plohama vapnenaca unutar rudarenog prostora. S tog aspekta nužno je navesti i rezultate regionalnih istraživanja kretanja podzemnih voda Istre (RALJEVIĆ et al., 1974), kojima je utvrđeno da s vodom bogatog područja Buzetskog fliškog bazena iste kroz podzemlje skreću dijelom prema donjem toku Mirne a dijelom prema koritu rijeke Raše. Tako utvrđena usmjerenja tokova podzemnih voda dovode u moguću vezu i vrlo visoki sadržaj sumpora te radionuklida u ugljenima Raškog bazena s vodama koje po kemijskom sastavu, radioaktivnosti i izvorišnom području odgovaraju vodi Istarskih Toplica. Tome u prilog ide i poznata činjenica da su u Raši redovito radioaktivni i jače radioaktivni "kredni" ugljeni slojevi, tj. oni koji neposredno naliježu na intenzivno okršeni i tektonski značajno poremećeni kredni paleoreljef, čime su u direktnom doticaju s kontaminirajućim podzemnim vodama, pri čemu se vapnenci ponašaju "inertno", dok su ugljeni slojevi u funkciji "barijera".

REZULTATI INICIJALNIH ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Osnovni podaci o radioaktivnosti u geološkim formacijama Istre vezani su za ispitivanja termomineralne vode Istarskih Toplica te mjerenja raških ugljena s prikazom rezultata u nizu internih izvješća. Tako utvrđene vrijednosti za prisustvo ^{238}U u vodi Istarskih Toplica varira od 1.200 do 5.150 Bq/m^3, ovisno o razređivanju podzemnim vodama u kišnim periodima. Istovrsna mjerenja na uzorcima raškog ugljena variraju od 300-450 Bq/kg.

- U namjeri da se uvodno navedene pretpostavke provjere i analitički potvrde, izvršen je terenski obilazak i uzorkovanje na niz pojava mineralnih sirovina za koje se posumnjalo da su putem podzemnih voda kontaminirane suviškom sumpora i radionuklida (slika 1).

- Kao prvo, zbog male udaljenosti i smještaja u istom strukturno-tektonskom sklopu izvorišta u Istarskim Toplicama i rudnika Minjere, izvršeno je uzorkovanje i

Lokacija	^{40}K	^{226}Ra	^{228}Ra	^{238}U	^{137}Cs
Istarske Toplice (voda)	234.1±15.8	1843±10	6.7±1.8	3017±62	n.o.
Raša (ugljen)	34.5±19.7	12.6±1.1	4.5±1.6	56.0±3.4	1.5±0.9
Limska Draga (vapnenac -krovina)	19.9±11.5	29.9±0.8	0.9±0.9	29.2±3.0	n.o.
Limska Draga (gline)	1340±20	331.5±2.3	57.2±1.8	475.3±10.2	n.o.
Limska Draga (vapnenac -podina)	29.1±11.9	19.5±0.7	2.5±1.0	55.9±3.0	n.o.
Rovinj (crveni boksit)	84.2±3.6	52.3±0.8	154.2±1.9	53.5±3.5	n.o.
Rovinj (zaglinjeni bx)	140.3±13.7	78.4±1.2	148.9±2.2	57.6±4.6	0.1±0.1
Rovinj (sivi bx)	96.9±12.4	52.2±1.0	120.3±1.9	45.1±3.8	0.0±0.2
Rovinj (šareni boksit)	105.8±14.3	60.9±1.1	144.9±2.3	78.6±4.5	0.0±0.2
Rabac tunel (mulj)	60±10	272±2	15±1	181±7	2±1
Rabac tunel (voda)	768±46	52.3±4.5	13.4±4.9	205.2±49.3	12.4±2.4
Karojba (boksit)	28.0±9.7	73.3±0.8	139.9±1.7	117.8±4.5	n.o.

Tablica 1 Rezultati određivanja radioaktivnosti u geološkim uzorcima iz Istre (u Bq/m^3 za vodu odnosno Bq/kg za ostale uzorke). Legenda: n.o. = neodredivo; analitičar: D. BARIŠIĆ, 1995.

laboratorijska obrada piritiziranih i crvenih boksita, kao i termomineralne vode. Prisustvo i sadržaj sulfida u piritiziranim boksitima Minjere utvrđen je sa 6,73% Fe_2O_3 i 5,40% S (ŠINKOVEC et al., 1994). Mjerenja radioaktivnosti usporedno crvenog i piritiziranog boksita iz Minjere ukazala su na tipične kozmičke vrijednosti za crveni, dok se u piritiziranom utvrdilo povišenje sadržaja radionuklida vezano za ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th (^{228}Ra) i ^{238}U.

- Slijedeće mjerenje radioaktivnosti na uzorku piritiziranog boksita iz okolice Karojbe rezultiralo je vrijednostima vrlo sličnim s uzorkom iz Minjere.

- Usporedba vrijednosti povišenih sadržaja radionuklidima raškog ugljena s poznatim podacima iz vode Istarskih Toplica, zbog nemogućnosti uzorkovanja (ugljenokop je zatvoren), izvršen je na uzorcima vode i mulja iz odvodnog rudničkog tunela nedaleko Rapca. Dobiveni rezultati pokazali su za vodu i mulj značajno povišenje sadržaja radionuklida.

- Analizirani su također i uzorci sivih, žućkastih i klasično crvenih malmskih boksita s ležišta kod Rovinja. Ponovilo se i ovdje da su sivi i žućkasti boksiti kontaminirani sulfidnim otopinama kao i radionuklidima, dok su crveni boksiti zadržali kozmičke vrijednosti.

- Istovrsna određivanja izvršena su i na uzorku "glinovitog" materijala iz donjokrednih vapnenaca Limske Drage nedaleko Dvigrada, koja su također rezultirala ovoga puta vrlo značajnim povišenjem sadržaja radionuklida.

Rezultati određivanja radioaktivnosti u geološkim uzorcima iz Istre prikazani su u tablici 1.

Dobiveni rezultati laboratorijskih ispitivanja su u kvalitativnom smislu pozitivni. Međutim, očita je i potreba da se naknadno na osnovi znatno većeg broja analiza izvrši i statistička interpretacija istih.

- Obzirom da su prethodno navedeni terenski i laboratorijski radovi tek započeti, te da se dalje nastavljaju, za sada bi neka konačna rješenja i zaključci bili preuranjeni. Međutim, određene konstatacije su moguće.

Tako je potvrđeno da su svi analizirani materijali doživjeli izmjene, izvršene podzemnim vodama, koje su po sastavu i porijeklu bar srodne vrelu Istarskih Toplica, tj. duž područja južnog reversa bujske antiklinale te vode penetriraju prema i na površinu.

Prostorni raspored i stratigrafska pripadnost kontaminiranih naslaga "pokriva" skoro cijelu Istru.

Procesi geokemijskih preobrazbi započeti su nakon i kao posljedica gornjoeocenske orogeneze, a traju i danas.

Iako za sada uglavnom orijentacijskog značenja, prethodno navedene konstatacije ukazuju na moguće istovrsne preobrazbe i nekih drugih mineralnih sirovina u Istri. Pitanje je da li i kakvo je moguće djelovanje podzemnih voda bogatih sulfatima i s određenim dozama radioaktivnosti na izvorišta vode i hidrološke objekte, te time u svezi na zdravstveni, gospodarski, turistički aspekt i sl.

Istraživanja i rezultati koji slijede vjerojatno će dati objektivno vrijedne rezultate šireg spektra značenja.

LITERATURA:

MARUŠIĆ, R., SAKAČ, K. & VUJEC, S. (1993): Four centuries of bauxite mining.- Rudarsko-geološko-naftni Zbornik, 5, 15-20, Zagreb.

MARUŠIĆ, R., SAKAČ, K. & VUJEC, S. (1995): The World,s oldest bauxite mining.- Travaux ICSOBA, 22, 81-98.

PLENIČAR, M., TAVČAR, M. & RIJAVEC, J. (1951): Izvještaj o istraživanju terena kod Buja u vezi mogućih nalazišta fosforita.- Fond IGI, br. 2797, Zagreb.

RALJEVIĆ, B., ČAKARUN, I. & KOSTOVIĆ, K. (1974): Hidrogeološke i inženjersko-geološke prilike Istre.- 3. Jugosl. simpozij o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, Opatija.

SAKAČ, K., VUJEC, S. & MARUŠIĆ, R. (1993): "Minjera" - svjetski značajan mineraloški i rudarski lokalitet Istre.- Buzetski zbornik, 18, 49-77, Buzet.

ŠINKOVEC, B., SAKAČ, K. & DURN, G. (1994): Pyritized bauxites from Minjera, Istria, Croatia.- Natura Croatica, 3, 41-65, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	177 - 182	ZAGREB 1995

Speleogeneza u okviru hidrogeologije krša i procesa karstifikacije

Mladen GARAŠIĆ

Ključne riječi: speleologija, hidrogeologija krša, karstifikacija, speleogeneza, klasifikacija speleoloških objekata, hrvatski krš

Key words: Speleology, Karst Hydrogeology, Karstification, Speleogenesis, Caves Classification, Croatian Karst

Sažetak

U hrvatskom kršu do sada je registrirano, odnosno poznato i istraženo oko 7500 speleoloških objekata, te je s time to jedno od najpoznatijih i najzanimljivijih krških područja u svijetu s obzirom na relativno malu površinu Hrvatske i veliki postotak pojave spilja, jama, estavela, ponora itd. Stoga je za očekivati da je i speleogeneza, kao dio procesa karstifikacije, ovdje jako intenzivna. Prema speleogenezi objekti su klasificirani u nekoliko skupina (abrazijski, tektonski, erozijski, korozijski, poligenetski itd.), a najznačajnija im je povezanost s hidrogeološkim posebnostima pojedinih krških predjela (izvorski, ponorski, estavelski, vruljski i protočni speleološki objekti). Proces karstifikacije se najbolje može uočavati u podzemlju, gdje je speleogeneza jedan od njegovih najintenzivnijih načina djelovanja. Uočene zakonitosti u speleomorfologiji (čitavih speleoloških objekata ili samo nekih elemenata u njima) nedvojbeno potvrđuju hidrogeološke elemente koji su bili prisutni (paleohidrogeologija) samo u određeno vrijeme speleogeneze ili i danas djeluju. Moderna hidrogeologija krša ne može se zamisliti bez dobrog poznavanja tipa speleogeneze i stupnja karstifikacije proučavanih područja.

Abstract

In Croatian karst area more than 7500 caves and pits were registered and explored, and it is one of the most interesting and well known karst areas in the world, beause of the relative small area of Croatia and the great number of the caves appearance (caves, pits, estavelas, ponors etc.). According to speleogenesis caves are classified as abrasive, tectonical, erosial, corrosial, poygenetic etc. caves, and they are connected with hydrogeological functions (springs, ponors, estavelas, vruljas, etc.). Karstification process is in the underground on the best survey, where the speleogenesis is one of the most intensive ways of activity. Speleomorphology (the whole cave or only one of the parts) are according with hydrogeological elements which were there in the past time (paleohydrogeology) or today. Modern karst hydrogeology must know everything about types of speleogenesis and the degrees of karstification.

1. UVOD

Hrvatski krš je zasigurno jedno od najpoznatijih "locus tipicus" područja klasičnog krša u svijetu. Podzemni krški oblici zastupljeni su, pored ostalog i s preko 7500 speleoloških objekata (GARAŠIĆ, 1991c), koji imaju različite morfološke i morfogenetske osobitosti i hidrogeološke funkcije (GARAŠIĆ, 1986a, b). Stoga je značajno spoznati zakonitosti speleogeneze upravo u ovom području, gdje su intenziteti karstifikacije vrlo visoki, jer se one mogu aplicirati i na veći broj drugih krških područja u svijetu (sl. 1).

Od velikog broja poznatih speleloških objekata u Hrvatskoj, za posebno istraživanje speleogeneze u procesu karstifikacije odabrano je 46 objekata. Oni su formirani u stijenama koje se jedne od drugih razlikuju po svojim litostratigrafskim, tektonskim i hidrogeološkim svojstvima. Pored toga odabrani su speleološki objekti različitih faza speleogeneze (inicijalne, glavne, fosilne), a razlikuju se i po morfološkom tipu (jednostavni, razgranani, etažni, koljeničasti, sustavi) te po hidrogeološkoj funkciji (izvori, ponori, estavele, protočni, vrulje). Klasifikacija svih speleoloških objekata obavljena je prema prihvaćenoj kategorizaciji (GARAŠIĆ, 1991a).

Mjerenja apsolutnih neotektonskih pomaka u speleološkim objektima obavljana su u razdoblju od 1980. do 1995. godine. Laboratorijski su ispitana geomehanička svojstva stijena u kojima su formirani istraživani speleološki objekti.

Sva geospeleološka istraživanja u speleološkim objektima ostvarena su u suradnji sa članovina Hrvatskog speleološkog društva (HSD) i Društva za istraživanja i snimanja krških fenomena (DISKF) iz Zagreba.

U ovom je radu riječ samo o speleogenezi u okviru hidrogeologije krša i procesa karstifikacije, iako su rezultati dugogodišnjih istraživanja mnogo širi i brojniji.

Institut gradevinarstva Hrvatske, Zavod za geotehniku, Rakušina 1, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1. Posebna istraživanja speleogeneze u jednoj od 7500 spilja i jama u hrvatskom kršu. Izabrani su hidrogeološki zanimljivi objekti.

2. KRAĆI PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Skoro svakom deskripcijom neke spilje ili jame opisuje se i jedan dio speleogeneze. No, većina autora i radova nije imala za cilj posebno istraživanje speleogeneze, nego je ona samo usput spomenuta. Stoga spominjemo značajnije radove koji su bili temelj ovog članka.

O tektogenezi Panjkove i Muškinjske spilje na Kordunu, pisao je GARAŠIĆ (1984a), a speleogenezu objekata u Istri daje BOŽIČEVIĆ (1985). Morfogenetski pristup i klasifikaciju speleoloških objekata u hrvatskom kršu s obzirom na morfologiju i hidrogeologiju daje GARAŠIĆ (1986a, 1991a, 1993). Na velikom broju speleoloških objekata u zapadnim Karpatima BELLA (1994) prikazuje genetske tipove spilja, koji bi se jednim dijelom mogli primijeniti i u hrvatskom kršu. Speleogenezu pojedinih većih i manjih speleoloških objekata Like, Gorskog kotara, Hrvatskog Zagorja i Istre obradio je MALEZ (1961), dok objekte u NP "Krka" istražuje LUKIĆ (1992). Neotektonski pristup i mjerenje apsolutnih pomaka obavlja GARAŠIĆ (1981a, 1981b, 1984b, 1989, 1991b).

Posebna istraživanja uloge procesa karstifikacije u speleogenezi obavljena su u 58 kaverni na trasi autoceste Karlovac - Rijeka, na dionicama od Oštrovice do Kupjaka, te u tunelima "Hrasten", "Tuhobić", "Vrata", "Sljeme", "Sopač", "Vršek" u Gorskom kotaru (GARAŠIĆ & KOVAČEVIĆ, 1992; GARAŠIĆ, 1995)

3. OPĆI OBLICI SPELEOGENEZE U KRŠU HRVATSKE

U speleogenezi se razlikuju 3 osnovna i nekoliko posebnih stupnjeva postanka speleoloških objekata (JAKUSC, 1977; GARAŠIĆ, 1986a; FORTI, 1991):

1. inicijalni (početni) stadij (I faza);
2. glavni stadij (II faza);
3. kasni (fosilni) stadij (III faza).

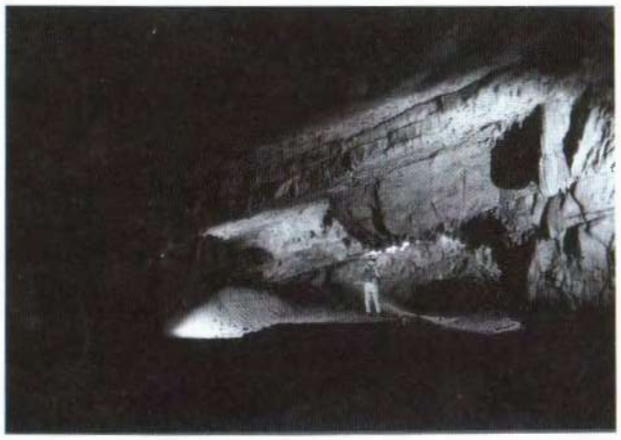
U hrvatskom kršu uočena su sva tri stadija razvoja. Okvirni odnos između glavnog i kasnog stadija jest 3:1 (prema broju objekata). Početni (inicijalni) stadij razvoja speleoloških objekata svuda je prisutan gdje je i okršavanje (karstifikacija) u tijeku, ali zbog uskoće (male širine) pukotina i inicijalnih prslina, nije moguće neposredno promatranje tog stupnja postanka speleoloških objekata.

Prema rezultatima istraživanja i obrade velikog broja špilja i jama, može se zaključiti da kod nas većina njih još nije prošla sva tri stadija razvoja. To se može objasniti prvenstveno geološkim, hidrogeološkim i klimatskim faktorima; npr. objekti koji su u visokim planinskim masivima procesom gravitacijske karstifikacije još nisu "doprli" do manje propusne ili nepropusne podloge. Lijep primjer imamo u nekoliko vrlo dubokih jama na Biokovu (okolica Lokvica i Lađena), koje i na dubinama preko 500 metara ne zadržavaju vodu u jezerima ili sifonima, već voda iz njih gravitacijom otječe dublje kroz uske pukotine ili sitaste ponore (Školska jama, Vilimova jama, Jama za Kamenitim Vratima, itd.) (GARAŠIĆ, 1986b).

Poseban je slučaj primjer duboke Lukine jame na Velebitu, u kojoj se stalni podzemni tok pojavljuje tek ispod 1200 metara dubine. Dubina ove jame iznosi 1392 metra, što dokazuje visok intenzitet i dubinu karstifikacije. Ovdje su neotektonska i hidrogeološka istraživanja u tijeku i očekuju se značajni rezultati.

3.1. TEKTOSPELEOGENEZA

Presudnu ulogu u speleogenezi ima tektonska predispozicija područja u kojemu se razvijaju speleološki objekti (HERAK, 1984; GARAŠIĆ, 1984a). Npr. uočeno je da karstifikacija u horizontalnim ili blago položenim slojevima napreduje polaganije nego u strmim ili vertikalnim slojevima (DAVIES, 1960). Takav slučaj se može pratiti u jami Volarici (vertikalni i vrlo strmi slojevi) i nekoliko stotina metara udaljenoj Kojinoj jami (horizontalni slojevi). Riječ je o senonskim vapnencima K_2^3, iste debljine i sastava. U Volarici je karstifikacija brža (intenzivnija) i speleogeneza je ostvarila dubinu od 118 metara, veći su podzemni prostori (dvorane), dok u Kojinoj jami nakon vertikalnog ulaza slijedi horizontalni (dubina oko 60 metara, a dužina oko 750 metara) nastavak objekta. Na mjestima gdje se u Kojinoj jami ponovo nalaze vertikalni slojevi, okršavanje se intenzivira i produbljuje (dubina 105 metara). Jama Volarica i Kojina jama nalaze se na Kordunu, kod mjesta Furjan na brdu Mašvina u blizini Rakovice. Još se zanimljiviji zaključci mogu izvesti iz rezultata sustavnog istraživanja svih kaverni u tunelima na trasi auto ceste Karlovac-Rijeka, gdje su se kontinuirano pratili i uspoređivali intenziteti kartsifikacije, morfospeleološki i hidrogeološki podaci. Tektonika je odigrala u nekim od tunela presudnu ulogu u speleogenezi (sl. 2). Slični rezultati dobijeni su i na lokalitetima na Dinari i Velebitu (Hajdučki kukovi, Lomska duliba).



Sl. 2. Međuslojne pukotine u spiljama u kojima se mjere neotektonski pomaci na 46 lokacija.



Sl. 3. Rezultati kompleksne karstifikacije (erozije, korozije, taloženja itd).

Najviše speleoloških objekata u glavnom stadiju razvoja (II faza) registrirano je u neposrednim blizinama krških polja i uvala. Ti objekti i danas imaju ulogu povremenih ili stalnih izvora, ponora ili estavela, a prisutnost vode u njima ima vrlo značajnu ulogu u toj fazi speleogeneze. Ovdje se navode samo neke manje poznate spilje uz obode krških polja (GARAŠIĆ & CVIJANOVIĆ, 1986), npr. Vranova pećina (Pišaćuša, Lika), Bunjakova pećina (Debelo brdo, Korenica, Lika), Vršina pećina kod Ondića (Lika), Duman spilja (Čanak, Lika), Špilja kod Krčevina (Smiljan, Lika), Ostrovica (Lički Osik, Lika), Spilja u Plešu (Drežnica, Gorski kotar), Crnačka spilja (Jezerane, Lika) itd.

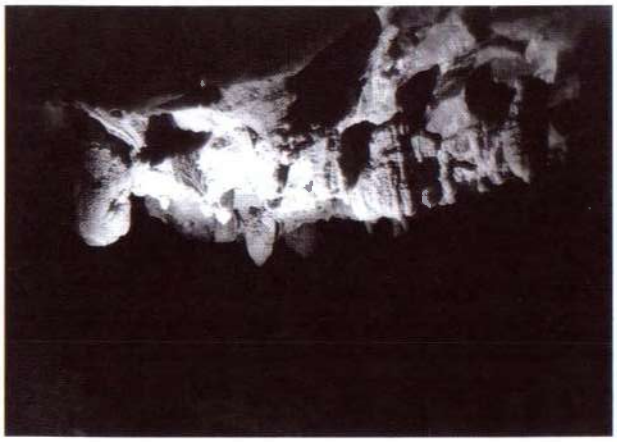
U hrvatskom kršu ima manje od 3% speleoloških objekata koji su isključivo nastali tektogenezom, a to znači bez značajnijeg utjecaja podzemne vode. Oni su smješteni u visokim planinama, npr. Velebitu i Dinari (Mala spilja kod Tulovih gredana Velebitu, Jama kod Plazonića, Uništa na Dinari). Ima ih u tjemenima antiklinala, gdje je voda kasnije imala manju ulogu speleogenezi. Primjeri za to su uske tektonske jame kao npr. Ćirova jama na Zavižanu, duboka čak 69 metara, ali vrlo uska. To su pretežno objekti nastali u čvrstim i masivnim dolomitima.

3.2. HIDROSPELEOGENEZA

Hidrospeleogeneza je uvijek kompleksan proces u kojemu odlučujuću ulogu ima voda. U Hrvatskoj ima čak 4% objekata koji su nastali **abrazijskim** djelovanjem vode uz obale mora, jezera i rijeka. Naročito su brojni abrazijski objekti u brečolikim materijalima (oko 71 %), a nisu rijetki ni u vapnencima (oko 25 %). Osnovna karakteristika objekata koji su nastali dominantnom ulogom procesa abrazije jest da su oni u pravilu uvijek horizontalni ili vrlo blago nagnuti, manjih dimenzija, glatkih stijena itd. Nazivaju se još abrima ili polušpiljama. Razlikuju se recentni i paleo abrazijski speleološki objekti. Neki, danas potopljeni speleološki objekti uz Jadransko more, nastali su djelovanjem abrazije prije 100000 do 300000 godina (BOŽIČEVIĆ, 1966; MALEZ & BOŽIČEVIĆ, 1965), što znači da su relativno mladi. Sigurno su nastajali i prije kvartara u ovom našem području, ali su urušeni (III faza speleogeneze) jer je riječ o stijenama s relativno malom čvrstoćom i nosivosti (JINTAO & GUIRONG, 1990). Ako je uz to došlo i do kemijskih reakcija zbog utjecaja morske vode, procesi urušavanja su intenzivniji. No, ima nekih primjera gdje su abrazijske spilje i mnogo starije (paleogen, neogen) npr. kod Nerežišća na otoku Braču. Evo nekoliko primjera abrazijskih spilja - Crvena spilja na Murteru (Jezera), Spilja u Ivan Dolcu (otok Hvar), Strašna peć (Savar, Dugi otok), Rača spilja (Lastovo), Modra spilja (Biševo), Pržinova polača (otok Šipun), Popovska spilja (Baška, otok Krk), itd.

Erozijsko i korozijsko djelovanje (mehanička i kemo speleogeneza) nastupaju zajedno u postanku speleoloških objekata (BÖGLI, 1960; BRETZ, 1942, 1954; TRAILKILL, 1968). U našemu kršu do sada je registrirano oko 93% objekata koji su u većoj ili manjoj mjeri nastali utjecajima erozije i korozije. U nekim objektima uočene su i spiljske škrape, jedan od pokazatelje intenzivne podzemne karstifikacije (COUTURAUD, 1989), npr. Jama pod Debelom glavom, (Blagaj, Kordun), Božića jama (Mašvina, Kordun), Ponor na Grginom brijegu (Jadovno, Velebit), Stanina jama (Moravice, Gorski kotar), Jama Podublog (Krnica, Istra) itd. U nekim spiljama i jamama izraženi su i drugi oblici erozijskog ili korozijskog djelovanja vode u podzemlju (EWERS, 1972), npr. vrtložni lonci u Veternici (Medvednica, Zagreb), Đulin ponor (Ogulin, Gorski kotar), Medvedica (Ogulin, Gorski kotar), Jopičeva spilja (Brebornica, Kordun) ili izglačane stijene u spilji Novokračini (Rupa, Istra), Ponoru na Bunjevcu (Velebit), Spilji kod Pavlinovića (Župa, Vrgorac) nedvojbeno pokazuju silinu kemijskog ili mehaničkog djelovanja. Dobar primjer erozijskog objekta je spilja Čavle u dolini Zrmanje (KOVAČEVIĆ et al, 1991) (sl. 3).

Vapnenci različitih tekstura i starosti različito reagiraju na eroziju i koroziju na površini terena (FORD, 1970, 1971), pa je za pretpostaviti da je slična situacija i u podzemlju.



Sl 4. Relikti inversne karstifikacije na stropu spilje koje je većim dijelom godine potopljena.

Uz sve spomenute faktore u II fazi speleogeneze važnu ulogu ima i neotektonska aktivnost. Naime, primjećeno je da je tektonika aktivna još i danas u nekim speleološkim objektima. Mjerenja pokazuju da kretanja stijena u speleološkim objektima koji se nalaze u neotektonskim zonama mogu biti znatna, npr. u velikom spiljskom sustavu Muškinje i Pankove spilje na Kordunu ili u Jami Ledenici u Lomskoj dulibi (Velebit).

Morfogeneza speleoloških objekata u hrvatskom kršu u bliskoj je svezi s litostratigrafskim i tektonskim faktorima sredine u kojima su formirani, a isto tako i s abrazijskim, erozijskim i korozijskim djelovanjem vode. Neotektonska aktivnost još više pogoduje i pospješuje okršavanju (karstifikaciji) terena.

Oblik, dužina, dubina, orijentiranost, nagib i sl. spilje ili jame ovise o faktorima speleogeneze. U krednim vapnencima središnjeg i unutrašnjeg krškog pojasa, prema hidrogeološkoj rajonizaciji krša (HERAK et al., 1969), razvijeni su speleološki objekti tzv. poligenetskog tipa, tj. oni koji su nastali primarnim utjecajem tektonike, abrazije, erozije i korozije, npr. Mijatova jama kod Mateškog sela na Kordunu (GARAŠIĆ, 1976), Gornja Cerovačka spilja kod Gračaca u Lici, Gospodska spilja kod izvora rijeke Cetine u Dalmaciji. U vanjskom (jadranskom) krškom pojasu uz obalu, abrazija, uz tektoniku, ima dominatnu ulogu u speleogenezi, npr. Borina spilja (otok Prvić), Jama kod Jajca (otok Žirje), Spilja Banova Ljut (Dubrovnik), Vela spilja (Vela Luka, Korčula). Na otocima i na planinama uz Jadran najintenzivnija je uloga erozije i korozije uz intenzivnu tektoniku. Jurski vapnenci i vapneni dolomiti su u morfogenetskom smislu nosioci speleogeneze uz intenzivnu tektoniku, te vrlo jaki utjecaj erozije i korozije, npr. Jama Livnjak (Jasenak, Gorski kotar), Jama na Kozici (Zrnići, Gorski kotar), Janušinka jama (Drežnica, Gorski kotar), Brišćinka (Biokovo), Radekina jama (Bijele stijene, Gorski kotar), Jama Samara (Samarske stijene, Gorski kotar). Upravo najinteresantniji korozijski oblici u podzemlju uočeni su u jurskim vapnencima. Karstifikacija je praćena u tunelima (Gorski kotar) u svim mogućim veličinama pukotina i kaverni. Mjerenja intenziteta karstifikacije u stijenama tunela proporcionalna su i sa snagom speleogeneze u istim litostratigrafskim sredinama. Paleogenski sedimenti u speleogenetskom smislu podjednako su bili izloženi utjecaju tektonike, abrazije, erozije i korozije. Interesantni su primjeri velikih podzemnih šupljina u području Crnopca (Gračac, Lika) gdje je intenzitet karstifikacije vrlo visok (LUKIĆ, 1989) ili u Jami Golubinki (Posedarje, Ravni kotari), gdje se u jednom dijelu pojavljuje i fosilna (III faza) speleogeneze.

Promatranje i mjerenje neotektonskih aktivnosti u spiljama i jamama omogućilo je donošenje zaključaka da se u područjima relativnog izdizanja blokova (npr. Jama na Jatarini, Sjeverni Velebit), spiljski kanali relativno produbljuju (karstifikacija je intenzivnija), dok se u područjima neotektonskog spuštanja (npr. Crno vrelo kod Kordunskog Ljeskovca na Kordunu) kanali stalno ispunjavaju vodom, te da korozijsko djelovanje postaje dominantno (GARAŠIĆ, 1986; KLIMCHOUK, 1992).

4. PROCESI KARSTIFIKACIJE

Procesi karstifikacije u speleološkim objektima hrvatskog krša napreduju u dva osnova smjera. Prvo i mnogo češće, gravitacijski prema dolje, te drugo, relativno manje učestalo, inversno tj. prema površini. Primjere za inversnu karstifikaciju nalazimo u Istri (MAUCCI, 1952, 1973; BOŽIČEVIĆ, 1985), ali i u području Korduna, Like (GARAŠIĆ, 1991b) i Gorskog kotara (GARAŠIĆ & KOVAČEVIĆ, 1992).

4.1. GRAVITACIJSKA KARSTIFIKACIJA

Gravitacijska ili površinska karstifikacija uvijek je pod utjecajem gravitacijske vode, tj. oborina. Ona je jako lako uočljiva. Jako je izražena u jurskim i krednim karbonatnim sedimentima. Pogoduje joj tektonska razlomljenost.

4.2 INVERSNA KARSTIFIKACIJA

Inversna karstifikacija uočljiva je isključivo u podzemlju, a posljedica je hidrogeoloških uvjeta (mijenjanje razine podzemne vode, njena stalna prisutnost u podzemlju u vrijeme I i II faze speleogeneze, itd.), litostratigrafskih faktora (intenzivno je razvijena u lakše topivim naslagama, u prominskim i jelar naslagama, sitnoznim brečama itd.) i neotektonskih izdizanja blokova. U području neotektonskih izdizanja obavezno je prisutna, a njen intenzitet je proporcionalan intenzitetu izdizanja. U području tzv. zračnih jastuka, na stropovima spilja uočeno je snažno djelovanje inversne karstifikacije (sl. 4), npr. spilja Rudnica Kamenica, Kordun, spilja Vrelo (Fužine, Gorski kotar). Intenzitet inversne karstifikacije za razliku od gravitacijske karstifikacije, manje ovisi o tektonskoj razlomljenosti, a više o posebnim hidrogeološkim uvjetima (GARAŠIĆ, 1993).

4.3. KOMPLEKSNA KARSTIFIKACIJA

U hrvatskom kršu uočena je i tzv. kompleksna karstifikacija (PANOS, 1990), a to je ona koja osim prije spomenutih uvjeta, treba imati i posebne uvjete u speleogenezi, npr. manja dubina do nepropusne podloge u kršu (područje Korduna, Gorskog kotara, itd.), pojave leća različitih stijena unutar karbonatnih kompleksa, npr. rožnjaci unutar vapnenaca ili fliški materijali između karbonatne serije itd. (područje Istre, Velebita, Mosora itd.) koji će utjecati na morfologiju speleoloških objekata. Zbog tih razloga imamo i formirane speleološke objekte gdje je karstifikacija ostvarena i različitim smjerovima (sl. 3) (npr. uz fliš ili rožnjake ili uz vodonepropusne podloge). Tada ti speleološki objekti naglo mijenjaju morfološki tip, nagib i oblik spiljskih kanala (jame postaju spilje, a spilje postaju jame, uski kanali postaju široki, a široki postaju potpuno uski, itd.).

5. PODJELA SPELEOLOŠKIH OBJEKATA PREMA SPELEOGENEZI

Speleološke objekte u Hrvatskoj možemo podijeliti u više skupina. Osnovno se mogu razlikovati **sinspeleogenetski i epispeleogenetski** objekti. Prvi su nastali u vrijeme stvaranja matičnih stijena. Relativno su mali po broju, a nastaju uz travertinske barijere i slapove na krškim rijekama i jezerima (npr. na Plitvičkim jezerima, uz rijeku Krku itd). Epispeleogenetski objekti nastali su djelovanjem različitih procesa u karstifikaciji stijena, kao npr. abrazijom, erozijom, korozijom, urušavanjem, tektonikom itd. Najčešće je riječ o **polispeleogenetskim** objektima. Ipak, ovdje će biti samo spomenute neke vrste spilja i jama (epispeleogenetski objekti) koje se međusobno razlikuju po genezi: **korozijski, korozijsko - urušni, fluviokrški, fluviokrško - urušni, fluviokrško - korozijsko - urušni, tektonsko (rasjedno) - fluviokrško - urušni, tektonsko - korozijski, tektonsko - korozijsko - urušni, erozijski, erozijsko - korozijski, erozijsko - fluviokrški, fluviofrško - erozijski, ispunjeni (otaloženi), erozijsko - ispunjeni, abrazijski, interno erozijski, kriogenski** (samo nekoliko objekata), **vulkanogeni** (samo jedan objekt u Hrvatskoj), objekti formirani utjecajem biljaka s površine, itd. Napravljena je i podjela na **freatičke** i **vadozne** objekte, itd.

6. ZAKLJUČAK

Na temelju velikog broja istraženih speleoloških objekata u hrvatskom kršu (preko 7500), njihovom dokumentacijom, speleogeološkim kartiranjima, hidrogeološkim opservacijama i neotektonskim mjerenjima apsolutnih pomaka u njima, došlo se do zaključaka o načinima i vrstama speleogeneze, koja je dio kompleksnog procesa karstifikacije. Utjecaji tektonike (inicijalne prsline, pukotine, rasjedi, bore, slojevi, navlake itd.), uz litostratigrafske, hidrogeološke i klimatske uvjete, ostvarili su speleogenezu u nekoliko tipova karstifikacije. Najviše je prisutna gravitacijska ili površinska karstifikacija (preko 80%), slijedi inversna karstifikacija (oko 19%), a prepoznatliva je i kompleksna karstifikacija (oko 1%). Inversna i kompleksna karstifikacija mogu se proučavati isključivo u podzemnim prostorima. Poseban je pozor stavljen na istraživanja procesa karstifikacije 46 spilja i jama te kaverni u tunelima (Gorski kotar). U speleogenetskom smislu spilje i jame u Hrvatskoj mogu se klasificirati u dvije osnovne grupe - sinspeleogenetski i epispeleogenetski objekti. Sinspeleogenetski objekti su nastali u vrijeme stvaranja matičnih stijena, a epispeleogenetski objekti su nastali naknadnim procesima tektonike, abrazije, erozije, korozije, urušavanja, taloženja itd. Posebno se klasificiraju vulkanogeni objekti, jer oni ne spadaju u područje krša.

Može se zaključiti da veliki broj speleoloških objekata u hrvatskom kršu ima različite načine speleogeneze, a ona je tako uvjetovala različitost u speleomorfologiji (jednostavni, koljeničasti, etažni, razgranani objekti i sustavi), u sadašnjoj fazi speleogeneze (I, II ili III faza), te hidrogeološkoj funkciji spilja i jama (ponori, izvori, estavele, vrulje, protočni objekti, suhi objekti).

Nastavak proučavanja speleogeneze omogućit će i nove spoznaje o najintenzivnijem današnjem geološkom procesu - karstifikaciji.

7. LITERATURA

BELLA, P. (1994): Genetic types caves spaces the West Carpathians.- Slovensky kras, XXXII, 3-20, Liptovski Mikulaši.

BÖGLI, A. (1960): The role of corrosion by mixed water in cave forming.- Problems in speleological research, 1, 125-131, Prague.

BOŽIČEVIĆ, S. (1966): Pećine, jame i ponori s vodom u području Dinarskog krša.- Krš Jugoslavije, 6, 137-154, Zagreb.

BOŽIČEVIĆ, S. (1985): Morfogeneza speleoloških pojava Istre i njihova zavisnost o geološkim i hidrogeološkim uvjetima.- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 166 str.

BRETZ, J.H. (1942): Vadose and phreatic feature of limestone caverns.- Joum. geol., 50, 675-811, New York.

BRETZ, J.H. (1954): Caves of phreatic origin.- Scientia, 89, 13-18, Washington.

COUTURAUD, A. (1989): Le délicat travail de corrosion des eaux karstiques.- Spelunca, IV, 33, 35-42, Paris.

DAVIES, W.E. (1960): Origin of caves in folded limestone.- Natl. Spel. Soc. Bull., 22/1, 5-18, Huntswille.

EWERS, R. (1972): A model for the development of subsurface drainage routes along bedding planes.- M.D. Thesis, Univ. Cincinnati.

FORD, D. (1970): Geologic structure and theories of limestone cavern genesis.- Trans. Cave Res. Group, 13, 81-94, Bridgewater.

FORD, D. (1971): Structures in limestones affecting the initiations on caves.- Trans. Cave Res. Group, 13, 65-71, London.

FORTI, P. (1991): Processi ipercarsici e speleogenesi.- Speleologia, 12/24, 42-46, Milano.

GARAŠIĆ, M. (1981a): Neki speleološki objekti s vodom i praćenje neotektonske aktivnosti u njima.- Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 93 str.

GARAŠIĆ, M. (1981b): Neotectonics in Some of the Speleological Objects in Yugoslavia.- Proceedings of 8th International Congress of Speleology, Bowling Green, 148-149.

GARAŠIĆ, M. (1984a): Proučavanje tektogeneze u speleološkim objektima.- Priroda, LXXIII/1, 20-21, Zagreb.

GARAŠIĆ, M. (1984b): Neotektonske aktivnosti kao jedan od uzroka geneze i morfologije jednog od najvećih spiljskih sistema u Hrvatskoj.- Deveti jugoslavenski speleološki kongres, Zbornik predavanja, 457-465, Zagreb.

GARAŠIĆ, M. (1986a): Hidrogeologija i morfogeneza speleoloških objekata s vodom u kršu Hrvatske.- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 155 str.

GARAŠIĆ, M. (1986b): Dominantan utjecaj geoloških uvjeta na morfološke i hidrogeološke tipove speleoloških objekata u hrvatskom kršu.- Naš krš, 21, 57-63, Sarajevo.

GARAŠIĆ, M. & CVIJANOVIĆ, D. (1986): Speleological phenomena and seismic activity in Dinaric karst area in Yugoslavia.- 9. Congresso International de Espeleologia. Communicacions Barcelona, 1, 94-97.

GARAŠIĆ, M. (1989): New conception of the morphogenesis and hydrogeology of the speleological objects in karst area in Croatia (Yugoslavia).- 10. International Congress of Speleology, Procceedings, 1, 234-236, Budapest.

GARAŠIĆ, M. (1991a): Morphological and Hydrogeological Classification of Speleological structures (Caves and Pits) in the Croatian Karst area.- Geološki vjesnik, 44, 289-300, Zagreb.

GARAŠIĆ, M. (1991b): Karstifikacija spiljskog kanala iza zelenog sifona i njegova hidrogeološka uloga u spiljskom sustavu Muškinje i Panjkove spilje na Kordunu.- Spelaeologia Croatica, 2, 5-14, Zagreb.

GARAŠIĆ, M. (1991c): Katastar speleoloških objekata Hrvatske (prvi dio).- Spelaeologia Croatica, 2, 51-60, Zagreb.

GARAŠIĆ, M. & KOVAČEVIĆ, T. (1992): Neki speleološki objekti na trasi autoceste Karlovac - Rijeka, dionica Oštrovica-Delnice i kaverne u tunelima "Tuhobić" i "Vrata".- Spelaeologia Croatica, 3, 5-14, Zagreb.

GARAŠIĆ, M. (1993): The Karstification processes and Hydrogeological features of the Mesozoic rocks in the Karst of Croatia (Europe).- Proceedings of the XI International Congress of Speleology, 1-4, Beijing.

GARAŠIĆ, M. (1995): Speleološka, speleogeološka i karstološka istraživanja u gradnji tunela u krškim područjima.- Prvi hrvatski kongres o cestama, Opatija (u tisku), Zagreb.

HERAK, M. (1984): Tektonski okvir speleogeneze.- Deveti jug. speleo. kong., Karlovac, 111-130, Zagreb.

HERAK, M., BAHUN, S. & MAGDALENIĆ, A. (1969): Pozitivni i negativni utjecaji na razvoj krša u Hrvatskoj.- Krš Jugoslavije, 6, 45-78, Zagreb.

JAKUCS, L. (1977): Morphogenetics of the karst region, 1-387, Budapest, Bristol.

JINTAO, W. & GUIRONG, L. (1990): The mechanical properties of carbonate rocks affecting the development of karstic features and caverns.- Research of Karst Geomorphology and Speleology, 13-19, Beijing.

KLIMCHOUK, A.B. (1992): Speleogenesis under artesian conditions.- Svet, 5, 7-13, Kiev.

KOVAČEVIĆ, T., GARAŠIĆ, M., ŠEBIAN, M. & MEĐIMUREC, Z. (1991.): Spilja Čavle u dolini rijeke Zrmanje - primjer snažnog erozijskog utjecaja vode na speleogenezu objekta.- Spelaeologia Croatica, 2, 15-21, Zagreb.

LUKIĆ, O. (1989): Speleološka istraživanja Crnopca na Velebitu.- Speleolog, XXXVI-XXXVII, 14-26, Zagreb.

LUKIĆ, O. (1992): Geologija i geneza nekih speleoloških objekata područja Nacionalnog parka "Krka".- Spelaeologia Croatica, 3, 33-38, Zagreb.

MALEZ, M. (1961): Speleološki objekti jugozapadne Like.- Acta geologica, 3, 107-241, Zagreb.

MALEZ, M. & BOŽIČEVIĆ, S. (1965): The Medvjedja pećina (Bear Cave) on Lošinj Island, a rare Case of Submerged Cave.- Problems of the Speleological Research, 211-216, Prague.

MAUCCI, W. (1952): L'ipotesi dell "Erosione inversa.- Bolletino dellea Societa Adriatico di Scienze Naturali, XLVI, Trieste.

PANOS, V. (1990): Karstology - a system of sciences on karst.- Studia Carsologica, 1, 7-13, Brno.

TRAILKILL, J. (1968): Chemical and hydrologic factors in the excavation of limestone caves.- Geol.Soc.Am.Bull., 79, 19-46, Washington.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	183 - 186	ZAGREB 1995

Modelling of Seismic Profiles Recorded for the Project of Underground Gas Storage in the Pečarovci and Dankovci Structures - Mura Depression

Andrej GOSAR

Key words: Reflection seismics, Gas storage, Structural model, Seismic modelling, Raytracing, Synthetic seismogram, Mura Depression

Abstract

Two antiform structures in the Mura Depression were selected as the most promising in Slovenia for the construction of an underground gas storage facility in an aquifer. Seventeen reflection lines with a total length of 157 km were recorded, and three boreholes were drilled. Structural models corresponding to two different horizons (the pre-Tertiary basement and the Badenian-Sarmatian boundary) were constructed using the Sierra Mimic program. Evaluation of different velocity data (velocity analysis, sonic log, the down-hole method, and laboratory measurements on cores) was carried out in order to perform correct time-to-depth conversion and to establish lateral velocity variations. The porous rock in Pečarovci structure is 70 m thick layer of dolomite, occurring at a depth of 1900 m, whereas layers of marl, several hundred meter thick, represent the impermeable cap-rock. Due to faults, the Dankovci structure, at a depth of 1200 m, where the reservoir rocks consist of thin layers of conglomerate and sandstone, was proved to be less reliable. 1D synthetic seismograms were used to correlate the geological and seismic data at the borehole locations, especially at intervals with thin layers. The raytracing method on 2D models (the Sierra Quik package) was applied to confirm lateral continuity of some horizons and to improve the interpretation of faults which are the critical factor for gas storage.

1. INTRODUCTION

Slovenia imports almost all the gas it needs. The supply through the pipelines is more or less constant throughout the year, but consumption is subject to seasonal changes. For this reason gas must be stored in the summer months in order to permit higher consumption during the winter. Due to economic and safety reasons, the storage of natural gas is reasonable only underground (DUSSAUD, 1989). There are four main types of underground storage: salt caverns, abandoned mines, aquifers or depleted oil or gas fields, and hard rock caverns.

The geological structure of Slovenia only permits storage in aquifers (Fig. 1). Investigations for such storage areas have been going on for more than 15 years (SADNIKAR, 1993). The goal has been to find an appropriate antiform structure, at a depth between 500 and 2000 m, composed of porous (reservoir) rock with an impermeable covering layer (GAUSSENS, 1986). In the first stage 13 different locations were investigated and two of them (Pečarovci and Dankovci) in the Mura Depression were selected for further exploration. Geophysical methods, especially reflection seismics, had an important role in the evaluation of locations.

The Slovenian part of the Mura Depression is built of five main geotectonic units lying in the SW-NE direction (KISOVAR, 1977). The rocks in the basement are mainly metamorphic (Paleozoic) on top of which, in some places, Mesozoic carbonates are found. The Pečarovci and Dankovci structures lie on the Murska Sobota massif. In this area the depth to the pre-Tertiary basement is between 1800 and 2000 m. Possible collector rocks for gas storage are the Mesozoic carbonates in the basement and the thin layers of porous conglomerates and sandstones above the discordant boundary between the Badenian and Sarmatian layers.

2. STRUCTURAL MODEL

A dense net of reflection seismic profiles was recorded by Geofizika Zagreb at the location Pečarovci-Dankovci during the years 1987 to 1990. For structural modelling of this data, a square area, 8 x 8 km in size, was selected. Seventeen profiles with a total length of 157 km, and data from three boreholes, were used. The aim of the structural modelling was to construct time and depth maps of the two most important horizons, i.e. KB - the top boundary of the Badenian rocks, and the Pt - pre-Tertiary basement.

Detailed analysis of the available velocity data was carried out, making possible correct time-to-depth conversion. Four types of velocity data were used: velocity analysis, down-hole method, sonic logs, and laboratory measurements on cores. The velocity function was based on the sonic log data, which were corrected using the down-hole data, and fitted to the datum plane of the seismic profiles (150 m above s.l.). Velocity analysis

Institute of Geology, Geotechnics and Geophysics, Dimičeva 14, 61000 Ljubljana, Slovenia.

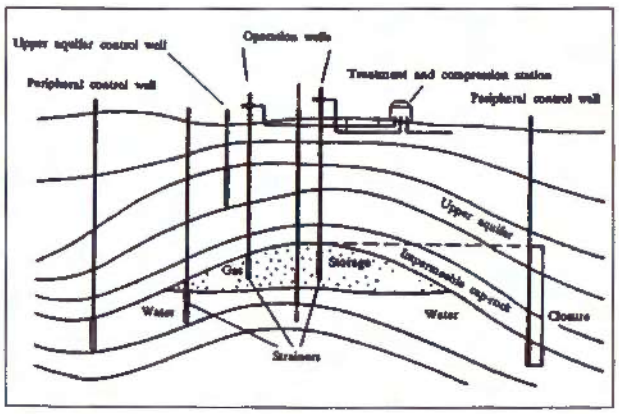


Fig. 1 The storage of gas in an aquifer (after DUSSAUD, 1989).

data were used mainly to determine lateral velocity changes. For this purpose the interval velocity data were graphically treated. The velocity isolines for the profile Peč-Dan-1v-89 (Fig. 4) showed no significant lateral velocity variations in the upper part of the section, until a two way time 1.0 s is reached. There was a slight increase in velocity in the direction NE, between 1.0 and 1.5 s.

For the construction of a three-dimensional structural model the Sierra Mimic package, running on a Digital VAXstation 3100 was used. The interpreted horizons (KB and Pt) were first digitized with the AutoCAD program. From the drawing file 2D coordinates in the plane of the seismic profile were extracted. These coordinates were converted in 3D coordinates, which were the input for the gridding algorithm of Mimic program which is based on the inversion of a system of linear equations. The interpolation method takes faults into account.

A structural time map of the KB horizon shows a closed antiform structure at Dankovci confined by the 980 ms isochron, that has a top at 950 ms. Five faults cut the structure, but they do not indicate significant slips. The reservoir rocks at this horizon are thin layers of conglomerate and sandstone. Small quantities of oil and gas were found in these layers, which proves the tightness of the cap-rocks. On the other hand, because of the thin layers (a couple of meters thick) a fault could easily separate two parts of the layer and reduce the volume of the reservoir. At the Pečarovci location there is no closed antiform structure at this horizon. The depth from the datum plane to KB is from 1100 m to 1200 m.

On the Pt horizon, there are closed antiform structures at both locations. The reservoir rock is a layer of porous dolomite, approximately 70 m thick. At Dankovci it is confined by the 1460 ms isochron, while the top of the structure is at 1350 ms. The area of the closed part is 5.42 km^2. At Pečarovci the top of the

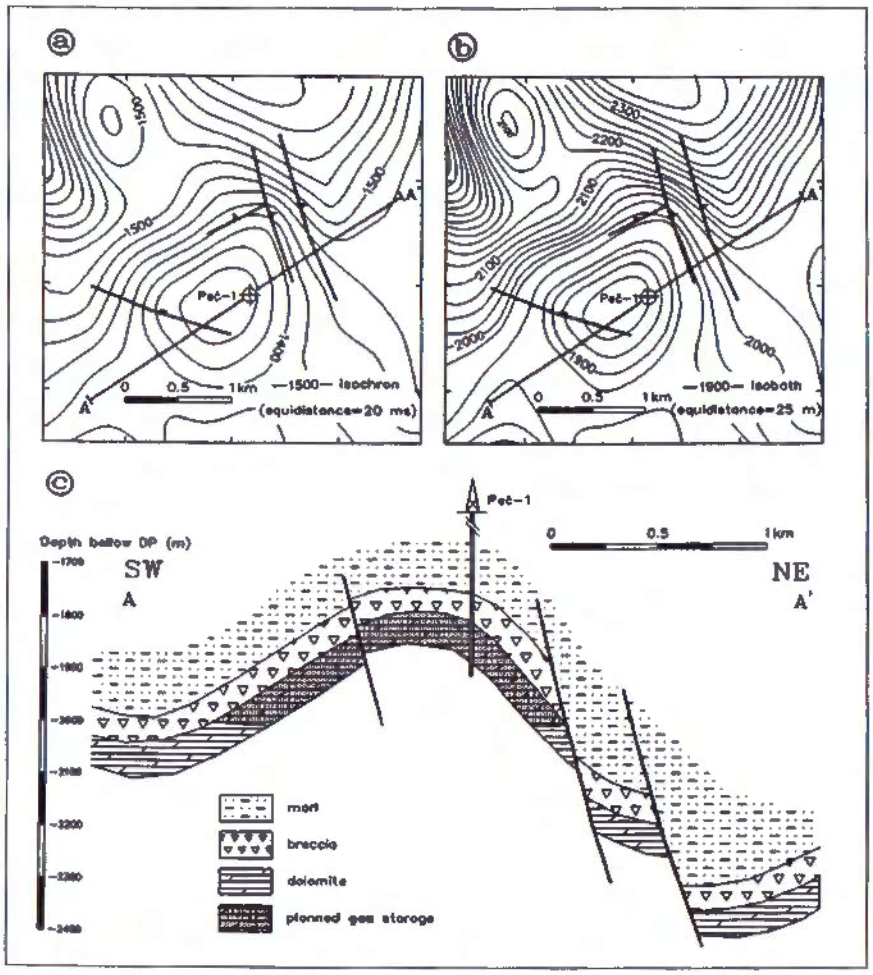


Fig. 2 Planned underground gas storage facility in the Pečarovci structure: a) time structural map; b) depth structural map; c) estimated geological profile A - A'.

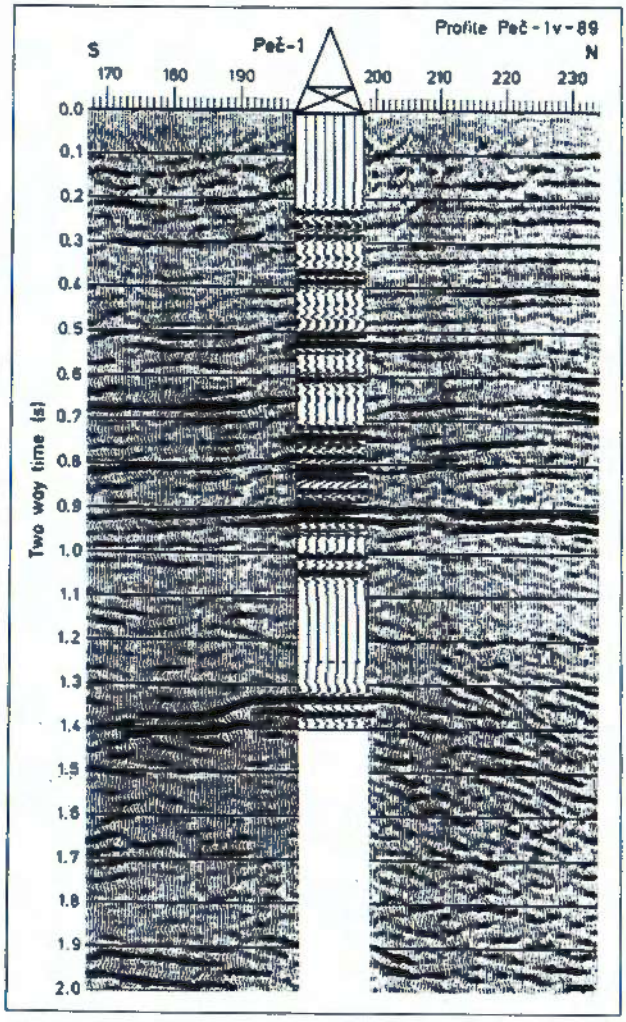


Fig. 3 Comparison of a synthetic seismogram for borehole Peč-1 with the profile Peč-1v-89.

structure is at 1350 ms and the antiform is confined by the 1400 ms isochron (Fig. 2). The highest point of the opening is on the SW part. The area of the closed part is 1.576 km^2. The depth to Pt is from 1900 m to 2000 m.

Of the three antiform structures, that at Pečarovci (Pt) was selected as the most promising. Its main disadvantage is the great depth of the storage layer, which mean higher costs during operation. The structure at Dankovci (Pt) is too big for the required storage volume, and the structure at Dankovci (KB) was found to be less reliable because of faults (SADNIKAR, 1993).

Using the Evasit program for the evaluation of porous gas storage the working volume of planned storage facility in the Pečarovci (Pt) structure was estimated as 320 million m^3(n), from the manual constructed map (SADNIKAR, 1993) or 230 million m^3(n), from the computer constructed map (GOSAR, 1995). Both volumes are greater than the required 200 million m^3(n).

3. SEISMIC MODELLING

Seismic modelling is used for the evaluation of interpretation or for correlation of seismic and geologic data. Most modelling methods are based on the convolutional model, which states that a seismic trace is given by the convolution of a source wavelet with a reflectivity function plus random noise. The layered structure of the subsurface is represented in a model by a series of reflection coefficients. If the layers are thin with respect to the wavelength, the seismic trace is a result of the interference of signals reflected from several interfaces.

Seismic modelling in one dimension is a tool for the correlation of seismic (time) data with geologic or well logging (depth) data. For seismic data, lower vertical resolution, limited by the wavelength of the signal is characteristic, but good lateral coverage along the profile is also apparent. On the other hand, data from boreholes have good vertical resolution, but are limited in lateral extent (NEIDELL, 1981).

At the location Pečarovci-Dankovci very thin layers and the problem of interference close to the KB horizon were encountered. 1D modelling was therefore applied in order to improve the interpretation of this and some other horizons. A Synthetic Module of the Vista 6.5 program (Seismic Image Software), running on a PC computer, was used. The reflectivity series was computed from the sonic and density log data and downhole measurements. In the lowest part, close to the Pt horizon, the results of laboratory measurements of velocity on cores and Gardner's law for the computation of density were used. In the Peč-1 borehole, 49 layers of different acoustic impedance were distinguished. We compared the synthetic seismograms with two seismic profiles close to the borehole location. Comparing the synthetic traces with the Peč-Dan-1v-89 profile, which is oriented SW-NE, good correlation was observed at 0.5 s, near the KB horizon (0.9 s), and at the Pt horizon (1.35 s), but poor correlation between 0.7 and 0.9 s. When the same synthetic traces were compared with Peč-1v-89 profile (Fig. 3), which is oriented S-N, there was also a good correlation at both main horizons and at 0.5 s, but two or three good reflections between 0.7 and 0.85 s that are not visible on the previous profile were also observed. It can be concluded that in this area a high degree of velocity anisotropy is encountered. 1D modelling was also used to show what influence frequency content of the input signal has on the vertical resolution of the seismic data.

By 2D modelling of stacked seismic sections with raytracing method (Sierra Quik package), an attempt was made to confirm the continuity of some reflections above the KB horizon and the interpretation of faults at the Pt horizon. The results of the simulation are presented for the profile Peč-Dan-1v-89 (Fig 4). The basis for interpretation and construction of the time model was the migrated seismic section. The model consisted

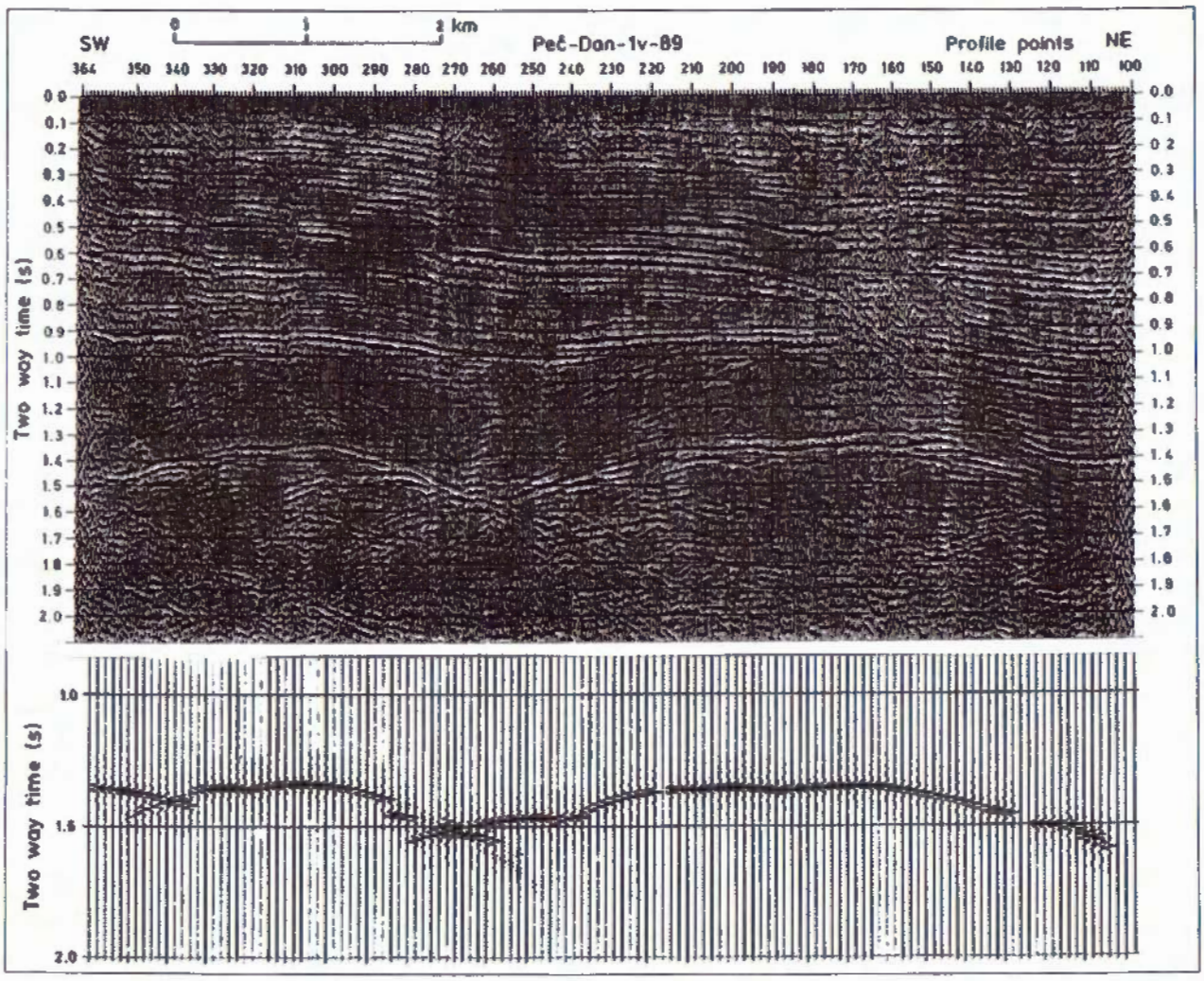


Fig. 4 The unmigrated seismic profile Peč-Dan-1v-89 and the synthetic seismogram for the pre-Tertiary basement.

of nine layers of different velocity. When evaluating the structural interpretation of the Pt horizon, it was proved that better results are obtained with modelling of the unmigrated seismic section, where faults are more evident because of diffractions. On the first model there was a single normal fault on NE side of the Pečarovci antiform. By comparing the synthetic and the original seismic section, it was concluded that the structure is more complex. To prove this, new model of the Pt horizon was constructed with two normal faults at this location (Fig. 2) and better correspondence was established (Fig. 4).

4. REFERENCES

DUSSAUD, M. (1989): Review of world wide storage projects - France.- In: TEK, M.R. (ed.): Underground storage of natural gas. Kluwer Acad. Publ., 23-29, Dordrecht.

GAUSSENS, P. (1986): Stockages souterrains de gas.- Association technique de l'industrie du gaz en France, 333 p., Paris.

GOSAR, A. (1995): Modelling of seismic reflection data for underground gas storage in the Pečarovci and Dankovci structures - Mura Depression.- Geologija, 37 (in press), Ljubljana.

KISOVAR, M. (1977): Prilog rješavanja strukturnih odnosa našeg dijela Murske depresije.- Znanstveni savjet za naftu, JAZU, III. god. skup., Zbornik radova I, 311-322, Zagreb.

NEIDELL, N. S. (1981): Stratigraphic modeling and interpretation: geophysical principles and techniques.- AAPG Education course note series, 13, 141 p., Tulsa.

SADNIKAR, J. (1993): Geological research for underground gas storage in Slovenia.- Rudarsko-metalurški zbornik, 49/1-2, 149-167, Ljubljana.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	187 - 189	ZAGREB 1995

Paleobiološke i biokronološke značajke vrste *Ursus spelaeus* ROSENM. & HEINROTH iz pleistocena sjeverozapadne Hrvatske

Goran GUŽVICA[1], Đuro HUBER[1] & Biserka RADANOVIĆ-GUŽVICA[2]

Ključne riječi: špiljski medvjed, tjelesna težina, mikroevolucija, sjeverozapadna Hrvatska

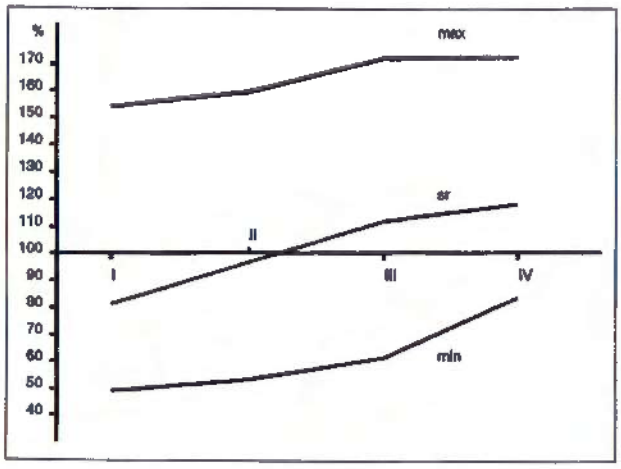
Sažetak

Za paleobiološku i biokronološku analizu korištena je baza podataka na osnovu metrijskih značajki prvih donjih molara špiljskih medvjeda sa lokaliteta sjeverozapadne Hrvatske: Krapine, Velike pećine, Veternice i Vindije. Kompjutorskim programom "CARNI" prema Legendre-Root metodi izvršena je procjena tjelesnih težina jedinki. Analiza rezultata vršena je po slojevima (gdje je to bilo moguće), pa su za Vindiju dobivene krivulje kontinuiranog rasta tjelesnih težina, dok krivulje za Veternicu nakon rasta pokazuju stagnaciju, a u zadnjem dijelu i opadanje. Uzroci različitih paleobioloških značajki špiljskog medvjeda iz Veternice mogu biti otežani genetski tok (geografski faktori) uz vjerojatne mikropaleoekološke razlike okolice Veternice i drugih lokaliteta.

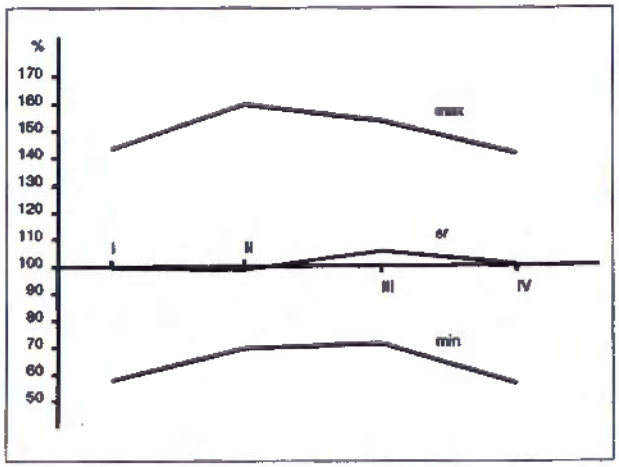
U okviru paleobioloških istraživanja vrste *Ursus spelaeus* ROSENM. & HEINROTH izvršena je analiza tjelesnih težina jedinki špiljskog medvjeda sa lokaliteta Vindija, Veternica, Velika pećina i Krapina. Procjena tjelesnih težina izvršena je kompjutorskim programom "CARNI" (GUŽVICA & PETROVIĆ, 1990), načinjenom prema Legendre - Roth metodi baziranoj na ovisnosti površine prvog donjeg kutnjaka i tjelesne težine (LEGENDRE & ROTH, 1988). Za analizu korišteni su samo potpuno očuvani kutnjaci adultnih jedinki te je po tom kriteriju izdvojeno 626 prvih donjih kutnjaka. Način sakupljanja i pohrane fosilnog materijala uvjetovao je različite razine analize pa je u Vindiji i Veternici analiza tjelesnih težina vršena po stratumima, odnosno kompleksima dok u Velikoj pećini i Krapini to nije bilo moguće te su rezultati promatrani cjelovito. Sedimentne serije Vindije i Veternice podjeljene su na četiri kompleksa te su načinjeni stopostotni dijagrami maksimalnih, minimalnih i srednjih vrijednosti tjelesnih težina jedinki špiljskog medvjeda. Kao stopostotna vrijednost uzeta je srednja vrijednost svih izračunatih tjelesnih težina za lokalitete Vindija i Veternica koja iznosi 672 kp. Dobivene krivulje minimuma, maksimuma i srednjih vrijednosti tjelesnih težina za špilju Vindiju kontinuirano rastu od najstarijih prema najmlađim kompleksima. U najmlađem kompleksu špilje Vindije tendencija porasta maksimuma stagnira, dok krivulja za minimume u tom kompleksu pokazuje tendenciju naglog rasta. Kroz sedimentnu seriju špilje Vindije moguće je na osnovi morfometrijske analize zuba pratiti kontinuirane mikroevolucijske promjene vrste *Ursus spelaeus*. Takvom analizom u najstarijem kompleksu utvrđena je tafodema špiljskog medvjeda sa nekim deningeroidnim karakteristikama, dok je u mlađim kompleksima utvrđen evoluiraniji oblik karakterističan i za istovremene naslage nekih drugih lokaliteta kao što su Mixnitz, Merkenstein, itd. (PAUNOVIĆ, 1988). Analizom tjelesnih težina također je moguće pratiti mikeoevolucijske promjene, pa rezultati te analize u špilji Vindiji idu u prilog tezi o konstantnom povećanju tjelesne veličine špiljskog medvjeda tijekom evolucijskog razvoja (sl. 1). Razlike između susjednih kompleksa statistički su signifikantne na razini >0,0005. Morfometrijska analiza zubiju špiljskog medvjeda načinjena je i na materijalu iz Veternice, te rezultati pokazuju sličnosti sa tafodemom te vrste iz mlađih kompleksa špilje Vindije (PAUNOVIĆ, 1991). Iz dijagrama stopostotnih vrijednosti tjelesnih težina špiljskog medvjeda iz Veternice uočljivo je da krivulja minimuma, maksimuma i srednjih vrijednosti najmlađeg kompleksa ima tendenciju naglog pada (sl. 2). Ako uzmemo u obzir činjenicu da je morfološka analiza zubiju (PAUNOVIĆ, 1991) pokazala sličan stupanj evoluiranosti špiljskog medvjeda iz najmlađih kompleksa špilja Vindije i Veternice postavlja se pitanje što je uzrok naglog pada tjelesnih težina visoko evoluirane tafodeme špiljskog medvjeda iz Veternice?

Gledajući geografsku kartu područja na kojem se nalaze sva četiri analizirana lokaliteta (sl. 3) vidi se da su lokaliteti smješteni na relativno malom području sa neznatnim razlikama u nadmorskoj visini. Međutim prema istraživanjima radiusa kretanja recentnih smeđih medvjeda (HUBER & ROTH, 1993) može se pretpostaviti da su tafodeme špiljskog medvjeda iz Vindije, Velike pećine i Krapine međusobno komunicirale, dok je sa tafodemom iz Veternice genetski tok mogao biti otežan udaljenošću kao i konfiguracijom tla (Medve-

[1]Zavod za biologiju, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Heinzelova 55, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2]Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1. Stopostotni dijagram tjelesnih težina špiljskog medvjeda kroz četiri stratigrafska kompleksa špilje Vindije.



Sl. 2. Stopostotni dijagram tjelesnih težina špiljskog medvjeda kroz četiri stratigrafska kompleksa špilje Veternice.

dnica). S obzirom na činjenicu da je tijekom zadnje oledbe tafodema špiljskog medvjeda iz Veternice bila zahvaćena procesom smanjenja tjelesne težine, dok su ostale mikroevolucijske značajke imale tendenciju progresije kao i u Vindiji postavlja se pitanje što je tome bio uzrok? Moguće rješenje leži u velikoj varijabilnosti fenotipa medvjeda s obzirom na ishranu. Tjelesna veličina a time i težina kod genetski identičnih jedinki vrlo je varijabilna s obzirom na količinu bjelančevina u ishrani (MEALEY, 1980). Budući da je ishrana špiljskog medvjeda (a i recentnog smeđeg medvjeda) pretežno biljna moguće je pretpostaviti različitost fosilnih biljnih zajednica okolice Veternice i Vindije. Detaljne palinološke analize pleistocenskih naslaga pokazale bi sliku fosilnih biljnih zajednica što bi unijelo više svjetla u poznavanje kvalitete ishrane špiljskih medvjeda sa pojedinih lokaliteta. Do sada izvršena palinološka analiza u špilji Vindiji (DRAXLER, 1986) nije dostatna za stjecanje cjelovite slike o fosilnoj biljnoj zajednici. Potrebno je napomenuti da je na kostima špiljskog medvjeda iz Veternice utvrđen znatno viši postotak patoloških pojava i drugih morfoloških anomalija (oko 10%) (GUŽVICA, 1992/1993) u odnosu na druge lokalitete Hrvatske, Slovenije i Austrije. To je također mogla biti posljedica nepovoljnijih paleoekoloških uvjeta.



Sl. 3. Pretpostavljena područja kretanja špiljskog medvjeda sa pojedinih lokaliteta sjeverozapadne Hrvatske.

Iz Velike pećine i Krapine prvi donji molari nisu analizirani po slojevima što su uvjetovali način skupljanja i pohrane fosilnog materijala, no i takvi jedinstveni podaci pridonose upotpunjenju cjelovite slike o vrijednostima tjelesnih težina špiljskog medvjeda sa lokaliteta sjeverozapadne Hrvatske. Iz tablice 1 vidljivo je da su minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti tjelesnih težina špiljskog medvjeda iz Vindije, Velike pećine i Veternice ujednačene, što upućuje na zaključak da je tendencija smanjenja tjelesnih težina u Veternici počela tek nakon dosizanja maksimuma. Uočljivo je da je maksimalna vrijednost tjelesnih težina iz Krapine bitno niža s obzirom na ostale lokalitete čemu je uzrok nedostatak mlađih pleistocenskih naslaga kada je mikroevolucijskim procesom špiljski medvjed dostigao najveću tjelesnu veličinu.

Istraživanja mitohondrijske DNA recentnih medvjeda (RANDI et al., 1994) pokazuju da se populacije medvjeda različite genetske strukture mogu naći tek na većim geografskim razdaljinama. Tako su medvjedi iz Alpa i Dinarida bez razlike, a tek oni sa Pireneja se razlikuju na razini 2%. Međutim, navedene činjenice za recentnog smeđeg medvjeda ne mogu se u cijelosti primjeniti na fosilnog špiljskog medvjeda. Razlog tome je moguća znatno veća genetska varijabilnost špiljskog medvjeda kao posljedica brzog mikroevolucijskog procesa, te bitno različiti paleoekološki uvjeti u pleisto-

LOKALITET	N	TJELESNA TEŽINA (kp)		
		minimum	maksimum	srednja vrijednost
Vindija	309	327,00	1159,89	667,34
Velika pećina	162	290,60	1083,26	691,06
Veternica	142	376,54	1074,63	682,54
Krapina	13	373,10	667,00	480,00

Tablica 1. Usporedna tablica minimalnih, maksimalnih i srednjih vrijednosti tjelesnih težina špiljskog medvjeda sa pleistocenskih lokaliteta sjeverozapadne Hrvatske.

cenu. Pravo objašnjenje razlika tjelesnih težina špiljskih medvjeda iz Vindije i Veternice bit će moguće tek paleogenetskom analizom.

LITERATURA

DRAXLER, I. (1986): Pollenanalytische Untersuchungen der Sedimentproben aus der Vindija Hohle bei Donja Voća, NW Kroatien.- Rad JAZU, 424, Razr. prir. znan., 21, 275-287, Zagreb.

GUŽVICA, G. (1992/1993): Prilog poznavanju patologije i morfoloških anomalija skeletnih ostataka spiljskog medvjeda (Ursus spelaeus Rosenm. & Heinroth) iz spilje Veternice u Medvednici, Hrvatska.- Rad HAZU, 463, Razr. prir. znan., 26, 109-124, Zagreb.

GUŽVICA, G. & PETROVIĆ, J. (1990): Primjena osobnog računala u procjeni tjelesne težine jedinki recentnih i fosilnih zvjeri (Carnivora).- Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji, XVIII, 51- 59, Ljubljana.

LEGENDRE, S. & ROTH, C. (1988): Correlation of carnassial tooth size and body weight in recent carnivores (Mammalia).- Historical Biology, 1, 85-98.

HUBER, Đ. & ROTH, H.U. (1993): Movements of European brown bears in Croatia.- Acta Theriologica, 38/2, 151-159.

MEALEY, S.P. (1980): The natural food habits of grizzly bears in Yellowstone National Park.- 1973-74. Int. Conf. Bear Res. and Manage, 4, 281-292.

PAUNOVIĆ, M. (1988): Morphometrische und morphogenetische Untersuchungen der Ursidenzahne aus den Hohlen Norwestkroatiens.- Palaeont. jugosl., 36, 1-40, Zagreb.

PAUNOVIĆ, M. (1991): Morphometrische und morphogenetische Untersuchungen der Zahne des Ursus spelaeus Rosenm. & Heinroth aus der Hohle Veternica (NW Kroatien).- Rad HAZU, 458, Razr. prir. znan., 25, 1-19, Zagreb.

RANDI, E., GENTILE, L., BOSCAGLI, G., HUBER, D. & ROTH, H.U. (1994): Mitochondrial DNA sequence divergence among some west European brown bear (Ursus arctos L.) populations. Lessons for conservation.- Heredity, 73, 480-489.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	191 - 194	ZAGREB 1995

Baza podataka Geološke karte Republike Hrvatske 1:50.000

Josip **HALAMIĆ**[1], Miron **KOVAČIĆ**[1] & Damir **ŠLOGAR**[2]

Ključne riječi: Geološko kartiranje, baza podataka, Hrvatska

Key words: Geological mapping, Database, Croatia

Sažetak

Geološka karta Republike Hrvatske 1:50.000 trenutno je najopsežniji projekt koji izvodi Institut za geološka istraživanja. U sklopu njegova ostvarenja prikuplja se vrlo velik broj podataka, što je nametnulo potrebu njihove organizacije u elektronsku bazu podataka. Baza podataka TOP izrađena je za pohranjivanje i manipulaciju podataka prikupljenih na terenu i u laboratoriju. Glavna baza sadrži podatke opažanja na terenu, a na nju se vezuju specijalističke podbaze, kao npr. baza petrografskih analiza (PET), baza paleontoloških podataka (PAL), baza geokemijskih podataka (KEM), baza strukturnih podataka (STR) i dr. Podbaza PET strukturirana je slično kao i glavna baza, s tim da su u njoj pohranjeni podaci petrografskih i sedimentno-petrografskih mikroskopskih analiza. Pretraživanje, izdvajanje i ispis podataka moguć je po svim poljima kao i njihovim kombinacijama, osim po sadržaju napomena. Određeni podaci iz glavne baze kao i iz podbaza mogu se nakon izdvajanja koristiti u različitim korisničkim programima.

Abstract

The Geological map of the Republic of Croatia 1:50,000 is at present the largest project carried out by the Institute of Geology. In the course of its implementation a huge amount of information has been collected, which called for its being organized in an electronic data base. The described TOP data base has been created for storage and manipulation of the data collected on the field and in laboratory. The main base contains field-work observation data, with related specialist databases, such as a petrographic analyses database (PET), a paleontological analyses database (PAL), a geochemical analyses database (KEM), a structural-elements database (STR) etc. The specialist database PET contain a petrographic and sediment-petrographic microscopic data. Searching, selecting and printing of the data is possible for all mentioned elements and their combinations except for the annotation content. Certain data from the main database as well as from sub-databases can, after selecting, be used in various user programs.

1. UVOD

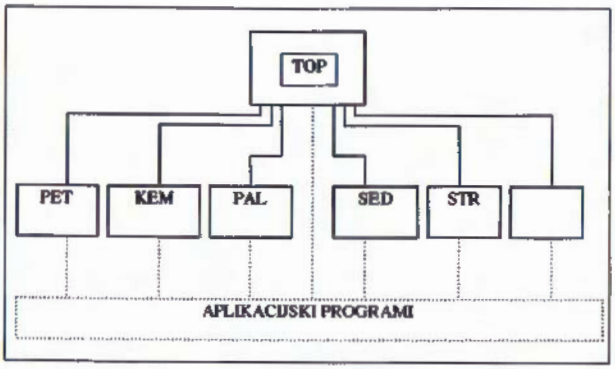
Geološka karta Republike Hrvatske 1:50.000 trenutno je najopsežniji projekt koji izvodi Institut za geološka istraživanja. U sklopu njegove izrade prikuplja se vrlo velik broj različitih podataka. Primjerice u istražnom području Medvednice, koje je veličine oko 700 km^2, prikupiti će se podaci na oko 35.000 točaka opažanja. Svaka točka sadrži prosječno 14 različitih podataka (o vrstama podataka biti će više riječi u daljnjem tekstu). Osim toga uz taj broj točaka opažanja biti će vezano najmanje 7000 specijalističkih analiza (petrografske, paleontološke, sedimentološke, geokemijske i dr.), od kojih svaka sadrži u prosjeku 15 podataka. Iz navedenog slijedi da da će samo za područje Medvednice biti prikupljeno oko 600.000 podataka.

Ovaj veliki fond podataka ima trajnu vrijednost, jer će osim za izradu karte služiti i u druge svrhe. Do sada su se prikupljeni podaci, razvrstani po broju točaka, arhivirali u registratore. Doći do traženog podatka iz tako arhiviranih dokumenata vrlo je teško, a još je teže načiniti izbor većeg broja podataka po željenim kriterijima. Zbog toga je, da bi se zadovoljile potrebe korisnika za brzim i selektivnim pristupom podacima, organizirana elektronska baza podataka.

Podaci su organizirani u glavnu bazu (**Baza točaka opažanja-TOP**) i specijalističke baze (sl. 1). Baza **TOP** sadrži podatke opažanja na terenu i eventualno naknadno unijete rezultate analiza. Specijalističke baze (Baza petrografskih analiza - **PET**, Baza paleontoloških podataka - **PAL**, Baza geokemijskih podataka - **KEM**, Baza strukturnih podataka - **STR**, Baza sedimentoloških podataka - **SED** i dr.) sadrže podatke analiza i specijalističkih mjerenja. Glavna baza i specijalističke baze su povezane što omogućava njihov paralelan pregled i ažuriranje.

Podaci u bazama su geokodirani te se mogu prebacivati u druge geokodirane programe. Numerički podaci koje sadržavaju podbaze mogu se učitavati u aplikacijske programe i dalje obradivati.

[1]Institute of Geology, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Croatia.
[2]IDL, Babulek 18, 10000 Zagreb, Croatia.



Sl.1 Shematski prikaz organizacije baze podataka i komunikacije između njezinih dijelova.

Do sada su napravljene i koriste se: glavna baza **TOP** i specijalistička podbaza petrografskih analiza **PET**. Sistem je otvoren za proširivanja i dorade, a predvida se njegova dogradnja s još 4 do 5 podbaza.

2. STRUKTURA GLAVNE BAZE - TOP

Struktura glavne baze (sl. 2) koncipirana je tako da obuhvati što je više moguće podataka, koje geolog prikuplja prilikom geološkog kartiranja, neovisno o mjerilu kartografske podloge na kojoj radi. Podatke, koji se unose u bazu, možemo podijeliti na više blokova informacija.

U prvom bloku nalazi se broj točke opažanja kao i druge neophodne informacije za prostorno i vremensko lociranje te točke. Podatak za "DATUM" je standardan, a unosi se datum kartiranja. U polje "PODRUČJE" unosi se šire geografsko područje ili regija u kojoj se obavlja kartiranje, a pod "LOKALITETOM" se podrazumijeva uže područje unutar kartiranog prostora (npr. Područje: Medvednica, Lokalitet: Oštrica). Kao kartografska podloga za izradu Geološke karte Republike Hrvatske 1:50.000 koristi se topografska karta 1:25.000 te se pod poljem "SEKCIJA" unosi određeni naziv sekcije te karte na kojoj se nalazi kartirano područje (primjerice za gore navedeni primjer unosi se sekcija Donja Stubica). Jedan od važnijih podataka u ovoj bazi je "BROJ TOČKE" jer se na njega vežu laboratorijska istraživanja. To polje sastoji se od dva alfanumerička i pet numeričkih znakova. U prvo alfanumeričko polje upisuje se slovo koje predstavlja šifru zadatka ili projekta (M=metamorfne stijene, N=neogen, V=magmatsko-sedimentni kompleksi itd.), dok drugi alfanumerički znak predstavlja šifru geologa koji je tu točku opisao na terenu. Numerička polja predvidena su za brojčanu oznaku točke, a to znači da jedan kartirajući geolog na jednom području, jednom lokalitetu, jednoj sekciji i na jednom zadatku može upotrijebiti do 99.999 točaka. Svaka točka je u prostoru definirana sa tri koordinate (X, Y i Z). Budući da je kartografska podloga (1:25.000), na kojoj se obavlja kartiranje, podijeljena Gauß-Kriegerovim koordinatama, a one su i najpogodnije za očitavanje na kartama, kao koordinatnu podlogu za našu bazu uzeli smo upravo ovu podjelu. Nakon unosa podataka za područje, lokalitet, sekciju i broj točke program obavlja automatsku kontrolu unosa tj. provjerava da li uneseni podaci već postoje u bazi, a ako postoje i ako se podudaraju u svim zadanim parametrima on o tome izvješćuje operatera s porukom na ekranu da takva točka već postoji u bazi. Zbog uštede

BAZA TOČAKA OPAŽANJA - UNOS PODATAKA

DATUM: **PODRUČJE:**
LOKALITET: **SEKCIJA:**
BROJ TOČKE: **KOORDINATE => X:** **Y:** **Z:**

STAROST.....:
FORMACIJA.....:
ČLAN.....:
SLOJ.....:
VRSTA STIJENE:
TEKSTURA.....:
POST. IZMJENE :
MIN. SIROVINE :
KAR. GRANICE :
PT: **PS:** **SF:**
R: **b-OS:**
Or: **Sk:** **Pk:**
FOS. SADRŽAJ :
UZ / AN.....:
IZDANAK.....: **Skica:**
Zapis: **Selektirano:** **Efikasnost:**
<Del> za brisanje

Sl. 2 Izgled ekrana za unos podataka u glavnu bazu TOP.

vremena pri unosu podataka za sada se ne obavlja kontrola koordinata (dodatna provjera još tri podatka)

Drugi blok informacija sadrži podatke o starosti kartiranih stijena i njihovom litostratigrafskom rangu. Za polje "STAROST" napravljen je poseban podprogram u kojem je obuhvaćena kronostratigrafska skala od prekambrija do kvartara odnosno od eratema preko sistema, serija, katova do podkatova. Ovo je vrlo važno za pretraživanje baze podataka po starosti, jer je pri unošenju podataka u bazu potrebno unijeti npr. samo određeni podkat ili kat, a podprogram dalje automatski svrstava stijenu u seriju, sistem i eratem. Pretraživanje se nakon toga može obaviti po svim višim jedinicama bez obzira da li su one unijete u polje za starost ili ne. Pošto je Geološka karta 1.50.000 litostratigrafska karta u ovom bloku sadržane su i informacije o pripadanosti stijena na kartiranoj točki određenim litostratigrafskim jedinicama. Tako se u polje "FORMACIJA" unosi naziv formacije, u polje "ČLAN" ime člana te formacije, a u polje "SLOJ" unosi naziv sloja.

Slijedeći blok sadrži informacije o nazivu stijene, njezinim glavnim teksturnim i mineraloškim karakteristikama, mineralnim pojavama te o odnosu opisanog sloja, člana ili formacije prema drugom sloju, članu ili formaciji, ako je to na točki opažanja vidljivo. Tako se u polje "VRSTA STIJENE" unosi naziv stijene, koji je određen na terenu, ali koji se može mijenjati u slučaju da je to nakon laboratorijske analize potrebno. Nadalje, u polje "TEKSTURA" unose se teksturne karakteristike stijene zapažene na terenu. Polje "POST. IZMJENE" sadrži podatke o postdijagenetskim, magmatskim, postmagamtskim ili metamorfnim promjenama u stijeni (npr. kalcitizacija, silicifikacija, zeolitizacija i dr.). U rubriku "MIN. SIROVINE" unose se terenski zapažene pojave orudnjenja ili podatak da li je opisana stijena interesantna kao mineralna sirovina. Zbog prostornog ograničenja baze korisnici moraju biti svjesni da ovo polje može sadržavati samo najneophodnije podatke, ali koji mogu poslužiti za daljnja detaljna istraživanja mineralnih sirovina. Podaci o "KARAKTERU GRANICE" unose se samo u tom slučaju ako su baš na točki opažanja vidljivi odnosi između pojedinih litostratigrafskih jedinica.

Slijedeći skup podataka odnosi se na mjerenja paleotransporta u sedimentnim stijenama kao i na strukturno-tektonska mjerenja na terenu. Polje "PT" označava se samo sa DA ili NE, tj. da li su obavljena mjerenja paleotransporta ili ne. Za ovo polje predviđena je izrada podbaze, koja bi sadržavala podatke o mjerenju paleotransporta i iz koje bi se ti podaci mogli koristiti za daljnju obradu u raznim dijagramima kao i u korisničkim programima. U polje "PS" unose se mjerenja o položaju sloja. Unutar "SF"-polja nalaze se podaci o folijaciji u metamorfnim stijenama, a u polje "R" unose se podaci mjerenja rasjeda, kut zakosa kao i njihov karakter. Podaci mjerenja b-osi unose se u polje "b-OS", a osne ravnine u polje "Or". Ovaj blok sadržava još dva polja i to s podacima o klivažu "Sk" i polje o mjerenim pukotinama "Pk". Sva prethodno navedena polja u ovom bloku se u slučaju da sadržavaju mjereni podatak ili podatke, automatski označavaju određenim znakom (*flag*), koji služi za izdvajanje tih točaka pri pretraživanju podataka. Osim toga, za strukturno-tektonske podatke predviđena je također izrada podbaze iz koje bi se podaci koristili u izradi raznih strukturnih dijagrama kao i za druge statističke obrade.

Nakon struktumog bloka dolazi polje koje sadržava podatke o "FOSILNOM SADRŽAJU" stijena. Ako se pri kartiranju može odrediti fosilni sadržaj u stijeni onda to polje, osim posebnog znaka (*flaga*) sadrži i nazive familija, rodova i vrsta fosila, dok bi se analitički podaci o makropaleontološkim i mikropaleontološkim odredbama pohranjivali u posebne podbaze, koje bi, kao i druge navedene, bile sastavni dio glavne baze podataka - TOP.

Jedno od ključnih polja za vezu sa specijalističkim podbazama je polje "UZ/AN". U njega se unose kratice za pojedine specijalističke analize, koje su napravljene za uzete uzorke. Prilikom unosa određenih kratica u ovo polje, automatski se otvaraju specijalističke podbaze kao npr. PET = podbaza petrografskih i sedimentno-petrografskih analiza, PAL = podbaza makropaleontoloških i mikropaleontoloških analiza, KEM = podbaza kemijskih analiza makroelemenata i mikroelemenata i dr. Pretraživanja u ovom polju obavljaju se po pojedinim kraticama za podbaze ili po oznaci (flag-u), koju svaka točka dobije ako je uzorak analiziran u laboratoriju.

U polje "IZDANAK" unosi se podatak o stanju izdanka na terenu tj. da li je primaran, sekundaran, nesiguran, trunje, blokovi i sl. Ovaj podatak je važan pri konstrukciji geološke karte odnosno pri odluci o validnosti pojedinog terenskog podatka.

Ako je na terenu nacrtana skica izdanka ili je napravljena fotografija u polje "SKICA" unosi se podatak sa DA ili NE. Za ovo polje predviđena je izrada podbaze u koju će se pohranjivati skanirane skice ili fotografije. To je potrebno, jer se često događa da se opisani izdanci više ne mogu pronaći na terenu.

Sva gore navedena polja mogu se pretraživati, pojedinačno ili u kombinaciji, a može se obavljati i izdvajanje podataka u posebne podbaze u kojima se onda brže manipulira s izdvojenim podacima.

Iz polja "SKICA", koje se nalazi zadnje na ekranu za unos, prelazi se u drugi ekran, koji služi za unos "NAPOMENA". Dužina napomena za jednu točku može iznositi maksimalno jedan ekran, a mogu se unositi svi podaci, za koje autor odnosno kartirajući geolog smatra da su važni za daljnja istraživanja ili za uspješniju konstrukciju geološke karte. Pri tome se mora imati na umu da se u napomenama podaci ne mogu pretraživati i ne može se obavljati njihova selekcija.



Sl. 3 Izgled ekrana za unos podataka u podbazu petrografskih i sedimentno-petrografskih analitičkih podataka.

3. STRUKTURA PODBAZE - PET

Struktura ove podbaze koncipirana je isto kao i u glavnoj bazi (sl. 3). Kod nje se koriste svi parametri iz prvoga bloka informacija u glavnoj bazi tj. datum, područje, lokalitet, sekcija, broj točke i koordinate, a to znači da se ti podaci mogu koristiti i kod ispisa same PET-podbaze. Osim tih podataka zajednički je i naziv formacije, koja u sebi već sadržava i podatke o članu i sloju.

U polje "VRSTA STIJENE" unosi se naziv za stijenu, koji joj je dodijeljen laboratorijskom analizom, a koji može biti različit od onoga determiniranog na terenu. U polje "POST. IZMJENE" se unose analitički podaci za primjećene i dokazane promjene u stijeni. Strukturno-teksturne karakteristike analiziranih uzoraka unose se u polja "STRUKTURA" i "TEKSTURA". Podaci o mineralnom sastavu unose se u polje "MIN. SASTAV", a unose se u skraćenom obliku za svaki mineral. Za ovo polje napravljena je jedinstvena lista sa skraćenicama za pojedine minerale.

Slijedeći blok informacija odnosi se na specijalstičke analize, koje su eventualno napravljene za pojedine uzorke. U ta polja se unose samo odgovori DA ili NE, a eventualni analitički podaci biti će smješteni u posebne podbaze. Te podbaze sadržavale bi analitičke podatke o granulometrijskom sastavu, modalnim analizama, o mjerenjima sferičnosti i zaobljenosti, kemijskim analizama, analizama mikroelemenata kao i ostalih analiza. U zadnja dva polja na ekranu unose se podaci o postotnom sadržaju CaO i MgO u stijeni. Za detaljan mikroskopski opis analiziranog uzorka u ovoj bazi postoji, isto kao i kod glavne baze-TOP, jedan ekran prostora. Pretraživanja i izdvajanja mogu se raditi po svim poljima i pojmovima, pojedinačno ili u kombinaciji, osim u polju za napomene.

Za brži unos podataka u glavnu bazu TOP kao i u podbazu PET za svako polje za unos napravljen je šifrarnik u kojem se nalaze svi pojmovi, koji su se koristili ili koji će se koristiti pri unosu podataka u određeno polje. Šifrarnik se prilikom unosa poziva pritiskom na određenu funkcijsku tipku.

Ispis svih, ili izdvojenih podataka može se obavljati pojedinačno po odabranim poljima ili kompletno. Osim toga moguć je ispis podataka samo iz baze TOP ili samo iz podbaze PET ili zajedno, a na raspolaganju su dvije vrste ispisa, zgusnuti ili svako polje u jedan red.

4. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE PROGRAMA

Program "TOP" pisan je u programskom jeziku CLIPPER, zbog jednostavnosti rada sa bazama podataka i mogućnosti korištenja istih baza u DBF kompatibilnim paketima. S obzirom da u početku definiranja projekta nisu bili definirani svi potrebni parametri, to je bio dodatni poticaj da izaberemo CLIPPER zbog mogućnosti kasnijih dorada na bazama. Pojedine funkcije, zbog boljeg i bržeg rada, pisane su u programskim jezicima "C" i "Turbo pascal".

Zauzetost prostora na disku:

a) Osnovni programi i datoteke: 500 kB;
b) Baza točaka opažanja s 125.000 podataka: 120 MB;
c) Baza napomena, ovisno o dužini napomene (jedno slovo = 1 bajt).

Brzina pretraživanja za 1000 podataka:

Ref. PC 80486 DX-33, 8 MB RAM, HDD 15 ms
Izdvajanje podataka:

	BEZ BROJAČA	SA BROJAČEM
1 UVJET	1 s	4 s
4 UVJETA	13 s	25 s
29 UVJETA	78 s	154 s

Kod veće količine podataka raste i vrijeme izdvajanja. Kod baza do 10.000 zapisa vrijeme se može skratiti višekratnim izdvajanjem sa manje uvjeta (npr. 3x4 uvjeta). Program će se stalno dograđivati i poboljšavati, te će, dok baza dosegne veličinu od 10.000 zapisa biti ugrađene pomoćne rutine za brže pretraživanje.

Zahvala

Zahvaljujemo svim kolegama i suradnicima iz Instituta za geološka istraživanja, koji su svojim sugestijama i prijedlozima dali doprinos izgledu i funkcionalnosti Baze geoloških podatataka Geološke karte Republike Hrvatske 1:50.000.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	195 - 200	ZAGREB 1995

Miocenske taložine u širem području Beničanaca i njihovo naftnogeološko značenje (istočna Hrvatska)

Zvonimir **HERNITZ**[1], Josipa **VELIĆ**[1], Katica **KALAC**[2] & Bruno **SAFTIĆ**[1]

Ključne riječi: breče siparne i tektonske, krupnozrnati klastiti, naftnosnici, geneza, miocen, Panonski bazen, Hrvatska

Key words: Rockfall and debrite breccias, Tectonic breccias, Coarse-grained clastites, Reservoir rocks, Genesis, Miocene, Pannonian basin, Croatia

Sažetak

U širem području Beničanaca ispod repera Rs7 utvrđene su donjo- i srednjomiocenske breče, brečokonglomerati, krupno- i srednjozrnati pješčenjaci, kalkareniti/kalkruditi i miješani, odnosno koralinacejski pješčenjaci. Breče se s obzirom na način postanka i oblike sedimentnih tijela razlikuju kao siparne i tektonske. Po sastavu najčešće su vapnenjačke i dolomitne, ali su izgrađene i od fragmenata metamorfita i magmatita. To su glavni naftonosnici vrlo dobrih rezervoarskih značajki. Brečokonglomerati i konglomerati su priobalne marinske taložine nastale u transgresivnim uvjetima.

Abstract

In the broader area of Beničanci underlying the Rs7 marker, Lower and Middle Miocene breccias, breccia-conglomerates, coarse and medium grained sandstones, calcarenites/calcirudites and mixed coralinacean sandstones have been determined. In respect of their genesis and shape of sedimentary bodies, the rockfall and debrite breccias are differentiated from the tectonic ones. Both types are mostly composed of limestone and dolomite, but also contain fragments of metamorphic and igneous rocks. The breccias are the main oil-bearing rocks of very good reservoir properties. Breccia-conglomerates and conglomerates are near-shore transgressive marine deposits.

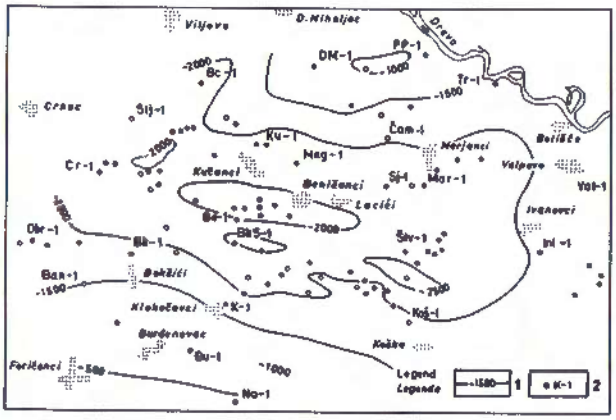
U dravskoj depresiji postoje brojna polja čiji su naftonosnici i plinonosnici miocenske starosti, a izgrađeni su od krupnih klastita. Predmet su zanimanja geologa više od 30 godina. Sve je počelo 1959. izradbom bušotine Beničanci-1. Tom su prilikom otkrivene vapnenjačko-dolomitne breče na dubini od 1500 m. Bušenjem se prestalo u vapnenjačko-dolomitnim brečama s uvjerenjem da se radi o mezozoiku u podlozi tercijara. Njihovo podrijetlo nije tada podrobno ispitano. Naknadnim geološko-geofizičkim radovima i bušenjem pokazalo se da su odnosne breče naftonosnici vrlo dobrih rezervoarskih značajki i da imaju relativno široku rasprostranjenost. Prema litostratigrafskoj razradi (ŠIMON, 1973; ŠIMON & BATUŠIĆ, 1974) pod imenom Beničanci-član pripadaju vukovarskoj formaciji. Povremeno je njihova starost bila predmetom rasprave, jer su uvrštavane ili u miocen ili u mezozoik.

Na temelju sveobuhvatnih terenskih, laboratorijskih i kabinetskih istraživanja bušotinskih jezgara ispod elektrokarotažnoga repera Rs7 iz oko 45 pojedinačnih dubokih istraživačkih bušotina u istočnom dijelu dravske depresije i još 155 (ukupno 200) bušotina s polja Beničanci, Bizovac, Bokšić, Crnac, Klokočevci, Kučanci, Ladislavci, Obod i Števkovica utvrđeno je da se krupni klastiti znatno razlikuju po sastavu i načinu postanka. Obuhvaćeno je područje površine od preko 900 km^2 (sl. 1 i 2).

Neke spoznaje o beničanskom članu nalaze se sadržane u više objavljenih radova (KRANJEC et al., 1976; HERNITZ, 1983; HERNITZ et al., 1993; TIŠLJAR, 1993). Odnosni je član opisan kao dolomitno-vapnena breča, slabo sortirana s veličinama fragmenata od nekoliko milimetara do nekoliko centimetara. Mjestimice su zapaženi i zaobljeni fragmenti zbog čega su pojedini intervali određeni kao konglomeratične breče. Osim breča podređeno su prisutni još kvarcni pješčenjaci i lapornjaci. Na osnovi odredbe fosila iz laporovitih proslojaka smatra se da je starost ovoga člana približno donjobadenska.

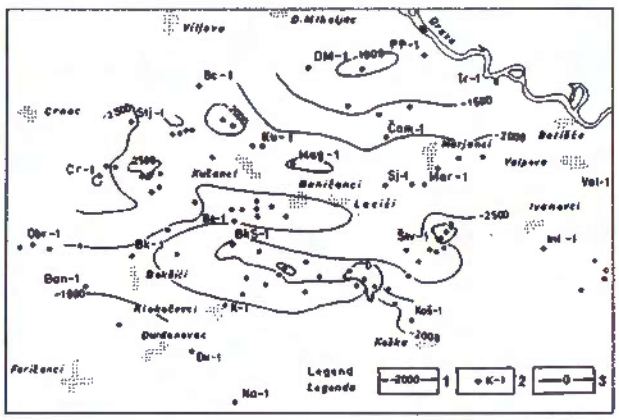
S naftnogeološkoga stajališta postavlja se nekoliko pitanja. Postoje li kakve pravilnosti u rasporedu sedimentnih tijela klastita. Ako postoje, koje su? Je li moguće predvidjeti, odnosno pretpostaviti mjesto njihova postojanja? Jesu li okružena nepropusnom sredinom? Je li moguće, primjerice, geofizičkim metodama indicirati njhovu prisutnost? Jesu li prisutne matične stijene? Koji su bili mogući putovi migracije? Pitanja su brojna i posebno naglašena već stanovito vrijeme,

[1] Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2] INA - Naftaplin, Laboratorij, Lovinčićeva b.b., 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1. Strukturna karta repera Rs7. 1 - stratoizohipsa; 2 - bušotina.

Fig. 1. Structure contour map of Rs7 marker. 1 - structure contour; 2 - well.



Sl. 2. Strukturna karta krovinske plohe breča (Beničanci član). 1 - stratoizohipsa; 2 - granica rasprostranjenosti breča; 3 - bušotina.

Fig. 2. Structure contour map on top of breccias (Beničanci member). 1 - structure contour; 2 - area without breccias of Beničanci member; 3 - well.

naročito s obzirom na mogućnost otkrivanja novih "neantiklinalnih" ležišta. Nažalost, upravo su najveće poteškoće kod istraživanja ležišta sa stratigrafskim zamkama.

Glavni su, dakle, nositelji nafte i plina breče, brečokonglomerati, konglomerati, krupno- i srednjozrnati pješčenjaci, kalkareniti/kalkruditi te miješani ili kalkarenacejski pješčenjaci. Te stijene premda često dosta slične po izgledu i općim litološkim značajkama u cijeloj dravskoj depresiji pripadaju istim, sličnim ili potpuno različitim facijesima i sedimentnim tijelima jednoličnoga ili vrlo različitoga litološkog sastava, uvjeta i okoliša taloženja i dijageneze.

Breče se s obzirom na način postanka i oblike sedimentnih tijela mogu općenito razlikovati, odnosno svrstati u dvije glavne genetske skupine. To su: padinske ili siparne i tektonske, kataklastične breče.

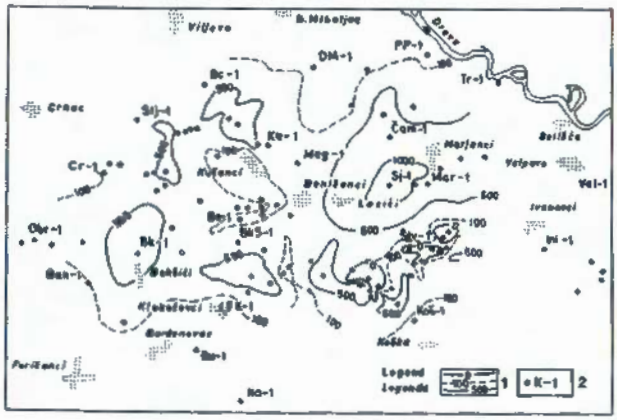
1. Padinske ili siparne vapnenjačke ili dolomitne breče nastale su cementacijom karbonatnoga detritusa - klasta. Vezivo se sastoji od "kamenoga brašna", sitno razdrobljene, mljevene primarne stijene od koje su nastali odlomci. Breče su u obliku lepeznih i klinoformnih tijela taložene na strmim padinama i liticama tektoniziranih mezozojskih karbonatnih masiva koji su u pravilu bili u izdizanju ili navlačenju. Taloženje takvoga detritusa, koji je sadržavao i velike blokove - olistolite - zbivalo se tik uz litice i padine na kopnu, ali i duž morske obale. Premda u gornjim dijelovima sedimentnih tijela takvih breča često u matriksu nalazimo fosilne ostatke badenske flore i faune, ne treba uvijek sve breče smatrati isključivo samo badenskim, jer se detritus mogao akumulirati i prije badena, a tek je tijekom napredovanja badenske transgresije mogao biti preplavljen morem i zahvaćen preradivanjem i pretaloživanjem morskim strujama. Postupnim dizanjem morske razine pri napredovanju badenske transgresije dio siparnoga detritusa, uglavnom samo onoga iz vršnoga dijela sedimentnoga tijela, mogao je biti pretaložavan u brečokonglomerate ili priobalne konglomerate s marinskim matriksom, a veći su dio prekrili mladi sitnozrnati ili koralinacejski biokalkarenitni sedimenti. Primjeri sedimentnih tijela takvoga načina postanka su dolomitne breče polja Beničanci i nekih bušotina u polju Obod te vapnenjačke breče u pojedinim bušotinama polja Ladislavci.

2. Tektonske, kataklastične breče nastale su višekratnim pucanjem, drobljenjem i tektoniziranjem paleozojskih i mezozojskih, osobito karbonatnih masiva koji su bili opetovano rasjedani i izdizani. Bitno je naglasiti da takve breče ne pripadaju sedimentnim klastičnim stijenama, jer im fragmenti nisu pretrpjeli nikakav transport niti taloženje već su nastali "in situ" drobljenjem cijeloga ili dijela masiva. No, ustanovljene su i tektonske breče nastale mladom, postsedimentacijskom tektonikom tj. tektonskim drobljenjem litificiranih sedimenata različita načina, uvjeta i okoliša taloženja, posebice biokalkarenita, pješčenjaka i marlita. Dobar primjer su tektonske breče polja Obod nastale drobljenjem badenskih turbiditnih sedimenata.

Debljine breča člana Beničanci znatno variraju. U prosjeku iznose oko 400-500 m. Kod Beničanaca imaju 100-200 m, kod Kučanaca i Bokšića 600 m, ali kod Sjeće dosežu 1000 m (sl. 3).

Brečokonglomerati i **konglomerati** su također česte naftonosne stijene u dravskoj depresiji. Većina njih je po podrijetlu u uskoj svezi sa siparnim brečama. Naime, valutice i klasti potječu od detritusa iz siparnih tijela, ali za razliku od siparnih breča taj je detritus transportiran do mjesta taloženja na različite načine: najčešće gravitacijskim debritnim tokom, bujicama i riječnim tijekovima, strujama plimâ i valova duž obale, te distribucijskim kanalima turbiditnih struja u dublje dijelove bazena. Primjere deltnih brečokonglomerata i priobalnih konglomerata nalazimo u poljima Ladislavci, Beničanci, Kalinovac, Stari Gradac i drugdje (TIŠLJAR, 1993).

Prema dosadašnjim se spoznajama čini da ispod miocenskih krupnih klastita postoji mjestimice razvijen još jedan nivo starijih konglomerata, a vremenski



Sl. 3. Karta debljina breča (Beničanci član). 1 - izohore; 2 - bušotina.

Fig. 3. Thickness map of breccias (Beničanci member). 1 - isochores; 2 - well.

raspon njihova nastanka može se protezati od mezozoika do miocena. O njima nema dovoljno podataka, jer je njihova prisutnost konstatirana u svega nekoliko bušotina.

Prisutnost matičnih stijena za ekspulziju nafte i plina utvrđena je na nekoliko mjesta, primjerice u Klokočevcima, Obodu i drugdje (BARIĆ et al., 1995).

Biostratigrafskom obradom obuhvaćene su miocenske klastične naslage od egera do panona. Temelje se na analizi foraminifera, djelomice nanoplanktona i palinoflore, dobivenih iz uzoraka jezgri bušotina: Ševkovica-18, -19; Ladislavci-5 i -8; Klokočevci-1; Beničanci-5, -6 i -8; Obod-2, -7, -15, -17, -31, -32, -33 i -34, Crnac-2, -3, -4 i -5.

Nalazom vapnenačkog nanoplanktona: *Sphenolithus morfiformis*, *S. pseudoradians*, *S. ciperoensis*, *S. primus* iz uzoraka bušotina: Crnac-2, -3 i -5, te Ladislavci-5, utvrđeno je da najstarije nabušene naslage ovog prostora, pripadaju najdonjem miocenu do gornjem oligocenu, egeru. Na navedenu starost u bušotini Ladislavci-5 i Crnac-5 ukazuju i nalazi fragmenata *Lepidocyclina* cf. *dilatata* MICHELOTTI, *Ammonia* ex. gr. *beccarii* LINNÉ, *Pararotalia* sp., *Elphidium* div. sp., *Rupertia* sp. ?, *Miogypsina* sp. ?, *Haplophragmoides*, *Globigerina officinalis* SUBOTINA, *Gg. bolli* CITA & PREMOLI SILVA, *Globigerinoides* div. sp. i dr. te Coralinaceae nađene u vezivu brečokonglomerata (Tabla 1, sl. 1, 2, 3 i 7).

Donjomiocenske naslage kronostratigrafskog raspona egenburg-otnang utvrđene su u bušotinama Obod-2, -3, -24; Klokočevci-1; Ladislavci-5, -8; Crnac-4, -5; Ševkovica-18; Beničanci-6 i -18. Starost im je određena na osnovi nalaza tipičnih bentičkih i planktonskih foraminifera: *Cibicidoides budayi* CICHA & ZAPL., *Diocibicides* sp. ?, *Almena* sp., *Elphidium* div. sp., *E. flexuosum subtypicum* PAPP., *E. fichteliamim praeforme* PAPP, *Cylindroclavulinoides rudis* COSTA, *Caucasiva cylindrica* ZAPL., *Haplophragmoides canariensiformis* SZTRAKOS, *Budashaevella* sp., *Reofax* sp., *Uvigerina posthankeni* PAPP i dr. te *Globoquadrina langhiana* CITA & GELATI, *Globigerina ottnangensis* RÖGL, *Gg. praebulloides* BLOW, *Globigerinoides trilobus immaturus* LEROX, *Globigerina bolli lentiana* RÖGL, te često prisutne Coralinaceae i Bryozoa (Tabla I, sl. 4, 5, 6, 8 i 9). Nađena asocijacija upućuje na odlaganje sedimenata u marinskim prostorima vanjskog do unutrašnjeg neritika s manjim ili većim donosom fragmenata stijena uglavnom mezozojske starosti.

U bušotinama Ladislavci navedenu starost potvrđuju nalazi nanoplanktona, a u bušotini Obod-34 nalazi palinoflore.

Naslage karpata dokazane su ili pretpostavljene u bušotinama Obod-24, -33, -2, -1, -3 i -5, te Obodu-34, gdje je dokazan palinoflorom i Ladislavcima-8. Stratigrafski su definirane mikrofosilnom zajednicom uglavnom planktonskih i bentičkih foraminifera: *Cribrostomoides columbiensis moravica* CICHA & ZAPL., *Haplophragmoides vasiceki vasiceki* CICHA & ZAPL., *Alveophragmium* sp., *Hanzavaia horčići* CICHA & ZAPL., *Cyclamina carpatica* CICHA & ZAPL., te planktonskih foraminifera: *Globigerina praebulloides oclusa* BLOW & BAN., *Gg. ciperoensis angustium bilicata* BOLI, *Globigerinoides bisphaericus* TODD (Tabla I, sl. 11 i 10), taloženih u marinskim uvjetima vanjskog neritika.

Sedimenti badena nabušeni su u bušotinama Obod-15, -2, -7 i -24; Crnac-2; Beničanci-6 i -8; Ladislavci-8.

U bušotinama Obod-2 i 24, te Crnac-2, gdje su te naslage dobro razvijene mogao se na osnovi bogate fosilne zajednice odijeliti donji od gornjega badena. U mikrofosilnoj zajednici donjega badena cijelog prostora prevladavaju planktonske foraminifere dubljih otvorenih i toplih bazena s tipnim predstavnicima: *Orbulina suturalis* BRON., *O. universa* D'ORB., *Praeorbulina glomerosa* BLOW, *Globigerinoides quadrilobatus* D'ORB., *Globorotalia bykovae bykovae* AISENSTAT, *Gt. mayeri* CUSH. & ELLISOR, te bentičke foraminifere *Uvigerina* cf. *pygmoides* PAPP & TURNOVSKY. U gornjem badenu prevladavaju *Bolivina* div. sp., *Bulimina* div. sp., te *Anomalinoides badenensis* (D'ORB), *Melonis* sp., *Orbulina bilobata* D'ORB., *O. suturalis* BRON., *Globigerina diplostoma* REUSS ili njhovi lateralni ekvivalenti za cijeli baden: *Lenticulina* div. sp., *Ammonia beccarii* LINNÉ, *Elphidium* sp., te alge, Coralinaceae i Bryozoa, koje su na ovim prostorima rijetko prisutne (Tabla I, sl. 12 i 13).

Interpretacijom karotažnih dijagrama opisane se stijene litološki uglavnom iskazuju kao fragmenti od kojih su sastavljene. Detaljnijom analizom, koju smo obavili na manjem broju uzoraka, mogu se uočiti neke litokarotažne zakonitosti prema kojima se s većom vjerojatnošću mogu prepoznati. Ovaj problem se uvećava čestim varijacijama geofizičkih značajki odnosnih stijena po dubini, a što proizlazi iz promjena mineraloškoga sastava matriksa te promjena poroznosti uz pojavu sekundarne, odnosno pukotinske poroznosti.

Nešto su detaljnije analizirana karotažna mjerenja obavljena u bušotini Ladislavci-10. Interpretacijom više dijagrama te analizom jezgre i probušenoga materijala

na dubinskom intervalu od 2058 do 2226 m determinirana je naftonosna vapnenjačko-dolomitna breča s prevagom vapnene komponente.

Iz karotaže gustoće može se očitati prosječna vrijednost od 2,71 gcm^{-3} (od 2.15 do 2.82), što govori o visokoj kompakciji i maloj poroznosti. Vidi se da i SP od cca 28 mV, mjeren uz konvencionalnu karotažu otpornosti, ima dobru regularnost. Prosječna radijacija od 10 API (od 6 do 20) spomenutoga intervala je niska u odnosu na prateće lapore u krovini s 73 API. Karbonatno-laporoviti podinski interval ima 38 API. Srednje vrijeme prolaska zvučnoga vala je 172 $\mu s\ m^{-1}$ i znatno se razlikuje od krovine s 238 $\mu s\ m^{-1}$, a nešto manja je razlika u odnosu na podinu, koja ima 197 $\mu s\ m^{-1}$. Koeficijent refleksije seizmičkoga vala u krovinskom dijelu R=0.20 pokazuje da bi se ovaj kontakt

TABLA I

Sl. 1 *Lepidocyclina* cf. *dilatata* MICHELOTTI (fragment)
Coralinaceae
D. MIOCEN - G. OLIGOCEN (EGER), Ladislavci-5, 2174.8 m, 60x

Sl. 2 *Miogypsina* sp. (*Miogypsinoides* sp.)
Globigerina cf. *officinalis* SUBOTINA
Globigerinoides div. sp., Coralinaceae
D. MIOCEN (EGER - ?EGENBURG), Obod-24, 2691.50 m, 50x

Sl. 3 *Mezzophyllum* cf. *mezzopiedense* n. sp. var.
Galetoi n. sp.
EGER, Ladislavci-5, 2178.9 m, 32x

Sl. 4 *Diocybicides* sp.
Cibicidoides budayi CICHA & ZAPL.
D. MIOCEN (OTNANG - EGENBURG), Ladislavci-5, 2163 m, 50x

Sl. 5 *Budashaevella* sp., *Haplophragmoides* sp.
D. MIOCEN (OTNANG - EGENBURG), Obod-24, 2807 m, 50x

Sl. 6 *Heterostegina* sp.,? *Cibicidoides budayi* CICHA & ZAPL.
Coralinaceae
D. MIOCEN (EGENBURG), Crnac-5, 2386.6 m, 60x

Sl. 7 *Miogypsina* sp., Bryozoa
EGER - ?EGENBURG

Sl. 8 *Cylindroclavulinoides rudis* (COSTA)
Haplophragmoides cf. *canariensiformis* SZTR.
Hanzawaia sp.
OTNANG, Ladislavci-8, 2169.3 m, 20x

Sl. 9 *Florilus boueanus* (D'ORB)
Uvigerina sp.
D. MIOCEN (EGENBURG)

Sl. 10 *Haplophragmoides vasiceki vasiceki* CICHA & ZAPL.
Cribrostomoides columbiensis moravica CICHA & ZAPL.
Globigerinoides ex. gr. *trilobus* REUSS
Globigerina praebuloides BLOW
Alveofragmium sp. i *Elphidium* sp.
KARPAT

Sl. 11 *Globigerinoides bisphaericus* TODD
Gs. trilobus REUSS, *Gs. sacculifer* CITA-PREMOLI-SILVA
Globigerina praebulloides oclusa BLOW
Haplophragmonides sp.
KARPAT, Ladislavci-8, 2172 m, 32x

Sl. 12 *Globigerina concina* REUSS
Gg. bulloides D'ORB, *Orbulina bilobata* D'ORB
Ammonia beccarii LINNÉ
Uvigerina sp.
Globorotalia bykovae (AISENSTAT)
G.BADEN, Crnac-2, 2103.2 m, 50x

Sl. 13 *Orbulina universa* D'ORB
O. suturalis BROWN.
Praeorbulina div. sp.
D. BADEN, Crnac-2, 2128 m, 40x



1



2



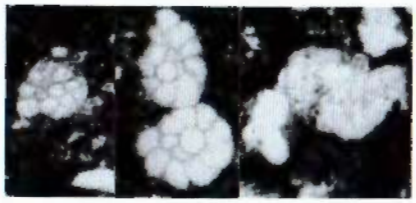
6



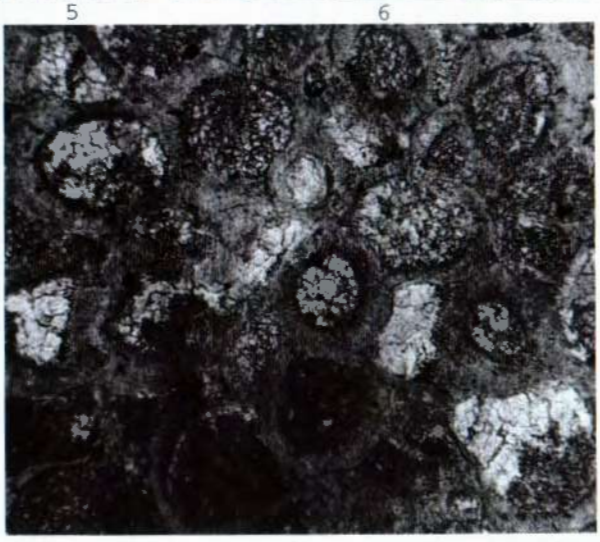
3



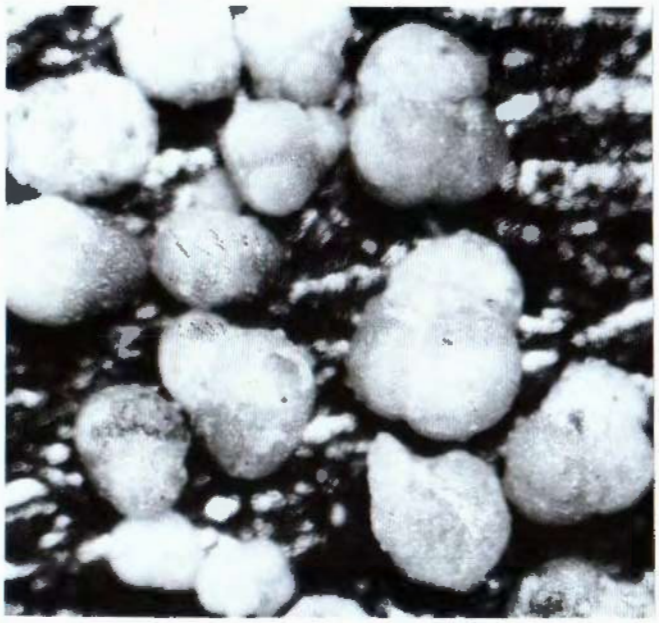
5



4



7



11

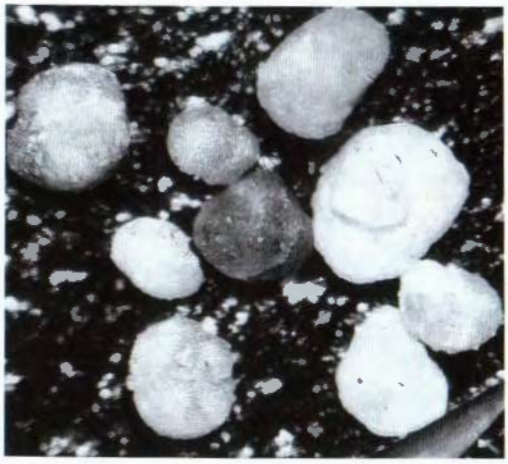
10



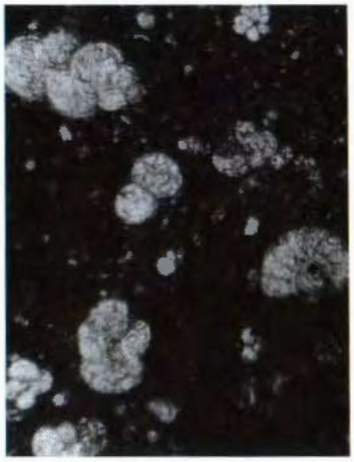
8



9



12



13



mogao dobro isticati na refleksijskoj seizmičkoj sekciji, ali se neće posebno razlikovati od sličnih kontakata karbonata i lapora.

Usporedivanjem međusobnoga odnosa većeg broja karotažnih parametara preko križnih dijagrama ili grafičkim prikazom na "zvjezdastim" dijagramima, uz istovremenu korelaciju većega broja krivulja iz različitih bušotina, za pretpostaviti je da se tražene stijene mogu ipak dobro determinirati i prostorno pratiti.

Novije karotažne metode, koje se temelje na slikovitoj predodžbi stijenke bušotine pomoću kružnoga snimanja prolaska zvučnoga vala, ili preko istovremenoga snimanja velikoga broja krivulja mikrootpornosti po obodu bušotine, obećavaju bolju determinaciju krupnih klastita, kao i kvalitetniju identifikaciju pojava pukotinske poroznosti u njima.

Na temelju pregleda niza jezgara iz 200-tinjak bušotina u istočnom dijelu dravske depresije moguće je zaključiti da se breče razlikuju po sastavu i načinu postanka. Sastavljene su od uglatih fragmenata različitih strukturnih i genetskih tipova dolomita i vapnenjaka. Fragmenti uglavnom nemaju zrnsku potporu već "plivaju" u sitnozrnatom matriksu, koji je prašinasti detritus nastao pri snažnom tektonskom, a iza toga kopnenom fizičkom drobljenju dolomitnih stijena. Sastav je odlomaka i osnovne mase isti. Radi se o obrončanim, siparnim brečama.

Konglomerati i brečo-konglomerati s bioklastičnim detritusom pripadaju priobalnim marinskim talozima nastalim u uvjetima transgresije.

Na temelju paleontoloških istraživanja neosporno se radi o mladotercijarnim, odnosno miocenskim taložinama. Prema nanopaleontološkim analizama na nekoliko lokaliteta polja Crnac i Ladislavci određen je oligomiocen, odnosno donji miocen. Mikropaleonološke analize (Obod i Ševkovica) pokazuju da se radi o otnangu, karpatu i badenu.

Znakovite su pojave efuziva (Beničanci, Bizovac, Crnac, Ševkovica) kao što su andeziti, andezitdijabazi, dijabazi, melafiri koji često prethode brečama.

Čini se da se ispod opisanih breča nalazi još jedan nivo konglomerata i brečokonglomerata, ali o čijoj stratigrafskoj pripadnosti nije zasada moguće podrobnije govoriti. Možda su mezozojski ili su nastali na kopnu negdje u vrijeme starijega tercijara.

LITERATURA

BARIĆ, G., HERNITZ, Z. & VELIĆ, J. (1995): Matične stijene i nafte i plinovi istočnoga dijela dravske depresije (istočna Hrvatska).- I. hrvatski geološki kongres - Opatija 1995, Knjiga sažetaka, 12, Zagreb.

HERNITZ, Z. (1983): Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije.- Nafta, 221str., Zagreb.

HERNITZ, Z., TIŠLJAR, J., KALAC, K., VELIĆ, J. & JELIĆ, K. (1993): Miocenski siparni i priobalni klastiti, te matične stijene u dravskoj depresiji.- Savjetovanje o kolektorskim stijenama u Panonskom bazenu, Znanstveni savjet za naftu HAZU, Abstrakt, 1-2, Zagreb.

KRANJEC, V., HERNITZ, Z., REŠČEC, T. & VELIĆ, J. (1976): Neki rezultati dubinskog kartiranja u dravskoj potolini (Panonski bazen).- Nafta, 3, 123-141, Zagreb.

ŠIMON, J. (1973): O litostratigrafskom stupu tercijarnih naslaga u području istočne Slavonije.- Nafta, 3, 119-127, Zagreb.

ŠIMON, J. & BATUŠIĆ, V. (1974): O litostratigrafskom stupu naftnog polja Beničanci.- Zbornik radova I. god. znanstvenog skupa I. sekcije ZSN HAZU (Opatija 1973), 75-89, Zagreb.

TIŠLJAR, J. (1993): Sedimentary bodies and the Miocene oil-producing areas of Ladislavci, Beničanci and Obod.- Nafta 44/10, 531-542, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	201 - 205	ZAGREB 1995

Isotope Investigation of Lake Vrana and Springs in the Kvarner Area

Ede **HERTELENDI**[1], Éva **SVINGOR**[1], Dieter **RANK**[2] & István **FUTO**[1]

Key words: Isotopes, Oxygen-18, Deuterium, Carbon-13, Carbon-14, Tritium, Mean residence time, Lake of Vrana, Spring

Abstract

From the strong enrichment of ^{2}H and ^{18}O in the water of Vrana Lake we concluded that there is only negligible outflow from the lake. Regional recharge can be of minor importance since the amount of local precipitation is about the same as that of evaporation from the surface and there is no considerable outflow. From the existing isotope data no evidence was found of an inflow of fresh karstic water in the deepest part of the lake. Mean residence times of 30-40 years were obtained for the lake if the enrichment of tritium due to evaporation were taken into consideration. At the same time the homogeneity of isotope results indicate a good mixing of this deep karstic reservoir. Seven springs were sampled in Rijeka region and residence times between 5-10 years were calculated.

THE HYDROGEOLOGICAL PROBLEM

The Lake of Vrana, situated in the central part of Cres Island, has, as a water phenomenon, a dominant position and significance. The size of the lake is fascinating for the islands of so elongated shapes as are the Cres and Lošinj. The total area of the lake is 5 km^2, maximum depth is 70 m (60 m below sea level) and it accumulates 220 million m^3 of fresh water. Such amount of entirely fresh water, concentrated at an almost entirely arid group of islands, has provoked extraordinary attention from researchers during the whole century, even if one takes into consideration the fact that the lake is the only accurate source of potable water of the entire area (GAVAZZI, 1902; CECCONI, 1940; PETRIK, 1969; GOLUBIĆ, 1989; BIONDIĆ et al., 1991; BIONDIĆ & DUKARIĆ, 1993; HERTELENDI et al., 1994a, 1994b).

The basic problem of the Lake of Vrana is the origin of its water. The present exploration and plans for further explorations are aimed at solving this problem. Most of this exploration suggests the concept of the water origin from both the local and regional drainage areas. However, for the time being we still have to take into account the earlier concept of the lake water origin from only the local drainage area, i.e. from Cres Island only. These two concepts require substantially different actions in the future. If the concept of combined local and regional recharge systems is valid, those actions have to be directed toward the continental mainland, that means toward a storage of seasonal high waters and an artificial recharge of the karst underground during the dry seasons. By that way, the groundwater resource potential of the Kvarner karst underground will be maintained, at least in its general sense. Plans for such actions already exist.

If only the local drainage areas is concerned, substantial hydrological changes should not be expected at the lake but, anyway, the rate of total lake water pumping should be studied carefully. The existing water budget analyses show that the rate of pumping already approaches the upper admissible limit and any increase in the pumped amounts leads to the mining of water resources. The maintenance of the existing water-supply systems are feasible only under a strict control of pumping rates. In that case, the water-supply development of the group of islands considered could be achieved by linking the insular water-supply system with that one from the Kvarner mainland areas in which the available water resources are already limited.

$\delta^{18}O$, δD VALUES, RESULTS OF CONTINOUS SAMPLING OF THE LAKE AND PRECIPITATION

The $\delta^{18}O$ and δD values of the lake show the effect of evaporation. The $\delta^{18}O$ and δD are significantly different, more positive than that of measured in the springs of the area. The $\delta^{18}O$ and δD values do not show any dependence on the position of the sampling point (Table 3). No correlation was observed between depth and $\delta^{18}O$ or δD values. The $\delta^{18}O$ and δD values at the deepest point of the Vrana Lake have the same oxygen and hydrogen isotope ratios as the surface water of the lake. Divers state that they experienced inflow water at the deepest point and underwater photos show formations characteristic of a powerful inflow.

[1] Institute of Nuclear Research of the HAS, H-4001 Debrecen, P.O.Box 51, Hungary.
[2] Bundesversusch- und Forschungsanstalt Arsenal, Geotechnisches Institut, Arsenal, Objekt 214, A-1030 Wien, Österreich.

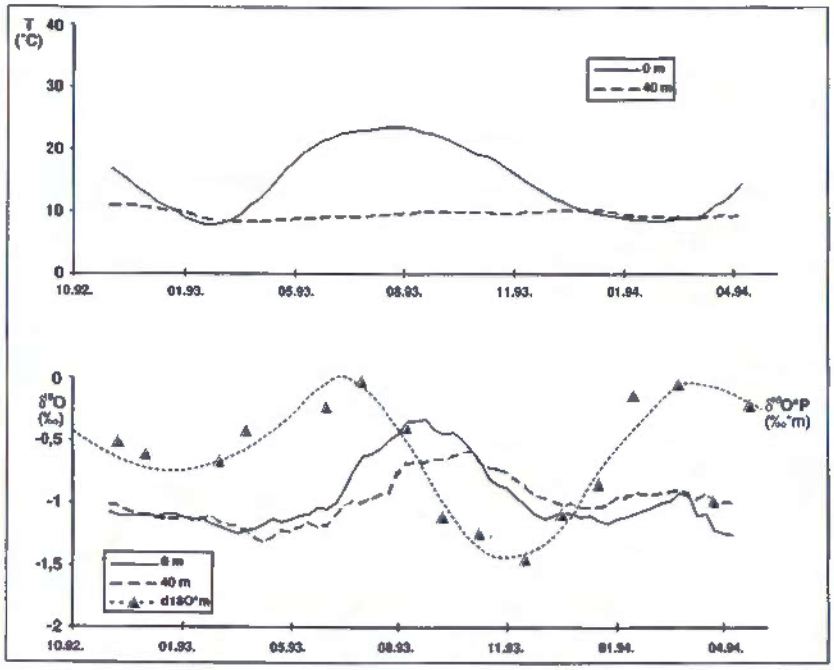


Fig. 1. $\delta^{18}O$ values and temperature of Vrana Lake and $\delta^{18}O$ values of the local precipitation in the period of Oct. 1992 - June 1994. Approximately one month shift was observed in the seasonal variation between the smoothed $\delta^{18}O$ curves of surface and deep water and two month shift between the $\delta^{18}O*P$ curve and the $\delta^{18}O$ curve of surface water (P is the amount of monthly precipitation in meters).

However isotope data show that the inflowing water has the same $\delta^{18}O$ value as the lake water.

Continuos sampling of the lake water was carried out. Weekly samples were taken from the surface and from depth 40 m. The temperature and the oxygen isotope ratios were measured (Fig. 1 and Table 1). Overturning of the lake may occur in winter because surface temperature is lower than the temperature of water at 40 m depth. This phenomena may explains the homogeneity of the $\delta^{18}O$, δD, T and $D^{14}C$ values. The $\delta^{18}O$ values of the deep and surface water as well as the precipitation show seasonal variations.

$\delta^{13}C$ VALUES OF DIC

The same three profiles have been measured several times. We discovered carbon-13 depletion with depth, for the dissolved inorganic carbon (DIC) (Table 3). The most probable reason for this is that organic matter depleted in carbon-13 is oxidized in the lake sediments and recycled in the lake. The surface water has a $\delta^{13}C$ value near zero (Table 3). Such a value is characteristic of dissolved atmospheric CO_2. During dissolution 7‰ isotope fractionation occur and the δ value of atmospheric carbon ($\delta^{13}C \approx 7‰$) will be more positive ($\delta^{13}C \approx 0‰$). These facts shows that major part of the inorganic carbon in the lake water originates from the atmosphere.

TRITIUM VALUES

The tritium values also do not show any dependence on the depth (Table 3). This is again a further indication of the good mixing. The tritium concentration of the water at the deepest point of the lake is identical with the tritium concentrations of the water sampled from other points of the lake. The tritium concentration of the lake water is higher than the tritium concentration of the precipitation and the springs in Rijeka region (Table 4). The reason for this is that the lake water contains older precipitation water having a higher tritium concentration due to atmospheric nuclear tests. The tritium concentration in precipitation at the Adriatic coast (Rijeka station) on the average half of that in Zagreb. It is correlated to Genoa, the nearest Mediterranean station of the IAEA/WMO network. Their tritium activity shows the influence of the sea water evaporation.

RADIOCARBON VALUES

The same profiles were sampled for radiocarbon (Table 3). No systematic trend with depth was observed. Most of the results agree within the limits of error. The $D^{14}C$ values show that the lake gets its carbon mostly from the atmosphere. If all the carbon is coming from the atmosphere the radiocarbon concentration of the bicarbonate would be 5% higher than the specific radiocarbon activity of the atmospheric carbon due to the isotope fractionation during dissolution of CO_2. In this case the $\delta^{13}C$ value of the bicarbonate would be zero. Although the bicarbonate contains excess radiocarbon produced by nuclear tests its $D^{14}C$ value shows that part of the DIC was transported to the lake by karstic waters. This bicarbonate forms according to the reaction:

$$H_2O + CO_2 + CaCO_3 = Ca^{++} + 2HCO_3^-$$

Sample code	0 meter Temp. (°C)	0 meter $\delta^{18}O$(‰) (SMOW)	40 meters Temp. (°C)	40 meters $\delta^{18}O$(‰) (SMOW)	Sample code	0 meter Temp. (°C)	0 meter $\delta^{18}O$(‰) (SMOW)	40 meters Temp. (°C)	40 meters $\delta^{18}O$(‰) (SMOW)
05.10.92	20.8	-0.84	11.2	-1.09	31.08.93	22.8	-0.51	9.4	-0.95
12.10.92	20.1	-0.88		-0.97	06.09.93	21.0	-0.50	10.0	-0.08
19.10.92	17.8	-0.81	10.3	-0.93	13.09.93	21.2	-0.002	10.2	-0.68
26.10.92	17.3	-1.16	10.4	-0.97	20.09.93	20.8	-0.74	9.3	-0.66
02.11.92	16.8	-0.95	10.6	-1.03	27.09.93	20.4			
09.11.92	16.2	-1.20	10.6	-1.09	04.10.93	19.4	-0.45	9.1	-0.59
16.11.92	15.4	-1.22	10.4	-0.82	11.10.93	19.3	-0.44	9.8	-0.66
23.11.92	14.6	-1.41	10.3	-1.15	19.10.93	18.4	-0.51	10.0	-0.59
15.12.92	12.7	-1.28	12.4	-1.14	25.10.93	18.0	-0.72	9.5	-0.62
22.12.92	12.2	-0.97	12.2	-1.19	01.11.93	16.2	-1.26	9.8	-0.89
29.12.92	9.6	-0.92	10.4	-1.35	08.11.93	15.8	-1.37		-0.78
05.01.93	7.7	-0.86	8.8	-1.08	15.11.93	14.8	-1.01	9.2	-0.99
12.01.93	8.3	-1.00	9.1	-1.18	23.11.93	12.0	-1.10	9.6	-0.76
19.01.93	7.7	-1.14	9.0	-1.12	29.11.93	11.4	-1.15	9.2	-1.03
26.01.93	8.0	-1.03	9.0	-1.14	07.12.93	10.2	-1.13	10.4	-1.07
02.02.93	7.5	-1.26	8.6	-0.91	15.12.93	10.2	-0.98	10.6	-1.15
20.02.93	7.2	-1.60	8.3	-0.97	21.12.93	10.4	-1.12	10.9	-1.20
02.03.93	6.8	-1.36	7.8	-1.46	27.12.93	10.2	-1.00	10.1	-0.83
15.03.93	7.4	-0.98	7.4	-1.00	04.01.94	9.6	-1.08	10.0	-1.13
12.04.93	9.5	-1.31	7.9	-1.17	13.01.94	9.4	-1.09	10.0	-1.04
21.04.93	11.1	-1.11	8.4	-1.53	19.01.94	9.7	-1.17		-0.88
28.04.93	13.6	-1.17	8.2	-1.36	24.01.94	9.0	-1.30	9.3	-1.07
04.05.93	16.2	-1.43	8.4	-1.21	01.02.94	8.5	-1.02	9.1	-1.06
11.05.93	18.6	-0.73	8.3	-1.46	07.02.94	8.9	-1.54	9.6	-1.08
18.05.93	18.0	-1.15	9.1	-1.42	14.02.94	7.9	-1.22	8.6	-0.90
25.05.93	20.6	-1.30	8.5	-1.26	22.02.94	7.3	-0.80	8.1	-0.72
01.06.93	21.0	-1.04	9.6	-1.07	01.03.94	8.0	-0.85	8.6	-0.79
09.06.93	22.6	-1.13	9.1	-0.58	08.03.94	8.5	-0.78	8.6	-0.84
15.06.93	22.4	-			15.03.94	8.9	-0.87	10.1	-1.09
21.06.93	22.7	-0.89	9.0	-1.20	22.03.94	8.8	-0.98		-0.94
28.06.93	22.9	-1.03	9.1	-1.11	29.03.94	10.3	-0.91	8.4	-0.94
05.07.93	24.0	-1.01	8.7	-1.50	05.04.94	11.4	-0.90	9.5	-0.99
12.07.93	22.2	-0.86	9.4	-1.34	2. week		-1.02		-0.96
20.07.93	24.1	-0.77	8.8	-0.81	3. week		-1.46		-1.12
26.07.93	23.0	-0.43	9.3	-0.64	26.04.94	14.2	-2.11	9.0	-1.16
02.08.93	23.3	0.18	9.4	-0.79	03.05.94	14.1	-0.79	8.9	-0.40
09.08.93	23.6	-0.18	9.2	-0.67	10.05.94	15.2	-1.95	9.2	-1.35
16.08.93	24.2	-0.60	10.4	-0.74	17.05.94	17.2	-1.13	9.3	-1.20
23.08.93	24.6	-0.34	10.1	-0.90	27.05.94	19.4	-1.00	11.3	-0.95

Table 1. Continuos sampling of the Vrana Lake.

Sample code	Precipitation (mm)	$\delta^{18}O$(‰) (SMOW)	Sample code	Precipitation (mm)	$\delta^{18}O$(‰) (SMOW)
Oct. 1992	376.9	-6.46	Sept. 1993	171.0	-6.59
Nov. 1992	80.2	-6.38	Oct. 1993	268.9	-4.74
Dec. 1992	130.8	-4.76	Nov. 1993	168.7	-8.68
Jan. 1993	—		Dec. 1993	115.6	-9.52
Febr. 1993	—		Jan. 1994	98.8	-8.69
March 1993	74.1	-9.14	Febr. 1994	38.7	-3.75
April 1993	72.1	-5.92	March 1994	9.2	-5.44
May 1993	—		April 1994	108.7	-9.13
June 1993	45.7	-5.10	May 1994	50.2	-4.41
July 1993	11.3	-2.91	June 1994	42.0	-6.53
August 1993	86.4	-4.70			

Table 2. Precipitation samples from Cres Island.

Profile/depth	$\delta^{13}C$(‰) (PDB)	$\delta^{18}O$(‰) (SMOW)	δD(‰) (SMOW)	pMC (%)	^3H (TU)	Temp. °C
1/0	-1.29	-0.41	-8.55	109.5	20.8	19.5
1/10	-1.09	-0.48	-10.25	110.1	20.3	16.5
1/20	-1.42	-0.56	-9.12	109.0	21.4	13
1/30	-1.28	-0.46	-9.30	110.8	19.7	12.5
1/40	-1.71	-0.49	-9.09	110.2	18.0	10.5
1/50	-2.19	-0.56	-8.70	109.8	20.6	11
1/60	-1.69	-0.40	-9.09	107.7	20.4	10
2/0	-1.27	-0.33	-10.76	110	21.2	22
2/10	-1.28	-0.23	-9.41	109.4	20.6	16.6
2/20	-1.25	-0.22	-9.58	109.1	20.9	13
2/30	-1.06	-0.27	-9.78	110.6	23.3	11.5
2/40	-1.54	-0.39	-10.97	110.4	21.9	10.5
2/50	-2.02	-0.52	-10.03	109.4	22.0	9.5
3/0	-1.58	-0.70	-10.44	110.3	20.6	
3/10	-1.19	-0.45	-8.41	110.1	20.0	
3/20	-1.32	-0.35	-10.14	110	20.1	
3/30	-1.38	-0.45	-10.93	109.7	23.1	

Table 3. Radiocarbon and tritium concentrations and isotope hydrological data as a function of depth in the Vrana Lake.

Sample code	$\delta^{13}C$(‰) (PDB)	$\delta^{18}O$(‰) (SMOW)	pMC (%)	^3H (TU)	Temp. °C
1 Ponikve (Krk)	-11.75	-5.48	89.8	8.8	
2 Njivice (Krk)	-8.49	-5.61	106.9	18.2	10
3 Izvor-Rječine (Rijeka)	-7.61	-8.92	87.3	9.7	8.5
4 Zvir (Rijeka)	-8.05	-8.93	82.7	11.4	10.5
5 Martinščići 6. (Rijeka)	-8.72	-8.22	85.4	8.2	9.5
6 Bakar Perilo (Rijeka)	-7.12	-8.08	79.7	10.7	9
7 Bakar Dobrica (Rijeka)	-7.80	-7.97	79.9	10.2	9.6
8 Martinščica (Cres)				8.2	

Table 4. Radiocarbon and tritium concentrations and isotope hydrological data of the springs of Cres and Krk Island and Rijeka region.

INTERPRETATION OF THE ISOTOPE RESULTS

From the strong enrichment of ^2H and ^{18}O in the lake water (composition close to sea water) one can conclude that there does not exist any considerable outflow from the lake.

The inflow of karst water into the lake can be only of minor importance since the amount of precipitation is about the same as that of evaporation from the surface of the lake (about 1000 mm per year) and there is no considerable outflow.

From the existing isotope data there is no evidence of an inflow of karst water in the deepest part of the lake. If there exists an inflow of water which cannot be detected by isotope measurements, this can only be explained by the following mechanism: During periods with high water level in the lake, lake water is flowing into the neighboring karst water system. If the water level in the lake is below that in the karst aquifer, this water may flow back into the lake again. In this case the isotope ratios of the flowing water do not significantly differ from those of the lake water.

From the strong enrichment of ^2H and ^{18}O in the lake water it can be concluded that also ^3H becomes considerably enriched in the lake water (about 10%). If the enrichment of tritium is taken into account a mean residence time (MRT) of 30-40 years was obtained from the measured tritium values. More precise value of MRT can not be given because of the lack of systematic tritium measurements of the local precipitation. In this calculation we used the ^3H data of precipitation collected in Genoa IAEA Network Station.

The MRT can be given for this lake as the ratio of annual inflow divided by the total volume of the lake. The average depth of the lake is approximately 40 m, the precipitation rate is 1 m/year. The obtained 40 year MRT is in good agreement with that of obtained from the isotope data. This suggests that the lake water originates from the local drainage area i.e. Cres Island only. Therefore the existing water supply system are feasible only under a strict control of pumping rates because water budget analyses show that the rate of pumping already approaches the upper admissible limit.

Spring	^3H concentration (TU)	MRT (1) (year)	MRT (2) (year)
Ponikve (Krk)	8.8	6 - 8	86 - 130
Martinščica (Cres)	8.2	5 - 7	94 - 143
Izvor Rječine (Rijeka)	9.7	7 - 9	75 - 113
Zvir (Rijeka)	11.4	9 - 11	59 - 88
Martinščići 6 (Rijeka)	8.2	5 - 7	94 - 143
Bakar Perilo (Rijeka)	10.7	8 - 10	65 - 97
Bakar Dobrica (Rijeka)	10.2	8 - 10	70 - 94

Table 5. Mean residence times obtained for springs in Rijeka region, Cres Island and Krk Island based on tritium values of samples collected in 1993 (All tritium values corresponds to two mean residence time intervalls and multiisotope studies are necessary to decide which of them is valid for a specific case).

SPRINGS

Seven springs (Martinščica underwater spring in Cres, Ponikve and Njivice in Krk, Izvor Rječine, Zvir, Martinščici 6, Bakar Perilo, Bakar Dobrica in Rijeka and in the surrounding of Rijeka) were sampled twice. The springs have significantly different isotope ratios and environmental isotope concentrations than the Vrana Lake (Tables 3 and 4). The most probable explanation of tritium values, higher than the annual weighted mean tritium concentration of precipitation in Genova in the time period 1990-1994, and negative $\delta^{18}O$ and δD values are that the karstic aquifer is recharged at high altitude mostly by winter precipitation and the aquifer contains older precipitation water with higher tritium concentration. The only exception is Njivice which has higher tritium and radiocarbon concentration than the other springs. In order to calculate the mean residence times (MRT) the tritium input function was determined using the data of the IAEA/WMO measuring station in Genoa. Earlier tritium data were obtained from Ottawa.

Exponential model were used to calculate mean residence times for springs in Rijeka region, Cres Island and Krk Island. The results are shown in Table 5.

REFERENCES

BIONDIĆ, B., PRELOGOVIĆ, E., BRAUN, K. & IVIČIĆ, D. (1991): Hydrogeological exploration of the Vrana Lake (I phase).- Experts report, 1-51.

BIONDIĆ, B. & DUKARIĆ, F. (1993): Water Resources in the region of Rijeka.- Hrvatske vode (in Croatian with abstract in english), 1/3, 185-190, Zagreb.

CECCONI, A. (1940): Il regime idraulico del lago de Vrana.- Anuali dei Lavori Pubblici, Roma.

GAVAZZI, A. (1902): Water temperature in the transition zone of the Vrana Lake.- HAZU, Zagreb

GOLUBIĆ, S. (1989): Hydrogeological water-supply investigations of the Vrana Lake on the Cres Island.

HERTELENDI, E., VERES, M., FUTO, I., SVINGOR, É., MIKO, L. & LÉNART, L. (1994a): Hydrogeological Aspects of Groundwater Protection in Karstic Areas.- National Report. Atomki, Debrecen, 1994, 19 p.

HERTELENDI, E., VERES, M., FUTO, I., SVINGOR, É., HAKL, J., MIKO, L. & LÉNART, L. (1994b): Participation in CEC program: COST-65, Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas.- Work performed within the framework of the PHARE-ACCORD project. Final Report. Atomki, Debrecen, 1994, 144 p.

PETRIK, M. (1969): Limnological exploration of the Vrana Lake.- HAZU, Karst of Croatia, 2, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	207 - 210	ZAGREB 1995

Revitalizacija zdenca ugroženog djelovanjem željeznih bakterija na osječkom crpilištu

Branko **HLEVNJAK**[1] & Tomislav **VOJKOVIĆ**[2]

Ključne riječi: podzemna voda, zdenac, željezo, željezne bakterije, revitalizacija zdenca

Key words: Underground water, Well rehabilitation, Iron bacteria, Revitalization of well

Sažetak

U aluvijalnim vodonosnicima Drave i Dunava česti su reduktivni uvjeti, pri kojima nastaje povišeni sadržaj željeza i mangana otopljenog u vodi. Ovakvi uvjeti pogoduju razvoju željeznih bakterija u zdencima. Bakterije se razvijaju na situ gdje je povećan sadržaj kisika, uz stalan dotok novih količina željeza i mangana. Bakterije svojim djelovanjem zatvaraju sito, stvarajući vlaknaste muljevite nakupine željeznog (manganovog) hidroksida. U tom procesu one oksidiraju dvovalentno u trovalentno željezo, koje onda obaraju kao željezni hidroksid u ili na njihovim ljepljivim oblogama. Brz rast bakterija i stvaranje velike količine materijala zatvara otvore na situ, zasipu, a ponekad i vodonosniku u neposrednoj okolini zdenca, te dovode do pada specifične izdašnosti. Na osječkom crpilištu je načinjena revitalizacija ovako začepljenog zdenca.

Abstract

Within the alluvial aquifers of the Drava and the Danube river drainage system the anoxic water environments are very often, characterized by higher content of iron and manganese dissolved in water. These conditions are suitable for a development of iron bacteria at wells. The growing rate of bacteria is particularly high on filters due to the higher content of oxygen and continuous inflow of iron (manganese). Consequently, the filters get coated with threadlike slimes of iron hydroxide. The bacteria precipitate iron from the solution, and store it as iron hydroxide inside or outside their sticky bodies. Rapid grow of the bacteria create a voluminous material plugging the screen openings and surrounding area, gravel pack, sometimes even the aquifer causing the reduction of specific capacity. The rehabilitation of in this way damaged well has been performed on one well of Osijek water well area.

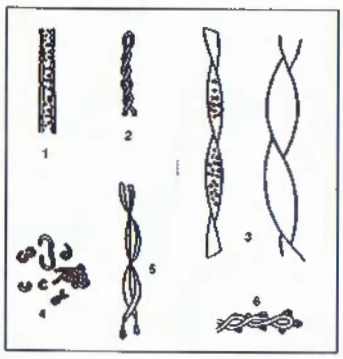
UVOD

Osječko crpilište smješteno je u istočnom dijelu dravske depresije. Vodonosnik je izgrađen od aluvijalnih sedimenata Drave i Dunava. Sedimenti su taloženi u umjereno reduktivnim uvjetima koje karakterizira povišeni sadržaj željeza i mangana. Ovakvi uvjeti pogoduju razvoju željeznih bakterija u zdencima. Bakterije se razvijaju na situ gdje je povećan sadržaj kisika, uz stalan dotok novih količina željeza (mangana). Bakterije svojim djelovanjem zatvaraju sito, stvarajući vlaknaste muljevite nakupine željeznog (manganovog) hidroksida. U tom procesu one oksidiraju dvovalentno u trovalentno željezo, koje onda obaraju kao željezni hidroksid u ili na njihovim ljepljivim oblogama. Brz rast bakterija i stvaranje velike količine materijala zatvara otvore na situ, zasipu, a ponekad i vodonosniku u neposrednoj okolini zdenca, te dovode do pada specifične izdašnosti. Na osječkom crpilištu je načinjena revitalizacija ovako začepljenog zdenca B-5.

OSJEČKO CRPILIŠTE VINOGRADI

Osječko crpilište Vinogradi smješteno je u istočnom dijelu dravske depresije. Vodonosnik je izgrađen od aluvijalnih sedimenata Drave i Dunava, kvartarne starosti (URUMOVIĆ et al., 1984). Propusne naslage izgrađene su od jednoličnog sitno do srednjezrnastog pijeska u kojem se rijetko pojavljuju valutice šljunka, a polupropusni međuslojevi izgrađeni su od praha i gline. Debljina pojedinih propusnih, odnosno polupropusnih slojeva je dosta ujednačena, no ipak mjestimice dolazi do isklinjavanja pojedinih slojeva. Zahvaćeni su vodonosni slojevi relativno dobrih filtracijskih karakteristika (URUMOVIĆ et al., 1984). Zaliježu u dubinskom intervalu od 40 do 176 m, a netto debljina slojeva iznosi od 56 do 78 m. Za kvalitetu podzemne vode karakteristična je umjereno reduktivna sredina (pH od 6.8 do 7.3, Eh od -40 do -25 mV), posljedica čega je povišen sadržaj otopljenog željeza u vodi (prosječno 1 do 2 mg/l), amonijaka (1 do 2 mg/l) i povišen utrošak $KMnO_4$ (oko 17 mg/l).

[1]Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2]Geoistraživanje, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Bakterije željeza (1 - *Leptothrix ochracea*; 2, 3, 4, 5, 6 - *Gallionela feruginea*).

Eksploatacijski zdenci izgrađeni su u razdoblju 1980. do 1986. godine.

Ispitivanjima provedenim tijekom izrade crpilišta ustanovljeno je da se najviše kocentracije otopljenog željeza u vodi (4-6 mg/l) javljaju u prvom markantnom vodonosnom sloju od 20 do 40 m dubine, koji ovdje nije zahvaćen zdencima. Porastom dubine koncentracija otopljenog željeza opada. U drugom markantnom vodonosnom sloju (50-80 m) koncentracija željeza opada na 0.8 do 1 mg/l, a u intervalu 80 do 120 m dubine opada na 0.3 do 0.5 mg/l.

Prilikom provedenih analiza o stanju crpilišta 1992. godine (URUMOVIĆ & HLEVNJAK, 1992) ustanovljeno je da je došlo do degradacije kvalitete zdenca, koja je uzrokovala redukciju njihove učinkovitosti, posljedica čega je smanjenje izdašnosti. Koeficijent učinkovitosti zdenaca se kretao od 20 do 50%. Kod razmatranja vrste oštećenja pretpostavljeno je da ne mora biti samo jedna vrsta oštećenja, tj. da se mogu pojaviti kompleksna oštećenja, koja bi se mogla izdvojiti u dvije grupe. U prvoj bi bila oštećenja uzrokovana anorganskim talozima, gdje se prvenstveno misli na karbonatne inkrustate ($CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$), a također da se u takvim uvjetima procesom eksploatacije pojavilo "navlačenje" glinovito-siltoznih frakcija navučenih u neposrednu okolicu zdenca, koje blokiraju efektivni porni prostor i time smanjuju propusnost vodonosnog sloja.

Druga vrsta oštećenja pojavljuje se kao posljedica čepljenja pornog prostora organskim talozima, biomasom, nastalom djelovanjem željeznih bakterija. Ova pretpostavka posebice je potaknuta praćenjem smanjenja sadržaja željeza u zdencu B-14, što se počelo zamjećivati nakon približno dvije godine rada crpilišta. U manjoj mjeri su se mijenjali i neki drugi elementi koji izražavaju reduktivnost sredine. Istovremeno su uočene divergentne tendencije promjene razine podzemne vode u pijezometrima koji se nalaze blizu zdenca, a koji odvojeno mjere razinu vode u pojedinim slojevima ovog uslojenog vodonosnika. Zatvaranjem pojedinih slojeva smanjivan je postotak sadržaja vode iz tog sloja, a kako je crpljeno i dalje s istom količinom, to je povećano crpljenje iz manje zatvorenih slojeva. Ovo je uzrokovalo povećanje sniženja u zdencu, ali i pijezometrima koji zahvaćaju slojeve iz kojih se crpi povećana količina vode. Istovremeno je zbog smanjenja crpljenja iz zatvorenih slojeva, rasla razina u pijezometrima koji zahvaćaju te slojeve.

Anomalija se može tumačiti djelovanjem željeznih bakterija koje oksidiraju ione željeza iz vode, stvarajući željezni hidroksid koji zatvara porni prostor. Njihov je rast burniji uz slojeve koji su bogatiji željezom, pa je njihovo zatvaranje brže nego kod slojeva u kojima je sadržaj željeza nešto niži.

Za revitalizaciju je odabran zdenac B-5. Zdenac je izrađen 1992. godine. U zdenac su ugrađena sita tipa "Kreka" od motane prokrom žice, promjera 300 mm. Zdenac zahvaća vodonosne slojeve u intervalima 46-60, 68-78, 95-119, 133-139 i149-161 m dubine.

O ŽIVOTU ŽELJEZNIH BAKTERIJA

Željezne bakterije razvijaju se u zdencu na situ, odnosno na izlazu iz sita gdje je povišen sadržaj kisika, a stalan dotok novih količina željeza (i mangana) iz vodonosnika. U tom procesu one oksidiraju ione dvovalentnog u trovalentno željezo, upotrebljavajući stvorenu energiju za svoj rast i razvoj, akumulirajući pri tome velike količine željeznog hidroksida u ili na njihovim želatinoznim oblogama. Obaranje željeza i brzi rast bakterija stvara veliku količinu tvari koja se vrlo brzo širi, zatvarajući otvore na situ, u šljunčanom zasipu i pornom prostoru sloja u neposrednoj okolici zdenca. Njihov rast, a time i posljedično starenje zdenca, ponekad je vrlo brz, pa se može dogoditi u nekoliko mjeseci (DRISCOLL, 1987).

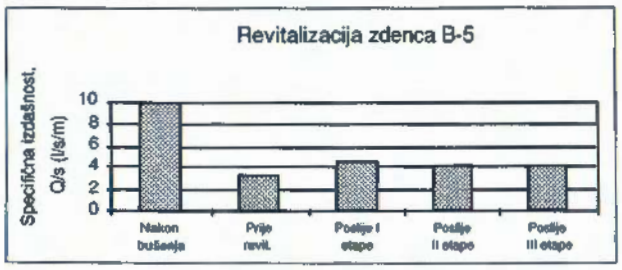
Nije potpuno sigurno nalaze li se željezne bakterije u vodonosniku i prije nego se zdenac načini ili su one isključivo unesene pri izradi zdenca i to vodom kojom se buši, konstrukcijom koja se ugrađuje ili kasnije pri spuštanju crpke, ili pak prenošenjem bakterija iz nekog već "zaraženog" zdenca. Tako je primjerice mogući izvor bakterija voda iz kanala ili stajaćih voda koje vjerojatno mogu sadržavati vrlo visoke koncentracije željeznih bakterija. Postoje i neki pokazatelji da se bakterije prenose od zdenca do zdenca na priboru za bušenje, osvajanje i crpljenje.

Potrebni su neki osnovni uvjeti da bi ove bakterije mogle živjeti. Potrebni uvjeti za razvoj željeznih bakterija su: sadržaj otopljenog željeza u vodi između 1 i 25 mg/l i relativno niski sadržaj organske materije u vodi, mali postotak otopljenog kisika između 0.1 i 1 mg/l, reduktivni uvjeti sa Eh 200 do 300 mV, relativno neutralna voda sa pH između 6 do 7.6, temperatura vode između 4.4 i 15.6°C.

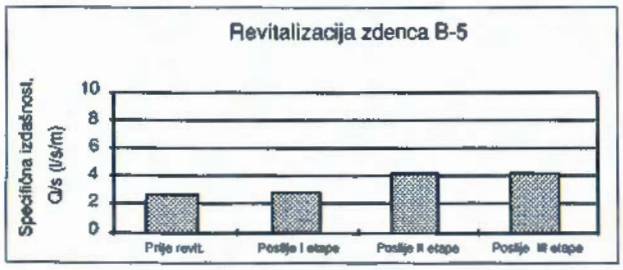
Bakterije su jednostanični organizmi veličine 0.4 do 4 mikrona. Od njihovih vrsta zapažene su bakterije roda *Leptothrix*, *Galionela* (sl. 1), *Crenothrix*, *Clonothrix*, *Sphaerotilus* i *Ferrobacillus ferrooxidans* i druge.

REVITALIZACIJA ZDENCA

Revitalizacija je provedena u tri etape (VOJKOVIĆ et al., 1993). Provjera učinkovitosti kako pojedinih



Sl. 2 Dijagram postignute prosječne specifične izdašnosti za pojedine etape revitalizacije.



Sl. 3 Dijagram specifične izdašnosti za pojedine etape revitalizacije pri crpljenju s količinom od 15 do 20 l/s.



Sl. 4 Dijagram učinkovitosti revitalizacije u odnosu na početno stanje za postignutu prosječnu vrijednost i pri crpljenju s količinom 15 do 20 l/s.

etapa revitalizacije, tako i ukupnog procesa, provedena je usporedbom specifične izdašnosti dobivene iz pokusnog crpljenja u koracima pri izradi zdenca, sa specifičnom izdašnosti zdenca prije revitalizacije, poslije svake etape i na kraju revitalizacije.

Prilikom izrade zdenca specifična izdašnost (Q/s) zdenca B-5 je iznosila 9.83 l/s/m (URUMOVIĆ & HLEVNJAK, 1992). Tijekom eksploatacije specifična izdašnost je pala na 3.33 l/s/m, odnosno na 34% od početne vrijednosti.

Prva je etapa imala za cilj uklanjanje oštećenja nastalih stvaranjem organskih taloga (biomase). U ovom se postupku kao radni fluid u zdenac utiskuje jako oksidacijsko sredstvo natrijev hipoklorit (NaOCl), stabiliziran natrijevim hidroksidom (NaOH). Ovim se treba potaknuti oksidacijski proces ("otapanja") koji otklanja oštećenja od želatinozne biomase. Poslije ove etape je kod pokusnog crpljenja sa količinom 26-43 l/s specifična izdašnost iznosila 4.44 l/s/m (sl. 2), no kod crpljenja sa najmanjom crpnom količinom 12-19 l/s (pri najmanjim ulaznim brzinama) iznosila je svega 2.82 l/s/m (sl. 3). Ova anomalija je upućivala da vjerojatno još uvijek postoji začepljenje želatinoznom masom. Analizom uzoraka vode u laboratoriju Vodovoda Osijek ustanovljeno je da su poslije ovog postupka uništene sve bakterije.

Druga etapa imala je za cilj otklanjanje eventualnih oštećenja nastalih stvaranjem anorganskih taloga karbonatnog porijekla ($CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$). Kao radni fluid u zdenac se utiskuje klorovodična kiselina (HCl) uz octenu kiselinu i uz dodatak inhibitora korozije. Poslije ove etape, kod pokusnog crpljenja sa količinom 26-43 l/s je specifična izdašnost iznosila 4.26 l/s/m, no sada je kod crpljenja sa najmanjom crpnom količinom 12-19 l/s iznosila 4.22 l/s/m. Pretpostavlja se da je tome uzrok relativno dugo mehaničko čišćenje koje je pogodovalo daljnjem odstranjivanju želatinozne mase. Relativna bliskost sa rezultatima poslije prve etape pokazala je da je učinak kiseline bio zanemariv.

Treća etapa imala je za cilj uklanjanje glinovito siltoznih čestica navučenih u neposrednu okolicu zdenca, koje blokiraju efektivni porni prostor i time smanjuju propusnost vodonosnika. Ovdje se primjenjuje mješavina vode i Na-kiselog pirofosfata, koja razara kristalnu rešetku minerala gline, što omogućuje njezino iznošenje tijekom čišćenja. Iznošeno je mnogo suspendiranih koloidnih čestica glinovitog porijekla što je ukazalo na dobru djelotvornost pirofosfata. Uočena je podudarnost povećanja specifične izdašnosti sa smanjenjem sadržaja koloidnih čestica. Specifična je izdašnost na kraju bila u granicama prethodne etape, odnosno iznosila 4.2 l/s/m. Analizom uzoraka vode u laboratoriju Vodovoda Osijek ustanovljeno je da su se poslije ovog postupka ponovo pojavile željezne bakterije.

Postignuti rezultati nisu pokazatelj mogućih konačnih efekata revitalizacije (VOJKOVIĆ, 1994). Tijekom čišćenja zdenca, na kraju pojedinih etapa pri intenzivnom radu s air-liftom i crpkom, s vodom je iznošeno dosta šljunka i slojnog pijeska, što je bila posljedica oštećenja uvodne eksploatacijske konstrukcije, pa se zbog toga nije moglo provesti efikasno čišćenje, čime bi se, uz postizanje velikih ulaznih brzina na situ, u zasipu i neposrednoj okolini zdenca u sloju, dostigli maksimalni učinci.

ZAKLJUČCI

Provedena revitalizacije zdenca B-5 na osiječkom crpilištu Vinogradi ukazala je na opravdanost provođenja ovakvih revitalizacija, unatoč činjenici da je provedena uz niz ograničavajućih faktora.

Primjenjene su tri etape revitalizacije, od kojih je svaka bila usmjerena na uslove smanjenja sniženja specifične izdašnosti zdenca. U prvoj etapi je primjenjen Na-hipoklorit s ciljem otklanjanja oštećenja nastalih organskim talozima (biomase), a postignuto je poboljšanje od 25% u odnosu na stanje prije revitalizacije, odnosno dostignuta je vrijednost od 45% inicijalne izdašnosti zdenca. Druga je etapa imala za cilj otklanjanje oštećenja nastalih stvaranjem organskih

taloga karbonatnog porijekla i nije postignuto nikakvo povećanje specifične izdašnosti. Treća je etapa imala za cilj otkloniti oštećenje nastalo navlačenjem glinovito-siltoznih čestica u neposrednu okolinu zdenca, a po toj etapi je specifična izdašnost nešto smanjena, pa je bila 42% od inicijalne. Zamjećeno je iznošenje velike količine suspendiranih koloidnih čestica glinovitog porijekla.

Glavni ograničavajući faktori u procesu revitalizacije bili su oštećenost zdenca, zbog čega nije bilo izvodivo ostvarenje većih crpnih količina i rezultirajućih ulaznih brzina pri čišćenju zdenca, te tip ugrađenog sita. Naime, ugrađeno sito tip "Kreka" spriječava izravni pristup otvorima kroz koje podzemna voda ulazi u zacjevljenje, a što umanjuje učinak pojedinih postupaka prigodom revitalizacije zdenca.

Na temelju postignutih rezultata se zaključuje da su osnovna oštećenja nastala djelovanjem željeznih bakterija, te navlačenjem glinovito siltoznih čestica prema zdencu. Stvaranje anorganskih taloga karbonatnog porijekla nije zapaženo, pa se u daljnjim slučajevima druga etapa revitalizacije može izbaciti. S obzirom da su se poslije treće etape ponovo u zdencu pojavile željezne bakterije, očito je da bi se na kraju revitalizacije trebala provesti sterilizacija zdenca hipokloritom. Ovo bi se moglo provesti zajedno s trećom etapom.

LITERATURA

DRISCOLL, G.D. (1987): Ground water and Wells.- Second edition, Johnson division, USA.

URUMOVIĆ, K., HERNITZ, Z., TUŠAK, B., GOLD, H., UDILJAK, S. & HLEVNJAK, B. (1984): Vodopskrba Osijeka podzemnim vodama. Eksploatacioni bunari crpilišta Vinogradi.- Fond stručnih dokumenata RGN fakulteta, Zagreb.

URUMOVIĆ, K. & HLEVNJAK, B. (1992): Vodopskrbni sustav Osijeka. Stanje crpilišta Vinogradi i program verifikacije.- Fond stručnih dokumenata RGN fakulteta, Zagreb.

VOJKOVIĆ, T., BOSNIĆ, I. & VOJIĆ, I. (1993): Vodopskrbni sustav Osijeka. Projekt revitalizacije zdenaca crpilišta Vinogradi.- Geobušenje, Zagreb.

VOJKOVIĆ, T. (1994): Vodopskrbni sustav Osijeka, crpilište Vinogradi. Izvješće o revitalizaciji zdenaca B-5 i interpretacija učinkovitosti.- Geobušenje, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	211 - 213	ZAGREB 1995

Prilog prepoznavanju strukturnog stila u području naftno-plinskih polja Gojlo, Janja Lipa, Bujavice i Jamarice

Željko **IVKOVIĆ**, Srebrenka **MATEJ** & Ivanka **ŠURIĆ**

Ključne riječi: strukturni stil, "wrench"-rasjedi, pozitivne cvjetne strukture, pliokvartar, savska depresija

Sažetak

Interpretacijom seizmičkih profila i na osnovi njih dobivenih strukturnih karata izdvojene su dvije dominantne rasjedne zone. Primjenjujući potpovršinske kriterije za prepoznavanje wrench strukturnog stila po Hardingu (HARDING, 1990), prepoznat je niz obilježja koja upućuju da bi te dvije zone mogle predstavljati dva konjugirana strike-slip rasjeda s osobinama wrench-a. Duž pružanja prve (SZ-JI) i druge (SI-JZ) zone javljaju se transpresijske srukturne forme (pozitivne cvjetne strukture) nastale uslijed vrlo mladih (pliokvartarnih) konvergentnih kretanja. U tom smislu objašnjava se i izrazito asimetričan izgled tog dijela savske depresije, kao i postojanje antiklinala za koje su vezana naftno-plinska polja Gojlo, Janja Lipa i Bujavice.

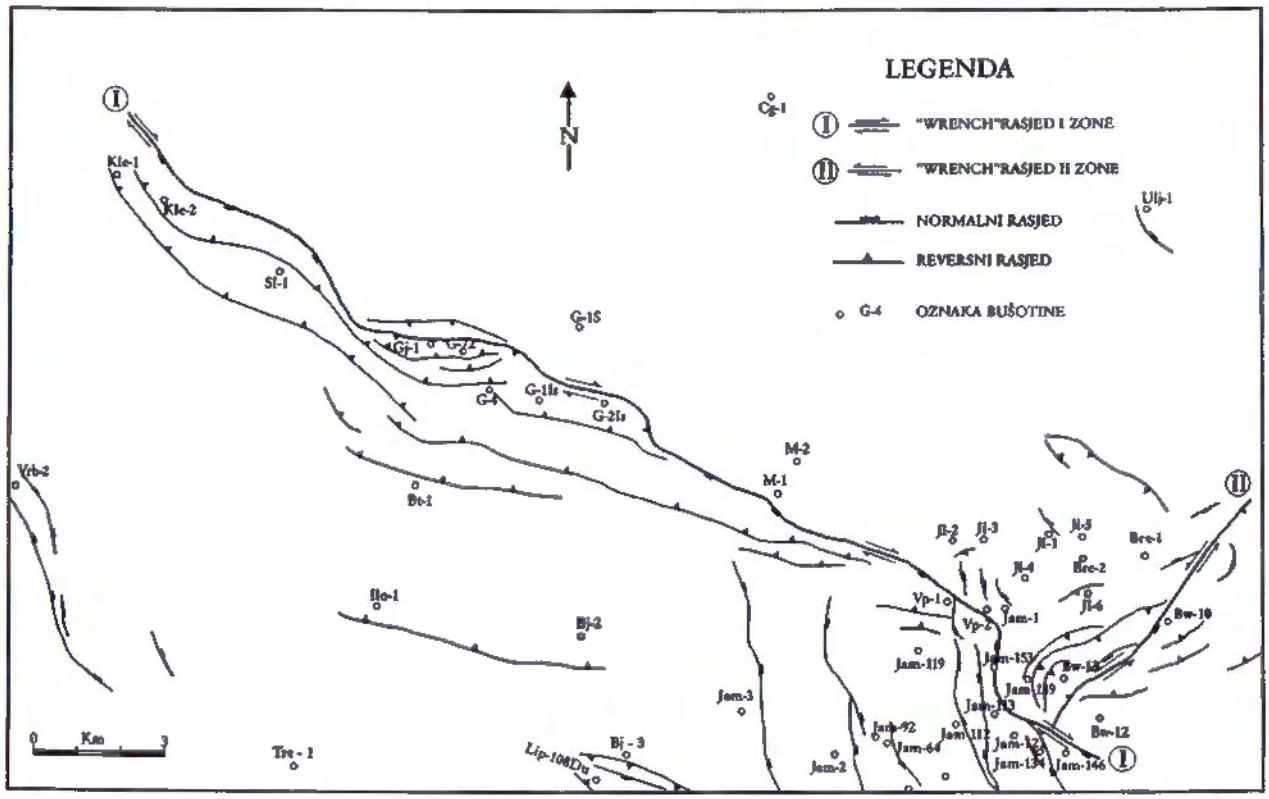
Ovim radom obuhvaćen je središnji i rubni dio savske depresije, koji djelomično zahvaća i jugoistočni dio bjelovarske depresije, na kojemu su smještena naftno-plinska polja Gojlo, Janja Lipa, Bujavice i djelomično Jamarice. Iako se radi o relativno malom području (oko 430 km^2), namjera je da ga se barem donekle smjesti u okvir regionalne stukturno-tektonske slike Panonskog bazena. Tijekom rada korišteno je oko 80 seizmičkih profila i 45 bušotina. Unošenjem bušotinskih EK-markera na seizmičke sekcije izvršena je njihova interpretacija na osnovi kojih su dobivene strukturne karte po 9 repera. Vremensko razdoblje kartiranih sedimenata, u grubom, obuhvaća razdoblje od oligomiocena pa do pliocena, s napomenom da je ovaj rad zaokupljen istraživanjem vrlo mladih tektonskih zbivanja.

Analizirajući karakteristike rasjeda i struktura na profilima i kartama izdvojene su dvije dominantne rasjedne zone. Prva, koja je u ovom području duža, proteže se smjerom SZ-JI, dok se druga pruža poprečno na nju smjerom SI-JZ. Područje protezanja prve zone ujedno je podudarno sa sjeveroistočnim rubom savske depresije koja je u cijelosti asimetrično građena. Prijelaz iz struktuno najdubljih dijelova depresije ka plićima je vrlo blag prema jugozapadnoj strani, dok je izrazito nagao prema sjeveroistočnom rubu. Uspoređujući to strmo nagnuto krilo sa sličnim primjerima (LOWEL, 1987; HARDING, 1985, 1990) prepoznaju se polurazvijene pozitivne cvjetne strukture koje mogu biti posljedica ili transpresije duž "wrench"-rasjeda ili duž rubova kompresijski izdizanih blokova. Slične karakteristike sadrži i druga rasjedna zona. Blizina izdignutih masiva (blokova) Moslavačke Gore i Psunja mogla bi ići u prilog drugog stila (kompresijsko blokovsko izdizanje). No rasjedne zone imaju još neka vrlo važna obilježja :

1. Postojanje glavnih rasjeda s pretežno pravocrtnim pružanjem i vrlo strmim nagibom koji presjecaju sve kartirane horizonte i zalaze u kristalinsku podlogu.
2. Promjena smjera pada i karaktera glavnih rasjeda duž njihova pružanja i pada.
3. Nejednake debljine stratigrafskih jedinica u podinskom i krovinskom krilu glavnih rasjeda.
4. Postojanje relativno uske izdužene zone paralelne sa pružanjem glavnih rasjeda koja ima značajke pozitivnih cvjetnih struktura.
5. Okolni reversni i normalni rasjedi poprečno postavljeni jedni na druge s naznakama ešalonskog rasporeda.

Među opisanim potpovršinskim osobinama rasjednih zona prepoznaju se neki od ključnih kriterija za prepoznavanje "wrench" - rasjeda po Hardingu (HARDING, 1990), pa je moguće da zone uistinu pripadaju tom strukturnom stilu. U tom slučaju može se govoriti i o smjeru horizontalnih pomaka duž glavnih rasjeda. Naime, glavni rasjed I zone mijenja smjer zakrećući u lijevo u području polja Gojlo gdje su vrlo razvijene pozitivne cvjetne strukture. Drugim riječima, za pretpostaviti je da je taj rasjed s desnim kretanjem, koje je u iznesenom primjeru imalo izrazito transpresijsko djelovanje. U prilog toj pretpostavci ide i naziruci ešalonski položaj okolnih normalnih rasjeda pružanja SSZ-JJI, te poprečno postavljeni reversni rasjedi, koji su približno podudarani sa rasporedom strukturnih elemenata elipsoida deformacija nastalog uslijed desnog smicanja. Kako se u preostalom dijelu I zone i dalje javljaju cvjetne strukture, ali samo polurazvijene, za pret-

INA-Naftaplin, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Shematska tektonska karta.

postaviti je da je čitava zona nastala uslijed desnog konvergentnog horizontalnog pomicanja.

Polja Janja Lipa i Bujavice smještena su u području sučeljavanja I i II rasjedne zone gdje prisutne antiklinalne forme s mjestimično razvijenim pozitivnim cvjetnim strukturama također ukazuju na intenzivna kompresijska djelovanja. Promatrajući I glavni rasjed kao desni, a II kao lijevi uočava se da se spomenuti prostor nalazi u kvadrantu njihova međusobno konvergentnog i istovremenog kretanja koja su mogla uzrokovati opisane strukturne manifestacije. Glavni rasjed II rasjedne zone ujedno mijenja karakter i smjer pada, pa se pojavljuje i kao normalni i kao reversni rasjed duž kojeg se javljaju potpuno i djelomično razvijene cvjetne strukture. Osim toga vrlo jasan nesklad u nizanju stratigrafskih jedinca s lijeve i desne strane rasjeda zamijećen u njegovom sjeveroistočnom dijelu također upućuje na snažnije horizontalno razdvajanje kristalinske podloge i pripadajućeg sedimentnog pokrova.

Iznenađujuće velik broj normalnih rasjeda na području polja Jamarice ukazuje na izrazita ekstenzijska djelovanja koja na prvi pogled nemaju nekog vidljivog uzroka. Kako se to područje nalazi pri rubu interpretiranog prostora, uzet je u razmatranje i širi, regionalni strukturni prikaz. Na njemu je vidljivo da se nešto jugoistočnije pružanje glavnog rasjeda I rasjedne zone prekida (možda zbog izdignutog masiva Psunja), no očito je da se nešto južnije javlja rasjed sličnih osobina, te da se njihove pripadajuće rasjedne zone međusobno preklapaju. Pod pretpostavkom da su te zone s desnim horizontalnim kretanjem, u području njihova prekrivanja prepoznaje se tipičan primjer "pull-apart" ekstenzije.

S obzirom da u području protezanja I i II rasjedne zone na seizmičkim sekcijama nedostaje dobar dio mlađih pliokvartarnih sedimenata teško je preciznije odrediti do kuda se po vertikali protežu glavni rasjedi. No, jasno je da presijecaju najmlade kartirani horizont α (koji približno odgovara granici između ponta i pliocena), pa je možda najbolje reći da su opisana kretanja iz pliokvartarnog razdoblja.

Novije studije (ROYDEN & HORVATH, 1988) šireg dijela Panonskog bazena ukazuju da je neotektonska evolucija tog prostora povezana s događajima u susjednim Alpama. Naime, uslijed konvergentnih kretanja između europske i afričke ploče popraćenog kolizijom u Istočnim Alpama, tijekom donjeg miocena dolazi do istiskivanja panonskog dijela litosfere, te do navlačenja vanjskog dijela Karpata. Naknadna naglašena srednjemiocenska back-arc ekstenzija Panonskog bazena posljedica je kontinuirane subdukcije europske ploče pod panonski fragment. Širenje je heterogeno i s vremenom sve slabije, a kontrolirano je sistemom konjugiranih desnih i lijevih transkurentnih rasjeda nastalih pod djelovanjem glavnog, horizontalnog, kompresijskog stresa položenog smjerom sjever-jug.

No, ovdje su uočena vrlo mlada, pliokvartarna tektonska zbivanja koja upućuju na mogućnost snažnijeg reaktiviranja, a možda i rotacije glavnog, regionalnog stresa što je moglo, pored stvaranja novih, oživiti i starije rasjede dinarskog pravca pružanja i duž njih izazvati naglašena, horizontalna kretanja, koja su u slučaju I

zone ujedno i konvergentna. Ali s obzirom na gotovo okomit položaj dviju glavnih rasjednih zona one se mogu promatrati i kao posljedica djelovanja desnog "couple" stresa duž I rasjedne zone. Tada bi glavni rasjed I rasjedne zone pripadao sintetiku, dok bi glavni rasjed II zone pripadao antitetiku. Međutim za donošenje takovih zaključaka potrebne su još detaljnije i opsežnije regionalne studije.

PREGLED KORIŠTENE LITERATURE

HARDING, T.P. (1974): Petroleum Traps Associated with Wrench Faults.- Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 58, 1290-1304.

HARDING, T.P. & LOWEL, J.D. (1979): Structural Styles, Their Plate Tectonic Habitats, and Hydrocarbon Traps in Petroleum Provinces.- Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 63, 1016-1058.

HARDING, T.P. (1985): Seismic Characteristics and Identification of Negative Flower Structures, Positive Flower Structures, and Positive Structural Inversion.- Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 69, 582-600.

HARDING, T.P. (1990): Identification of Wrench Faults Using Subsurface Structural Data: Criteria and Pitfalls.- Am. Ass. Petrol. Geol., 74, 1590-1609.

INA - NAFTAPLIN: Fond stručne dokumentacije.

KRANJEC, V. (1972): O utvrđivanju najnovijih tektonskih pokreta i njihovom naftno-geološkom značenju u savsko-dravskom području.- Nafta, 23, 463-474, Zagreb.

LOWEL, D.J. (1987): Structural Styles in Petroleum Exploration.- OGCI, 1-477, Tulsa.

PERINÇEK, D. (1990): Possible Strand of North Anatolian Fault in the Thrace Basin, Turkey - An Interpretation.- Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 75, 241-257.

PRELOGOVIĆ, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske.- Geol. vjesnik, 28, 63-82.

ROYDEN, L.H. & HORVATH. F. (1988) : The Panonian Basin - A Study in Basin Evolution.- Am. Ass. Petrol. Geol.Mem., 45, 1-394.

SYLVESTER, A.G. (1984): Wrench Fault Tectonics.- Am. Ass. Petrol. Geol. Mem., 28, 1-374.

WILCOX, R.E., HARDING, T.P. & SEELY, D.R. (1973): Basic Wrench Tectonics. Bull.- Am. Ass. Petrol. Geol., 57, 74-96.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 16-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	215 - 218	ZAGREB 1995

Tektonski događaji u južnom dijelu Panonskog područja (sjeverna Hrvatska): pregled i interpretacija

Domagoj JAMIČIĆ

Ključne riječi: strukturni sklop, južni panon, sjeverna Hrvatska

Key words: Structural fabric, Southern part of the Pannonian Basin, Northern Croatia

Sažetak

U radu se pridaje značaj događajima koji su tijekom razdoblja od paleozoika do kvartara imali važnu ulogu u tektonskoj evoluciji južnog dijela panonskog bazena. Ovi događaji se u globalu mogu uklopiti u pet tektonskih nivoa međusobno odvojenih fazama sedimentacije.

Abstract

In this paper important tectonic events are described. They had substantial role in the tectonic evolution of southern part of the Pannonian Basin since the Palaeozoic. These events are generally divided into five major phases, separated by periods of sedimentation.

Različiti strukturni nivoi razmatrani u ovom radu definirani su u području slavonskih planina, koje kao integralni dio panonskog prostora predstavljaju snažno deformirane strukture izgrađene iz predpaleozojskih, paleozojskih, mezozojskih i tercijarnih tvorevina dijelom prekrivenih kvartarnim naslagama.

BAJKALSKI SKLOP

Najstarije stijene pripadaju psunjsko-krndijskom metamorfnom kompleksu. Sačuvane su, osim u ovim planinama, i u dubokim bušotinama istočne Slavonije, istočnim i centralnim dijelovima Drave do Međimurja, te u širem području Moslavačke gore. U tom prostoru, prije početka regionalnog progresivnog metamorfizma koji se odigrao u vrijeme bajkalske orogeneze, nalazimo sedimente pelitskog facijesa. U dubljim dijelovima ovog kompleksa češće su prisutne bazične stijene što ukazuje na konstantno istezanje sedimentacijskog prostora. Uz njih se rijetko nalaze karbonatni sedimenti u obliku slojeva debljine do 10 metara. Sedimentacija se odvijala u geosinklinalnim uvjetima s konstantnim snašanjem materijala iz udaljenih kopnenih površina. Zapunjavanjem geosinklinalog prostora dolazilo je do njegovog postepenog spuštanja i povećanja ukupne debljine sedimenata. Orogenetskim zbivanjima u vrijeme bajkalske orogeneze nastupile su metamorfne promjene u opsegu od amfibolitskog do kloritskog facijesa uz sporadične intruzije granitskih stijena u obliku tanjih žila i manjih masa praćenih pegmatitskim žilama. Nakon konsolidacije granitskih i metamorfnih stijena u ovom području utiskuju se gabroidne stijene koje danas nalazimo sačuvane u obliku metarskih i kilometarskih masa unutar metamorfnog kompleksa. Strukturni oblici stvoreni u vrijeme ove orogeneze uništeni su u velikoj mjeri naknadnim deformacijskim procesima u kasnijim orogenetskim zbivanjima. Završetkom metamorfoze stijene psunjsko-krndijskog kompleksa se izdižu i stvaraju se uvjeti za njihovu dezintegraciju i snašanje u nove sedimentacijske prostore.

KALEDONSKI SKLOP

Dezintegracijom stvorenih kopnenih površina nakon bajkalske orogeneze u nastalim geosinklinalnim prostorima odvija se pelitska i vrlo rijetko psamitska sedimentacija s povremenim izljevima bazičnih stijena. Nastupom metamorfnih promjena dolazi do tektonskog suženja prostora uz intenzivno izoklinalno boranje, pri čemu su migmatitske stijene udružene s migmatitskim granitima utiskivane u više dijelove zemljine kore u obliku lepezaste bore. Paralelno s progresivnom metamorfozom u papučkom metamorfnom kompleksu dolazi do prestrukturiranja i retrogradne metamorfoze u prethodno nastalim psunjsko-krndijskim metamorfitima. Procesi retrogradne metamorfoze i flazeriranja nastupili su pod utjecajem snažnog razvitka mehaničkih ploha diskontinuiteta uz koje su cirkulirale hidroterme i vršile mineralne izmjene.

Najnovija određivanja apsolutne starosti (PAMIĆ, 1988) iz dijelova ovog i prethodnog kompleksa stijena ukazuju na njihovu hercinsku starost. Međutim, dobi-

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

veni rezultati se ne poklapaju s geološkim činjenicama i geološkim dokazima zapažanim tijekom geoloških istraživanja u ovim kompleksima metamorfnih stijena.

HERCINSKI SKLOP

Po završetku kaledonske orogeneze dolazi do ponovnog izdizanja i stvaranja kopnenih površina s kojih se vrši brza denudacija i sedimentacija u geosinklinalnim prostorima. Uz konstantno izdizanje kopna i povećane erozijske procese, terigeni materijal je rijekama i bujičnim tokovima snašan u plitke morske prostore, tako da tu nalazimo krupnoklastične sedimente isprepletenih rijeka i taložine facijesa delta. U početku sedimentacije materijal su davale metamorfne stijene psunjsko-krndijskog kompleksa. Ostatke ovih sedimenata nalazimo sačuvane kao transgresivni element u obliku grafitičnih metagrauvaka. Grafitni materijal potječe iz grafitičnih škriljavaca neposredne podloge. U kasnijim fazama sedimentacije osjeća se utjecaj metamorfita Papuka u obliku grauvaknih pješčenjaka čiji fragmenti vode porijeklo iz migmatitskog kompleksa. Snižavanjem reljefa krupnoklastični sedimenti postaju rjeđi, iako stalno prisutni, i talože se siltiti u izmjeni sa sitnozrnatim pješčenjacima. Pri vrhu ove serije stijena radlovačkog kompleksa ponovno prevladavaju krupnoklastični sedimenti. Uz konstantnu sedimentaciju i širenje prostora javljaju se duboki lomovi po kojima, u nekoliko faza, dolazi do proboja spilitiziranih dijabaza.

Završetkom produbljivanja i širenja sedimentacijskog bazena u vrijeme hercinske orogeneze javljaju se intruzije granita. Utiskivanje granitskih stijena dovelo je do izdizanja i blagog boranja, te klizanja po unutarslojnom i međuslojnom klivažu. U metagrauvakama su oblikovane flazer strukture čiji fragmenti su paralelni folijaciji. Intruzije granitskih stijena nalazimo, kako u papučkom, tako i u psunjskom metamorfnom kompleksu. U potonjem su one u dodiru s mramorima dovele do kontaktne metamorfoze i stvaranja skarnova s volastonitom.

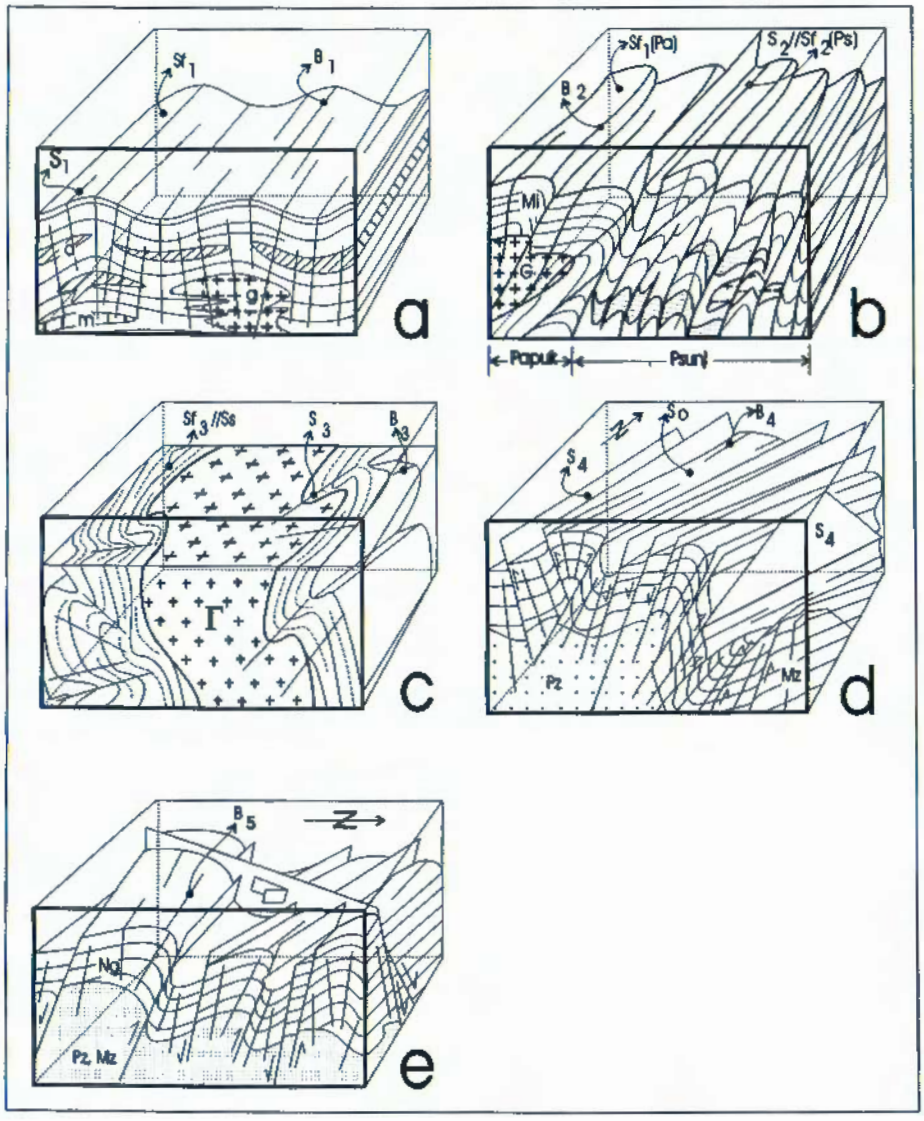
Završetkom metamorfnih promjena ovaj dio panonskog bazena se ponovno uzdiže i sedimentacija se nastavlja u sjevernim udaljenim prostorima.

ALPINSKI SKLOP

Početkom gornjeg perma počinje u širem prostoru južnog dijela panona novi sedimentacijski ciklus koji kontinuirano traje do prelaska jure u kredu. U gornjem permu metamorfni kompleksi Papuka i Psunja su još razdvojeni, što se odražava na facijelnim karakteristikama sedimenata taloženih u to vrijeme. Terigene komponente koje su s područja psunjskih metamorfita dopremljene u sedimentacijske prostore stvaraju filitne konglomerate, a migmatitske stijene papučkog kompleksa u sjevernom području istovremeno dezintegracijom daju materijal za oblikovanje konglomeratičnih pješčenjaka. Produkti erozije su snašani s izdignutih kopnenih površina bujičnim tokovima i rijekama u jezerske prostore. Na prijelazu gornjeg perma u donji trijas sedimentacija se izjednačava u oba prostora, te se talože kvarcni pješčenjaci, a klastična sedimentacija traje kroz donji trijas. Nastupom srednjeg trijasa morski prostori se produbljuju i šire, talože se uglavnom karbonatni sedimenti uz povremene oscilacije morskog dna praćene magmatitima i prinosom klastičnog materijala. Pojedini prostori se tijekom ladinika izdižu i tu sedimentacija prestaje, a u ostalim se nastavlja u donju juru i traje do prelaska u najdonju kredu. Uslijedila je kopnena faza koja traje do gornje krede. Početak senonske transgresije na području Požeške gore obilježen je krupnoklastičnim naslagama. Konglomeratični pješčenjaci i pješčenjaci santon-mastrihtske starosti diskordantno naliježu na granite i sadržavaju fragmente riolitno-granitnog sastava (analiza M. Belak) koje nalazimo sačuvane na Požeškoj gori. Za te stijene pretpostavljena je oligocenska starost (HALAMIĆ et al., 1993). Međutim, na tim klastičnim naslagama taloženi su pločasti vapnenci s globotrunkanama i rudistni vapnenci kojima završava mezozojski sedimentacijski ciklus. To ukazuje da je kiseli vulkanizam Požeške gore stariji od senona. Izotopna starost granita od 71.5 mil. god. (PAMIĆ et al., 1990) ne slaže se s ovim geološkim pokazateljima, a dobivenu starost je moguće objasniti kao rezultat naknadnih tektonskih procesa. Izdizanje kopnenih površina u vrijeme laramijske faze alpinske orogeneze odigralo se pod utjecajem lateralne kompresije i značajnijeg tektonskog suženja prostora iz pravca istok-zapad. Ove procese prati snažno boranje s osi bora pružanja sjever-jug i istočnom vergencijom nastalih strukturnih elemenata. Laramijskim pokretima zahvaćen je širi prostor panonskog bazena tako da iste strukturne elemente, s približno istom orijentacijom, nalazimo osim u slavonskim planinama i u području Zagrebačke gore, te u susjednoj Mađarskoj.

NEOGENSKI SKLOP

Završetkom izdizanja u okviru laramijske faze prostor južnog panona predstavlja uglavnom kopno koje traje do srednjeg miocena. Miocenskom transgresijom, uslijed spuštanja panonskog prostora, prekriven je njegov veći dio. Lokalno postoje izdignuta područja s kojih se vrši denudacija. Djelovanjem globalnog stresa, na približnom pravcu N-S, te zbog migracije karpatskog luka u smjeru istoka, sjeveroistoka tijekom neogena, dolinama Save i Drave formirani su rasjedi s desnim karakterom transporta (ROYDEN, 1988; BERGERAT, 1989; HORVATH, 1993). U međuprostoru između ta dva rasjeda oblikovan je set lijevih i desnih konjugiranih rasjeda (JAMIČIĆ, 1988), a deformacijske procese prati ekstenzija prostora u smjeru istok-zapad. Povećanjem kompresije lijevi rasjedi postaju dominantni i oni preuzimaju glavnu ulogu u



Sl. 1 Tektonski događaji: a - bajkalski; b - kaledonski; c - hercinski; d - alpinski; e - neogenski. Legenda: B_{1-5} - regionalna os; Sf_{1-3} - folijacija; S_o - slojevitost; S_{1-4} - klivaž osne ravnine; a - amfiboliti; m - mramori; g - graniti Psunje; Mi - migmatiti; G - graniti Papuka; Γ - hercinski graniti; Pz - paleozoik; Mz - mezozoik; Ng - neogen.

oblikovanju tektonskog sklopa južnih dijelova panonskog prostora. Lijevim rasjedima odvojeni blokovi, nastavkom razmicanja uz desne rasjede dolinama Save i Drave, prograđno rotiraju u prostoru oko vertikalne osi, što dovodi do značajne kompresije unutar samih blokova. U početnim fazama rotacije blokova, u njihovim sjeveroistočnim dijelovima, otvaraju se duboki lomovi, tako da u ovom dijelu panona nalazimo vulkanite otnang-karpatske i badenske starosti. Desna rotacija blokova dovela je i do međusobnog približavanja desnih rasjeda i sužavanja područja između Save i Drave, što je izazvalo njihovo izdizanje i boranje s osima bora pružanja istok-zapad. Sužavanjem prostora bore su u početku oblikovane izdizanjem uz normalne rasjede koji u kasnijim fazama, na sjevernim i sjeveroistočnim krilima bora, preko fleksurnih oblika prelaze u reverzne rasjede s približno sjevernom vergencijom. Kut vergencije je veći u istočnim dijelovima boranih struktura što je posljedica njihove lijeve rotacije i jačeg izdizanja istočnih dijelova tijekom transkurentnog razmicanja uz lijeve rasjede. Nastavkom lijeve rotacije izdignutih oblika istočni dijelovi antiformi i sinformi se zatvaraju i prelaze u prebačene bore. Prisustvo "en-échalon" bora, u južnom dijelu panonskog prostora, nastalih uslijed transkurentnog razmicanja, u fazi njegovog tektonskog oblikovanja tijekom neogena, ukazuje da su one nastale po modelu transpresije (SANDERSON & MARCHINI, 1984) uz lijeve "wrench" rasjede.

LITERATURA:

BERGERAT, F. (1989): From pull-apart to rifting process: the formation of the Pannonian Basin.- Tectonophysics, 157, 271-280.

HALAMIĆ, J., BELAK, M. & PAVELIĆ, D. (1993): The Sedimentalogical Significance and Stratigraphic Position of Coarse-Grained Red Beds (?Oligocene) of the Northwestern Margin of Mt. Požeška Gora (North Croatia).- Geologia Croatica, 46/1, 137-143.

HORVATH, F. (1993): Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin.-Tectonophysics, 226, 333-357.

JAMIČIĆ, D. (1983): O tangencijalnim kretanjima u području slavonskih planina.- Nafta, 34, 685-691, Zagreb.

JAMIČIĆ, D. (1988): Strukturni sklop slavonskih planina (sjeverni Psunj, Papuk, Krndija).- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 152 str., Zagreb.

JAMIČIĆ, D. (1993): Die Anwendung Der β-Diagrame bei Überfalteten Strukturen.- Geologia Croatica, 46/2, 281-290.

PAMIĆ, J. (1988): Radiometric ages of metamorphic and associated igneous rocks of the Slavonian Mountains in southern parts of the Pannonian Basin.- Acta geol., 18, 13-39, Zagreb.

PAMIĆ, J. (1990): Some geochemical features of the Upper Cretaceous bimodal volcanic assotiation from Požeška Gora Mt. in Slavonia-Northern Croatia, Yugoslavia.- Geologija, 31-32, 415-435, Ljubljana.

ROYDEN, L.H. (1988): Late Cenozoic tectonics of the Pannonian Basin system.- In: ROYDEN, L.H. & HORVATH, F. (eds.): The Pannonian Basin. Am. Assoc. Pet. Geol. Mem., 45, 27-48, Budapest.

SANDERSON, D.J. & MARCHINI, W.R.D. (1984): Transpression.- Jour. Struct. Geol., 6, 449-458.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	219 - 224	ZAGREB 1995

Geološka primjena suvremenih karotažnih uređaja

Božidar **JANČIKOVIĆ**, Ivan **CIZELJ** & Marijan **KRPAN**

Key words: Well logging, Imaging tools, Fractures

Abstract

Contribution of well log interpretation in solving the problems associated with geological subsurface has rapidly increased in last few years, caused by two basic reasons:

a) large number of wells covered with complete sets of modern logs;

b) almost explosive development of well logging methods and possibilities of their interpretation using computers.

Short review of well log application for geological purposes and the first measurement of modern imaging tool in our country are shown on our examples.

UVOD

Uobičajeno i pojednostavljeno se smatra da je temeljna namjena interpretacije karotažnih mjerenja u bušotinama određivanje fizikalnih karakteristika bušenjem raskrivenih naslaga (poroziteta, zasićenja vodom, zalaporenja, elastičnih svojstava stijena, itd.) ili nešto šire i preciznije kvantitativni fizikalni opis ležišta ugljikovodika.

Međutim, moguća uporaba ovih mjerenja je znatno šira. Naročiti doprinos sveobuhvatna analiza suvremenih karotažnih mjerenja našla je u rješavanju šire geološke problematike podzemlja. Ova primjena u naftnom rudarstvu s vremenom postaje sve važnija, zapravo možemo ustvrditi da je nezamjenljiva.

Takva situacija uvjetovana je s nekoliko čimbenika:

1) Usavršavanjem postojećih mjernih uređaja i brzim razvojem novih. Razvijeni su i specifični mjerni instrumenti s isključivom geološkom namjenom, kao npr. mjerač nagiba slojeva (pandažmetar) i razni uređaji za suvremeno vizuelno snimanje stijenke bušotine.
2) Kreativnom i sofisticiranom primjenom elektroničkih računala prilikom mjerenja i obrade snimljenih podataka i složenih analiza tako dobivenih informacija.
3) Sve većim brojem dubokih bušotina s obiljem značajnih geoloških podataka koje treba osmisliti i objediniti. Kod interpretacije ovih informacija ističu se dva karakteristična svojstva koja nisu dostupna ostalim metodama prikupljanja podataka u bušotinama:
   a) velika, gotovo nevjerojatna vertikalna preciznost mjerenja, te
   b) mjerenje u *in situ* uvjetima (naročito važno kod raspucalih naslaga).

Krajnji cilj takove geološke interpretacije karotažnih mjerenja u bušotinama je maksimalni doprinos stvaranju geološkog modela podzemlja, odnosno u naftnom rudarstvu ležišta ugljikovodika. Razvojem pojedinih geoloških disciplina, kao i naftnog rudarstva, taj zadatak postaje sve složeniji i ne mogu ga više savladavati pojedinci. Taj posao zahtjeva skupni rad svestrano obrazovanog geologa, seizmičara, karotažnog interpretatora i rezervoar inženjera. Samo dobro usklađeni, kreativni i sofisticirani rad takvog tima može pružiti zadovoljavajuće rezultate.

KAROTAŽNI UREĐAJI GEOLOŠKE NAMJENE

U svrhu geološke analize raskrivenih naslaga razvijene su posebne karotažne metode. Tu se prvenstveno misli na razne posebne vrste mjerača nagiba slojeva u bušotini (pandažmetra), a u novije vrijeme i na uređaje za vizuelno prikazivanje stijenke bušotine ("borehole imaging tools").

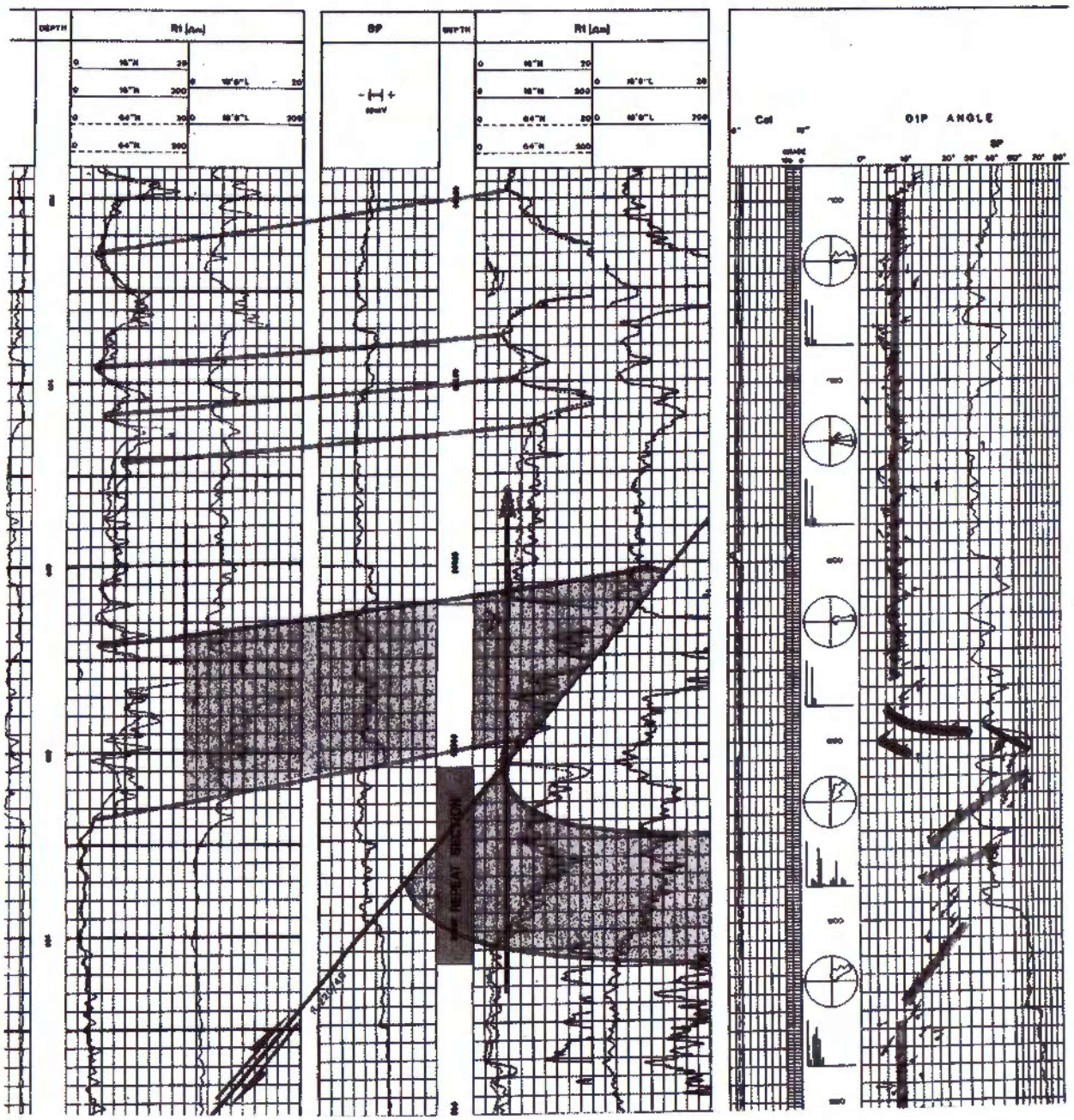
Mjerač nagiba slojeva je instrument razvijen isključivo za geološku namjenu. Uslijed toga bitno se razlikuje konstrukcijom i načinom mjerenja u odnosu na ostale karotažne uređaje.

Ima najveću vertikalnu točnost. Rotacijom u tijeku mjerenja pokriva cijelu stijenku bušotine. Mjerenja specifičnog otpora ne valoriziraju se kvantitativno.

Primjena sredstava elektroničke obrade podataka omogućila je kompleksnu interpretaciju ovog mjerenja u svrhu podpovršinske rekonstrukcije, odnosno prostornog određivanja strukturnih i sedimentacijskih oblika samo na osnovi jednodimenzionalnih mjerenja u bušotini.

Iako se karotaža nagiba slojeva obavlja unutar relativno malog prostora u bušotini, vjerojatno je, a to je iskustvo pokazalo, da dobiveni rezultati vrijede na znatno širem području.

INA-Naftaplin, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.



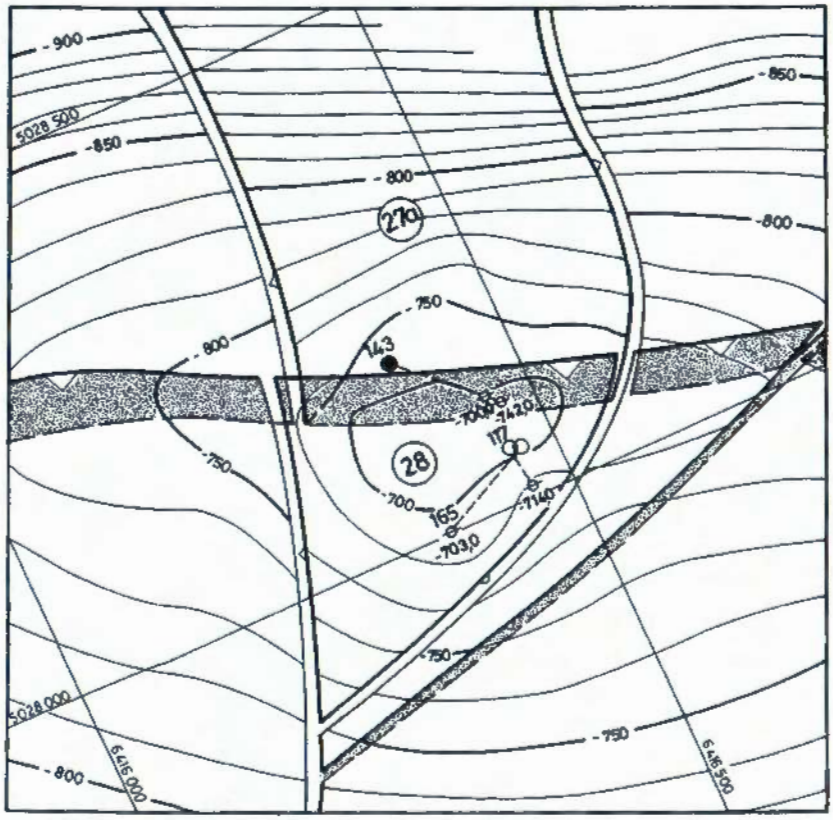
Sl. 1 Određivanje položaja reversnog rasjeda analizom pandažmetra na bušotini Lip-143.

Na temelju te činjenice mogu se na vektorskom dijagramu uz podatke s ostalih karotažnih mjerenja i drugih geoloških informacija najprije prepoznati, a zatim pod određenim pretpostavkama i prostorno rekonstruirati pojedini strukturni i tektonski oblici, kao što su npr. sinklinale, antiklinale, rasjedi i zone sekundarnih poroziteta i to samo na temelju mjerenja u jednoj bušotini.

Tijekom istraživanja i geološke razrade ležišta ugljikovodika važno je sa što manje bušotina precizno odrediti takve strukturne oblike. U klastičnim naslagama Panonskog bazena pliocenske i miocenske starosti ova metoda dala je naročito korisne rezultate kod preciznog definiranja položaja rasjeda, što u pojedinim slučajevima može imati odlučujući značaj za daljnje istražne i razradne radove.

Na slici 1 prikazan je slučaj preciznog definiranja položaja rasjeda na polju Lipovljani, gdje je reversno rasjedanje odigralo vrlo značajnu ulogu kod formiranja strukturnih ležišta ugljikovodika. Korelacijom bušotina Lip-143 i Lip-117 utvrđeno je ponavljanje intervala serije Novska na bušotini Lip-143. Pretpostavljeno je da je uzrok tome reversni rasjed čije je postojanje potvrđeno analizom pandažmetra. Određivanjem položaja uslijed trenja povijenih slojeva uz rasjed određen je i položaj rasjedne plohe u prostoru (sl. 1 i 2).

Iako je kronološki gledano najprije razvijena interpretacija strukturno-tektonskih oblika, jedan od bitnih čimbenika koji je uvjetovao razvoj i usavršavanje karotaže nagiba slojeva do sadašnjeg stupnja bio je i napredak primjene ovog mjerenja kod detaljnih stratigrafskih razmatranja. Čak je razvijen i poseban pan-



Sl. 2 Izvadak iz strukturne karte M 1:5.000 po krovini ležišta Novska 8 na polju Lipovljani.

dažmetar u tu svrhu.

Interpretacija ovih mjerenja daje vrlo korisne rezultate kod analiza sedimentacijskih oblika, kao što su prudni pijesci, frontalni sedimenti delte, ispunjavanje nekadašnjih kanalskih tokova, itd.

Istraživanje stratigrafskih zamki za prikupljanje ugljikovodika dobiva sve više na značaju s obzirom da su velika strukturna ležišta (antiklinale) već dobrim dijelom istražena. Međutim, pronalaženje ležišta neantiklinalnog tipa je znatno teže, jer su ova ležišta i bolje "maskirana". Pandažmetar nam uz ostale metode (seizmika) daje u tom smislu vrlo značajne podatke.

KAROTAŽNI UREĐAJI KOJI OMOGUĆAVAJU VIZUALIZACIJU STIJENKE BUŠOTINE

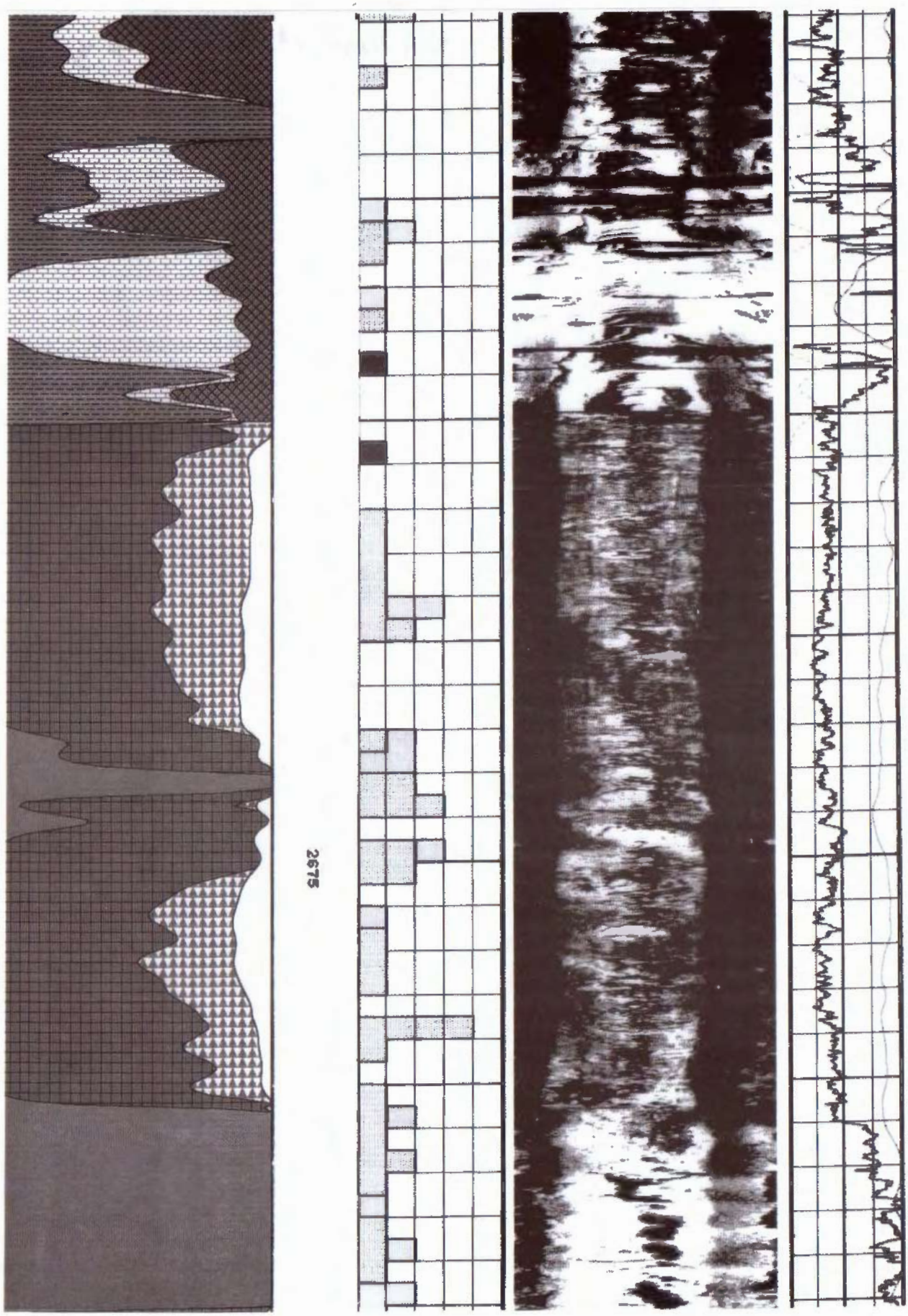
Bogata, jednostavna i lako dohvatljiva ležišta već su u nas, a i u svijetu, dobrim dijelom istražena, te objekti interesa postaju naslage kompleksne geološke građe i teških uvjeta razrade. Pukotine, odnosno prisutnost sekundarnog poroziteta, jedna su od značajnih karakteristika rezervoarskih stijena kompleksne litološke i strukturne građe. Procjena fizikalnih osobina naslaga pri tim uvjetima, istraživanje, razrada i privođenje proizvodnji ležišta ugljikovodika, vrlo su složen zadatak. U takovim naslagama suvremena karotažna mjerenja koja omogućuju dobivanje slike stijenke bušotine imaju još veće značenje nego u stijenama s intergranularnom poroznošću.

Među takve uređaje spada i **CBIL** (*Circumferential Borehole Imaging Log*) koji je kod nas izmjeren na bušotini Crnac-16. To je prvi put da je ta operacija mjerena u našoj zemlji, a kako Naftaplin takvu sondu ne posjeduje mjerenje je izvršila madžarska kompanija MOL.

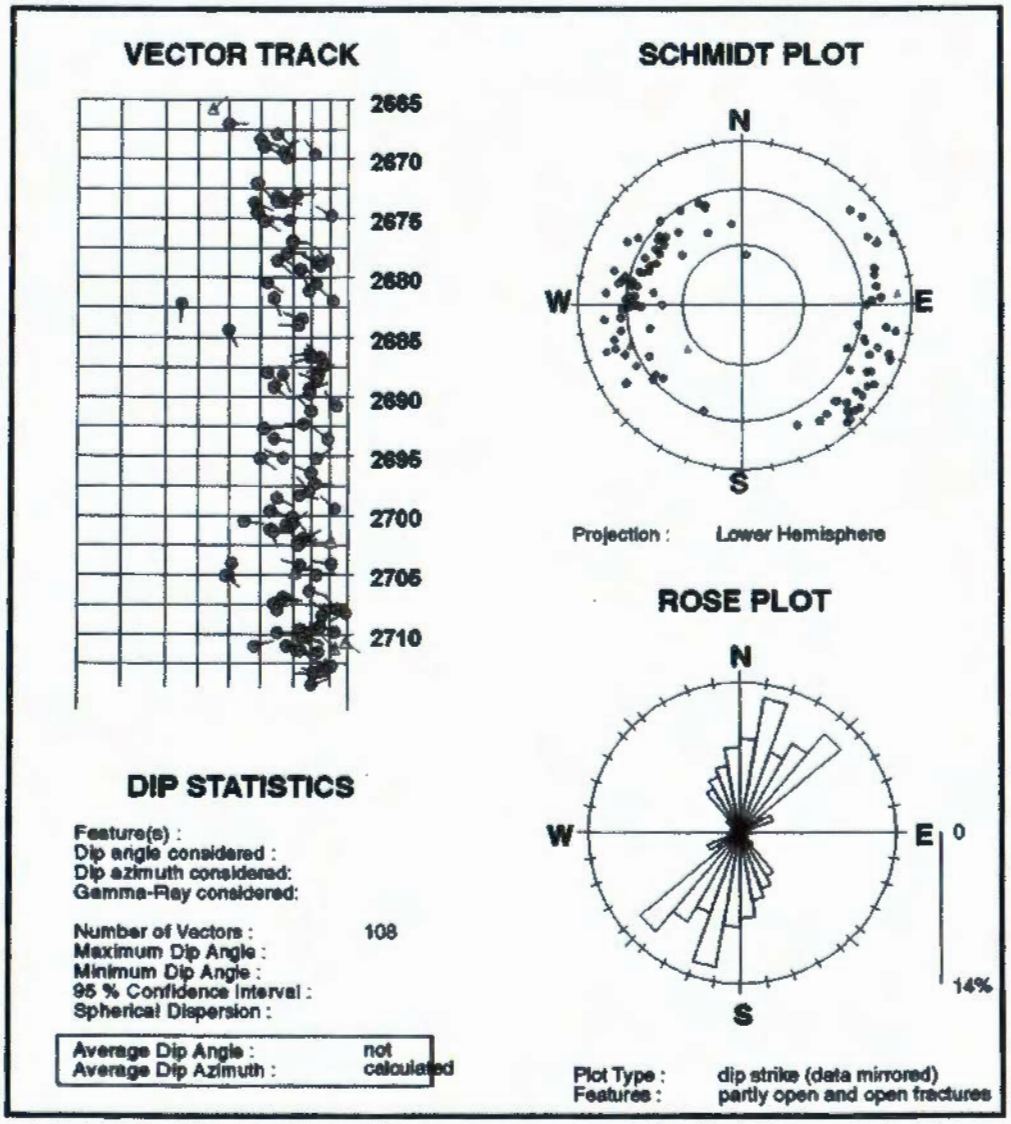
CBIL je zapravo akustični uređaj koji rotira šest puta u sekundi šaljući u formaciju signal od 250kHz. Snimanjem amplitude i prolaznog vremena signala koji se reflektira od stijenke bušotine, dobiva se slika stijenke bušotine s gustoćom zapisa od 160 uzoraka po metru.

Rezolucija CBIL-a određena je kao sposobnost da se razlikuju međusobno vrlo blisko smještene geološke značajke formacije i iznosi oko 1cm. Eksperimentalni podaci pokazali su da je CBIL u mogućnosti otkriti pukotinu debljine svega 0.127mm.

Promjene u litologiji, fizikalnim značajkama stijena (pukotine, lamine, vakuole, itd.), kao i promjene u geometriji kanala bušotine uzrokuju promjene u mjerenoj amplitudi i prolaznom vremenu signala. CBIL uređaj procesira tada te podatke u sliku stijenke bušotine. Takvi, "sirovi" podaci dostupni su u obliku crno-bijelog ploterskog ispisa već na samoj bušotini. Na temelju tog izlaza moguće je suditi o kakvoći izvršenog mjerenja, koja je u našem slučaju bila vrlo dobra. Također je moguće prepoznavati pojedina strukturna i sedimentacijska obilježja probušenih naslaga, identificirati, mjeriti i klasificirati sustave pukotina. To je moguće stoga jer se svaki presjek neke geološke značajke (sloja, rasjeda, pukotine) s bušotinom, a koji nije okomit na os bušotine prikazuje kao sinusoida na dobivenoj slici. U nekim slučajevima moguće je odmah na bušotini razlikovati pojedine facijese, ali najčešće je to moguće jedino usporedbom s jezgrom.



Sl. 3 Slika CBIL-a - ulaz u ležište na bušotini Cr-16.



Sl. 4 Vektorski, Schmidtov i rozetni dijagram ležišnog dijela bušotine Cr-16.

Daljnja obrada podataka moguća je jedino uz upotrebu sofisticiranog kompjutorskog programa VISION koji omogućuje proračun kuta nagiba i smjera pružanja tih geoloških značajki, uzimajući pritom u obzir geometriju kanala bušotine. To je izvedivo stoga jer CBIL na temelju prolaznog vremena omogućuje vrlo precizno mjerenje promjera kanala bušotine. Obzirom da Naftaplin takav program ne posjeduje, interpretacija podataka dobivenih mjerenjem CBIL-a radena je u Nizozemskoj.

Mjerenje CBIL-a obavljeno je na intervalu 2501-2743m. Ulaz u ležište na 2665m jasno je izražen na slici CBIL-a (slika 3).

Na slici 3 u lijevom stupcu prikazana je litološka slika intervala preuzeta iz CRA (Complex Reservoir Analysis) analize. U sredini je slika dobivena obradom CBIL-a, s tim da su ujedno prikazane i pukotine utvrđene na tom intervalu. Crnim pravokutnikom prikazane su otvorene pukotine, sivim djelomice otvorene, dok bijeli pravokutnik predstavlja zapunjene pukotine.

Na temelju toga može se zaključiti da postoji neznatno veća gustoća pojavljivanja pukotina ispod 2665m u ležišnoj stijeni (andezit) u odnosu na krovinu ležišta koja je predstavljena interstratifikacijom vapnenog lapora i tufita.

Valja primijetiti da slika CBIL-a pokazuje značajnu strukturnu razliku između propusnih i nepropusnih intervala. Na slici su propusni dijelovi (ležište) znatno tamniji od tvrđih, nepropusnijih dijelova koji su svjetlijih boja (krovina ležišta). Treba također zamijetiti vidljivu podudarnost između propusnih, poroznijih intervala po CBIL-u i istih takvih utvrđenih CRA analizom.

Bitno je zaključiti da nije moguće uspostaviti izrazitu korelaciju između učestalosti pojavljivanja pukotina i ležišnih intervala, iako je učestalost pojavljivanja pukotina u ležištu neznatno veća. To je bitno za objašnjenje prirode poroziteta na ovom dijelu polja, jer isključuje mogućnost da je efektivni porozitet isključivo rezultat pojavljivanja pukotina. Naprotiv, CBIL sugerira da je u ležišnom dijelu vjerojatno riječ o porozitetu matriksa.

Na slici 4 koja prikazuje vektorski Schmidtov i rozetni dijagram ležišnog dijela bušotine Cr-16 (interval 2665-2714.5 m) vidljiv je strmi nagib pukotina, kao i njihov prevladavajući smjer pružanja SI-JZ. Na temelju tih rezultata moguće je planirati izradu vrlo koso usmjerene bušotine čiji bi kanal trebao biti okomit na smjer pružanja pukotina u ležištu Crnac.

ZAKLJUČAK

Karotažna mjerenja nemoguće je geološki interpretirati nezavisno od ostalih podataka, naročito rezultata ispitivanja jezgara u laboratoriju, geološkog praćenja bušotine, interpretacije seizmičkih mjerenja, rezultata hidrodinamskih mjerenja i svih ostalih relevantnih geoloških informacija. Zapravo, interpretacija karotažnih mjerenja u geološkom objedinjavanju ovih informacija ima ključnu i nezamjenljivu ulogu u širem prostornom smislu, a naročito stoga jer karotaža predstavlja kontinuirani dijagram geoloških karakteristika probušenih formacija duž cijelog profila, dakle u funkciji dubine.

Fizikalni opis ležišta ugljikovodika pretežito postignut na temelju analize karotažnih mjerenja omogućuje kroz kasniju matematičku simulaciju ležišta i kvantitativnu provjeru geološkoga modela.

POPIS KORIŠTENE LITERATURE

FOND STRUčNE DOKUMENTACIJE INA-Naftaplina.

VOIGHT, E. & EBBERN, J. (1994): CBIL image analysis & structural interpretation; well Cr-16.- Western Atlas Geosciences, London.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	225 - 227	ZAGREB 1995

Sedimentacijske osobitosti rijeke Mirne (Istra, Hrvatska)

Marko **JANEKOVIĆ**[1], Mladen **JURAČIĆ**[1] & Ivan **SONDI**[2]

Ključne riječi: alogena krška rijeka, estuarij, granulometrijske i mineraloške značajke, sedimentacija, rijeka Mirna, Istra, Hrvatska

Sažetak

Rijeka Mirna je alogena krška rijeka smještena na zapadnom dijelu Istarskog poluotoka. Iako je hidrološki gledano mala, Mirna unosi u more relativno velike količine materijala koji pretežno nastaje trošenjem eocenskog fliša. Donji tok rijeke Mirne urezan je u karbonatne naslage krede, paleocena i eocena koje ne pridonose značajnije ukupnoj količini riječnog partikulatnog materijala.

Materijal koji Mirna prenosi od izvornog područja do ušća (estuarija) sastavom odgovara izvorišnim fliškim stijenama - čine ga kalcit, kvarc, minerali glina i feldspati, a rezultati granulometrijskih analiza pokazali su da se većina površinskih sedimenata može svrstati u glinovite siltove.

Sedimentacija materijala se odvija neposredno u estuariju, jer se zbog male energije plime i oseke, valova i morskih struja isti ne odnosi dublje u more. Stoga se s vremenom može očekivati zapunjavanje estuarija i promjena tipa ušća u deltu.

UVOD

Riječna ušća, delte i estuariji, su područja taloženja većeg dijela materijala koji nastaje trošenjem kopna i rijekama se prenosi do mora (POSTMA, 1980). Procijenjeno je da prosječno 93-95% materijala što ga rijeke godišnje nose u more zaostaje u ušćima, a samo manji dio stiže do šelfa i dubljeg mora (LISITZIN, 1994).

Cilj ovog rada je bio utvrditi granulometrijske i mineraloške značajke površinskih sedimenata u rijeci i estuariju Mirne (sl. 1), te sedimentacijske procese u ušću.

UZORKOVANJE I ANALIZE

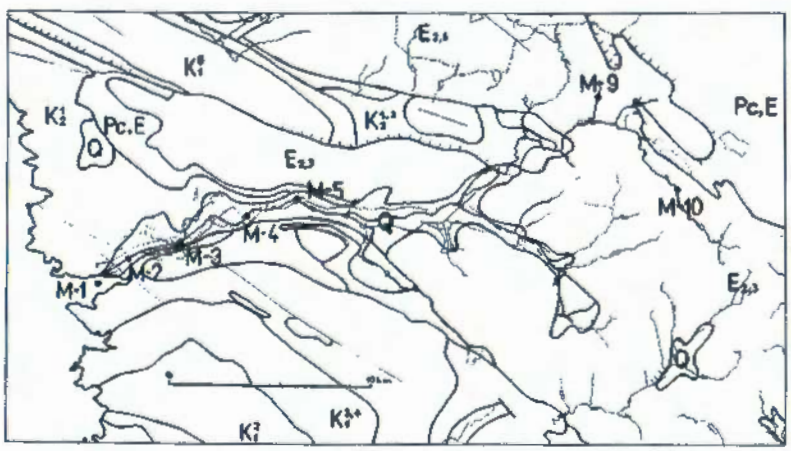
Uzorkovanje je vršeno ručno i upotrebom PVC korera (ronjenjem).

Granulometrijske značajke sedimenata određivane su mokrim prosijavanjem pomoću standardnih ASTM sita, i elektronskim brojačem čestica (Coulter Counter TA II).

Mineralni sastav određen je rendgenskim difrakcijskim analizama upotrebom rendgenskog difraktometra Philips, model PW 1050 s brojačem. Dodatno je određivan udio karbonata volumetrijskom metodom.

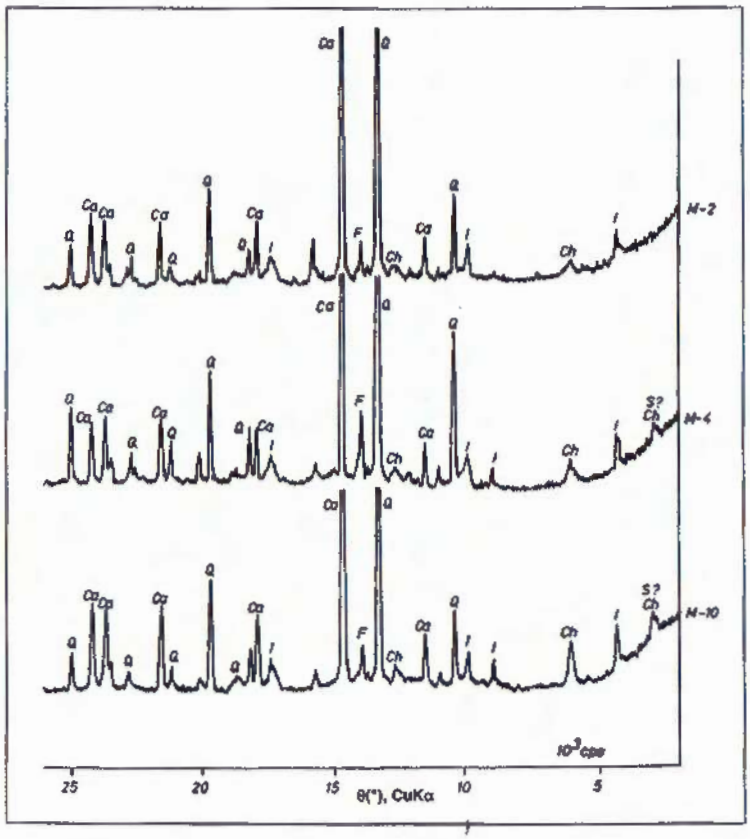
REZULTATI

Mineralni sastav sedimenata iz korita rijeke Mirne (sl. 2 i tablica 1) odražava sastav izvorišnih stijena - eocenskog fliša. Mineraloške značajke tih stijena podrobno su obrađene u ranijim radovima (MAGDALENIĆ, 1972). Prema tim podacima lapori flišnih naslaga sadrže kvarc, feldspate, kalcit i znatne



Sl. 1 Pojednostavljena geološka karta istraživanog terena s lokacijama uzorkovanja (PROJEKT EGPV, 1994). Legenda: K_1^2; $K_1^{3,4}$; K_1^5; K_2^1; $K_2^{1,2}$; Pc, E - pretežno karbonatne naslage; $E_{2,3}$ - flišolike naslage (pješčenjaci i lapori); Q - aluvijalni sedimenti (pijesci, šljunci i gline).

[1]Geološko-paleontološki zavod Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Zvonimirova 8, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2]Centar za istraživanje mora, Institut "Ruđer Bošković", Bijenička 54, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 2 Rendgenske difrakcijske slike površinskih riječnih sedimenata M-2; M-4; M-10.

količine minerala glina (ilit, ilitizirani muskovit, smektit i klorit).

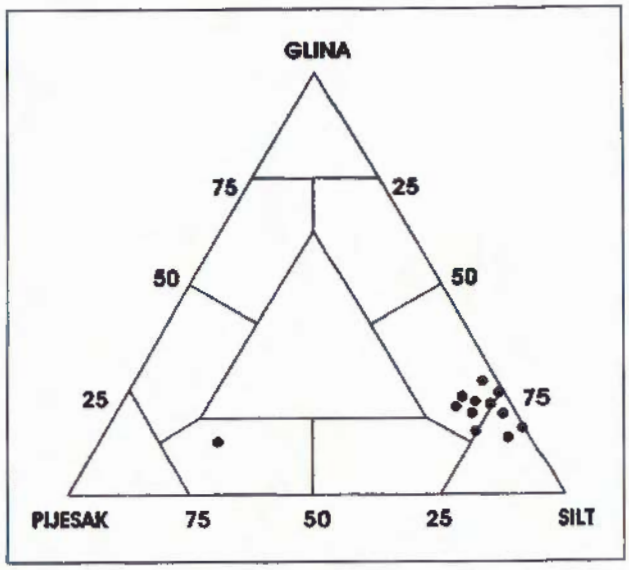
Granulometrijske značajke sedimenata Mirne pokazuju da se radi o materijalu u kojem prevladavaju čestice veličine gline i silta, a većina uzoraka je prema Shepardovoj klasifikaciji (SHEPARD, 1954) svrstana u glinovite siltove (sl. 3). U većini uzoraka udio frakcije manje od 2 μm (čestice veličine gline) iznosi približno 20%, a udio frakcije manje od 63 μm (čestice veličine silta) iznosi više od 85%. Takva raspodjela veličine čestica je u skladu s mineralnim sastavom - visok udio minerala glina uvjetuje visok udio sitnozrnatog materijala (VDOVIĆ et al., 1991).

DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

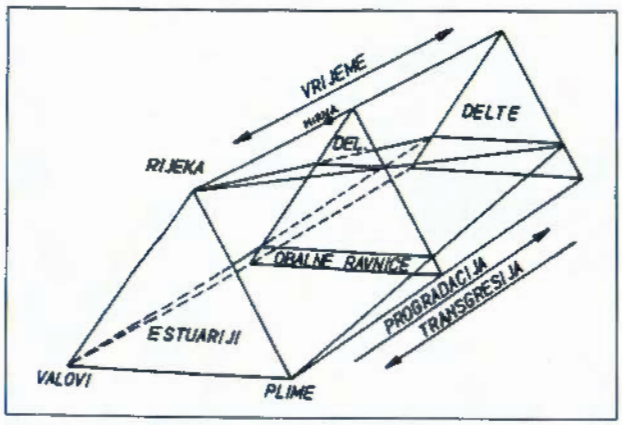
Estuarij rijeke Mirne nalazi se u sjevernom Jadranu gdje su amplitude morskih mijena niske, do 0.8 m (BERTIĆ, 1987). Estuarij ima djelomično zaštićen položaj i spada u mikroplimski okoliš (plime <2 m) niske energije (DAVIES, 1964; ALLEN, 1993). Slivno je područje svojim većim dijelom izgrađeno od fliša koji trošenjem daje znatne količine partikulatnog materijala. Stoga, u hidrodinamičkom smislu estuarij rijeke Mirne predstavlja "neravnotežni" estuarij (FAIRBRIDGE, 1980), što znači da donos materijala i njegovo odnošenje u dublje more nisu u ravnoteži; preteže donos materijala. Može se dakle očekivati da će s vre-

Lokalitet	Ca	Q	F	I	Ch	S?
M-10	+++	+++	+	++	+	(+)
M-4	+++	+++	+	++	+	(+)
M-2	+++	+++	+	++	+	(+)

Tablica 1. Semikvantitativni mineralni sastav površinskih riječnih sedimenata. Legenda: +++ = više od 25%; ++ = 10-25%; + = 5-10%; (+) = do 5%; Ca - kalcit; Q - kvarc; F - feldspati; I - ilit; Ch - klorit; S? - smektit.



Sl. 3 Klasifikacija površinskih riječnih sedimenata (prema SHEPARD, 1954).



Sl. 4 Evolucija obalnih okoliša (DALRYMPLE et al., 1992).

menom rijeka Mirna zapuniti svoj estuarij i promijeniti tip ušća u deltu.

U dijagramu evolucije obalnih okoliša (DALRYMPLE et al., 1992) ušće rijeke Mirne može se locirati u područje pretežitog riječnog utjecaja (sl. 4).

LITERATURA

ALLEN, J.R.L. (1993): An introduction to estuarine lithosomes and their controls.- In: WRIGHT, V.P. (ed.): Sedimentology Review, 1, 123-138, Blackwell, New York.

BERTIĆ, I. (1987): Veliki geografski atlas Jugoslavije.- SNL, Zagreb, 272 p.

DALRYMPLE, R.W., ZAITLIN, B.A. & BOYD, R. (1992): Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications.- J. Sediment. Petrol., 62/6, 1130-1146.

DAVIES, J.L. (1964): A morphogenetic approach to world shorelines.- Zeit. Geomorph. Suppl., 8, 127-142.

FAIRBRIDGE, R.W. (1980): The estuary: its definition and geodynamic cycle.- In: OLAUSSON, E. & CATO, I. (ed.): Chemistry and biogeochemistry of estuaries. Willey, New York, 1-35.

LISITZIN, A.P. (1994): A marginal filter of the oceans.- Okeanologiya, 34/5, 735-747.

MAGDALENIĆ, Z. (1972): Sedimentologija fliških naslaga srednje Istre.- Acta Geol., 7/2, 1-34, Zagreb.

PROJEKT EGPV (1994): Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama.- RGN Fakultet & Hrvatska Vodoprivreda.

POSTMA, H. (1980): Sediment transport and sedimentation In: Olausson, E. & Cato, I. (ed.): Chemistry and biogeochemistry of estuaries. Willey, New York, 153-186.

SHEPARD, F.P. (1954): Nomenclature based on sand- silt-clay ratios.- J. Sediment. Petrol., 24, 151-154.

VDOVIĆ, N., BIŠĆAN, J. & JURAČIĆ, M. (1991): Relationship between specific surface area and some chemical and physical properties of particulates: study in the northern Adriatic.- Mar. Chem., 36, 317-328.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	229 - 233	ZAGREB 1995

Hydrogeology of the Soča River Basin

Jože **JANEŽ**

Ključne riječi: hidrogeologija, Slovenija, Soča, alpski krš, predalpska brda, visoki Dinarski krš

Key words: Hydrogeology, Slovenia, Soča, Alpine karst, Sub-Alpine hills, High Dinaric karst

Sažetak

Rijeka Soča izvire u Julijskim Alpama. Njena dužina u Sloveniji iznosi 95 km, a površina sliva 2270 km^2. Glavni pritoci su kratke, ali izdašne alpske rječice, te rijeke Idrijca, Bača i Vipava. Sliv gradi nekoliko regionalnih hidrogeoloških jedinica. *Alpski krš Julijskih Alpi* s velikim krškim izvorima formiran je u gornjotrijaskim vapnencima. Za *Cerkljansko - Idrijsko predalpsko područje* karakteristično je brzo izmjenjivanje akvikluda i akvifera s pukotinskom poroznošću manje izdašnosti. *Visoki krš Trnovskog gozda, Banjšica i Nanosa* hidrogeološki je srodan drugim područjima dinarskog krša. Posebnu hidrogeološku jedinicu predstavlja eocenski fliš *Vipavske doline*. Referat prikazuje specifične uvjete formiranja podzemnih voda, zaštite njihove kvalitete i vodoopskrbe za svaku od navedenih hidrogeoloških jedinica.

Abstract

The spring of the Soča river is situated in the middle of Julian Alps. The river is on the Slovene territory 95 km long and the area of the river basin is 2270 km^2. Its affluents are numerous short Alpine rivers and the rivers Idrijca, Bača and Vipava. The river basin consists of several regional hydrogeologic units. *Alpine karst of the Julian Alps* is formed in the limestone of the Upper Triassic age. The changing between impervious rocks and fractured rock aquifers characterises the *Cerkno - Idrija sub-Alpine hills*. In hydrogeologic sense the *High Karst of the Trnovo, Banjšice and Nanos plateau* is very similar to the other regions of the Dinaric karst. The Eocene flysch of the *Vipava valley* represents the separated hydrogeologic unit. The paper deals with specific conditions of the underground water origin, its quality protection and the water supply in the region.

INTRODUCTION

The Soča river is something special among the Slovenian rivers. Soča has cultural, historic and national importance, which arises from its geographic position on the border between Slavic and Roman colonisation and influence. The richness and preservation of the natural heritage place the Soča river among the most beautiful rivers in Europe. The river flows on the territory of Slovenia and Italy and it always has also actual interstate importance and status because of the great energetic, water supplying, tourist and other potentials.

The Soča river flows from north towards south and so it crosses Alpine and Dinaric geologic structures. That also affects decisively on the specific physical geography, colonisation, infrastructure and economy of the territory. So, the review of the hydrogeologic conditions in the Soča river basin is not only of local importance. It can be useful for the comparison of underground water origin, its quality protection and the water supply with neighbouring regions.

GEOGRAPHIC DESCRIPTION OF THE SOČA RIVER BASIN

Soča takes its source in the glacial valley Zadnja Trenta in the middle of Julian Alps, 960 meters above the sea level. The most important affluents in the Upper Soča valley are short alpine rivers Krajcarica, Lepena, Koritnica, Glijun, Boka, Učja, Tolminka and Zadlaščica. At Most na Soči the Idrijca river flows into Soča. Its last affluent in Slovenia is the Vipava river.

Julian Alps in the Soča river basin have the shape of long mountain ridges. The highest peaks are Triglav (2864 m), Jalovec (2645 m), Kanin (2587 m) and Krn (2244 m). The highland has no population. In the Soča valley there are small towns Bovec and Kobarid. The region was in the demographic and economic regression since the second world war. In the last few years the redevelopment is based on summer and winter tourism and the exploitation of the natural resources (small hydro-power plants). The climate is alpine, but the warm influence of the Mediterranean is felt deep in the Soča valley. The amount of precipitation reaches 3000 to 4000 mm per year.

The relief with the dense net of surface water characterises the Cerkno and Idrija sub-Alpine hills. Varie-

Geologija d.o.o. Idrija, Prešernova 2, 65280 Idrija, Slovenija.

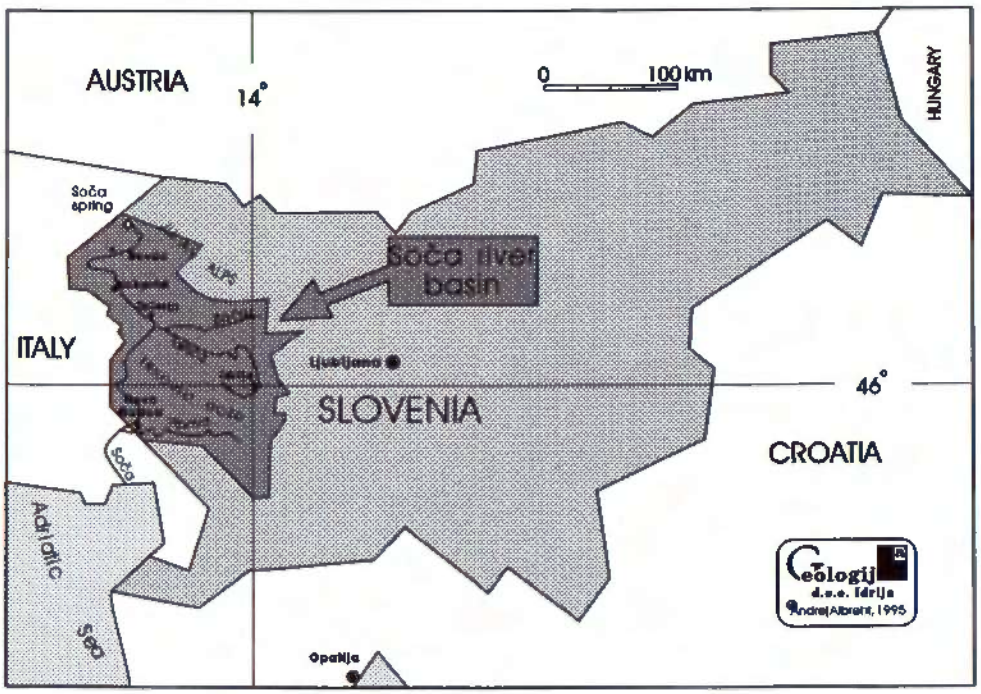


Fig. 1 Geographic position of the Soča river basin.

gated lithologic composition causes, that the terrain is relatively suitable for the agriculture, in spite of difficult morphology. That enables rather dense and proportional colonisation. The administrative centres of this area are Tolmin, Cerkno and Idrija. In valleys the sea level height varies from 200 to 400 meters, the intermediate hills and plateaus are from 600 to 1000 meters high, rarely higher. At the mean yearly temperature between 8 and 9°C the amount of the precipitation reaches from 2000 to 2500 mm per year.

South and south-west of the Idrija - Cerkno hills extend three large Dinaric karst plateaus Trnovski gozd, Banjšice and Nanos. Their west border is the Soča valley from Most na Soči to Nova Gorica. These plateaus stretch out 45 kilometres towards south-east to Postojna basin in the ten to seventeen kilometres wide belt. The average sea level height is from 700 to 1000 meters and over 1400 meters in the highest parts. The mean yearly precipitation varies from 2200 to 3000 mm. The surface built by Mesozoic limestone is mostly wooded. The colonisation has been taking place on proportionally smaller dolomite and flysch areas.

South of the Trnovski gozd and the Nanos plateau is situated the Vipava valley. Its altitude is from 70 to 150 meters above sea level. The valley is five to eight kilometres wide and about 35 kilometres long. Because of the geologic grounding of the soil (Eocene flysch), the influence of the Mediterranean climate (mean yearly temperature approximately 12°C, the amount of precipitation from 1300 to 1600 mm per year) and advantageous geographic position (natural passage towards Italy) the population density is high (Vipava, Ajdovščina, Nova Gorica) and the valley has very good conditions for the agricultural and industrial development.

THE PRINCIPAL FEATURES OF THE GEOLOGIC CONSTITUTION OF THE TERRITORY

The Soča river crosses three geotectonic units: South Alps, Inner and Outer Dinarides (BUSER, 1986). A characteristic feature of the whole territory is thrust faulting. In the Idrija region the thrusting is of the post-Eocene age (MLAKAR, 1969), but in the Julian Alps JURKOVŠEK (1987) put it in Rhodane epoch between Miocene and Pliocene. In the Pliocene the thrust faulting was replaced by the fault tectonics that lasts till today. The regional Northwest - Southeast oriented faults with horizontal and vertical displacements come into existence. In the Upper Soča valley the strongest neotectonic faults have the direction from Southwest towards Northeast and represent the connective faults between Idrija and Sava fault.

The Julian Alps are composed by many overthrusts. Slatna overthrust builds the terrain around Triglav and has no influence on the underground water in the Soča river basin. The Krn overthrust (BUSER, 1986), named also the Julian Alps overthrust (JURKOVŠEK, 1987), represents the biggest part of the Soča river basin. This overthrust consists mostly of the Upper Triassic thick bedded limestone (Dachstein limestone) and Upper Triassic bedded dolomite. Dolomite has smaller extent, but it plays frequently an important role as the relative hydrogeologic barrier. In the footwall of the Krn overthrust there are Kobla and Rut overthrusts. They consist of clastic and carbonate Upper Triassic, Jurassic and Cretaceous beds and build a low permeable or impermeable footwall of the karstified limestone of the Krn overthrust. Towards the South the Podmelec overthrust covers a wide area between the Bača river, Cerkno

Kobarid and Učja. This overthrust consists of pelagic Upper Triassic, Jurassic and Cretaceous rocks. BUSER (1968) includes the Kobla, Rut in Podmelec overthrusts to the Inner Dinarides.

The area south of the line Kobarid - Tolmin - Cerkno belongs to Outer Dinarides. It consists, just as the Julian Alps, of many overthrusts. The Trnovo overthrust covers the biggest part of the area (an important part of the Idrija - Cerkno hills and the whole Trnovski gozd plateau and Banjšice). It is build by Upper Palaeozoic, Triassic, Jurassic, Cretaceous, Palaeocene and Eocene clastic and carbonate rocks. The karst plateau of the Trnovski gozd is build by Upper Triassic, Jurassic and Cretaceous limestone and dolomite. Towards the west, in the direction to Italy, the carbonate beds of the Trnovski gozd are covered by the Palaeocene and Eocene flysch.

The geologic structure in the Idrija region is very complicated because of the lithologic variety of the overthrust units that appear on the surface from under the Trnovo overthrust. These units are the Kanomlja slice (MLAKAR, 1969; PLACER, 1981), called also the Idrija overthrust (BUSER, 1986), the Čekovnik slice, the Koševnik slice (MLAKAR, 1969; PLACER, 1981) and the Hrušica overthrust. The last one appears on the surface only in some small tectonic windows.

The karst plateau of Nanos, build by Jurassic and Cretaceous carbonate rocks, is a part of the Hrušica overthrust. Structurally it continues in the Vipava valley. Flysch of the Vipava valley is devided, according to PLACER (1981), to two thrust units. Northern and central parts belong to the Hrušica overthrust. The southern section is already a part of the Komen thrust sheet.

HYDROGEOLOGY

ALPINE KARST

High mountain ridges dissected by deep river valleys are typical for the morphology of the Julian Alps in the Upper Soča valley region. There are no such Alpine plateaus as appear in Gorenjsko or in Kamnik Alps. The unsaturated zone is from 1500 to even 2000 meters thick. This makes the formation of extraordinary deep potholes possible. Karst ground water concentrates towards the rare but strong resurgences. The consequence of the high amount of precipitation, somewhere over 4000 mm per year, is that resurgence with equal discharge as the spring in the Dinaric karst has much smaller catchment area. Specific discharge is estimated from 7 to 10 l/s/km^2. The most important resurgences in Upper Soča valley are: the Soča spring, Krajcarica, Vrsnica, Lepena, Šumnik in the Bavšica, the Možnica spring, the Koritnica spring, Glijun, Boka, Podlaznica, the Tolminka spring, the Zadlaščica spring and Prošček - the spring of the Kneža river.

Important aquifers in Julian Alps are also Quaternary glacial and fluvial sediments, which fill in the bottoms of the valleys. In the surroundings of Bovec the thickness of Quaternary sediments surmounts 200 or even 300 meters (KUŠČER et al., 1974). The underground water in Quaternary sediments recharges mostly from the karst massifs, but also the hydrodynamic regime of the karst springs is regulated by lower permeability of moraines and alluvial sediments. The snow retardation in mountains in winter and the melting of snow in the late spring have also an important influence on the underground water regime. The total hardness of water is low, from 4 do 6°N, and the level of temperatures is similar. Among the soluble ions Ca^{2+} and HCO^{3-} ion are predominant, the amount of magnesium is lower. The advantages of the majority of waters in the Soča river basin Alpine karst are high discharges, relatively high altitude of resurgences, low degree of pollution and consequently quite good quality of water. The main dangers for the quality of karst water are alpine pastures, mountain lodges, ski tourism and holiday huts situated in the glacial valleys above resurgences.

As mentioned above, the redevelopment of this area is based a great deal on natural resources and the water becomes more and more an object of exploitation. First, the useful quantities of drinking water in Alpine and also in distant sub-Alpine valleys are smaller, because of pollution and climatic changes with more frequent draughts. Not less important is energetic potential of the Alpine waters. Hydrogeologic conditions of the karst in Julian Alps were not studied enough and only a few data is available for the proper spatial planning and for an efficient protection of water quality. The most urgent researches were carried out only when the projects affecting the environment were preparing and when it was to late for deeper and wider estimation of influences. In the same time the natural heritage of the water in the Soča river basin is not sufficiently esteemed. Anyway, the expertise on the Alpine waters is in retard of their importance and the interest to explore the Alpine space. A great deal of the area belongs to the Triglav national park, but the karst water is unsuitably and insufficiently included in the law, that protects the remarquableness of the park. The catchment areas and protection regimes of Alpine karst springs have not been defined yet. Protection of the water quality is in conflict with the mountain tourism. It must also harmonise with the ordering of much wider space. The catchment areas of karst springs in the Soča river basin interweave with those in the basin of rivers Sava Bohinjka and Sava Dolinka and they also extend over the border to Italy.

CERKNO - IDRIJA SUB-ALPINE HILLS

The conditions for quick changing between impervious rocks, rocks with fissured porosity and karstified rocks were created by variegated strathigraphic and lithologic constitution and intensive thrust and fault tectonics. Impervious rocks are Upper Palaeozoic and Triassic shale and sandstone but also Jurassic marlstone

and Cretaceous flysch. Numerous springs with the discharge smaller than 0.5 l/s occur on these rocks. Many times these springs are in use for individual water supply in villages, where there is no common water supplying system.

Fissured rock aquifers are formed in bedded and non-bedded dolomites of Triassic age. Usually the underground water in these aquifers is of very good quality, although the quantity is small. The discharge of the springs usually varies from 0.1 to 1 l/s. Also in hills, 100 to 200 meters deep boreholes can catch 1 do 5 l/s of water and that is enough for the local water supply. The water is of $Mg^{2+}Ca^{2+}HCO^{3-}$ type and of middle hardness (10 do 13°N). The temperature level is from 8 to 9°C. The catchment areas are small and it is relatively simple to protect them.

Karst phenomena occur on smaller parts of the Triassic, Jurassic and Cretaceous limestone, rounded by less permeable rocks. HABIČ (1969) placed these karst areas into the category of isolated karst. The small karst springs can be found in the deep valleys on the contact with less permeable rocks. Ground water in the isolated karst is highly polluted, and the villages regularly meet the problem how to assure the sufficient quantities of drinking water. The most frequent reason for the bad quality of drinking water is bacteriological pollution (faecal bacteria). Sometimes also local inorganic pollution appears, for instance with mineral oils.

THE HIGH KARST OF TRNOVSKI GOZD, BANJŠICE AND NANOS

The karst aquifer of the Trnovski gozd and Nanos plateau is one of the biggest aquifers in Slovenia. The surface area of about 700 km^2 occupies 3.4% of Slovenia and 7.8% of Slovenian karst surface. Underground water gathers in strong karst springs. The common discharge of these springs is about 2 m^3/s in the drought, and about 280 m^3/s at high water (JANEŽ, 1992). Minimal specific discharge is approximately from 1.5 to 3 $l/s/km^2$. Karst spring of the Vipava river, the Hubelj spring near Ajdovščina and the effluent Lijak near Nova Gorica are situated on the contact between the karst aquifer and flysch of the Vipava valley. The springs Podroteja and Divje jezero near Idrija and the Mrzlek spring near Nova Gorica occur on the erosion basis in the bottom of the river valleys. The important characteristics of the area are sinking streams in the marginal flysch and dolomite terrain. In the last twenty years the karst researchers perform a lot of tracing tests, and the underground connections are very well known (GOSPODARIČ & HABIČ, 1976; HABIČ, 1981, 1987, 1989). Larger dolomite areas on the northeastern margin of Trnovski gozd are, in spite of the position on the top of the plateau, also perspective aquifers with fissured porosity. They enable water supply of high villages with drinking water of high quality from springs or pumping boreholes. Otherwise, the bacteriological quality of the biggest karst springs is not good, although it suffices for the water supply. Somewhere intensive purification must be used. At the resurgence Podroteja near Idrija, sometimes the permanent pollutants, such as PCB (JANEŽ, 1993) or mineral oils, occur.

Ten to fifteen years ago the communes Nova Gorica and Ajdovščina legalise the protection areas and the protection regimes of the Mrzlek and Vipava catchment area, but only for their own territory. Such local and partial protection of the catchment area, using administrative instead of hydrogeological borders, did not bring satisfactory results. Later, projects for protection of the whole karst aquifer were made, but they have not get their legal epilogue yet. So, serious attempt for the protection of almost unreplaceable water richness, is still half-way.

EOCENE FLYSCH OF VIPAVA VALLEY

The flysch of the Vipava valley is impervious lateral barrier for the karst water of Trnovski gozd and Nanos. Eocene flysch, composed by alternating thin beds of quartz sandstone and marlstone with inlayers of limestone breccia, is in general an impervious rock series. On the other side, beds of limestone breccia are relatively good collectors of underground water. In advantageous structural conditions limestone breccia can accumulate important quantities of underground water. So, the minimal discharge of the strongest spring in flysch of Vipava valley reaches 20 l/s. Also the shallow karst arises locally in the limestone breccia. Small quantities of water can be captured by hydrogeologic boreholes practically anywhere under the level of erosion basis. This water is not needed for now, because the resurgences from the edge of Trnovski gozd plateau are used for the water supply in this region.

REFERENCES

BUSER, S. (1986): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač listov Tolmin in Videm.- Zv. geol. zav. Beograd.

GOSPODARIČ, R. & HABIČ, P. (1976): Underground Water Tracing. Investigations in Slovenia 1972-1975.- Inst. Karst Research, Ljubljana, 312 p.

HABIČ, P. (1969): Hidrografska rajonizacija krasa v Sloveniji.- Krš Jugoslavije, 6, 79-91, Zagreb.

HABIČ, P. (1981): Kraški izvir Mrzlek, njegovo zaledje in varovalno območje (Mrzlek karst spring, its catchment and protection area).- Acta carsologica, X, 45-73, Ljubljana.

HABIČ, P. (1987): Sledilni poskus na kraškem razvodju med Idrijco, Vipavo in Ljubljanico (Water tracing test on the karst watershed among Idrijca, Vipava and Ljubljanica).- Acta carsologica, XVI, 105-118, Ljubljana.

HABIČ, P. (1989): Kraška bifurkacija Pivke na jadransko črnomorskem razvodju (Pivka karst bifurcation on Adriatic - black Sea watershed).- Acta carsologica, XVIII, 233-264, Ljubljana.

JANEŽ, J. (1992): Varovanje kraških vodnih virov Trnovsko Banjške planote.- Zb. ref. 3. posvet. Onesnaževanje in varstvo okolja - geologija in tehnika za okolje, Zav. za tehn. izobr., Ljubljana.

JANEŽ, J. (1993): Poliklorirani bifenili in motnost v kraškem izviru Podroteja.- Idrijski razgledi XXXVII, 1992/1-2, 99-106, Idrija.

JURKOVŠEK, B. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač listov Beljak in Ponteba.- Zv. geol. zav. Beograd.

KUŠČER, D., GRAD, K., NOSAN, A. & OGORELEC, B. (1974): Geološke raziskave soške doline med Bovcem in Kobaridom (Geology of the Soča Valley between Bovec and Kobarid).- Geologija, 17, 425-476, Ljubljana.

MLAKAR, I. (1969): Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja (Nappe Structure of the Idrija-Žiri Region).- Geologija, 12, 5-72, Ljubljana.

PLACER, L. (1981): Geološka zgradba jugozahodne Slovenije (Geologic Structure of Southwestern Slovenia).- Geologija, 24/1, 27-60, Ljubljana.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	235 - 237	ZAGREB 1995

Thermal Fatigue of Building Stones from Slovenia

Simona **JARC**[1], Ana **MLADENOVIČ**[2] & Breda **MIRTIČ**[1]

Key words: Thermal fatigue, Building stone, Limestone, Igneous rock

Abstract

Weathering investigations of ten types of igneous and non-igneous rocks from Slovenia (limestones, breccia, sandstone, tonalite, cezlakite) have been carried out by means of laboratory tests. An experimental device has been developed appropriately to obtain hot conditions alternating with room temperature and wet conditions as well by immersion in the distilled water.

Quantitative effects are emphasized in the text and in photographic documentary (made by optical microscope). Furthermore, the weight loss has been determined too. In order to verify the used test on Slovenian building stones, which AIRES-BARROS et al. (1975) and AIRES-BARROS (1977) have introduced in samples from Portugal, adequate experiments have been performed.

INTRODUCTION

Different kinds of sediment, igneous or metamorphic rocks with different technical quality can be used as building and ornamental stone. Structure, petrographic composition and kind of environment to which the rock is exposed influent the durability of used stone. Among the most important factors (the most aggresive) of stone alteration are water and (changing) temperature (AIRES-BARROS et al., 1975). The water dissolves rock minerals and hydrates present salt minerals (AMOROSO et al., 1983). Pores enable the water to penetrate into the rocks and therefore causes the salt crystallization. Water transportes salts into the rocks and leaches them out as well. While the rocks are hydrophillic, the water can penetrate into the smallest pores. Microcracks allow air pollutants to penetrate the rock and cause its decay.

Most of the damage in the stone buildings and monuments occurs not during the absorption of water, but during the drying processes. Temperature is one of the most influencing factors concerned with drying velocity and (indirectly) with velocity of weathering. Insolation influences the rock dillatation and consequently its degradation. The rock dillatation is the consequence of constitutional crystalls dimensions, of bonding forces between the constituent particles and rocks anisotropy (BILBIJA, 1984). Besides the most important factors - the influence of environment and human activity - physical-chemical equilibrium degree, to which the rock is exposed, influences the rock durability also.

MATERIALS AND METHODS

For examinations have been used ten different types of natural stones from Slovenia (constituents are in vol.%):

- Upper Cretaceous shallow marine limestone - *unito* is a massive biomicrite limestone including 70% of micrite partially recrystallized into microsparite and 30% of fossil fragments (dimensions 0.5 up to 2 mm) (sample 1 in Figs. 1 and 2),
- Upper Cretaceous shallow marine limestone - *fiorito* is a massive biomicrite limestone including 55% of micrite to microsparite and 40% of fossil fragments (from 0.2 up to 10 mm) (sample 2 in Figs. 1 and 2),
- Upper Cretaceous limestone represents a massive biosparite limestone including 55% of microsparite to sparite matrix and 40% of fossil fragments with dimensions up to 60 mm (sample 3 in Figs. 1 and 2),
- variegated cordevol limestone. This is a massive biomicrite limestone with transition into dismicrite with small white and red calcite veins. Composition: 80% of micrite and 20% of allochems (sample 4 in Figs. 1, 2 and 3),
- Cretaceous dolomitized limestone is a massive dolomitized intrabiomicrite. Matrix is partially recrystallized micrite (70%) including 20% of fossil fragments and 10% of intraclasts (sample 5 in Figs. 1 and 2),
- Cretaceous shallow marine limestone is a massive, compact and dense dismicrite. Composition: 85% of micrite and 15% of sparite (sample 6 in Figs. 1 and 2),
- Cretaceous coarse grained breccia has a homogene structure containing lithic fragments (from 0.1 up to 2

[1]Dept. of Geology, University of Ljubljana, Aškerčeva 12, 61000 Ljubljana, Slovenia.
[2]National Building and Civil Engineering Institute Ljubljana, Dimičeva 12, 61000 Ljubljana, Slovenia.

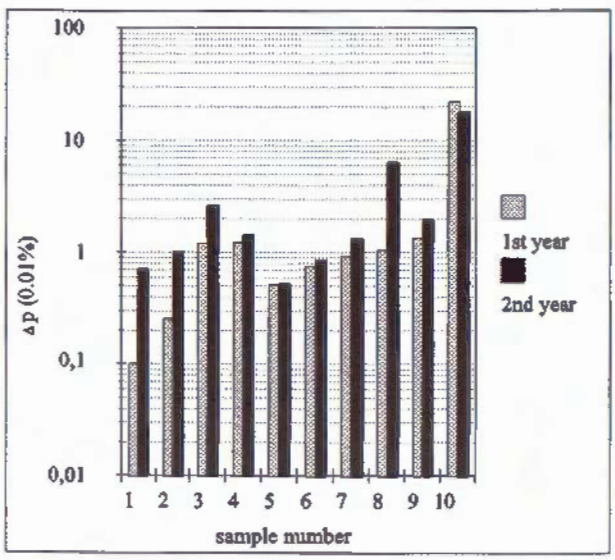


Fig. 1. Loss of mass of investigated samples at dry ageing conditions determined after the equation: $Dp = (m_o-m_i)/m_o$ (%x10^{-2}) where m_i is the mass of sample after one and two years of ageing and m_o is the mass of sample before the test.

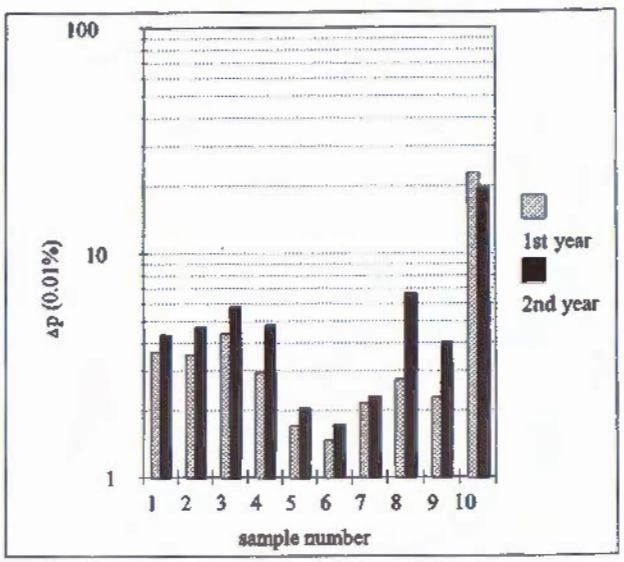


Fig. 2. Loss of mass of investigated samples at wet ageing conditions.

cm) and micrite. The matrix contents some clayey and chloritic components (sample 7 in Figs. 1 and 2),

- tonalite or quartz diorite from Miocene age. This is a dense igneous rock including 60% of feldspars, 15% of quartz, 14% of biotite, 5% of potassium feldspar grains with dimensions from 0.2 up to 4 mm (sample 8 in Figs. 1, 2 and 3).
- cezlakite from Miocene age is a dense igneous rock including 73% of hornblende and augite, 20% of feldspars and 5% of quartz grains (from 0.1 up to 6 mm) (sample 9 in Figs. 1 and 2),
- Eocene calcarenite is a finegrained (dimensions about 0.1 mm). It has a homogene structure. Composition: 67% of sparite, limestone grains and extraclasts, 20% of quartz and quartzite, 4.5% of claystone etc. (sample 10 in Figs. 1, 2 and 3).

Two polished samples with dimensions of 5x5x1 cm have been made from each type of used stones (AIRES-BARROS at al., 1975; AIRES-BARROS, 1977). Before the investigation they have been weighted and photographed (the polished surfaces). One sample has been heated for 10 minutes at +70°C and then cooled to +20°C in the air, the other has been after the heating cooled in distilled water to +20°C for 5 minutes. Each cycle has lasted for 15 minutes, therefore 366 cycles for 91.5 hours in laboratorium, what equals one year of weathering in nature. After the simulation of one and two years of natural ageing, samples have been weighted and photographed (the samples surfaces) again. Investigations are still continuing until 5 years of weathering will be reached.

RESULTS AND DISCUSSION

The changing of masses after the one and two years of samples ageing are presented in Figs. 1 and 2. Eocene calcarenite has been the most decayed type of stone in the air and in the water as well, already after one and two years of weathering. Investigated rocks weathered at alternating heating and cooling in the water (for the most part of samples) have lost the mass two times quicker than those cooled at dry conditions. Results of alternating heating and cooling in the air have shown that samples of limestone are more durable than igneous rocks. The loss of mass is greater at limestones samples at wet conditions of testing. Photos of polished surfaces of investigated samples after the one year fatigue have shown new microcracks, growing of primare pores, and cracks (Fig. 3). The rocks have lost glitering of polished surface and some (especially coloured) the colour with the time of ageing.

The financial support of the Ministry of Science and Technology, Republic of Slovenia, is gratefully acknowledged.

REFERENCES:

AIRES-BARROS, L., GRACA, R.C. & VELEZ, A. (1975): Dry and Wet Laboratory Tests and Thermal Fatigue of Rocks.- Eng. Geol., 9, 249-265, Amsterdam.

AIRES-BARROS, L. (1977): Experiments on Thermal Fatigue of Non-igneous Rocks.- Eng. Geol., 11, 227-238, Amsterdam.

AMOROSO, G.G. & FASSINA,V. (1983): Stone Decay and Conservation, Atmospheric Pollution, Cleaning, Consolidation and Protection.- Amsterdam

BILBIJA, N. (1984): Tehnička petrografija.- Beograd

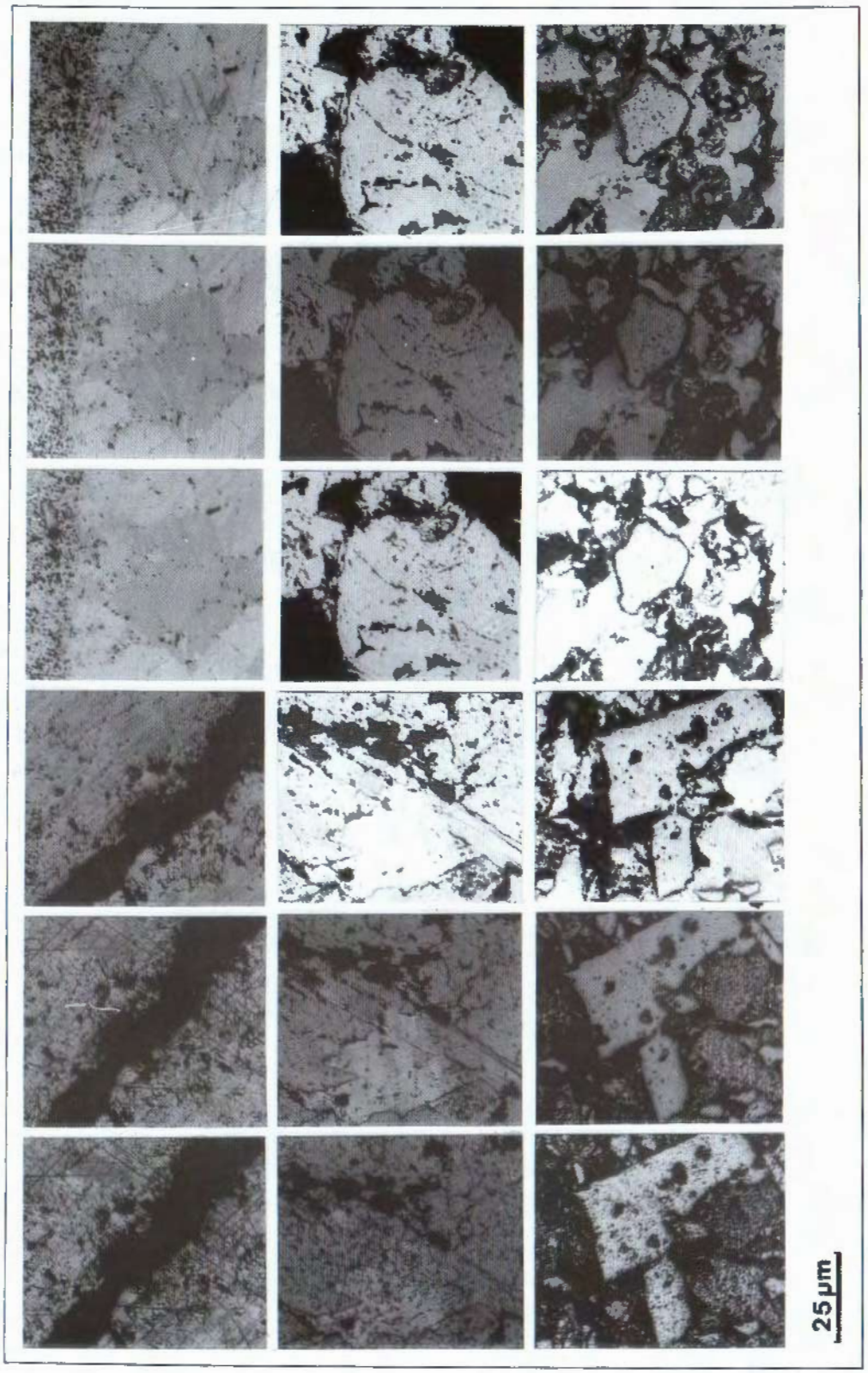


Fig. 3. Polished surfaces of representative samples 4, 8 and 10 (left, middle and right column) before test (first and fourth row), after one and two years of ageing at dry conditions (second and third row), after one and two years of wet ageing conditions (fifth and sixth row). Photo: M. Udovč.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	239 - 244	ZAGREB 1995

Prilog metodologiji inženjerskogeološkog i geotehničkog modeliranja kod brana

Ibrahim **JAŠAREVIĆ**[1], Darko **IVIČIĆ**[2] & Božidar **BIONDIĆ**[2]

Ključne riječi: inženjerskogeološki i geotehnički modeli, lučna brana, koeficijent asimetrije

Key words: Engineering-geological and geotechnical models, Arch dam, Asymmetry coefficient

Sažetak

Kroz primjere projektiranja odnosno izbora tipa brane na pregradnim mjestima za HE Lešće i HE Lučica ukazuje se na bitnost istražnih inženjerskogeoloških i geotehničkih radova. Ističe se značaj kompjutorske programske podrške čime je omogućena statistička obrada velikog broja snimljenih strukturno-tektonskih elemenata. Prema tim elementima snimljenim na površini terena, u istražnim galerijama, u bušotinama i prema geofizičkim ispitivanjima, kao i prema "in situ" i laboratorijskim ispitivanjima izrađen je integralni inženjerskogeološki model, izvršena inženjerska klasifikacija izdvojenih stijenskih blokova i izrađen je geotehnički model s izborom geotehničkih parametara neophodnih za odgovarajuće proračune brane.

Sintezom i analizom ranije provedenih istraživanja za HE Lešće metodom inženjerskogeološkog i geotehničkog modeliranja, temeljem izdvojenih tektonskih blokova, a prema "Q" i "RMR" klasifikacijama utvrđen je koeficijent asimetrije pregradnog profila lijeve i desne obale (1:1.3 do 1:1.8), koji se bitno razlikuje od ranije definiranog, pa su i rješenja tehnički i ekonomski drugačija, umjesto gravitacijsko-betonske brane - lučna brana.

Abstract

The significance of engineering-geological and geotechnical works was proven on the example of design and selection of dam type at HPP Lešće and HPP Lučica. The importance of computer-aided program support is being emphasised, since it enables statistical processing of numerous recorded structural and tectonic elements. Integral engineering and geological model has been derived according to the above elements recorded on the terrain surface, in exploratory galleries and boreholes, and on the basis of geophysical investigations, "in situ" and laboratory tests. Engineering classification of singled out rocky blocks has been carried out and geotechnical model elaborated with selected geotechnical parameters required for appropriate dam calculations.

The synthesis and analysis of previously performed explorations for HPP Lešće was carried out by the application of engineering-geological and geotechnical modeling on the basis of singled out tectonic blocks and according to "Q" and "RMR" classification. In this way, the asymmetry coefficient of the dam profile on left and right river bank has been determined (1:1.3 to 1:1.8). It significantly deviates from the previously defined one, so that the solutions differ as regards technical and economic point of view, i.e. instead of gravitational concrete dam - the arch dam.

1. UVOD

U posljednjih desetak godina u Hrvatskoj se posebna pažnja pri izgradnji brana, ali i drugih objekata u čvrstim stijenama, posvećuje inženjerskogeološkom i geotehničkom modeliranju. Računarska tehnika omogućuje statističku obradu velikog broja snimljenih strukturno-tektonskih elemenata i unos tih rezultata u geotehnički i proračunski model kao što je npr. program FLAC (Fast Langrangian Analysis of Continua).

Naša je namjera da temeljem primjera brana Lučica na rijeci Korani i Lešće na rijeci Dobri prikažemo neke od mogućnosti takovog pristupa. Radi se o opće prihvaćenoj metodologiji i odgovarajućim aktivnostima od strane International Commision of Large Dams (ICOLD) i International Society for Rock Mechanics (ISRM). Vrijednost ove metode posebno je izražena pri izboru tipa brane. Čak i kompleksna istraživanja bez adekvatne analize mogu rezultirati odabirom neadekvatnog tipa brane.

2. PRIKAZ STANJA U SVIJETU U IZRADI IGM I GM

U sklopu racionalnog i ekonomičnog projektiranja i građenja objekata u stijenskim masama nastoji se predvidjeti ponašanje masiva u kome se grade veliki objekti (betonske i nasute brane, tuneli, podzemni objekti, veliki zasjeci, kamenolomi, mostovi itd...). Upravo praktični zahtjevi za predviđanje i uvođenje numeričkih vrijednosti u do tada deskriptivnom vrednovanju stijenske mase, nametali su potrebu razvoja klasifikacija temeljenih na bodovanju različitih parametara.

[1]Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, A.K. Miošića 26, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2]Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.

BIENIAWSKI (1973) za "RMR" klasifikaciju (jednoaksijalna tlačna čvrstoća, indeks kvalitete jezgre, razmak, stanje i orjentacija pukotina, podzemna voda) daje numeričke vrijednosti sistemom bodovanja. Gotovo istodobno i BARTON (1974) razvija "Q" sistem klasifikacije u kojem pridružuje određene brojčane vrijednosti strukturnim i mehaničkim svojstvima stijenske mase (indeksu kvalitete jezgre, broju sistema pukotina, indeksu hrapavosti stijenke pukotine, indeksu pukotinske ispune i faktoru redukcije pukotinske vode odnosno faktoru redukcije naprezanja).

Prema preporukama ITA (International Tunnelling Association, 1988) pristup projektiranju podzemnih objekata odvija se slijedom aktivnosti:

- Prethodna istražna bušenja (inženjerskogeološka kartiranja, geofizička i geotehnička ispitivanja);
- Klasifikacije stijenskih masa;
- Izrada inženjerskogeološkog modela (IGM);
- Izrada geotehničkog modela (GM);
- Proračun stabilnosti, stanja naprezanja i deformacija - računski modeli (CM);
- Analiza rezultata provedenih proračuna s dimenzioniranjem elemenata građevine (temelji, podgrada i sl.).

Mnogobrojna ranija i najnovija istraživanja u svijetu (EINSTEIN, 1993; YUFIN, 1993) ukazuju na neophodnost uvažavanja uobičajenih postupaka pri izvođenju inženjersko-geoloških i geotehničkih istraživanja.

U ocjeni "ponašanja" stijenske mase EINSTEIN (1993) ističe izuzetni značaj poznavanja stanja pukotina i pukotinskih sistema. Stohastičko modeliranje pukotina omogućava prikaz podataka o geometriji diskontinuiteta i formuliranje inženjerskogeoloških modela kao i njihovo ukomponiranje u modele pouzdanosti. Pri donošenju konačnog zaključka uvodi analizu rizika i ističe stalno prisutni problem - skupljanje informacija uz greške pri mjerenju kao što su:

- neadekvatni geološki modeli (trodimenzionalni model na bazi jednodimenzionalnih i dvodimenzionalnih informacija),
- nezadovoljavajuća aproksimacija zbog pomanjkanja znanja o mehaničkom efektu stijenskih mostova (prekid kontinuiteta pukotina), njihovoj deformaciji i lomovima,
- formuliranje zaključaka na bazi prihvatljivog rizika.

YUFIN (1993) daje inženjersko-geološki model na bazi inženjerskogeoloških istraživanja, zatim svojstva stijena i primarnog stanja naprezanja u stijenskom masivu.

3. PRIKAZ STANJA U NAŠOJ ZEMLJI

U tijeku projektiranja i građenja velikih objekata i u našoj zemlji pored već uobičajenih postupaka s izradom inženjerskogeoloških profila sve više se koriste spomenute klasifikacije i uvode korelacijske ovisnosti na osnovu ispitivanja "in situ" (CR. PLT, RQD).

U prikazu trase prometnice Solin-Klis ŠESTANOVIĆ et al. (1993) na bazi istraživanja ističu da bi se jednostavnim metodama i uz relativno mali broj laboratorijskih analiza mogle odrediti i kvantificirati prosječne karakteristike "cjelina" čvrstih stijena i statistički odrediti rasponi unutar kojih mogu varirati pojedina fizičko-mehanička svojstva. Potrebno je metodologiju inženjerskogeološke klasifikacije i opis karakteristika čvrstih stijena uskladiti s metodama koje se primjenjuju u mehanici stijena (upute ISRM-a 1981).

U prikazu primjera potencijalno nestabilne kosine kamenoloma dolomita BRAUN et al. (1993) daju "RMR"-klasifikaciju stijenske mase prilagođenu određivanju stabilnosti kosina (ROMANA, 1985). Izdvojeni su elementi za ocjenu kvalitete uz tektonsku zonu i za kompaktniji dio stijenske mase.

Na primjeru izrade tunelske podgrade u vrlo lošim stijenskim kategorijama JAŠAREVIĆ & KOVAČEVIĆ (1994) su prikazali inženjerske klasifikacije s izdvojenim kategorijama stijenskih masiva u priobalnom pojasu Jadranskog mora.

Za potrebe projektiranja betonskih brana (HE Lešće na rijeci Dobri, te HE Lučica na Korani) izvršena su opsežna inženjerskogeološka i geotehnička ispitivanja stijenske mase. Obrađeni su inženjerskogeološki parametri i dane njihove numeričke vrijednosti na osnovu analize više elaborata i studija.

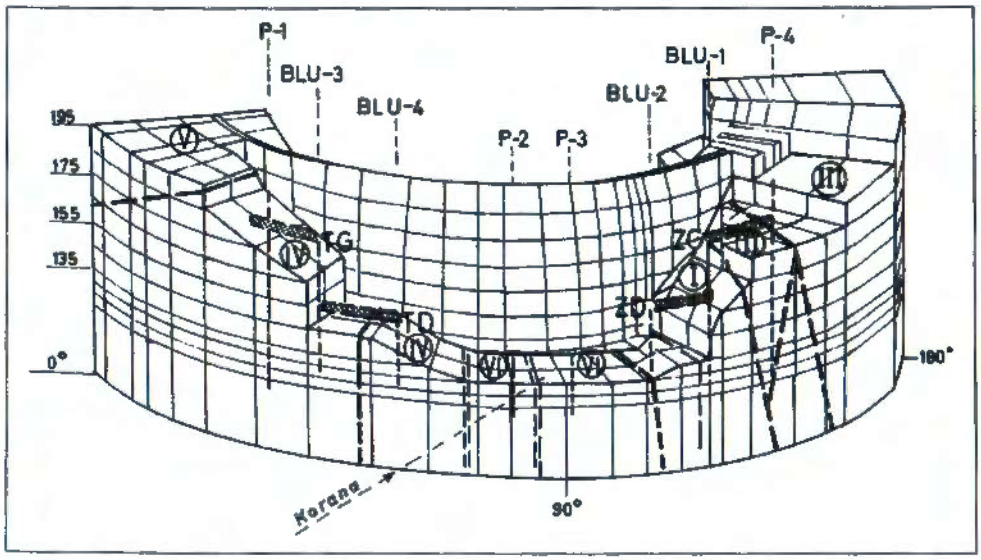
4. PRILOG METODOLOGIJI IG I GEOTEHNIČKOG MODELIRANJA KOD BRANA NA PRIMJERU HE LUČICE I HE LEŠĆE

Radi energetskog korištenja voda rijeke Korane predviđena je izgradnja lučne betonske brane u području Lučica i stvaranje akumulacije ukupnog volumena od 295 x 10^6 m^3. Brana je locirana u kanjonskom dijelu korita s temeljnom plohom na koti 125 m n.m. Kruna brane nalazi se na koti 195 m n.m. Projektirana je kao asimetrična ljuska čija dužina u kruni iznosi 252 m s debljinom u temeljnoj spojnici od 11,4 m a u kruni iznosi 3,3 m (sl. 1).

Istražni radovi izvedeni su u nekoliko navrata, a sastojali su se od izrade prethodnih geoloških, hidrogeoloških, seizmoloških, neotektonskih, seizmo-tektonskih i inženjersko-seizmoloških istraživanja šireg akumulacijskog prostora i izrade detaljne hidrogeološke i inženjerskogeološke karte pregradnog područja M 1:500. Izvedeno je 17 bušotina s ukupno 1275 m' u kojima su vršena geofizička ispitivanja i ispitivanja vodopropusnosti, a za potrebe glavnog projekta izvedeno još pet bušotina i četiri istražne galerije (sl. 1).

Na osnovi provedenih istraživanja analizirane i sintentizirane su sve postojeće podloge i izrađeni modeli:

- **Integralni inženjerskogeološki model** koji obuhvaća litološki sastav, tektoniku, ispucalost, vodopropusnost, brzine elastičnih valova, električnu otpornost,



Sl. 1 Prostorni model lučne brane Lučice ("Elektroprojekt") s izdvojenim istražnim radovima.

seizmičnost, deformabilnost, parametre otpornosti pri smicanju.

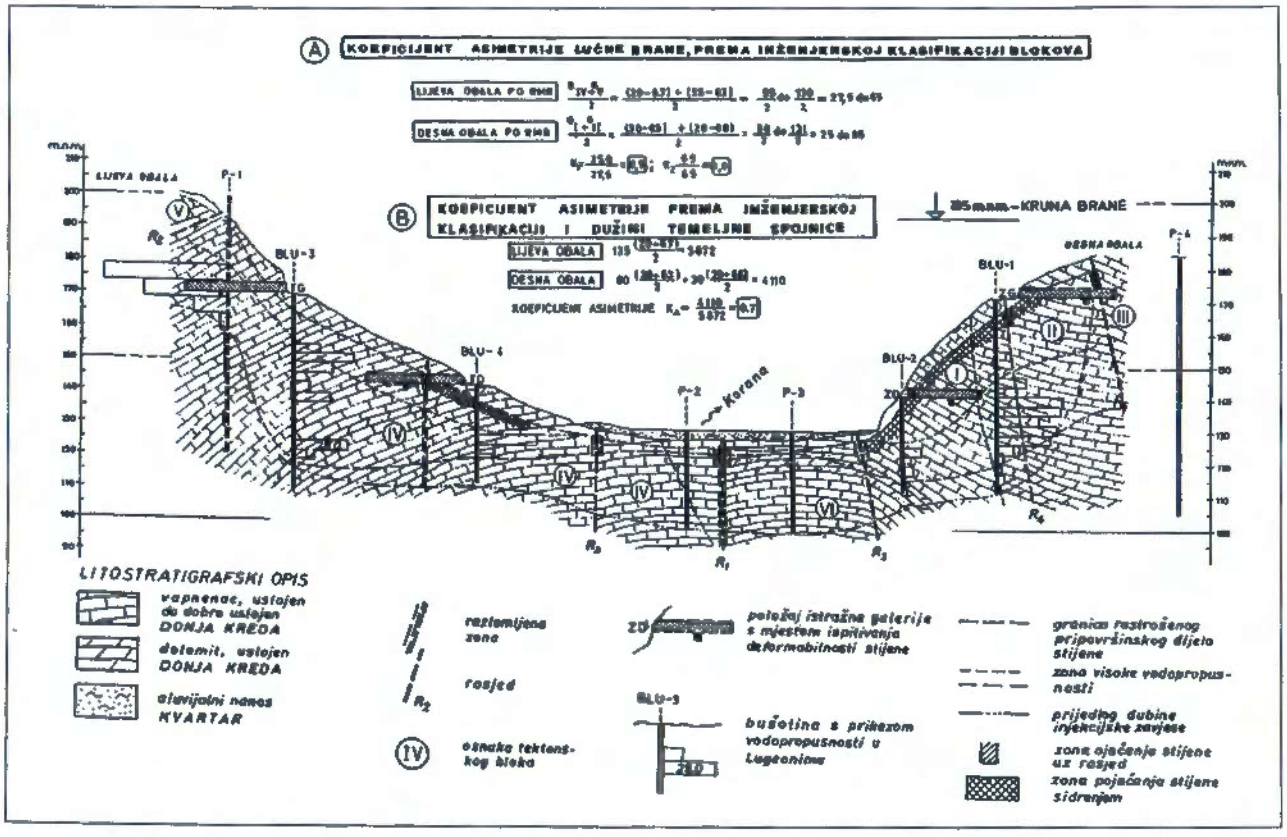
• **Geotehnički model** s izdvojenim blokovima i njihovim geotehničkim svojstvima.

• **Model geotehničkih radova** (temeljenje, injekcijska zavjesa, pojačanje stijenskog masiva.)

Prema strukturno tektonskim elementima snimljenim na površini terena, u istražnim galerijama i bušotinama, geofizičkim ispitivanjima, geotehničkim laboratorijskim i "in situ" ispitivanjima stijenski masiv pregradnog područja podijeljen je u šest karakterističnih blokova (sl. 1 i 2).

Kod izrade geotehničkog modela najprije je napravljen IG model s izdvajanjem tektonskih blokova i njihovim inženjerskim klasifikacijama, a zatim je izrađen geotehnički model s izborom geotehničkih parametara blokova uglavnom na bazi "in situ" ispitivanja.

U tablici 1 prikazana je kategorizacija stijenske mase iz broja bodova prema "RMR" klasifikaciji i oznake kategorija pojedinih blokova na pregradnom profilu Lučica. Za svaki blok je izvršen odabir prosječnih brzina uzdužnih elastičnih valova (v_p), modula deformabilnosti i modula elastičnosti, te parametara



Sl. 2 Geotehnički model na pregradnom mjestu HE "Lučica".

TEKTON. BLOK	ZBROJ BODOVA	V_p (m/s)	OZNAKA KATEGORIJE STIJENSKE MASE IZ BROJA BODOVA KATEGORIJE	OPIS	KATEGORIJA	ZBROJ BODOVA
I	30-63	3000	II-IV	vrlo dobra stijena	I	100-81
II	20-68	3500	II/IV	dobra stijena	II	80-61
III	38-58	3000	III/IV	povoljna stijena	III	60-41
IV	20-67	3000-3500	II/IV	slaba stijena	IV	40-21
V	35-63		II/IV	vrlo slaba stijena	V	<20
VI	15-42	2000	IV/V			

BLOK I

$D_{MIN} = 2500\,MN/m^2; E_{MIN} = 5000\,MN/m^2; \upsilon = 0.30$
$D_{MAX} = 10000\,MN/m^2; E_{MAX} = 20000\,MN/m^2; \upsilon = 0.20$
$\gamma = 27\,KN/m^3$
$\frac{\varphi_r}{C_r} = \frac{30^\circ}{40KN/m^2}; \frac{\varphi_v}{C_v} = \frac{34^\circ}{90KN/m^2}$

BLOK II

$D_{MIN} = 3200\,MN/m^2; E_{MIN} = 6400\,MN/m^2; \upsilon = 0.30$
$D_{MAX} = 12000\,MN/m^2; E_{MAX} = 24000\,MN/m^2; \upsilon = 0.20$
$\gamma = 27\,KN/m^3$
$\frac{\varphi_r}{C_r} = \frac{32^\circ}{80KN/m^2}; \frac{\varphi_v}{C_v} = \frac{40^\circ}{120KN/m^2}$

BLOK IV

$D_{MIN} = 3200\,MN/m^2; E_{MIN} = 6400\,MN/m^2; \upsilon = 0.30$
$D_{MAX} = 13000\,MN/m^2; E_{MAX} = 26000\,MN/m^2; \upsilon = 0.20$
$\gamma = 27\,KN/m^3$
$\frac{\varphi_r}{C_r} = \frac{32^\circ}{80KN/m^2}; \frac{\varphi_v}{C_v} = \frac{40^\circ}{120KN/m^2}$

BLOK V

$D_{MIN} = 3200\,MN/m^2; E_{MIN} = 6400\,MN/m^2; \upsilon = 0.30$
$D_{MAX} = 10000\,MN/m^2; E_{MAX} = 20000\,MN/m^2; \upsilon = 0.20$
$\gamma = 27\,KN/m^3$
$\frac{\varphi_r}{C_r} = \frac{38^\circ}{80KN/m^2}; \frac{\varphi_v}{C_v} = \frac{43^\circ}{120KN/m^2}$

BLOK VI

$D_{MIN} = 1500\,MN/m^2; E_{MIN} = 3000\,MN/m^2; \upsilon = 0.35$
$D_{MAX} = 4000\,MN/m^2; E_{MAX} = 8000\,MN/m^2; \upsilon = 0.25$
$\gamma = 27\,KN/m^3$
$\frac{\varphi_r}{Cr} = \frac{30^\circ}{40KN/m^2}; \frac{\varphi_v}{C_v} = \frac{34^\circ}{90KN/m^2}$

Tablica 1 Geotehnička klasifikacija stijenske mase ("RMR") po blokovima.

otpornosti na smicanje.

Kao primjer izbora (procjene) geotehničkih parametara za izdvojene tektonske blokove na slici 3 su prikazani rezultati "in situ" ispitivanja deformabilnosti stijenskog masiva na pregradnim profilima (HE Lešće i HE Lučica). Ispitivanja su izvedena u istražnim galerijama sa tlačnom ćelijom (hidraulički jastuk) promjera 2 m, površine cca 3.5 m^2 i reprezentativna su za istraživani stijenski masiv. Rezultati su uspoređeni i statistički obrađeni skupa sa rezultatima ranijih opsežnijih ispitivanja u vapnenačko-dolomitnom kompleksu (KUJUNDŽIĆ, 1980).

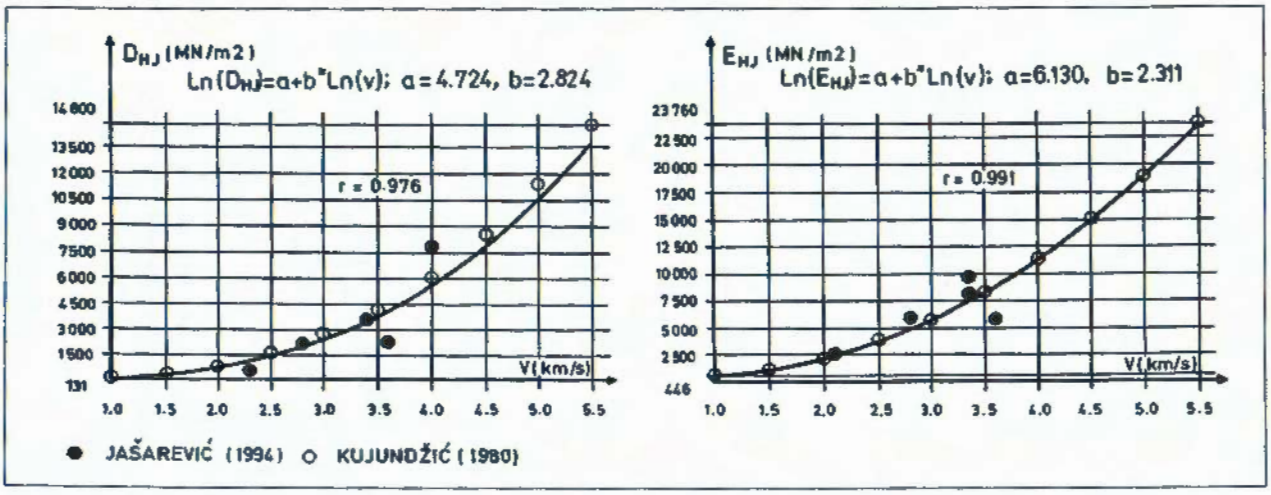
Radeći analizu i sintezu svih izvedenih inženjerskogeoloških i geotehničkih istraživanja, za potrebe projektiranja izdvojeni su slijedeći **geotehnički radovi** (sl. 2): - dubina iskopa - kota temeljenja; zona pojačanja u području rasjedom oštećene stijene; zona pojačanja stijene mlaznim betonom i sidrenjem (osiguranje iskopa) i dubina injekcijske zavjese.

Ocjena podobnosti profila za gradnju lučne brane izvedena samo na točkastim podacima (rezultati geotehničkih parametara na lijevoj i desnoj obali) nije adekvatna s obzirom na utvrđena geotehnička svojstva duž kontaktne temeljne spojnice. Na osnovi vlastitih istraživanja uveden je **koeficijent asimetrije lučne brane prema inženjerskoj klasifikaciji blokova** i iznosi 0,9-1,0 (sl. 2).

Za uključivanje utjecaja kvalitete stijenskih blokova (Q_i) na odgovarajućoj dužini temeljne spojnice (l_i) uveden je pokazatelj $K=\Sigma l_i\, Q_i$.

Novi koeficijent asimetrije geotehničkih svojstava duž kontaktne spojnice (sl. 2) adekvatnije reprezentira utjecaj geotehničkih karakteristika na oslanjanje lučne brane, a iznosi K_A=0,7 i različit je od utvrđenog na osnovu procjene koeficijenta asimetrije prema inženjerskoj klasifikaciji blokova.

Metodologija izrade inženjerskogeoloških i geotehničkih modela, te **modela geotehničkih radova** s



Sl. 3. Korelacijske ovisnosti modula elastičnosti (E_{HJ}) i modula deformabilnosti (D_{HJ}) utvrđenih tlačnom ćelijom u funkciji brzine uzdužnih valova.

iskazanim koeficijentima asimetrije primjenjena je na HE Lešće. Podaci o deformabilnosti stijene u istražnim galerijama i iskazani koeficijenti asimetrije preko točkastih podataka od 1:13 uzrok su da se u projektiranju prešlo na betonsko-gravitacijsku branu.

Međutim, utvrđeni koeficijent asimetrije lučne brane HE Lešće prema inženjerskoj klasifikaciji blokova iznosi 0,55 do 0,79, a na osnovi geotehničkih svojstava duž kontaktne temeljne spojnice iznosi 0,90. Utvrđeni koeficijenti asimetrije omogućavaju izradu racionalnog projekta lučne brane (JAŠAREVIĆ et al., 1993).

5. ZAKLJUČCI

• Kroz analizirane primjere projektiranih brana daje se prilog metodologiji inženjerskogeološkog i geotehničkog modeliranja izdvajanjem blokova prema "Q" i "RMR" klasifikaciji, što predstavlja značajan doprinos u procjeni podobnosti profila za gradnju, naročito lučnih brana, uz uvođenje koeficijenta asimetrije (K_A).

• Određivanje geotehničkih svojstava izdvojenih blokova (sl. 2) predlaže se na osnovu uspostavljenih korelacijskih ovisnosti između brzina longitudinalnih valova u masivu i odgovarajućih geotehničkih svojstava određenih "in situ" (sl. 3).

• Provedena istraživanja i naknadne analize prema metodologiji prikazanoj u ovom radu omogućila su izradu alternativnog rješenja lučne brane HE Lešće. Racionalnost izvršenog izbora tipa brane može se ocijeniti na osnovi troškovnika po kojima je predviđen ukupan iznos za gradnju betonske lučne brane niži za cca 20% od projektirane betonsko-gravitacijske brane (JAŠAREVIĆ et al, 1993).

6. LITERATURA

BARTON, N., LIEN, R. & LUND, J. (1974): Engineering clasification of rock masses for the design of tunnel suport.- Rock Mechanics, 6, 183-226.

BIENIAWSKI, Z.T. (1989): Engineering Rock Mass Classification.- John Willey and Sons.

BRAUN, K., MLINAR, Ž. & BATURIĆ, J. (1993): Potencijalno nestabilna kosina iznad separacije u kamenolomu dolomita "Očura" kraj Lepoglave.- Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 5, 99-108, Zagreb.

EINSTEIN, H.H. (1993): Report: What can we do - What can we not do in uncertainty, reliability and risk applied to rock engineering.- EUROCK '93, A.A. Balkema, 1097-1116.

ICOLD (1987): Dam safety Guidelines.- Committee on Dam Safety, Bulletin, 59, Paris.

ISRM (1981): Rock Characterization testing & Monitoring, ISRM Suggested Methods.- Pergamon Press.

ITA (1988): Taschenbuch für den Tunnelbau.- Pergamon Press.

JAŠAREVIĆ, I. (1992): Primjena MKE pri temeljenju teških objekata u stijenskim masama.- Zbornik radova "Primjena osobnih računala u gradevinarstvu", 335-346, Zagreb.

JAŠAREVIĆ, I., BIONDIĆ, B. & IVIČIĆ, D. (1993): Integralna studija inženjerskogeoloških i geotehničkih karakteristika.- VES Lučica.

JAŠAREVIĆ, I., DVORNIK, J., SRKOČ, M., BIONDIĆ, B. & IVIČIĆ, D. (1993): Studija: Lučna betonska brana Lešće kao alternativa gravitacijskoj brani.- Zagreb.

KUJUNDŽIĆ, B. (1973): Sadržina i metode izrade inženjerskogeoloških presjeka i inženjerskogeoloških modela.- Saopćenja IX Kongresa Jugoslavenskog komiteta za visoke brane, 199-213, Zlatibor.

KUJUNDŽIĆ, B. & PETROVIĆ, Lj. (1980): Korelacije statičkih i dinamičkih karakteristika deformabilnosti krečnjačkih stijenskih masa.- 5 Simpozij JDMSPR, Split.

MIŠČEVIĆ, P. & JAŠAREVIĆ, I. (1995): Ultimate bearing capacity of strip surface footing on layered rock mass by numerical modeling.- Mechanics of Jointed and Faulted Rock, 633-638.

ŠESTANOVIĆ, S., BRAUN, K. & BARČOT, D. (1993): Inženjerskogeološke značajke trase prometnice Solin-Klis (Dalmacija-Hrvatska).- Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 5, 87-97, Zagreb.

YUFIN, A.S. (1993): General report.- EUROCK '93, A.A. Balkema, 1029-1041.

DOKUMENTACIJA:

1. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
2. Elektroprojekt, Zagreb.
3. Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	245 - 249	ZAGREB 1995

Temperatura i toplinski tok u tlu Hrvatske

Krešimir **JELIĆ**[1], Igor **KEVRIĆ**[1] & Ozana **KRASIĆ**[2]

Ključne riječi: temperatura, temperaturni gradijenti, toplinska vodljivost, toplinski tok

Sažetak

Analizom velikog broja temperaturnih mjerenja koja se godinama izvode u dubokim istražnim i eksploatacijskim bušotinama za ugljikovodike INA-Naftaplina odredili smo statičke temperature na njihovom dnu. Površinske temperature utvrđene su prema temperaturnim mjerenjima u tlu na hidrometeorološkim postajama i mjerenjima po dnu Jadranskog mora. Iz ovih mjerenja izračunati su i kartirani temperaturni gradijenti. Toplinska vodljivost pretežito je izračunata prema intervalnim seizmičkim brzinama određenim na najbližim seizmičkim profilima. Iz umnoška toplinske vodljivosti i temperaturnih gradijenata proizašla je karta toplinskog toka. Temperature na dubini od 2000 m izračunate su iz pretpostavljenog stalnog uspravnog toplinskog toka i promjenljive toplinske vodljivosti.

UVOD

Temperatura, toplina i toplinski tokovi u tlu i dubokom podzemlju su geofizičke značajke koje se od davnina istražuju i kartiraju diljem svijeta. Ovim radom to je cjelovitije učinjeno za područje Hrvatske. U naslovu je naznačeno tlo, koje ovdje treba šire shvatiti, jer se istraživanje odnosi i na duboko podzemlje, do kojeg se došlo istražnim i eksploatacijskim bušenjem, negdje i preko 5 km. Osnovni podaci za analizu i izradu karata dobiveni su u poduzećima INA-Naftaplin - Zagreb, Geofizika - Zagreb i Hidrometeorološki zavod - Zagreb, a interpretacija je napravljena u računskom centru INA-Naftaplina.

Gustoća i "težina" obrađivanih podataka je veoma različita i vezana je na gustoću dubokih bušotina, odnosno na srednje vrijednosti pojedinih parametara iz više proizvodnih bušotina nafte i plina.

Najveći broj podataka je iz Panonskog bazena na sjeveru, zatim iz Jadranskog podmorja i Dinarida na jugu, te pregibne zone, a lokacije na kojima su utvrđene pojedine veličine na kartama su označene točkama. Detaljnije o ovim geofizičkim značajkama može se naći u ranije objavljenim radovima (ČUBRIĆ, 1993; JELIĆ, 1979, 1982, 1987; KOLBAH, 1976; KOLEMBUS, 1993), a djelomice su uklopljene i u podatke susjednih zemalja kroz **Geothermal Atlas of Europe** (HURTIG et al., 1987).

TEMPERATURNI GRADIJENTI

Statičke temperature u dubokim bušotinama određene su iz :

- odnosa maksimalnih temperatura izmjerenih tijekom karotažnih mjerenja i vremena nakon prestanka cirkulacije isplake i vremena cirkulacije isplake, po Horneru;
- maksimalnih temperatura korigiranih prema statističkoj usporedbi svih temperaturnih mjerenja na širim lokacijama;
- temperatura fluida izmjerenih kod iskušavanja bušotina.

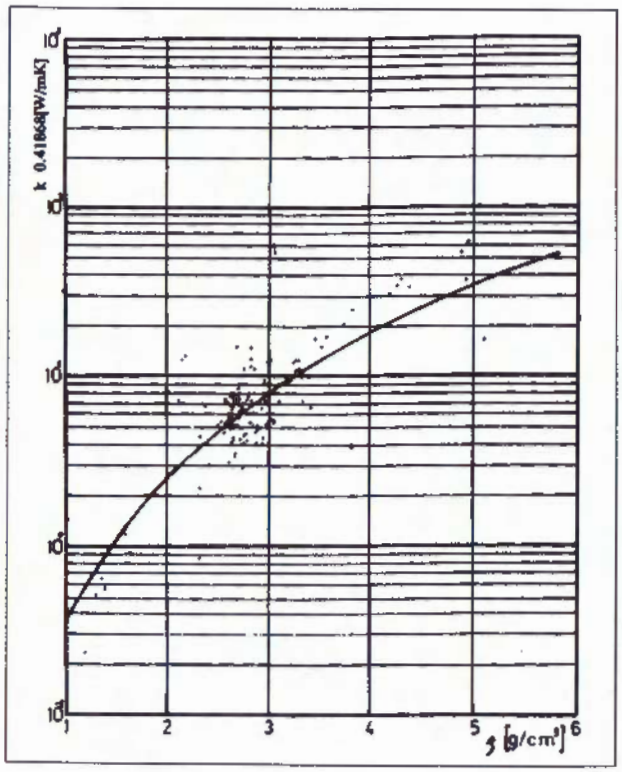
Razlike ovih temperatura i srednjih godišnjih temperatura tla ili dna Jadranskog mora podijeljene s dubinom dale su temperaturne gradijente koji su prikazani na slici 4.

Gradijenti u južnom dijelu Hrvatske znatno su ispod svjetskog prosjeka s minimumima oko Splita i Pule, koji su ispod 1°C/100 m, dok su gradijenti u sjevernom dijelu, Panonskom bazenu, viši od svjetskog prosjeka s izrazitim maksimumom sjeveroistočno od Zagreba, koji prelazi 7,5°C/100 m. Dravska i Istočno-slavonska potolina unutar ovoga dijela Panonskog bazena imaju najviše geotermijske gradijente.

TOPLINSKI TOK

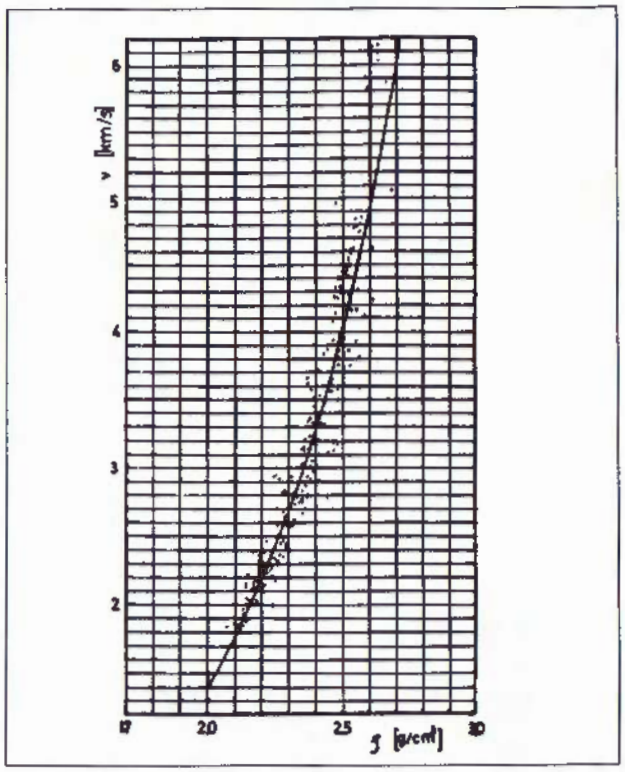
Konduktivni toplinski tok iz unutrašnjosti prema površini dobiven je umnoškom ranije izračunatih temperaturnih gradijenata i prosječne toplinske vodljivosti. Prosječne toplinske vodljivosti su dobivene iz odnosa toplinske vodljivosti i gustoće stijena, iskazanog relacijom na sl. 1, odnosa gustoće i intervalnih seizmičkih brzina, iskazanog relacijom na sl. 2 i odnosa toplinske vodljivosti i intervalnih seizmičkih brzina, iskazanog relacijom na sl. 3. Do odnosa gustoće i toplinske vodljivosti došli smo na osnovi vlastitih labo-

[1] Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Pierottijeva 6, Hrvatska.
[2] INA-Naftaplin, Zagreb, Šubićeva 29, Hrvatska.



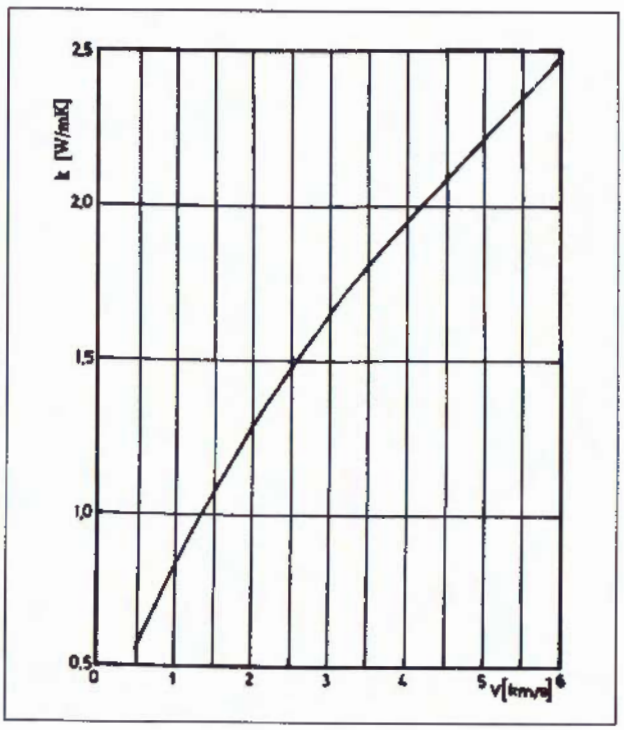
Sl. 1. Odnos gustoće i toplinske vodljivosti stijena. k - toplinska vodljivost (W/mK); ρ - gustoća (g/cm³). $k=0.1423512\ \rho^{2.86}$.

Fig. 1. Relation between density and thermal conductivity of rocks. k - thermal conductivity (W/mK); ρ - density (g/cm³). $k=0.1423512\ \rho^{2.86}$.



Sl. 2. Odnos intervalnih brzina iz akustične karotaže (BHC) prema intervalnim gustoćama iz γ-γ karotaže (FDC). v - intervalna brzina (km/s); ρ - gustoća (g/cm³). $v=0.05\ \rho^{4.8}$.

Fig. 2. Relation between interval velocity from acoustic log (BHC) and interval density from γ-γ log (FDC). v - interval velocity (km/s); ρ - density (g/cm³). $v=0.05\ \rho^{4.8}$.

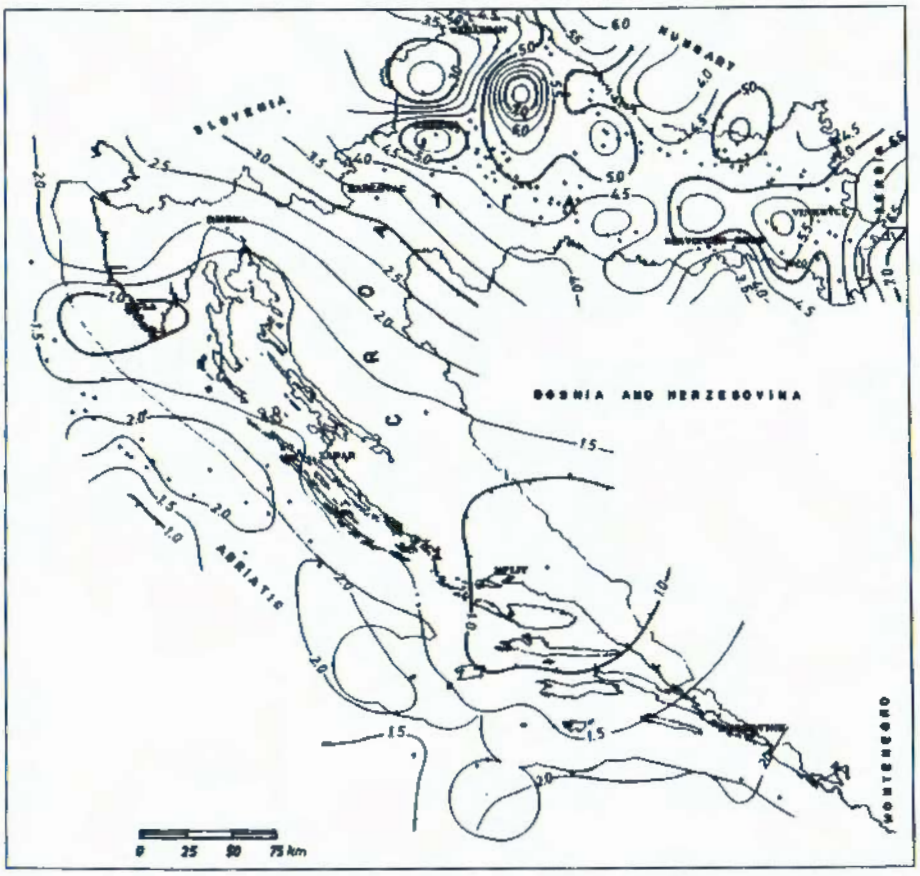


Sl. 3. Odnos intervalnih brzina i toplinske vodljivosti stijena. k - toplinska vodljivost (W/mK); v - intervalna brzina (km/s). $k=0.845\ v^{0.596}$.

Fig. 3. Relation between interval velocity and thermal conductivity of rocks. k - thermal conductivity (W/mK); v - interval velocity (km/s). $k=0.845\ v^{0.596}$.

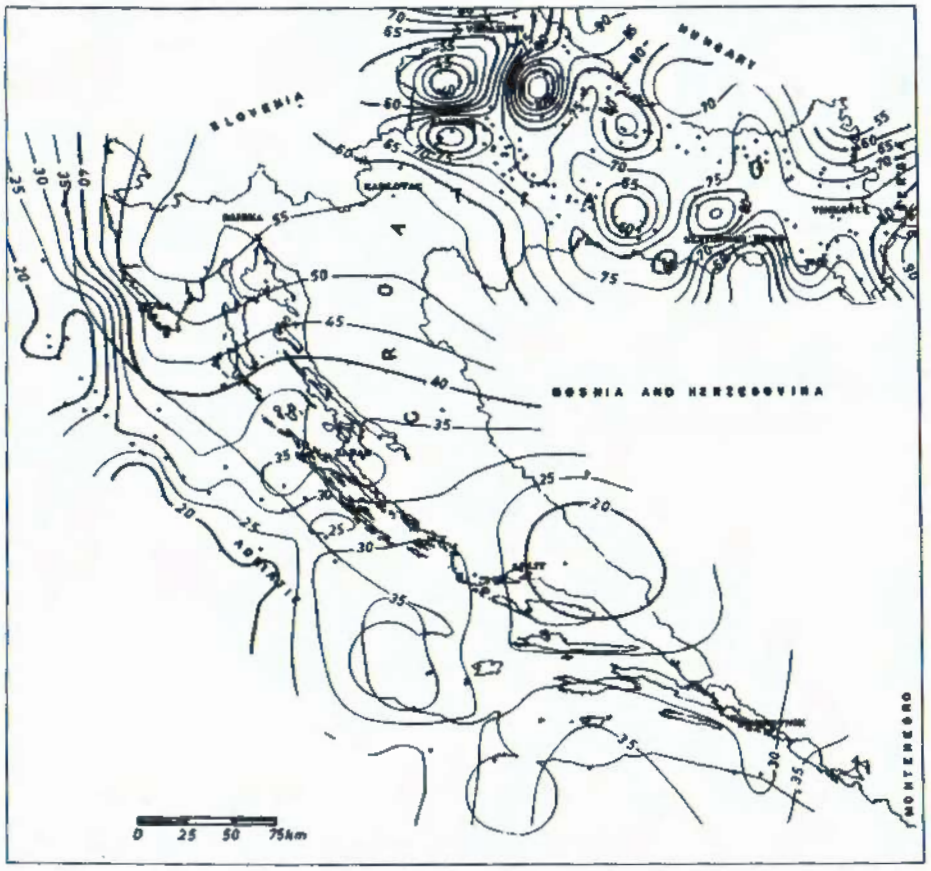
ratorijskih mjerenja na uzorcima stijena i iz literature, a odnos gustoće i intervalnih brzina dobiven je prema analizi karotažnih mjerenja iz dubokih bušotina, s dubinskim pedesetmetarskim intervalima, izmjerenih diljem istražnog prostora. Iz ovih relacija izračunata je treća relacija o odnosu toplinske vodljivosti i intervalnih seizmičkih brzina, jer je gustoća podataka i kontinuitet po dubini intervalnih seizmičkih brzina na istražnom prostoru daleko najveći, s obzirom na gustu mrežu seizmičkih profila i veliki broj seizmičkih mjerenja u dubokim istražnim bušotinama. Na sl. 5 prikazan je toplinski tok. Ovdje se iskazuje bitna razlika dijela Hrvatske južno od Dinarida sa znatno nižim toplinskim tokom od svjetskog prosjeka, u odnosu na sjeverni dio s Panonskom potolinom gdje je toplinski tok viši od svjetskog prosjeka, uz istaknuti maksimum sjeveroistočno od Zagreba koji je veći od 105 mW/m^2, te lokalne maksimume južno i istočno od Zagreba, te sjeverozapadno i sjeverno od Slav. Broda. Interesantan je i minimum sjeverno od Zagreba u području Hrvatskog Zagorja, gdje se pojavljuje cijeli niz geotermijskih izvora, koji i objašnjavaju ovaj minimum, jer se u ovom području toplina prema površini kreće konvekcijom uz duboko poniranje površinskih voda i hlađenje podzemlja.

Glede istraživanja ugljikovodika u jadranskom podmorju interesantni su lokalni maksimumi južno i sjeverno od Pule, zapadno od Zadra i zapadno i južno od



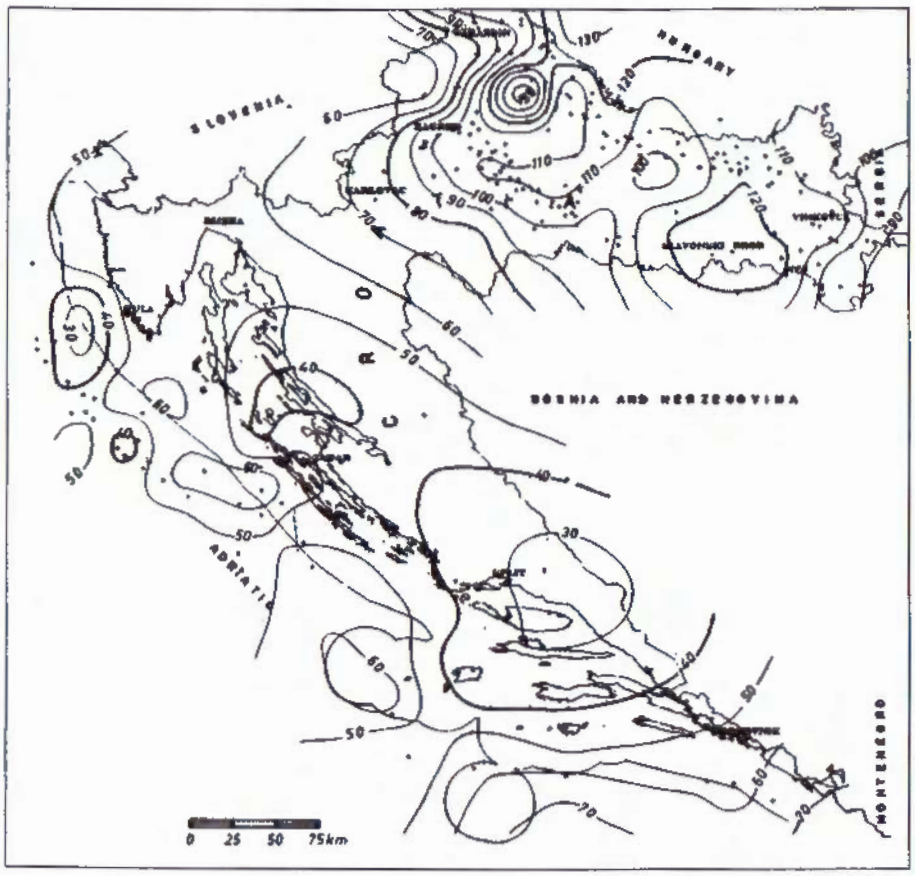
Sl. 4. Temperaturni gradijenti (°C/100m).

Fig. 4. Temperature gradients (°C/100m).



Sl. 5. Toplinski tok (mW/m^2).

Fig. 5. Heat flow (mW/m^2).



Sl. 6. Temperature na dubini 2000 m (°C).

Fig. 6. Temperatures at 2000 m depth (°C).

Splita. Snaga toplinskog toka, prikazana na sl. 5, može se dosta dobro povezati s dubinom Mohorovičićevog diskontinuiteta (ALJINOVIĆ, 1986), odnosno preraspodjelom toplinskog toka u dubljem podzemlju, vezanom uz više seizmičke brzine ispod Mohorovičićevog diskontinuiteta koji je plići u Panonskom bazenu i dublji ispod Dinarida. Viša radioaktivnost mladih sedimenata u Panonskom bazenu generira dodatni toplinski tok, što uz nižu toplinsku vodljivost povećava geotermijske gradijente.

TEMPERATURE NA 2000 m

Temperature na dubini od 2000 m prikazane su slikom 6, a izračunate su prema pretpostavljenom konstantnom toplinskom toku na pojedinim lokacijama i promjenjivoj toplinskoj vodljivosti od početne lokalne površinske temperature tla.

ZAKLJUČAK

Temperature, temperaturni gradijenti i toplinski tok u sjevernom dijelu Hrvatske unutar Panonskog bazena viši su od svjetskog prosjeka, dok su u južnom, dinarskom dijelu i jadranskom podmorju, niži a kreću se od G<1,0 °C/100 m do G>7,5 °C/100 m i q<20,0 mW/m^2 do q>105 mW/m^2 (svjetski prosjek G ≈ 3°C/100 i q ≈ 63 mW/m^2).

Regionalne promjene ovih značajki na području Hrvatske mogu se povezati s dubinom Mohorovičićevog diskontinuiteta i razlikom u geološkoj građi. Dok su Dinaridi pretežno sazdani od duboko karstificiranih karbonata s niskom prirodnom radioaktivnošću, dotle je Panonski bazen ispunjen mladim sedimentima s pretežito laporovito-pjeskovitim stijenama više radioaktivnosti, koje uz starije magmatske intruzije generiraju dodatni toplinski tok.

Lokalne geotermijske anomalije mogu se povezati s dubokim konvekcijskim toplinskim tokovima u pojedinim stijenama i geološkim strukturama, te s promjenljivom kondukcijskom toplinskom vodljivosti.

LITERATURA

ALJINOVIĆ, B. (1986): Karta dubina Mohorovičićevog diskontinuiteta na području Jugoslavije.- Nafta, 37/3, 127-130, Zagreb.

ČUBRIĆ, S. (1987): Obnovljiva geotermijska energija i njen utjecaj na ekonomiku proizvodnje geotermijske energije na nekim ležištima u SR Hrvatskoj.- Doktorska disertacija, RGN-fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

ČUBRIĆ, S. (1993): Power and enegy of geothermal reservoire in the Republic of Croatia.- Nafta 44/9, 359-470, Zagreb.

HURTIG, E. et al. (1992): Geothermal atlas of Europe.- 102-156, Herman Haack Verlagsgesellschaft mbH, GeoForschung Zentrum, Potstdam, Germany.

JELIĆ, K. (1979): Termičke osobine sedimentacijskog kompleksa jugozapadnog dijela Panonskog bazena.- Doktorska disertacija, RGN-fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

JELIĆ, K. (1982): Toplinski tok i Mohorovičićev diskontinuitet na profilu Sušac-Valpovo.- Zbornik radova DIT Rezultati dosadašnjih geofizičkih ispitivanja raznih fenomena vezanih za proučavanje građe zemljine kore i omotača na teritoriju Jug., 39-48, Skopje.

JELIĆ, K. (1987): Stacionarna geotermijska energija u Savskoj i Dravskoj potolini Panonskog bazena SR Hrvatske.- Nafta, 38/6, 333-340, Zagreb.

KOLBAH, S. (1976): Geotermičke značajke jugozapadnog dijela Panonskog bazena.- Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

KOLEMBUS, D. (1993): Geotermijski gradijenti i toplinski tokovi na području vanjskih Dinarida.- Diplomski rad, RGN-fakultet, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	251 - 254	ZAGREB 1995

Acquisition of Data for Regional Assessment of Permeability and Transmissivity

Ján **JETEL**

Key words: Permeability, Transmissivity, Specific Capacity, Aquifer Tests, Methodology of Regional Hydrogeology, Water-injection Tests, Groundwater Run-off, Springs, Groundwater Chemistry

Abstract

Regional assessment of geohydraulic parameters requires maximum possible density of data. Permeability index Z and transmissivity index Y derived from specific capacities of wells allow full exploitation of information from wells. Data from water-injection tests depict vertical distribution of permeability. Exponential decrease of permeability with depth superposed by increasing depth of groundwater table below ground surface from valley up hill results in spatial non-uniformity of transmissivity in near-surface zone. In mountainous regions without hydrogeological wells, indirect methods estimating geohydraulic parameters from data on runoff, springs and groundwater chemistry are to be used.

INTRODUCTION

One of major tasks of a regional hydrogeological assessment is to give a true picture of spatial and statistical distribution of geohydraulic parameters characterizing rock permeability and aquifer transmissivity. In many regions, the crucial problem of such effort is lack of sufficient number of input data. In regional-scale study, the number (density) of data is obviously much more important than precise knowledge on the respective parameter value in individual points. Thus, it is necessary to find such approaches that could exploit maximum of information concerning geohydraulic parameters from the existing relevant data of various kinds, even though they were incomplete and less accurate.

In regions with data from aquifer tests in wells, geohydraulic parameters are determined directly from these data. However, the data of archival documentation are very often insufficient for an exact interpretation by transient techniques (e.g. by the straight-line method), yet afford fairly good information on specific capacities, i.e. on the ratio of discharge to drawdown. In the regions without data from wells, regional characteristics of permeability and transmissivity have to be estimated by indirect (hydrometric, crenometric or hydrogeochemical) methods.

APPROXIMATIVE LOGARITHMIC PARAMETRES

To utilize the data on specific capacities of wells for the study of permeability and transmissivity distribution, the approximative logarithmic parameters - permeability index Z and transmissivity index Y - have been introduced (JETEL, 1968, 1974, 1985, 1995; JETEL & KRASNY, 1968). The point of departure for computing the parameters Z and Y is the specific capacity

$$q = Q/s \qquad (1)$$

where Q = discharge (m^3s^{-1}), s = respective drawdown (metres). At the transformation of specific capacity to the approximative parameters Z and Y, the value of q measured or extrapolated, if possible, for drawdown s equalling 1 meter, i.e. q_1=q(s=1m) - standard specific capacity - should be used as input value. The transmissivity index

$$Y = \log(10^9 q) \qquad (2)$$

with q expressed in $m^3s^{-1}m^{-1}$ is a logarithmic transformation of specific capacity. When substituting q in litres per second per metre, the exponent 9 in Eqs. (2)-(4) is replaced by 6.

The permeability index Z is an analogous transformation of the ratio of specific capacity q to aquifer thickness M or to the length of tested interval L (below static level) :

$$Z = \log(10^9 q/M) \qquad (3)$$

$$ZL = \log(10^9 q/L) \qquad (4)$$

where M and L are expressed in metres.

After transferring specific capacities to the indices Z and Y, the statistical characteristics of distribution of Z and Y values are converted to the estimates of respective characteristics of hydraulic coefficients. The values of Z and Y are converted to the estimates of hydraulic conductivity k and transmissivity T as follows:

$$k = \text{antilog}(Z+d-9) = 10^{(Z+d-9)} \qquad (5)$$

$$T = \text{antilog}(Y+d-9) = 10^{(Y+d-9)} \qquad (6)$$

where k is expressed in ms^{-1} and T in m^2s^{-1}. Hence, the conversion is simplified to the problem of an optimum estimate of the logarithmic conversion difference d defined as

Geological Institute of D. Stur, Werferova 1, SK - 040 11 Košice, Slovakia.

$$d = \log T - \log q \quad (7)$$

The conversion difference d represents the sum of the primary (basic) difference d_0 for an ideal well without well loss and the additional difference d_a expressing the deviation of actual conditions from the ideal well model and integrating the effects of all additional resistances:

$$d = d_0 + d_a \quad (8)$$

The primary difference d_0 corresponds to the aquifer loss while the additional difference d_a reflects the well loss. Under steady-state flow conditions, the Dupuit formula implies that the primary conversion diference is given by

$$d_0 = \log(\log(r_d/r_w)) - 0.436 \quad (9)$$

where r_d is depression cone radius and r_w well radius. For non-steady state flow fulfilling the conditions of the Cooper-Jacob approximation validity the following relation may be derived

$$d_0 = \log(0.183 \log(2.25Tt/r_w^2S)) \quad (10)$$

where T = estimated transmissivity in m^2s^{-1}, S = estimated storativity, t = time after pumping started. The additional difference d_a represents a sum of skin-effect, turbulence and partial-penetration differences:

$$d_a = d_S + d_C + d_L \quad (11)$$

The skin-effect difference d_S is estimated by analogy, the turbulence difference d_C and the partial-penetration difference d_L can be computed. Innovated procedure of the use of the approximative parameters Z and Y and their conversion is described in detail by JETEL (1995).

The principle of approximative logarithmic parameters and their conversion may be applied also to the interpretation of water-injection test data by transforming water injection rate to the permeability index Z' analogous to the Z from Eq. (4) (JETEL, 1995). As we have demonstrated, the coefficient converting water injection rate to hydraulic conductivity is not a constant, but a function of the injection rate, storativity and test duration. On adopting the approach suggested by DOE & REMER (1980), optimum values of primary conversion difference d_0 have been determined (JETEL, 1995) for estimating hydraulic conductivity from the values of Z' at injection tests.

The arithmetic mean of logarithmic parameters Z or Y corresponds after adequate transformation to the geometric mean of hydraulic conductivity or transmissivity that is often a truthful characteristic of mean effective values of these coefficients in statistically homogenous medium (c.f. BROCH & KJOERHOLT, 1994).

The use of specific capacities for estimation of geohydraulic parameters was suggested by many authors (e.g. WALTON 1962, 1970; GRINBAUM & TENENBAUM, 1965; CSALLANY, 1967; POLLAK, 1968; ASTIÉ et al., 1969; RASHWAN, 1972, and others) using often a constant ratio T/q to estimate transmissivity (for instance, from the constant T/q used by POLLAK, 1968, would result d = 0.114). For the data on T and q given by ASTIÉ et al. (1969), the values of d would range from -0.26 to +1.16 (in 90% from -0.10 to +0.75) with the median 0.42. After our experience, the values of d range most often from -0.15 to 0.80, with the most frequent medians between +0.10 and +0.35.

The expression of permeability (hydraulic conductivity) and transmissivity in terms of the approximative logarithmic parameters signalizes lesser degree of accuracy and rules out the risk of confusing the approximative estimates based on incomplete data with exactly determined hydraulic coefficients. These parameters are helpful also in describing approximately hydraulic properties of very inhomogeneous rock medium where application of exact hydraulic coefficients such as hydraulic conductivity or transmissivity is problematic. The described procedures of utilizing the values of specific capacities and water injection rates for assessing regional distribution of permeability and transmissivity proved to be useful at hydrogeological investigation in many various regions. The suggested approach of regional statistical evaluation can include after appropriate logarithmic transformations also the values of hydraulic conductivity and transmissivity determined directly by exact methods.

PECULIARITIES OF REGIONS BUILT BY NON-CARBONATE HARD ROCKS

The approach to the regional assessment of permeability and transmissivity must take account of specific conditions in particular types of hydrogeological structure. In hydrogeologic massifs, i.e. in regions built by non-carbonate (non-karstified) fissured rocks without distinct stratiform aquifers, the near-surface zone of elevated permeability due to rock loosening and weathering figures as the main aquifer concentrating the major part of groundwater circulation. The mean permeability in this zone decreases with depth. This decrease can be described by an exponential equation

$$k(H) = k_0 \exp(-AH) \quad (12)$$

where k(H) is expected hydraulic conductivity at the depth H below ground surface, k_0= theoretical hydraulic conductivity at H = 0, A = coeffic252ient expressing the rate of decrease. The parameters k_0 and A should be taken as the cardinal characteristics of permeability in such conditions. All hydrogeologic calculations, prognoses and modelling should start at the knowledge of the particular values of k_0 and A determined for the studied area. They can be derived from the geohydraulic interpretation of water-injection data by the above-mentioned procedure or by a statistical analysis of data from aquifer tests in different depth intervals. Some examples of the values of k_0 and A determined in individual members of the Carpathian Flysch are given by JETEL (1991, 1994).

The groundwater level in the near surface zone is conformable to the relief but its depth below ground surface tends to be at its minimum in the bottom of valleys, increasing up hillsides to its maximum at the ridges. This regularity combined with the vertical decrease of permeability results in a spatial non-uniformity of transmissivity. In the valleys, the groundwater level is situated close to the ground surface, i.e. in the most permeable upper part of the near-surface zone and the resulting transmissivity is inevitably higher than the transmissivity on hillsides where the groundwater table occurs in the deeper parts of the near-surface zone with lower permeability. In the same rock with identical values of k_0 and A the mean transmissivity of the near-surface zone has to be, in general, considerably higher in the valleys than on the relief elevations.

Therefore, in characterizing the transmissivity of near-surface zone in hydrogeologic massifs it is necessary to differentiate the data according their position in the landscape relief. That is why we suggested (JETEL, 1990) to distinguish 4 categories of transmissivity in the regions of this type: valley transmissivity T_v, slope transmissivity T_s, the transmissivity of fractured zones T_f and the transmissivity T_d of deeper parts of the massif. The regional characteristics of transmissivity are to be calculated separately for each particular category. Usually, the category T_f has the highest mean value. The mean T_v can be even by 1-2 orders of magnitude higher than the mean T_s. The mean T_d is usually considerably lower than the means of other categories.

At assessing the mean transmissivity in an area, we used to derive it from the data of wells. However, considering that the wells are situated predominantly in valleys, the resulting characteristic represents only the category of valley T_v, often combined with data corresponding to the category T_f, and overestimates the actual mean representing the total area. Dictinction between particular categories of transmissivity is essential for practical interpretations. The characteristic of the valley transmissivity along with the category T_f is pertinent to calculations of potential productivities of well systems in valleys. By contrast, the evaluation of groundwater (subsurface) flow has to take into account in the first place the low mean values characterizing transmissivity T_s in slopes and elevations because the final outflow from an area is controlled by the harmonic mean of the transmissivities in all successive segments of flow (JETEL, 1990) and a harmonic mean generally favours the lower values of averaged data.

ESTIMATING REGIONAL CHARACTERISTICS OF PERMEABILITY AND TRANSMISSIVITY BY INDIRECT METHODS

In hillsides with relevant importance of the category of slope transmissivity as well as in mountainous regions in general, direct geohydraulic data from wells are usually very rare. The lack of direct data necessitates to apply various types of indirect methods utilizing data on subsurface runoff from hydrographs (hydrometric methods), regime of springs (crenometric methods), water chemistry (hydrochemical methods) or geophysical data.

After our practical experience, a hydrochemical method and two hydrometric methods proved to give reasonable results showing realistic correlation with direct data from wells.

The hydrochemical method suggested by JETEL (1989) estimates the mean hydraulic conductivity of the near-surface zone in the slopes recharging the descending springs. A geomorphometric parameter L/J, where L = mean filtration path length from infiltration to spring and J = average slope dip on the filtration path, indicates hydrodynamic conditions. Hydraulic conductivity is inversely proportional to the regression coefficients of linear regression equations expressing the correlation between L/J and hydrochemical variables (concentrations of particular components).

A method suggested by KHARATISHVILI & ZEDGUINIDZE (1969) estimates mean effective transmissivity of the near-surface zone in depression parts of an area (i.e. the effective mean of T_v and T_f) using a formula simplified by JETEL & KULLMAN (1989):

$$T = Q_g/JL \qquad (13)$$

where Q_g is mean groundwater outflow, L is length of main draining stream and J is mean longitudinal dip of that stream.

The values of transmissivity indicating approximately the category of the slope transmissivity T_s can be estimated by the method suggested by JETEL & KULLMAN (1989). In the formula

$$T = Q_g/2L_nJ_s \qquad (14)$$

L_n is the sum of lengths of all streams in the area and J_s is average dip of area surface determined as

$$J_s = zx/F \qquad (15)$$

z = height difference between considered hypsometric contour lines, x = total length of contour lines on the area surface F.

CONCLUSION

Regional study of permeability and transmissivity is inconceivable without full exploitation of archival documentation data from aquifer tests and water-injection tests. The data that allow to compute at least specific capacities or water injection rates serve as invaluable information base for consistent estimates of regional characteristics of permeability and transmissivity by means of approximative logarithmic parameters. In non-karstified hard rocks the regular spatial non-uniformity of transmissivity in the near-surface zone involves inevitable differentiation of particular categories of

transmissivity both in presentation of characteristics and in practical applications. In regions without sufficient number of data from wells, permeability and different transmissivity categories can be estimated from hydrometric and hydrochemical data with regard to geomorphometric parameters.

REFERENCES

ASTIÉ, H., BOURGEOIS, M. & TRUPIN, G. (1969): Représentation cartographique des transmissivités déterminées en régime transitoire ou déduites de débits spécifiques.- Bull. Rech. géol. min., Sér. 2, Section III, 1, 33-42, Paris.

BROCH, E. & KJOERHOLT, H. (1994): Verification of large-scale permeability tests in hard rocks.- Applied Hydrogeol., 2/3, 9-16, Hannover.

CSALLANY, S. (1967): The hydraulic properties and yields of dolomite and limestone aquifers.- In: Hydrology of fractured rocks, I, Proc. Dubrovnik Symp., October 1965, UNESCO, 120-138, Paris.

DOE, T. & REMER, J. (1980): Analysis of constant-head wells tests in nonporous fractured rock.- Proc. 3rd Invitational Well-Testing Symp. "Well testing in low permeability environments", 84-89, Berkeley.

GRINBAUM, I.I. & TENENBAUM, L.J. (1965) : Uproschennyi metod rascheta vodoprovodimosti i koeffitsienta filtratsii porod na osnove edinochnogo udelnogo debita.- Razvedka i Okhrana Nedr, 2, Moskva.

JETEL, J. (1968): A new comparative regional parameter of permeability for hydrogeologic maps.- Congr. Istanbul 1967, Mém. Ass. Int. Hydrogéol., 8, 101-107, Istanbul.

JETEL, J. (1974): Completement régional de l'information sur les parametres pétrophysiques en vue de l'élaboration des modeles des systemes aquiferes.- Congr. de Montpellier 1974, Mém. Ass. Int. Hydrogéol., 10, 199-203, Paris.

JETEL, J. (1985): Metody regionalniho hodnoceni hydraulickych vlastnosti hornin.- Metod. Priruc. Ustr. Ust. geol., 1, 147 p., Praha.

JETEL, J. (1989): Relationship between hydrogeochemical characteristics of near-surface zone of rock massif and hydrodynamic conditions.- Zapad. Karpaty, Ser. Hydrogeol. inz. Geol., 8, 67-104, Bratislava.

JETEL, J. (1990): Prakticke dosledky priestorovej neuniformity prietocnosti pripovrchovej zony v hydrogeologickom masive.- Geol. Pruzkum, 32/2, 42-46, Praha.

JETEL, J. (1991): Faktory priestoroveho rozdelenia priepustnosti a prietocnosti v horninach karpatskeho flysu (Factors controlling the spatial distribution of permeability and transmissivity in the Carpathian Flysch Rocks).- Vodohosp. Cas., 39, 3-4, Bratislava.

JETEL, J. (1994): Priepustnost a prietocnost pripovrchovej zony hornin v zapadnom useku flysoveho pasma Zapadnych Karpat (Permeability and transmissivity of near-surface rock zone in the western tract of the West Carpathian Flysh Belt).- Zapad. Karpaty, Ser. Hydrogeol. inz. Geol., 12, 7-62, Bratislava.

JETEL, J. (1995): Utilizing data on specific capacities of wells and water-injection rates at regional assessment of permeability and transmissivity.- Slovak Geol. Magazine, 1, Bratislava (in press).

JETEL, J. & KRASNY, J. (1968): Approximative aquifer characteristics in regional hydrogeological study.- Vest. Ustr. Ust. geol., 51/1, 47-50, Praha.

JETEL, J. & KULLMAN, E. (1989): Nepriame urcenie priemernej prietocnosti z podzemneho odtoku a vydatnosti pramenov (Indirect estimation of a average transmissivity from groundwater runoff and yield of springs).- Region. Geol. Zapad. Karpat, 25, 249-257, Bratislava.

KHARATISHVILI, L.A. & ZEDGUINIDZE, S.N. (1969): Metodika opredeleniya koeffitsienta vodoprovodimosti vodonosnykh gorizontov v gornoskladchatykh rayonakh bez provedeniya specialnykh burovykh I opytnykh rabot.- Sov. Geol., 12, 125-128, Moskva.

POLLAK, Z. (1968): Possibility to use simplified method of estimation of transmissibility and coefficient of permeability according to unit specific yield.- Congr. Istanbul 1967, Mém. Ass. Int. Hydrogéol., 481-485, Istanbul.

RASHWAN, S. (1972): Graphical method for estimating the transmissibility and storativity of aquifers from specific capacity of wells.- Congr. Tokyo 1971, Mém. Ass. Int. Hydrogéol., 9, 185-188, Tokyo.

WALTON, W.C. (1962): Selected analytical methods for well and aquifer evaluation.- Illinois State Water Surv. Bull., 49.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	255 - 260	ZAGREB 1995

Prikaz ovalne morfostrukture - Lika

Dragomir **JOVIČIĆ**[1] & Vilko **KLEIN**[2]

Ključne riječi: satelitska snimka, reljef, lukovi, tektonika, morfostrukturni sklop

Key words: Satellite photograph, Relief, Arches, Tectonics, Morphostructural complex

Sažetak

U ovom radu prikazana je morfostrukturna građa i podjela ovalnog sklopa nazvanog "Lika". Ovalni sklop "Lika" dijeli se na tri jedinice: velebitsku, ličko-plješivički lučni pojas i na središnji kotlinasti dio. Analiza morfostrukturnog sklopa provedena je na temelju satelitske snimke mjerila 1:500.000.

U istraživanom području elementi morfografskog i strukturnog zonaliteta međusobno se prate oblikujući ovalni morfostrukturni sklop "Lika". Oblikovanje tog sklopa rezultat je neotektonskog izdizanja rubnih dijelova ličke paleozaravni u gorski reljef. U kojoj je mjeri destrukcija paleozaravni vezana uz neotektonsko obnavljanje jednog starijeg strukturnog plana ovom prilikom nije razmatrano. Rubna povijenost ovalne morfostrukture "Lika" nastavlja se prema unutrašnjosti.

Lička paleozaravan nastala je u fazi duljega tektonskog mirovanja općenito u neogenu. Složenost cjelokupna razvoja istraživana područja upravo se očituje u oblikovanju izdvojena morfostrukturnog sklopa "Lika" jedinstvena kao pojave u Dinaridima.

Abstract

This peace of work deals with the morphostructural relations and the division of the oval structure called "Lika", which is divided into three units. These are: Velebit, Lika-Plješivica and the central depressional part. The carried out analysis of the morphostructural complex is based on the satellite photo of scale 1:500,000.

In the investigated area the elements of the morphographic and structural zonality are following each other, mutually forming the morphostructural complex of "Lika". The formation of the complex is the result of the neotectonic growth of the marginal parts of the old peneplain of "Lika" into the mountain relief. To which extent is the peneplain destruction attached to the neotectonic reconstruction of an older structural plan, on this occasion was not considered. The marginal bending of the oval morphostructure of "Lika" is proceeding towards the inland.

The peneplain of Lika developed mostly in Neogene, during the phase of the longer tectonic inactivity. The complexity of the investigated area evolution is reflected through the formation of the delineated "Lika" complex, the unique phenomenon of the Dinarides.

UVOD

Kotlinasto područje Like s rubnim planinama koje izgrađuju lučno povinuti Velebit i lička Plješevica tvore jedinstven ovalni morfostrukturni sklop "Lika". Ta se cjelina odlikuje složenom geološkom i morfografskom građom, a obuhvaća jugoistočni dio ličko-notranjskoga strukturnog sklopa pružanja sjeverozapad - jugoistok. Izdvojena cjelina, pretežno izgrađena od karbonatnih stijena mezozoika (SGZ, 1970) koje su u tijeku neotektonskih izdizanja bile podvrgnute raznovrsnim krškim procesima, složene je strukturno-tektonske građe.

Objedinjenjem zonalnih obilježja tektonske i morfografske građe unutar istraživanog područja izdvojen je ovalni morfostrukturni sklop nazvan "Lika". Svrha ovog rada je prikaz njegove građe, podjele i razvoja.

METODA RADA

Ovalni morfostrukturni sklop "Lika" izdvojen je i proučavan na temelju snimaka dobivenih posredstvom satelita Landsat-1 i 2 u mjerilu 1:500 000, uporabom skanograma iz svih četiriju spektralnih kanala (4, 5, 6 i 7).

Na Landsatovom skanogramu registrirani su brojni morfografski i tektonski podaci posebno iz neotektonskog razdoblja. Odvojeni pristup izradbi tektonske i morfostrukturne karte omogućio je proučavanje površinskih strukturnih odnosa s obzirom na način pojavljivanja i grupiranja karakterističnih reljefnih cjelina. Njihovo objedinjavanje omogućilo je rekonstrukciju morfografskog zonaliteta odnosno izdvajanje morfostrukture "Lika". U tijeku izrade navedenih karata konzultirani su stručni i znanstveni radovi dobiveni različitim postupcima.

[1]INA - Geološki konzalting d.o.o., Savska c. 88a, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2]Lastovska 8/V, 10000 Zagreb, Hrvatska.

GEOLOŠKA GRAĐA

U skladu s načinom rada, bez potanje obrade tektogeneze, biti će istaknuta samo najosnovnija litostratigrafska i tektonska obilježja.

Kotlinasto područje Like s rubno povinutim masivima izgrađuju stijene različite starosti. Većinom su to taložne naslage mezozojske i paleogenske starosti, manje paleozojske, a mjestimično ima i površinskih pojava magmatskih stijena. Na njihovu dubinsku rasprostranjenost upućuju gravimetrijska istraživanja (LABAŠ, 1987). Raširenost mezozojsko-palogenskih karbonatnih sedimenata predodredila je krški karakter reljefa.

U tektonsko-morfostrukturnom smislu ovalni sklop "Lika" obrubljuju reljefni pojasovi Velebit i lička Plješevica. To su planine uglavnom antiklinalnog obilježja. Njihova se lučna građa prati prema unutrašnjosti. Središnji kotlinasti dio uglavnom je izgrađen od mezozojsko-paleogenskih naslaga, a površinski dio se ne predstavlja kao jedinstvena strukturna jedinica. Ličko područje pripada najsuženijem dijelu Vanjskih Dinarida, odnosno zoni Visokog krša i prati pružanje depresivnog pojasa Mohorovičićeva diskontinuiteta (ALJINOVIĆ et al., 1987) i početak razvoja velikog dinaridskog gravimetrijskog maksimuma. Smatra se da se pod zonu Visokog krša, dakle Dinaride, pa prema tome i Velebit podvlači Adrijatik (HERAK, 1986). To bi bilo u skladu s pretpostavkom o navlačnom kretanju mezozojskih stijena preko anhidritsko-karbonatnog kompleksa u bazi. Ako se tome pribroje i lokalna tangencijalna kretanja, rotacije, boranja, gravitacijska kretanja, onda je očito da oblikovanje ovalnog sklopa "Lika" predstavlja posljednji dogadaj u nizu koji su mu prethodili. Pri tome treba naglasiti da je lička paleozaravan, kao dio šire dinaridske paleozaravni (BOGNAR, 1992) nastale u neogenu, u razdoblju tektonskog mirovanja pod utjecajem denudacije predstavlja jedan od repera za proučavanje neotektonskog razvoja istraživana područja. Naime, njezini manje ili više očuvani dijelovi sadržani su unutar visokogorskih zona Velebita i ličke Plješevice s ograncima. Zato se može smatrati da je ovalni sklop "Lika" rezultat neotektonskog izdizanja rubnih dijelova ličke paleozaravni u gorski reljef. Ovom prilikom nije razmatrano u kojoj je mjeri destrukcija paleozaravni vezana uz neotektonsko obnavljanje jednoga starijeg strukturnog plana.

Temeljni elementi strukturno-tektonskih odnosa prikazani su na sl. 1.

MORFOSTRUKTURNA OBILJEŽJA

Središnji kotlinasti dio i njegovi rubni lučni gorski masivi Velebit i lička Plješevica s ograncima, tvore veći ovalni morfostrukturni sklop "Lika".

Velebitski lučni reljefni pojas (sl. 2, oznaka 1) izgrađuje **primorska padina** vrlo različitih obilježja

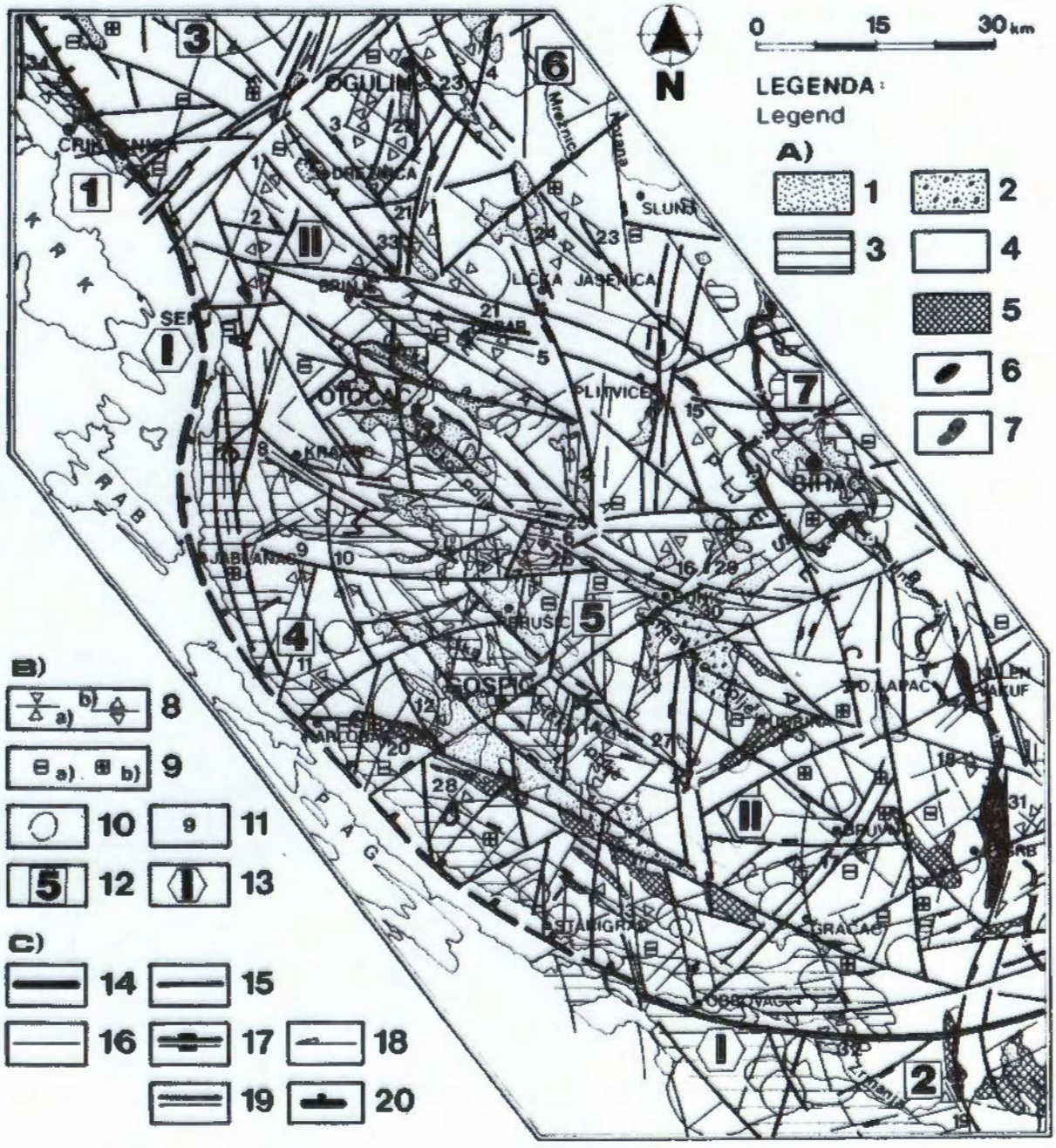
Sl.1. Tektonska karta (korišteni podaci: OGK listovi: Bihać, Crikvenica, Gospić, Knin, Obrovac, Otočac, Ogulin, Rab, Silba, Slunj, Udbina, Zadar). Legenda: **A. Stijene na površini.** 1 - kvartar: pretežno aluvij i proluvij; 2 - pliocen-kvartar: nevezani sedimenti; 3 - paleogen-neogen (općenito): vapnenačke breče, konglomerati i eocenski fliš; 4 - mezozoik (trijas, jura, kreda): pretežno vapnenci i dolomiti, podređeno vapnenačke breče; 5 - paleozoik uključujući i donjotrijaske klastite; 6 - andezit; 7 - gips (anhidritska formacija). **B. Strukture.** 8 - osi: a) sinklinale i b) antiklinale u mezozojskim naslagama; 9 - minimum i maksimum gravimetrijskog reziduala (stijene različite gustoće relativno više spuštene ili uzdignute); 10 - prstenaste strukture; 11 - važnije uzdignute (1-20) i važnije spuštene (21-34) strukture: V. Javornica - Skalića greda (1), Brinje - Miškovo bilo (2), Jasenjak - Modruš (3), Tounj (4), Vrhovinsko polje - Doljani (5), Bojište (6), Preušić -Široka kula (7), Jezera - Lipovo polje (8), Štirovača (9), Bakovac - Jasenova (10), Radlovac - Mlinište (11), Jadovno - Trnovac (12), Velika Paklenica (13), Vrebac - Gradina (14), Prijeboj (15), Bočinovac (16), Bruvnol (17), Dobro selo - Bijelo brdo (18), Jagodnik (19), Brušane - Oštarije (20), Krakar - Kapela (21), Mirkovica - Kalska glavica (22), Gojak -Tobolić (23), Pištanica (24), Čanak (25), Gostovače (26), Kaluderovac - Lički Osik - Pavlovačka kosa - Trovrh (27), Sugarsko korito - Jelova ruja (28), Titova Korenica (29), Pećani - Crni vrh (30), Vučjak (31), Žegar - Trebačnik (32), Kip (33), Vinodolska uleknina - graba (34); 12 - veće tektonske jedinice: Vinodol - Senj (1), Ravni kotari (2), Gorski kotar (3), Velebit (4), Lika (5), Kordun (6), Grmeč (7); 13 - strukturna rajonizacija - jedinice Dinarida (I - Adriatik, II - Dinarik). **C. Rasjedi.** 14 - regionalni rasjed (trasa glavnog rasjeda); 15 - rasjedi koji odvajaju veće tektonske cjeline, krupnije strukture i tektonske blokove; 16 - rasjedi koji su poremetili odnose unutar veće tektonske cjeline, krupnije strukture i tektonskog bloka; 17 - rasjedi s oznakom relativno spuštenog bloka; 18 - rasjedi s naznakom horizontalnog pomaka; 19 - normalni rasjed; 20 - reversni rasjed.

Fig. 1. Tectonic map (using the data of the geological maps: Bihać, Crikvenica, Gospić, Knin, Obrovac, Otočac, Ogulin, Rab, Silba, Slunj, Udbina, Zadar). Legend: **A. Rocks of the surface.** 1 - Quaternary : predominantly alluvium and proluvium; 2 - Pliocene - Quaternary: unconcolidated sediments; 3 - Paleogene - Neogene (generally): calcareous breccias, conglomerates and Eocene flysch; 4 - Mesozoic (Triassic, Jurrasic, Cretaceous): predominantly limestones and dolomites, subordinate calcareous breccias; 5 - Paleozoic including Lower Triassic clastites; 6 - andesite; 7 - plaster (anhedites formation). **B. Structures.** 8.- axis of a) synclines b) anticlines in mesosoic beds; 9 - minimum and maximum gravimetric residual (rocks of different density relatively more subsided or uplifted); 10 - ring structures; 11 - more importanat uplifted (1-20) and more important subsided (21-34) structures: V. Javornica - Skalića greda (1), Brinje - Miškovo bilo (2), Jasenjak - Modruš (3), Tounj (4), Vrhovinsko polje - Doljani (5), Bojište (6), Preušić -Široka kula (7), Jezera - Lipovo polje (8), Štirovača (9), Bakovac - Jasenova (10), Radlovac - Mlinište (11), Jadovno - Trnovac (12), Velika Paklenica (13), Vrebac - Gradina (14), Prijeboj (15), Bočinovac (16), Bruvnol (17), Dobro selo - Bijelo brdo (18), Jagodnik (19), Brušane - Oštarije (20), Krakar - Kapela (21), Mirkovica - Kalska glavica (22), Gojak - Tobolić (23), Pištanica (24), Čanak (25), Gostovače (26), Kaluderovac - Lički Osik - Pavlovačka kosa - Trovrh (27), Sugarsko korito - Jelova ruja (28), Titova Korenica (29), Pećani - Crni vrh (30), Vučjak (31), Žegar - Trebačnik (32), Kip (33), Vinodolska uleknina - graba (34); 12 - larger tectonic units: Vinodol - Senj (1), Ravni kotari (2), Gorski kotar (3), Velebit (4), Lika (5), Kordun (6), Grmeč (7); 13 - structural regionalization - Dinarides units (I-Adrijatik, II-Dinarik). **C. Faults.** 14 - regional fault (route of the main fault); 15 - faults boundary of the greater tectonic units, of massive structure and tectonic block; 16 - faults which disturbed the relations inside the greater tectonic unity, of massive structure and tectonic block; 17 - faults with the subsided block mark, 18 - faults with horizontal slip; 19 - normal faults; 20 - reverse faults.

(1.1.). Pretežno je izgrađena od jelar naslaga (BAHUN, 1974). Iznad nje izdiže se rezidualna **visokogorska zaravan** (1.2.) obilježena brojnim tragovima bivših vodotoka. Zbog krških procesa, uvjetovanih neotektonskim izdizanjem vodotoci su presahnuli. Za oledbe u pleistocenu (BELIJ, 1985) mnogi od njih bili su prošireni i produbljeni, ali i razoreni. Na temelju lučno povinutih paleokorita izdvojene su brojne ovalne i kružne strukture (KLEIN & JOVIČIĆ, 1994). Visokogorsku velebitsku zaravan izgrađenu od karbonatnih stijena, brušansko-oštarijski rasjed dijeli na jugoistočni dio koji prelazi u istočni (1.2.1.) i na sjeverozapadni dio (1.2.2.). Reljefno povijanje Velebita prenosi se i na njegovu **unutrašnju ličku stranu** i dijeli se na sjeverozapadni (1.3.1.) i jugoistočni dio (1.3.2.). Prvi dio predstavljaju izrasjedane i denudirane zaravni koje se uz manje ili veće prekide postupno spuštaju prema središnjim dijelovima Like. Jugoistočni dio (1.3.2.) izdvojena pojasa oštro je spušten uz lički rasjed, a izgrađen je od trijasko-paleozojskih naslaga (Medak - Sv. Rok).

Ličko-plješevički lučno reljefni pojas s ograncima trodijelne je građe i odlikuje se suženošću (sl. 2, oznaka 2). Središnji dio (2.2.) izgrađen je od naslaga gornje krede. Prema zapadu nastavlja se sužen brinjsko-dabarski (2.1.) dio, a prema jugoistoku odnosno jugu bruvanjski (2.3.).

Unutrašnji dijelovi ličko-plješevičkog reljefnog pojasa podjednako se kao i velebitski, nastavljaju prema središnjim kotlinastim dijelovima ovalnog sklopa "Lika". Obadva lučna reljefna pojasa tvore ovalnu jezgru (sl. 2, oznaka 3) koju je moguće izdvojiti na više načina. Unutrašnje razgraničenje ličkog kotlinastog



prostora, s obzirom na pružanja elemenata morfostrukturne građe, može se izvesti kao dijagonalno (sjever - jug) i uzdužno (sjeverozapad - jugoistok). Dijagonalno razgraničenje dijeli ličku zavalu na zapadni i istočni dio, a uzdužno na sjeveroistočni i jugozapadni dio. Moguće su i druge unutrašnje podjele koje ovom prilikom nisu razmatrane. Takvi odnosi pokazuju da je istraživano područje u tektonskom smislu intenzivno poremećeno.

Na obadva osnovna lučna reljefna pojasa nastavljaju se **vanjski otočno-šelfni** (5.1.) i **unsko-plješevički** (5.2.) rubni pojasovi, ali ne u podjednakoj mjeri. To znači da se utjecaj ovalnoga morfostrukturnog sklopa "Lika" širi dalje od svojih graničnih rubova. O otočno-šelfnim lukovima piše SPAIĆ (1990).

RAZMATRANJE REZULTATA

Ovalni sklop "Lika" odražava karakterističnu smjernicu morfostrukturna razvoja terena u području Visokog krša. Međutim, ostaje otvoreno pitanje, u kojoj je mjeri povijanje Velebita uvjetovano prethodnim navlačenjem karbonatnih stijena mezozojske starosti preko anhidritskog kompleksa (ROMANDIĆ, 1990). U tom slučaju neotektonsko izdizanje samo je potvrdilo navedenu tvrdnju. Općenito, uvlačenje dijelova nekoć prostranije ličke paleozaravni u reljef, a koja se rasprostirala i na području današnjeg Velebita i ličke Plješevice, u krajnjoj je liniji reduciralo njezino rasprostranjenje. Ovalni sklop "Lika" ujedno predstavlja završni jugoistočni dio ličko-notranjskog strukturnog sklopa.

Ovalnu morfostrukturu "Lika" karakterizira zrcalna simetrija, jer se velebitskom suprotstavlja ličko-plješevički lučni reljefni pojas. Obadva se mogu razgraničiti samo grubo, a tvore kotlinast prostor, odnosno ličku zavalu. Međutim, unutrašnja razgraničenja bilo jezgre ili pripadnih morfostrukturnih reljefnih pojasova nisu jednoznačna, te se mogu provesti na više načina.

U predpleistocensko (predledenjačko) doba površinom paleozaravni, u širem ličkom području, protjecali su površinski vodotoci. Izdizanjem paleozaravni, kao dijela dinaridske paleozaravni, stara je hidrografska mreža presahnula zbog krških procesa. Zato se recentno, unutar danas visoko položenih dijelova rubnih masiva, nailazi na tragove starih korita.

Egzaktnije rješenje problema razvoja ovalnoga morfostrukturnog sklopa "Lika" treba tražiti i u mjerenju različitih linearnih, lučnih i planarnih tektonskih eleme-

Sl. 2. Morfostrukturna karta. Legenda: 1 - pravocrtni i lučni ocrti reljefa; 2- pretpostavljeni rasjedi rekonstruirani na temelju obilježja reljefa s oznakom relativno spuštenog bloka; 3 - rasjedi preneseni s tektonske karte s oznakom relativno spuštenog bloka; 4 - velebitski lučni reljefni pojas: primorska padina (1.1.) u najvećoj mjeri izgrađena od vapnenačkih jelar naslaga; visokogorska zaravan (1.2.) uglavnom izgrađena od naslaga srednje i gornje jure, JI dio velebitske zaravni (1.2.1.) brušansko-oštarijski dio ličkog rasjeda odjeljuje SZ dio velebitske gorske zaravni (1.2.2.) koji tvore: a) karlobaški klinasti, b) središnji i c) senjski dio - oni su osnova reljefnih pojasova koji se duboko prate u ličku unutrašnjost i s kojim tvore velebitski lučni reljefni pojas: d) i e) rubne podcjeline); unutrašnji velebitski lučni reljefni pojas (1.3.): SZ dio (1.3.1.) u čijoj izgradnji učestvuju naslage trijasa, JI tektonski spušten dio predstavlja trijasko-paleozojski brežuljkasti dio (1.3.2.); 5 - ličko-plješevički lučno reljefni pojas složene litološke i tektonske građe: dabarsko-brinjski (2.1.) hipsometrijski niži dio klinastog ocrta pretežno izgrađen iz naslaga jure i krede, središnji dio ličko-plješevičkog luka - trodijelne unutrašnje podjele (2.2.) pretežno izgrađen od naslaga gornje krede i bruvljanski JZ dio - dvodijelne unutrašnje podjele (2.3.) izgrađuju naslage gornjeg trijasa i jure; 6 - središnja kotlinasta jezgra pretežno izgrađena od jure, krede i jelar naslaga; 7 - središnji dijagonalni pojas morfostrukturnog razgraničenja; 8 - rubni vanjski pojasovi: otočno-šelfni (5.1) i unsko-plješevički (5.2.); 9 - uzdignute ili spuštene strukturne jedinice: vinodolska uleknina-graba (1); Bitoraj (2); Lepušina draga - Ravna gora (3); Bjelolasica - Vodoteč (4); Senj (5); Brinje (6); Jezera - Lipovo polje (7); Štirovača (8); Brušane - Oštarije (9); Jelova ruja (10); Velika Paklenica (11); Sveti Rok (12); Sučevići - Velika Popina - Radoč (13); Velika Kapela (14); Ogulin - Tobulić (15); Mala Kapela (16); Ličko sredogorje (17); Plješivica (18); Plitvička jezera - Koreničko vrelo (19); Brezovac - Krbavica (20); Pišač - Udbina (21); Kremen (22); Bruvno (23); Čemernica - Kulen Vakuf (24); Srb (25); Poštak - Plavno - Pađene (26); 10 - kvartar: pretežno aluvij i proluvij; 11 - pliocen i kvartar: nevezani sedimenti; 12 - paleogen - neogen (općenito): vapnenačke breče, konglomerati i eocenski fliš; 13 - mezozoik (trijas, jura, kreda): pretežno vapnenci i dolomiti, podređeno vapnenačke breče; 14 - paleozoik uključujući i donjotrijaske klastite; 15 - a) andezit i b) gips (anhidritska formacija).

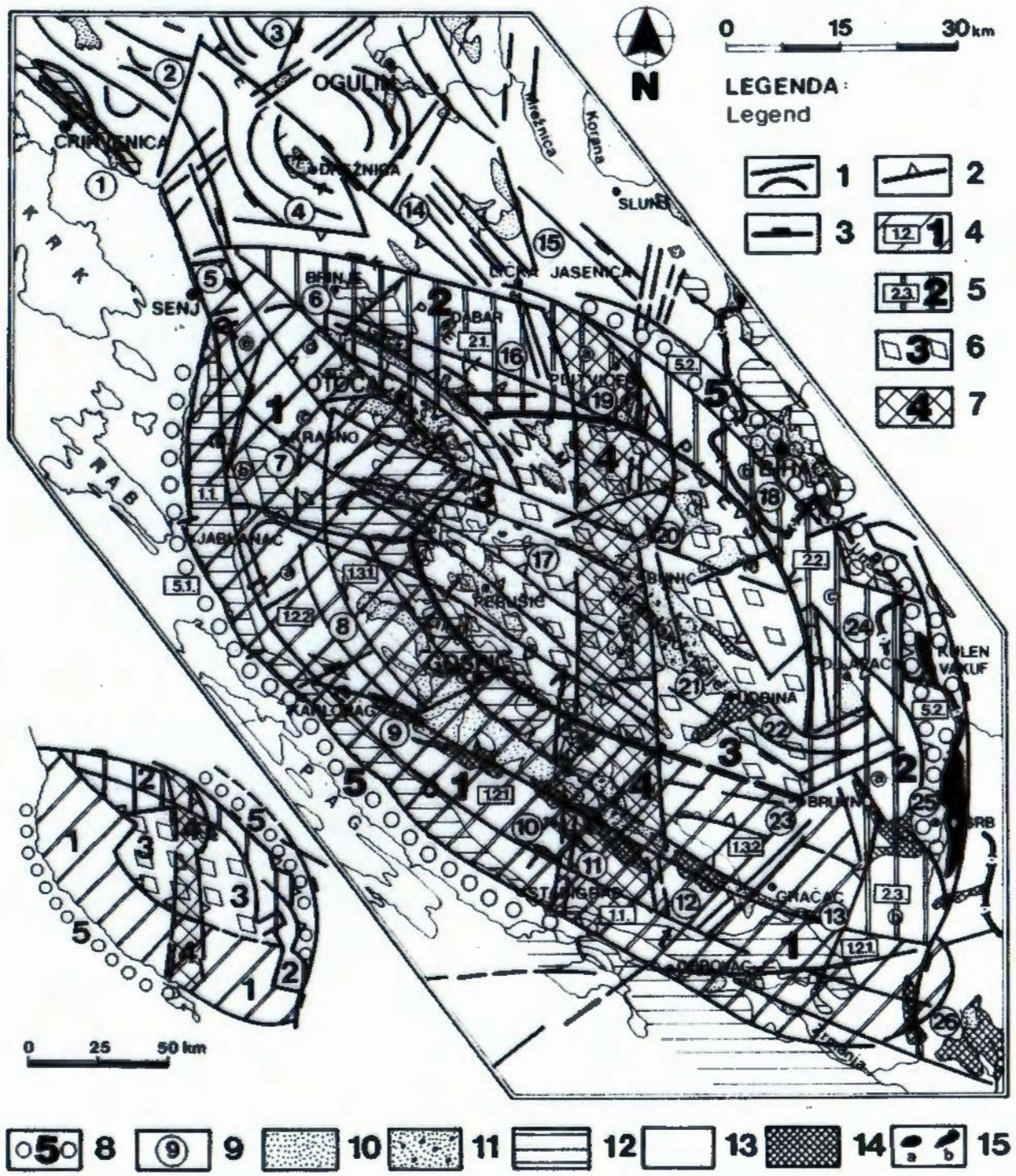
Fig. 2. The morphostructural map. Legend: 1 - straightline and arched declination of relief; 2 - supposed faults reconstructed on the basis of the relief features with the relativelly subsided block mark; 3 - faults taken from the tectonic map with the relativelly subsided mark; 4 - Velebit relief arched belt: seaside slope (1.1) mostly consisting of calcareous jelar bed; high mountain plane (1.2) mostly consisting of the middle and upper Jurrassic, SE part of the Velebit plane (1.2.1) brušansko-oštarijski part od the Lika fault which separate NW part of the mountain planes of Velebit (1.2.2.) which consists of: a) Karlobag wedge-shaped, b) central, and c) the part of Senj - they present the basis of the relif belt, that are deeply followed into inland of Lika, with which they form the Velebit relief arched belt: d) and e) marginal subdivisions; the inner Velebit relief arched belt (1.3.): NW part (1.3.1.) in which formation the triassic beds take part, SE tectonic subsided part represent Triassic-Paleozoic hilly part (1.3.2.); 5 - Lika -Plješevica relief arched belt of the compound lithologic and tectonic structue: Dabarsko-brinjski (2.1.) hypsometric lower part of the wedge-shaped outline, predominantly of the Jurrasic and Crecateous beds, the central part of the ličko-plješivički arch - tripartite inner division (2.2.) predominantly of the Upper Cretaceous beds, bruvljanski SW part - of the twofold inner division (2.3) create the Upper Triassic and Jurrassic beds; 6 - central depressional core, predominantly of the Jurrasic, Cretaceous and jelar beds; 7 - central diagonal belt of morphostructural divsion; 8 - outer priphery beds: island shelf (5.1) and plješevičko - unski (5.2.); 9 - uplifted and subsided structural units: Vinodol downlifting or dyke (1); Bitoraj (2); Lepušina draga - Ravna gora (3); Bjelolasica - Vodoteč (4); Senj (5); Brinje (6); Jezera - Lipovo polje (7); Štirovača (8); Brušane - Oštarije (9); Jelova ruja (10); Velika Paklenica (11); Sveti Rok (12); Sučevići - Velika Popina - Radoč (13); Velika Kapela (14); Ogulin - Tobulić (15); Mala Kapela (16); Ličko sredogorje (17); Plješivica (18); Plitvička jezera - Koreničko vrelo (19); Brezovac - Krbavica (20); Pišač - Udbina (21); Kremen (22); Bruvno (23); Čemernica - Kulen Vakuf (24); Srb (25); Poštak - Plavno - Pađene (26); 10 - Quaternary : predominantly alluvium and proluvium; 11 - Pliocene - Quaternary: unconcolidated sediments; 12 - Paleogene - Neogene (generally): calcareous breccias, conglomerates and Eocene flysch; 13 - Mesozoic (Triassic, Jurrasic, Cretaceous): predominantly limestones and dolomites, subordinate calcareous breccias; 14 - Paleozoic including Lower Triassic clastites; 15 - a) andesite and b) plaster (anhedites formation).

nata i njihovom strukturnom obradom, uključujući i paleostrukturno-morfostrukturne čimbenike. Tada će se moći smišljenije pristupiti tumačenju geneze isticanih faktografskih geometrijskih obilježja ovalne morfostrukture "Lika".

ZAKLJUČAK

U istraživanom području elementi morfografskog i strukturnog zonaliteta međusobno se prate oblikujući ovalni morfostrukturni sklop "Lika". Oblikovanje tog sklopa rezultat je neotektonskog izdizanja rubnih dijelova ličke paleozaravni u gorski reljef. U kojoj je mjeri destrukcija paleozaravni vezana uz neotektonsko obnavljanje jednog starijeg strukturnog plana, nastalog u fazi tangencijalnih kretanja karbonatnih kompleksa Dinarida u širem ličkom području, ovom prilikom nije razmatrano. Rubna povijenost ovalne morfostrukture "Lika" nastavlja se prema unutrašnjosti.

Lička paleozaravan nastala je u fazi duljega tektonskog mirovanja općenito u neogenu. Složenost cjelokupna razvoja istraživana područja upravo se očituje u



oblikovanju izdvojena morfostrukturnog sklopa "Lika" jedinstvena kao pojave u Dinaridima.

LITERATURA

ALJINOVIĆ, B., PRELOGOVIĆ, E. & SKOKO, D. (1987): Novi podaci o dubinskoj geološkoj građi i seizmotektonski aktivnim zonama u Jugoslaviji.- Geol. vjesnik, 40, 255-269.

BAHUN, S. (1974): Tektogneza Velebita i postanak Jelar naslaga.- Geol. vjesnik, 27, 35-51, Zagreb.

BELIJ, F. (1985): Glacijalni i periglacijalni reljef južnog Velebita.- Sgd, posebno izdanje, 61, 69, Beograd.

BOGNAR, A. (1992): Pedimenti južnog Velebita.- Geogr. glasnik, 56, 19-52, Zagreb.

HERAK, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides (Nova koncepcija geotektonike Dinarida).- Acta geol., 16/1, 1-42, Zagreb.

KLEIN, V. & JOVIČIĆ, D. (1994): Morfostrukturna obilježja primorske padine Velebita na osnovi satelitskih snimaka.- Simpozij povodom 45. godišnjice nacionalnog parka "Paklenica" (u tisku).

LABAŠ, V. (1987): Neke specifičnosti građe podzemlja dijela centralne zone dinaridskog gravimetrijskog minimuma.- Nafta, 10, 547-554, Zagreb.

ROMANDIĆ, S. (1990): Analiza podataka dubokog geoelektričnog sondiranja na području zapadnog dijela Dinarida.- Nafta, 41/7-8, 307-324, Zagreb.

SGZ (1970): Geološka karta Jugoslavije, mjerila 1:500.000.- Sav. geol. zavod, Beograd.

SPAIĆ, V. (1990): Nove spoznaje o mogućoj genezi lučnog povijanja morfoloških i strukturnih elemenata jadranskih otoka i poluotoka i naftnogeološke karakteristike mezozojskih stijena tog područja.- Nafta, 41/3, 115-125, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	261 - 264	ZAGREB 1995

Boksit i paleogenski sedimenti na nekim lokalitetima u Hercegovini

Enio JUNGWIRTH

Ključne riječi: boksiti, paleogen, stratigrafska praznina, Hercegovina

Key words: Bauxites, Paleogene, Hiatus, Herzegovina

Sažetak

Boksiti, kao najvažnija mineralna sirovina Hercegovine, nalaze se na kontaktu između gornjokrednih (turon-senonskih) rudistnih vapnenaca i različitih stratigrafskih nivoa paleogena, na kontaktu pretežno alveolinskih vapnenaca i klastita mlađeg paleogena, ali i na kontaktu gornjokrednih vapnenaca i neogenskih klastita. Istraživanja provođena posljednjeg desetljeća znatno su pridonijela upoznavanju: duljine trajanja kopnene faze kada se boksitični materijal nakupljao u paleoreljefu, paleogeografske situacije u kojima su nastajali istovremeni sedimenti različitih litoloških karakteristika kao i njihova mjesta nastajanja, te taložine istovjetnih ili bliskih uvjeta postanka u različitim nivoima tijekom paleogena. Boksitna ležišta neogena su rezultat znatno drugačijih uvjeta nastajanja.

Abstract

Bauxites, as the most important mineral resource of Herzegovina, are situated on contact between Upper Cretaceous (Turonian-Senonian) rudistid limestones and diversified stages of Paleogene; between Foraminiferal limestones (predominantly with Alveolinas) and younger Paleogene clastic deposits, or on contact between Upper Cretaceous limestones and Neogene clastic deposits. Investigations conducted during the last decade have great contribution in learning more about the span of continental phase, when bauxite material was accumulated on paleorelief, and paleogeographic situation when there have been formed contemporary sediments of diversified lithologic features, as well as environments, and sedimentation the very same or close to conditions of sedimentations in diversified stages during Paleogene. Neogene bauxite deposits are formed under much more different circumstances.

UVOD

Boksitonosni tereni Hercegovine poznati su već više od stoljeća, a eksploatacija traje više od pedeset godina. Iskop rude i njezina prerada neminovno zahtijevaju i odgovarajuće geološke radove od detaljnog geološkog kartiranja do istražnog bušenja. Perspektivna površina se proteže na više od 4.400 km^2, a pojedini njezini dijelovi različite su geološke građe. Ovi boksitonosni tereni su od gornje krede, te u paleogenu i neogenu prešli složen razvojni put. O tome svjedoče ležišta boksita promijenljiva oblika, veličine, kvalitete rude, kao i njihove krovinske naslage predstavljene različitim sedimentima nastalih u prostoru složenih paleogeografskih odnosa i sredina taloženja, te kompliciranе strukture.

Kompletne preglede pojedinih boksitonosnih područja s položajem boksita nalazimo u tumačima listova Nevesinje i Mostar (MOJIČEVIĆ & LAUŠEVIĆ, 1973a, 1973b), Metković (RAIĆ & PAPEŠ, 1977), Imotski (RAIĆ & PAPEŠ, 1978), u radovima koji opisuju geologiju bivše Jugoslavije (GRUBIĆ, 1975), ili tretiraju geologiju ležišta boksita Hercegovine (ŽIVALJEVIĆ, 1977), te šireg područja Imotskog s obradom terena u Hercegovini (SAKAČ et al., 1984, 1987) ili boksitonosnih horizonata u bivšoj Jugoslaviji (SAKAČ, 1973). Međutim, postoji tek mali broj radova u određivanju neposredne krovine boksitnih ležišta ili čitavog krovinskog kompleksa koristi rezultate kompleksnih paleontoloških istraživanja. Vrijedni rezultati istraživanja datiraju od sredine 80-ih godina (npr. DRAGIČEVIĆ et al., 1985, 1992; DROBNE et al., 1986; JUNGWIRTH et al., 1987; SAKAČ et al., 1993, itd.). Tako dobiveni podaci znatno mijenjaju mišljenja o starosti pojedinih klastita (što se prvenstveno odnosi na starost neposredne krovine boksita).

GEOLOŠKI POLOŽAJ BOKSITA I PALEOGENSKIH SEDIMENATA

Što pouzdanije i preciznije određivanje neposredne krovine (člana ili kompleksa) boksita vrlo je važan element kod istraživanja ove rude. Precizno datiranje neposredne krovine boksita omogućuje nam bolje upoznavanje duljine trajanja kopnene faze koja je započela u gornjoj kredi i različito trajala u paleogenu kada su nastajala paleoudubljenja u kojima se nakupljao boksitični materijal.

Ul. Ljudevita Gaja 2b, 10000 Zagreb, Hrvatska.

Rezultati istraživanja posljednjih 10 godina pokazuju da su liburnijske naslage više-manje samo oznaka specifičnog facijesa (ZUPANIČ & BABIĆ, 1986; BABIĆ et al., 1986 - nije publicirano), da klastiti označeni kao fliš i "Promina naslage" svoj početak taloženja imaju već u tanetu, srednjem ilerdu, donjem eocenu (DRAGIČEVIĆ et al., 1985, 1986) ili mlađem srednjem eocenu (JUNGWIRTH et al., 1987), a da naslage gornjeg eocena i oligocena paleontološki nisu dokazane (osim najstarijeg gornjeg eocena). Ovdje će se ukratko predstaviti neka zanimljiva područja.

1. STOLAC
(lokaliteti Dabrica, Hodovo, Pijesci i Stanojevići)

Boksitonosno područje Dabrice nalazi se 20-ak km sjeverno od Stoca. Boksitna ležišta se nalaze na rudistnim vapnencima, a mogu biti otvorena (bez krovine) ili prekrivena stromatolitnim vapnencima ili klastitima sa faunom (BUTKOVIĆ, 1983) i ostacima makroflore (JUNGWIRTH & MIHAJLOVIĆ, 1988) mlađeg srednjeg eocena, te moguće i starijeg gornjeg eocena, dok je situacija južnije između Dabrice i planine Hrgud (mjesto Koritnik) složenija (SAKAČ et al., 1993).

U zapadnom dijelu dabričke doline nabušena su ležišta između gornjokrednih rudistnih vapnenaca i klastita višeg luteta ("biarritz"). Ovdje je boksit izrazito promijenljive kvalitete, npr. ležišta L-8: Al_2O_3 = 53,65%, SiO_2 = 4,84% ili L-4: Al_2O_3 = 48,91% i SiO_2 = 10,30%.

Za Dabricu je značajno i da se na gornjokrednim vapnencima nalaze od 0,5 do 3 m debeli sivi boksiti na kojima su pak crveni boksiti. Krovina takvoj kombinaciji su stromatolitni vapnenci (sivi boksit - Al_2O_3 = 46,96% i SiO_2 = 17,03%; crveni boksit Al_2O_3 = 56,61% i SiO_2 = 5,02%) ili klastiti mlađeg eocena (sivi boksit Al_2O_3 = 25,85% i SiO_2 = 33,25%; crveni boksit Al_2O_3 = 40,01% i SiO_2 = 19,20%). Smatra se (ĆATOVIĆ & TRUBELJA, 1976) da sivi boksiti pokazuju da je taloženje boksita bilo u relativno plitkoj vodenoj sredini reduktivnih uvjeta u kojoj je usčuvana organska materija poslužila kao izvor sumpora. Promjenom uvjeta, tj. uspostavljanjem oksidacijskih uvjeta (aerobnih) nastajali su crveni boksiti.

Hodovo se nalazi 15 km sjeverno od Stoca. Tu izdanjuju gornjokredni vapnenci i uže zone paleogenskih naslaga, a boksit je utvrđen na kontaktu između gornjokrednih rudistnih vapnenaca i alveolinsko-numulitnih vapnenaca (kvaliteta boksita je Al_2O_3 = 49,61 - 51,07% i SiO_2 = 17,22 - 1,14%). Na alveolinsko-numulitnim vapnencima transgresivno-diskordantno leži kompleks klastičnih naslaga mlađeg srednjeg eocena. Međusobni kontakt je bez boksita.

Lokaliteti Pijesci i Stanojevići nalaze se oko 20 km jugoistočno od Mostara. Geološkim kartiranjem Pijesaka izdvojeni su vapnenci gornje krede i naslage paleogena. Njihov normalni međusobni kontakt obilježen je pojavama i manjim ležištima boksita, a na nekim mjestima se pojava boksita pretpostavlja. Paleogenske naslage nastale su u različitim taložnim uvjetima. Razlikujemo dva oblika razvoja paleogena Pijesaka.

U prvom slučaju na kontaktu gornjokrednih vapnenaca i brakičnih vapnenaca monta ležišta boksita nisu razvijena. Taloženje paleogena započinje sa brakičnim vapnencima u montu. Od donjeg kuizija do gornjeg kuizija talože se vapnenci sa alveolinama, a od gornjeg kuizija do priabona klastiti.

U drugom slučaju na gornjokrednim vapnencima s pojavama boksita (i pretpostavljenim ležištima) leže klastični sedimenti i vapnenci gornjeg paleocena i donjeg eocena.

Geološkim kartiranjem Stanojevića boksit nije utvrđen. Ustanovljeno je da već od srednjeg paleocena na okršene gornjokredne vapnence počinje taloženje vapnenaca.

Nedaleko ovih lokaliteta je Bivolje Brdo gdje su boksiti na kontaktu alveolinsko-numulitnih vapnenaca i mlađih klastičnih naslaga (Al_2O_3 = 47,88% i SiO_2 = 6,57%).

2. ČITLUK
(lokaliteti Blizanci, Gradnići, Blatnica, Hamzići-Rasno)

Ovi se lokaliteti nalaze oko gradića Čitluka. Ležišta boksita nalaze se između gornjokrednik rudistnih vapnenaca i srednjeilerdskih-donjokuizijskih klastita (Blatnica); između gornjokrednih vapnenaca i klastita mlađeg srednjeg eocena (Al_2O_3 = 58,56% i SiO_2 = 2,85%) ili miopliocenskih naslaga (Gradnići); između alveolinsko-numulitnih vapnenaca i klastita gornjeg srednjeg eocena (Blizanci). I ovdje se ispod crvenog boksita javljaju sivi (sivi boksit sadrži Al_2O_3 = 46,50 - 48,84% i SiO_2 = 9,24 - 5,84%, a crveni Al_2O_3 = 50,40% i SiO_2 = 5,30%). Lokalitet Hamzići-Rasno obilježen je malim ležištima boksita (Al_2O_3 = 48,12 - 63,55% i SiO_2 10,60 - 2,34%) između gornjokrednih vapnenaca i gornjopaleocensko-donjoeocenskih vapnenaca s brakično-slatkovodnim i marinskim značajkama.

3. ŠIROKI BRIJEG
(lokaliteti Grabova draga, Čelopek i Kidačke Njive)

Spomenuti lokaliteti su okolina Širokog Brijega (Ličtica) u zapadnoj Hercegovini. U Grabovoj dragi paleogenska transgresija započela je vapnencima s alveolinama u srednjem ilerdu i traje do kraja kuizija, nakon čega slijede klastiti luteta (SAKAČ et al., 1987). Ovaj kontakt nije markiran boksitnim ležištima. Na lokatitetima Čelopek i Kidačke Njive kontakt između gornjokrednih vapnenaca i stromatolitnih ilerdsko-donjokuizijskih vapnenaca obilježen je značajnim ležištima kvalitetnog boksita. Ovdje je također zanimljiva pojava sivih boksita (Čelopek - crveni boksit Al_2O_3 = 54,63% i SiO_2 8,62%; Kidačke Njive - sivi boksit Al_2O_3 = 48,45% i SiO_2 = 6,75%, crveni boksit - Al_2O_3 = 51,55% i SiO_2 = 6,75%).

4. POSUŠJE
(lokaliteti Studena Vrila, Kadim, Zagorje)

Studena Vrila su smještena uz prometnicu Posušje-Tomislavgrad i predstavljaju najpoznatije boksitonosno područje zapadne Hercegovine, sa geološkim rezervama ležišta od nekoliko stotina do preko milijun tona vrlo kvalitetnog boksita. Ovaj teren izgrađuju gornjokredni vapnenci i različiti klastični sedimenti heterogenog sastava nazvani "Promina naslage" (RAIĆ & PAPEŠ, 1978). Prema DRAGIČEVIĆ et al., 1985, 1986; PAVŠIČ u BABIĆ et al., 1986 - nije tiskano), neposredna krovina boksita su sedimenti donjeg eocena. Slijede sedimenti luteta, možda i starijeg gornjeg eocena (npr. JUNGWIRTH & MIHAJLOVIĆ, 1988) ili čak kompleks prelazi u oligocen (DRAGIČEVIĆ et al., 1985).

Lokalitet Kadim se nalazi u blizini saobraćajnice Posušje-Vir. Udaljeno je 15-ak km od Posušja. Boksiti se ovdje nalaze između alveolinsko-numulitnih vapnenaca i lutetskih klastita. Uglavnom su to manja ležišta (1.000 do 30.000 tona) s kvalitetom Al_2O_3 = 42,00% i SiO_2 = 15,31%. Tu su provedena kompleksna geološka istraživanja paleogena (DROBNE et al., 1986).

Zagorje je poznato boksitonosno područje u krajnjem sjeverozapadnom dijelu Hercegovine, udaljeno od Posušja oko 18 km. Na relativno malom prostoru (cca 13 km^2) utvrđena su brojna ležišta od nekoliko tisuća do preko 500.000 tona vrlo kvalitetnog boksita. Ovdje se istražuje niz godina (kartiranje, istražno bušenje), a biostratigrafske analize su novijeg datuma (npr. JUNGWIRTH, 1981; JUNGWIRTH et al., 1987; JUNGWIRTH & MIHAJLOVIĆ, 1988). Boksiti se nalaze na kontaktu između gornjokrednih rudistnih vapnenaca i fosilifernih naslaga mlađeg srednjeg eocena (Al_2O_3 = 54,19 - 55,13% i SiO_2 = 0,89 - 0,65%). Mjestimično je na boksitima neposredna krovina algalni vapnenac (ZUPANIČ & BABIĆ, 1986), ali i klastiti (konglomerati, lapori i pješčenjaci) za koje se predpostavlja da su mlađi od srednjeg eocena.

ZAKLJUČAK

Ovdje su predstavljeni neki značajniji boksitonosni lokaliteti Hercegovine gdje je bilo moguće odrediti starost neposredne krovine boksita (ili čitavog krovinskog kompleksa), tj. dati određene pretpostavke i zaključke o počecima razvoja paleogena i duljine trajanja kopnene faze. Kopnena faza je vrlo važan period jer se tijekom nje odvijalo okršavanje podloge i nakupljao matični materijal iz kojeg je procesima boksitizacije nastao boksit. Dosadašnji rezultati istraživanja u posljednjoj dekadi pokazuju slijedeće:

- kopnena faza je u Hercegovini trajala različito,
- na mnogim mjestima je trajala kraće nego se do sad smatralo,
- vrijeme akumulacije je bilo kraće ali intenzivnije,
- da su u sličnim okolišima, koji su se kroz vrijeme ponavljali, nataloženi slični litofacijesi po kojima se stratigrafski jednoznačno odredivala starost krovine.

Prema pojedinim lokalitetima ustanovljen je alveolinski razvoj vapnenaca s početkom od taneta do srednjeg kuizija, te s trajanjem do gornjeg kuizija odnosno, donjeg luteta (SLIŠKOVIĆ et al., 1978). Slično je i s pojavom klastita. Detaljnim kartiranjem i proučavanjem pojedinih profila i bušotina s klastitima utvrđen je njihov početak u srednjem paleocenu i ilerdu s trajanjem do starijeg kuizija. Nakon toga se klastiti ponovo počinju taložiti tek u srednjem lutetu ili čak "biarritzu". Klastiti vršnog dijela koje možemo slijediti od Zagorja prema sjeveroistoku (Studena Vrila) za koje se smatra da pripadaju i dijelu gornjeg eocena (ili čak i mlađe) s time da su nastali u drugačijem okolišu.

Vrlo izražena osobitost je i pojava stromatolitnih vapnenaca male debljine (od nekoliko metara do 15-tak m) koji su često neposredna krovina boksitima okoline Stoca (Dabrica), Širokog Brijega (Tribošić, Crne Lokve, Čelopek, Kidačke Njive) i Posušja (Mratnjača, Cerovi Doci, Oluja) i predstavljaju samo specifičan facijes (ZUPANIČ & BABIĆ, 1986).

Poseban ciklus slatkovodne sedimentacije započinje tek u neogenu, ali sedimenti koji na pojedinim mjestima (npr. Gradnići kod Čitluka, Trn kod Širokog Brijega, Vinjani kod Posušja) leže preko boksitnih ležišta nisu posebno proučavani osim samoga boksita (SAKAČ et al., 1984, 1987).

Na temelju dosadašnjih saznanja boksiti Hercegovine nalaze se:

1) unutar gornje jure (istočna Hercegovina),
2) na kontaktu između gornjokrednih vapnenaca i različitih nivoa paleogena, tj.
   - između gornjokrednih vapnenaca i klastita paleocena i donjeg eocena,
   - između gornjokrednih vapnenaca i stromatolitnih vapnenaca (slatkovodno-brakičnih) pretežno paleocenske starosti,
   - između gornjokrednih vapnenaca i različitih nivoa vapnenaca s foraminiferama (pretežno alveolinskih vapnenaca),
   - između gornjokrednih vapnenaca i klastita mlađeg srednjeg eocena,
3) na kontaktu između pretežno alveolinskih (podređeno numulitnih) vapnenaca i klastita mlađeg srednjeg eocena,
4) na kontaktu između gornjokrednih vapnenaca i neogena.

LITERATURA

BUTKOVIĆ, B. (1983): Prilog poznavanju eocenskih molusaka Dabrice kod Stoca (Hercegovina).- Glasn. Zemalj. muzeja BiH, Sv. prir. nauke, 22, 29-34, Sarajevo.

ĆATOVIĆ, F & TRUBELJA, F. (1976): Pojava piritnih boksita u nekim nalazištima u Hercegovini.- Zbornik IV jug. simp. istr. i ekspl. boksita, 81 - 86, Hercegnovi.

DRAGIČEVIĆ, I., BENIĆ, J. & BLAŠKOVIĆ, I. (1985): Novi stratigrafski podaci o paleogenskim klastitima Studenih Vrila - zapadna Hercegovina.- Geol. vjesnik, 38, 31-34, Zagreb.

DRAGIČEVIĆ, I., TIŠLJAR, J., BLAŠKOVIĆ, I., & BENIĆ, J. (1986): Mehanizam taloženja krovinskih naslaga ležišta boksita kao odraz reljefa podine.- Akad. znan. umjetn. BiH, Naučne komunikacije, 1, Odj. prir. nauka, 1, 37 str., Sarajevo.

DRAGIČEVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., TIŠLJAR, J. & BENIĆ, J. (1992): Stratigraphy of Paleogene Strata within the Mesihovina - Rakitno Area (Western Herzegovina).- Geol. Croat., 45, 25 - 52, Zagreb.

DROBNE, K., BABIĆ, LJ., JUNGWIRTH, E., PAVLOVEC, R., PAVŠIČ, J., ŠIKIĆ, L. & ZUPANIČ, J. (1986): Koordinirana istraživanja paleogena u boksitonosnim terenima Hercegovine.- XI Kongres geologa Jugoslavije, knj. 2, 275-284, Tara.

GRUBIĆ, A. (1975): Geologija jugoslovenskih boksita.- Srp. akad. nauka i umetn., Posebna izdanja, knj. 483, Odelenje prir.-mat. nauka, 44, 181 str., Beograd.

JUNGWIRTH, E. (1981): O stratigrafiji i fosilnim nalazima u eocenskom klastičnom kompleksu na području Zagorja (zapadna Hercegovina).- Geol. glasnik, 26, 81-92, Sarajevo.

JUNGWIRTH, E., PAVLOVEC, R., & PAVŠIČ, J. (1987): Biostratigrafija strukturne bušotine Nugli-Šumeljavci N-6 (zapadna Hercegovina).- Geol. glasnik, 30, 169-180, Sarajevo.

JUNGWIRTH, E. & MIHAJLOVIĆ, Đ. (1988): O prvim nalazima eocenske fosilne flore u klastitima zapadne Hercegovine.- Geol. glasnik, 33, (not published), Sarajevo.

MOJIČEVIĆ, M. & LAUŠEVIĆ, M. (1973a): Tumač za list Nevesinje, OGK M 1:100.000, 53 str., Izd. Savezni. geol. zavod, Beograd.

MOJIČEVIĆ, M. & LAUŠEVIĆ, M. (1973b): Tumač za list Mostar, OGK M 1 : 100.000, 48 str., Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.

RAIĆ, V. & PAPEŠ, J. (1977): Tumač za list Metković, OGK M 1: 100.000, 43 str., Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.

RAIĆ, V. & PAPEŠ, J. (1978): Tumač za list Imotski, OGK M 1: 100.000, 51 str., Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.

SAKAČ, K. (1973): Stratigrafski položaj i opće karakteristike boksitnonosnih ležišta.- II Jugoslovenski simpozium za istraživanje i eksploataciju boksita, A-15, 20 str., Tuzla.

SAKAČ, K., ŠINKOVEC, B., JUNGWIRTH, E. & LUKŠIĆ, B (1984): Opća obilježja geološke građe i ležišta boksita područja Imotski.- Geol. vjesnik, 37, 153-174, Zagreb.

SAKAČ, K., ŠINKOVEC, B., BABIĆ, Lj., SESAR, T., DROBNE, K. & ZUPANIČ, J. (1987): O tektonici, sedimentima paleogena i ležištima boksita područja Lištice u Hercegovini.- Geol. vjesnik, 40, 351-378, Zagreb.

SAKAČ, K., BENIĆ, J., BAHUN, S. & PENCINGER, V. (1993): Stratigraphic and Tectonic Position of Paleogene Jelar Beds in the Outher Dinarides.- Nat. croat., 2/1, 55-72, Zagreb.

SLIŠKOVIĆ, T., PAVLOVEC, R. & DROBNE, K. (1978): Stariji paleogen u južnoj Hercegovini.- IX Kongres geologa Jugoslavije, 125-128, Sarajevo.

ZUPANIČ, J. & BABIĆ, Lj. (1986): Algal limestone overlying bauxite (Paleogene, Herzegovina).- V Skup sedimentologa Jugoslavije, 27, Brioni.

ŽIVALJEVIĆ, T. (1977): Geologija ležišta boksita Hercegovine.- Geol. glasnik, 22, 79-116, Sarajevo.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	265 - 268	ZAGREB 1995

Sedimentacija u neravnotežnom estuariju pod utjecajem rijeke: krški estuarij Raše (Hrvatska)

Mladen **JURAČIĆ**[1], Ivan **SONDI**[2], Josip **RUBINIĆ**[3] & Velimir **PRAVDIĆ**[2]

Ključne riječi: estuarij, sedimentacija, klasifikacija, neravnotežni estuarij, rijeka Raša, Hrvatska

Key words: Estuary, Sedimentation, Classification, Disequilibrium estuary, Raša River, Croatia

Sažetak

U radu je opisana recentna sedimentacija u mikrotajdalnom estuariju usječenom u vapnence, zaštićenom od valova i pod riječnim utjecajem. Više od 90% terigenog donosa u estuarij je suspendirani materijal. Veći dio se taloži u 3 km dugačkoj zoni miješanja riječne i morske vode u gornjem dijelu estuarija. Usporedbom pomorskih karata procijenjena je brzina nakupljanja sedimenata u estuariju od oko 80.000 t/god. Istraživani estuarij rijeke Raše predlaže se kao modelni tip neravnotežnog estuarija s dominantnim riječnim utjecajem.

Abstract

The paper examines sediment transport and sedimentation in a small rock bounded, karstic, microtidal, low wave energy, and river-dominated estuary, the Raša River estuary in the northeastern Adriatic. More than 90% of the total terrigenous load is brought into the estuary as fine grained suspended matter. Sedimentation occurs at the salt wedge in the bay head delta and prodelta zone, approximately 3 km long. A sedimentation rate of approximately 80.000 t/a of terrigenous material in this zone has been estimated by comparing two nautical maps. The Raša River estuary is proposed as a typical model for a river-dominated disequilibrium estuary.

UVOD

Ušća rijeka služe kao rubni filtar u kojem se nakuplja materijal koji se rijekama prenosi u more (LISITZIN, 1994). Većina opisanih ušća nalazi se makro- i mezotajdalnim okolišima (razlika između visokih i niskih voda morskih mijena veća od 2 m). Stoga ALLEN (1993, str. 129) navodi da se malo zna o sedimentima u mikrotajdalnim estuarijima, iako su objavljeni podaci o talozima mnogih mikrotidalnih zaljeva i laguna. Sedimentacija u mikrotajdalnom ušću koje je pod utjecajem rijeke, ali je u dinamičkoj ravnoteži s obzirom na unošenje i iznošenje sedimenta (estuarij rijeke Mgeni, Južna Afrika) nedavno je detaljno opisana (COOPER, 1993).

Cilj je ovog rada: (1) opisati ušće rijeke Raše, mikrotajdalni, krški estuarij pod utjecajem rijeke, (2) opisati i kvantificirati taloženje sedimenata u tom području, i (3) predložiti ovaj tip estuarija kao posebnu vrstu u Cooperovu klasifikacijsku shemu (COOPER, 1993).

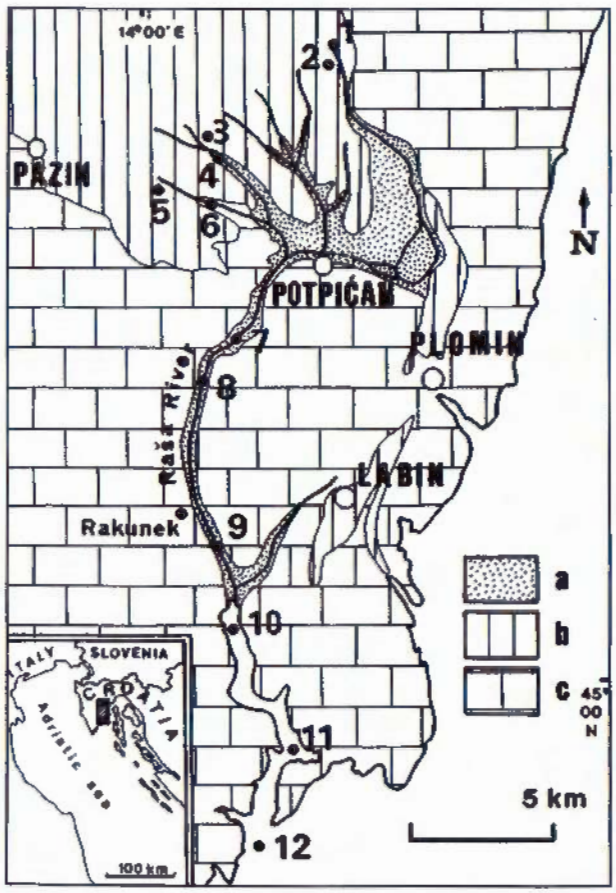
UŠĆE RIJEKE RAŠE

Rijeka Raša (JI Istra; sl. 1) ima topografsko porječje od 205 km^2, i prosječan protok na ušću oko 5,3 m^{3}s^{-1}. Pretpostavljeni hidrogeološki sliv iznosi oko 450 km^2. Hidrološki režim rijeke Raše tipičan je krški, sa znatnim oscilacijama i kratkotrajnim jakim vodnim valovima.

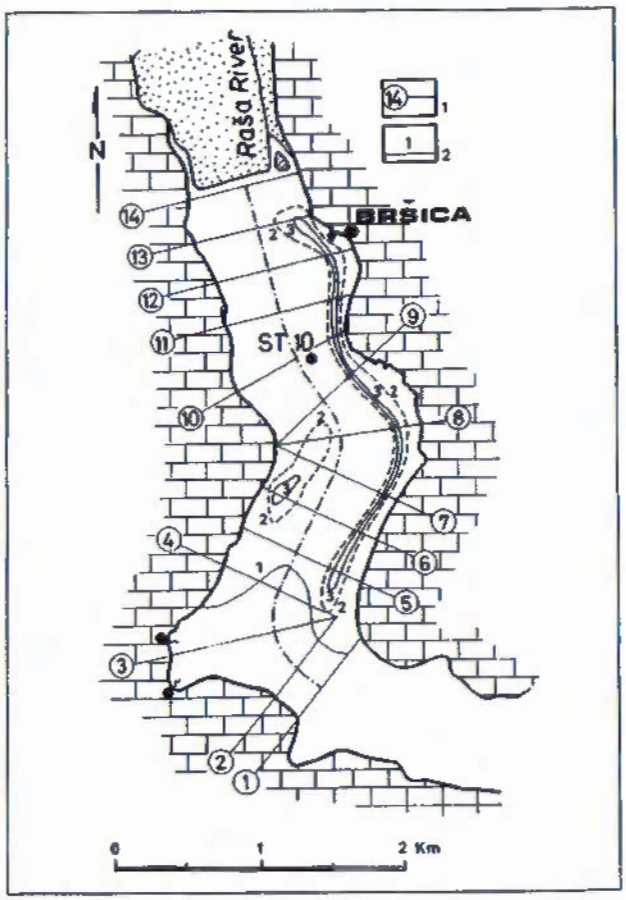
Estuarij rijeke Raše nastao je potapanjem riječne doline usječene u vapnence tijekom holocenske transgresije. Nakon prestanka naglog porasta morske razine prije oko 6000 godina (SEIBOLD & BERGER, 1982) počelo je postupno zapunjavanje estuarija. BENAC et al. (1991) navode da je ušće Raše progradiralo 4 km u posljednjih 240 godina.

U gornjem dijelu porječja prevladava eocenski fliš (sl. 1), čijim trošenjem nastaje većina materijala kojeg Raša prenosi do ušća (SONDI et al., 1995). Nizvodno od Potpićna rijeka Raša ulazi u kanjonski dio koji je usječen u gornjokredne vapnence istarske krške zaravni. Dolinsko dno danas prekrivaju aluvijalni holocenski sedimenti. Donji dio riječne doline, nizvodno od

[1]Geološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu, Zvonimirova 8, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2]Centar za istraživanje mora, Institut "Ruđer Bošković", Bijenička 54, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[3]Javno vodoprivredno poduzeće Istarski slivovi, Zelenice 18, 52220 Labin, Hrvatska.



Sl. 1 Rijeka Raša i njen estuarij. Osnovne litološke jedinice i postaje uzorkovanja. (a) kvartarni aluvijalni sedimenti; (b) eocenski fliš, pretežno lapori; (c) kredni vapnenci.



Sl. 2 Shematski prikaz sedimentnog tijela istaloženog u tridesetgodišnjem razdoblju. Gornji dio estuarija rijeke Raše. (1) profili 1-14 korišteni za izračunavanje; (2) izopahe taložnog tijela.

Bršice (sl. 2), danas je Raški zaljev dužine 12 km kojem dubina postupno raste do 44 m na ulazu. Širina zaljeva na ulazu je svega 950 m.

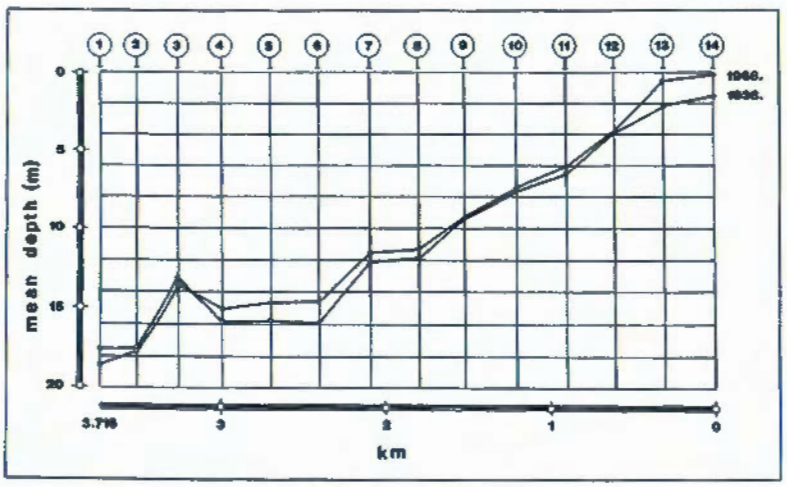
Rijeku Rašu obilježava pronos pretežito sitnozrnatog čestičnog materijala u suspenziji, tek s podređenim značajem vučenog nanosa. BAKOTA (1986) navodi da 91.5% materijala u ušće stiže kao suspendirani materijal.

SEDIMENTACIJA U ESTUARIJU RIJEKE RAŠE

Rezultati dosadašnjih istraživanja hidroloških karakteristika, te suspendiranog materijala i sedimenata izvorišnog područja, rijeke i estuarija objavljeni su u više radova (JURAČIĆ, 1992; SONDI et al., 1994, 1995; JURAČIĆ et al., 1994), te se ovdje iznosi njihov sažetak, dok je posebna pažnja posvećena kvantifikaciji i ocrtu taložnog tijela.

Mjerenja saliniteta pokazala su stratifikaciju vode i trajno postojanje klina morske vode. Ovisno o hidrološkim prilikama (kod visokih voda rijeke) površinski sloj boćate vode je izrazitiji i nižeg saliniteta te se može pratiti sve do otvorenog mora. Klin morske vode uvijek je smješten u području današnjeg ušća (između postaja 9 i 10, sl. 1). Koncentracija suspendiranog materijala obično je viša pri dnu i naglo opada od postaje 9 prema otvorenom moru. Na temelju granulometrijskih i mineraloških karakteristika suspendiranog materijala i sedimenata zaključeno je da se pretežni dio sitnozrnatog partikulatnog materijala kojeg donosi rijeka Raša taloži u vrlo ograničenoj zoni estuarijske delte i prodeltnom području.

Zanimljivu kvantifikaciju recentnog taloženja u estuariju rijeke Raše napravio je BAKOTA (1986). Usporedbom batimetrijskih podataka na preciznim pomorskim kartama (premjeri 1938 i 1968) pokazao je oplićavanje u gornjem dijelu estuarija, te taloženje oko 2.000.000 m^3 u tom razdoblju. Revizijom podataka na četrnaest profila (sl. 2) prikazane su zone maksimalne akumulacije sedimenata (preko 3 m) u uzdužnom koritastom udubljenju uz istočnu obalu, te na padini uz zapadnu obalu. Shematski longitudinalni profil kroz profile 1 do 14 prikazan je na slici 3. Na njemu su indicirane dvije zone znatne akumulacije sedimenata, jedna uz samo ušće između profila 12 i 14, te druga u području između profila 4 i 8. Procijenjeno je da se u 30 godina istaložilo oko 1.450.000 m^3 materijala, odnosno prosječno 48.500 m^3/a. Uz pretpostavku da je prosječna gustoća nekonsolidiranog mulja oko 1,4 g/cm^3 dobiva se prosječno godišnje taloženje oko 78.000 tona, u zoni prodelte dugačkoj oko 3 km.



Sl. 3 Shematski longitudinalni profil gornjeg estuarija s prosječnim dubinama (ekvidistancija 50 m) na profilima 1-14 (sl. 2) u godinama 1938. i 1968. Nizvodno od profila 3 nema oplićavanja.

Uzroci taloženja sitnozrnatog materijala u ovakvom mikrotajdalnom, i okolišu niske energije valova su: (1) deceleracija riječne vode na ušću (estuarijskoj delti), (2) estuarijski tip cirkulacije vode s pridnenom protustrujom morske vode u smjeru rijeke (POSTMA, 1980, BOLDRIN et al., 1992), te (3) flokulacija koja pospješuje taloženje sitnozrnatih čestica (McCAVE, 1984; SONDI et al., 1995).

KLASIFIKACIJA ESTUARIJA RIJEKE RAŠE

Ušće rijeke Raše i Raški zaljev su "poluzatvoreno vodeno tijelo slobodno povezano s otvorenim morem u kojem je morska voda mjerljivo razrijeđena riječnom vodom". Tako upravo glasi definicija estuarija (PRICHARD, 1967), a zbog znatne stratifikacije voda odgovara tipu estuarija s klinom morske vode. Geomorfološki to je potopljena riječna dolina, tipa karakterističnog za krš (calanque, cala) (FAIRBRIDGE, 1980).

U dinamičkom smislu, estuarij rijeke Raše je neravnotežni (FAIRBRIDGE, 1980), jer postoji stalna morfološka promjena zbog progradacije estuarijske delte pri stabilnoj morskoj razini.

COOPER (1993) je predložio klasifikaciju estuarija u ternarnom dijagramu prema udjelu procesa vezanih uz djelovanje valova, morskih mijena i utjecaja rijeke. U području dominantnog utjecaja riječnog donosa stavio je ušće rijeke Mvoti i estuarij Mgeni, oboje u Južnoj Africi, koji su tipični ravnotežni estuariji (COOPER, 1993). Budući da je estuarij Raše tipičan neravnotežni estuarij, predlaže se da se ovaj tip estuarija s dominantnim riječnim utjecajem doda kao posebna kategorija u klasifikacijsku shemu u domeni estuarija pod utjecajem rijeke.

LITERATURA

ALLEN, J.R.L. (1993): An introduction to estuarine lithosomes and their controls.- In: WRIGHT, V.P. (ed.): Sedimentology Review, Blackwell Science, New York, 123-138.

BAKOTA, M. (1986): Vodoprivredna rješenja za izradu prostornog plana lučko-industrijske zone Raša (Erozija-Bujice).- Knjiga III, Vodoprivreda, Rijeka, 80 p.

BENAC, Č., ARBANAS, Ž. & PAVLOVEC, E. (1991): Postanak i geotehničke osobitosti doline i zaljeva Raše.- Pomorski zbornik, 29, 475-429.

BOLDRIN, A., JURAČIĆ, M., MENEGAZZO VITTURI, L., RABITTI, S., & RAMPAZZO, G. (1992): Sedimentation of riverborne material into a shallow shelf sea. Adige River - Adriatic Sea.- Marine Geology, 103, 473-485.

COOPER, J.A.G. (1993): Sedimentation in a river dominated estuary.- Sedimentology, 40, 979-1017.

FAIRBRIDGE, R.W. (1980): The estuary: its definition and geodynamic cycle.- In: OLAUSSON, E & CATO, I. (eds.): Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries. Wiley, New York, 1-35.

JURAČIĆ, M. (1992): Sedimentation in some adriatic karstic river mouths. (Are they estuaries or rias?).- Proceedings of the International conference Geomorphology and the sea, Mali Lošinj, 1992. Department of Geography, Faculty of Science, 55-63, Zagreb.

JURAČIĆ, M., SONDI, I., PROHIĆ, E., & PRAVDIĆ, V. (1994): Sedimentation in a microtidal, rock-bounded estuary. A model for a land/sea transfer system in karstic regions: the Raša River estuary (Croatia).- Proceedings of LITTORAL '94, Eurocoast-Portugal, Lisabon, 549-560.

LISITZIN, A.P. (1994): A marginal filter of the oceans.- Okeanologiya, 34, 735-747.

McCAVE, I.N. (1984): Erosion, transport and deposition of fine-grained marine sediments.- In: STOW, D.A.V. & PIPER, D.J.W. (eds): Fine-Grained Sediments: Deep-Water Processes and Facies, 35-69, Blackwell, London.

POSTMA, H. (1980): Sediment transport and sedimentation.- In: OLAUSSON, E & CATO, I. (eds.): Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries. Wiley, New York, p. 153-186.

PRICHARD, D.W. (1967): What is an estuary? Physical viewpoint.- In: LAUFF, G.H (ed.): Estuaries. American Association for the Advancement of Science, Publication 83, 3-5.

SEIBOLD, E. & BERGER, W.H. (1982): The Sea Floor. An Introduction to Marine Geology.- Springer-Verlag, Berlin, 288 p.

SONDI, I., JURAČIĆ, M., PROHIĆ, E., & PRAVDIĆ, V. (1994): Particulates and the environmental capacity for trace metals. A small river as a model for a land-sea transfer system: the Raša River estuary.- Science of the Total Environment, 155, 173-185.

SONDI, I., JURAČIĆ, M., & PRAVDIĆ, V. (1995): Sedimentation in a disequilibrium river-dominated estuary: the Raša River estuary (Adriatic Sea, Croatia).- Sedimentology, 42, (u tisku).

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	269 - 274	ZAGREB 1995

Procjena seizmičke stabilnosti nekih blokovskih paleoklizišta

Vladimir **JURAK**[1], Davorin **KOVAČIĆ**[1] & Mladen **GARAŠIĆ**[2]

Ključne riječi: flišna padina, blokovska paleoklizišta, seizmička stabilnost, trajni pomaci, južni Jadran

Key words: Flysch slope, Block paleoslides, Seismic stability, Permanent displacements, South Adriatic

Sažetak

Značajke primorske flišne padine južnog Jadrana jesu blokovska paleoklizišta i jaki potresi. Danas su to blokovi stijenske mase na flišnoj podlozi. Njihova je stabilnost upitna, a na nekima su i građevine. Pretpostavlja se da je moguće reaktiviranje nekih blokovskih paleoklizišta jakim potresom. Predispozicija za takav događaj je jasna diferencijacija padine na elemente kontrastnih fizičkih i mehaničkih svojstava, kao i podjela na sredine suprotnih hidrogeoloških značajki. Potencijalna klizna ploha bila je nekad mehanički aktivna površina na dodiru dviju geotehničkih sredina - stijenskog bloka i duktilne flišne osnove, koja predstavlja seizmičku podinu. Za primjer su uzete po jedna lokacija u Župi dubrovačkoj i Crnogorskom primorju, pa su u analizi stabilnosti usvojeni parametri potresa od 15. travnja 1979. Za računsku provjeru seizmičke stabilnosti prethodno se razmatraju fizička i mehanička svojstva litoloških članova fliša o kojima zavisi odabir najprikladnije metode proračuna. Primijenjena je metoda kližućeg bloka.

Abstract

The characteristics of flysch slopes of the south Adriatic coast are the block paleo-slides and the strong earthquakes. Nowadays the blocks of rock masses occur on the flysch basement. The stability of these blocks is questionable and on some of them also buildings have been constructed. Possible reactivation of some paleo-slides by a strong earthquake is assumed. The predisposition for such an occurrence is when the slope consists of the elements of contrasting physical and mechanical properties and when there is the distinction of two media of quite opposite hydrogeological features. The potential slip surface was formerly active on the contact of two geotechnical media - a block mass and a ductile flysch basement representing a seismic footwall. Locations in Dubrovnik and Montenegro coastal regions have been used as the illustrations and accordingly the parameters of the earthquake of April 15, 1979 are adopted in the stability analysis. For the purpose of seismic stability computation physical and mechanical features of the flysch lithological elements relevant for the selection of the most appropriate method of computation are previously discussed. The sliding block method has been applied.

1. UVOD

Odabrani su primjeri iz Župe dubrovačke (1) i Crnogorskog primorja (2) (sl 1.) To su područja sa složenom geološkom građom. Odlikuju se i posebnim fizičko-geološkim pojavama i procesima. Misli se na postanak blokovskih paleoklizišta (IVANOVIĆ, 1976, 1982) i na česte potrese, najjače koji se događaju uzduž istočne jadranske obale. Južni Jadran slovi kao posebna seizmogena zona, a poznato je više žarišta razornih potresa (MIHAILOV & CVIJANOVIĆ, 1983). Praktičnu stranu postojećeg strukturnog sklopa i seizmičnosti tretiralo je već više radova (JAŠAREVIĆ et al., 1986, 1988; JAŠAREVIĆ & JURAK, 1987; JURAK et al., 1987).

Razmatraju se stanja stabilnosti alohtonih elemenata strukturnog sklopa, za koje se pretpostavlja da su na današnju poziciju došli paleoklizanjem. Uzima se u obzir mogućnost da se blokovska paleoklizišta reaktiviraju pri jakoj seizmičkoj pobudi (JURAK et al., 1995). Za nju su usvojeni parametri dinamičnosti potresa u Crnogorskom primorju od 15. 04. 1979. (CVIJANOVIĆ, 1980; IZIIS, Skoplje, 1980; dokumentacija IGH 1985-1988; JURAK et al., 1987; MANIĆ, 1987; TALAGANOV & ČUBRINOVSKI, 1991). Iste je parametre koristio i MATASOVIĆ (1989, 1991) za analizu globalne seizmičke stabilnosti primorske flišne padine.

2. STRUKTURNI SKLOP I MORFOGENEZA PRIMORSKE PADINE

Osnovno obilježje primorskog pojasa južnog Jadrana je prisutnost dva litogenetska kompleksa, mezozojskog karbonatnog i klastičnog kompleksa eocenskog fliša. Strukturni sklop je obilježen navlačnim dodirom geotektonskih jedinica. Njihov međusobni odnos prikazuje modelski profil na slici 2 (JURAK et

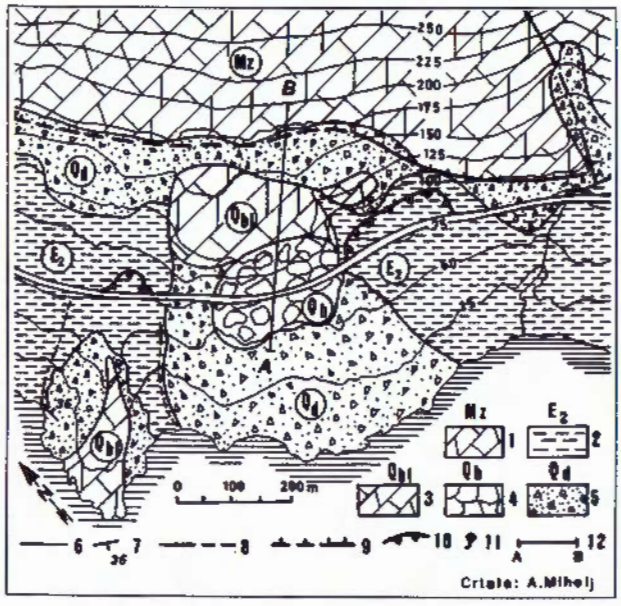
[1]Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2]Institut građevinarstva Hrvatske, Rakušina 1, 10000 Zagreb, Hrvatska.



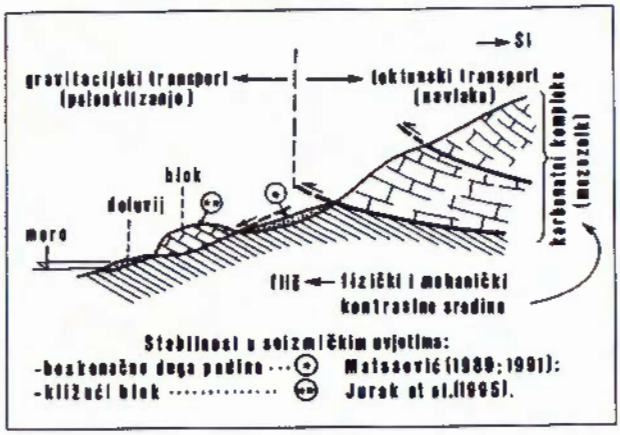
Sl. 1. Položajna skica.

al., 1995). Treba naglasiti da su litološki kompleksi ujedno i dvije fizički i mehanički kontrastne sredine. Strukturni sklop je, dakle, rezultat višekratnog sažimanja masa, tj. opetovanih naguravanja jednih na druge. To je jako deformiralo i dezintegriralo stijenske mase, a posebice klastični kompleks.

Tektonski transport masa do neotektonske etape litološke komplekse visinski je diferencirao. Tako je stvorena predispozicija za morfogenezu primorske padine kroz neotektonsku etapu. Morfogeneza obuhvaća i postanak blokovskih klizišta. Taj je kinematički akt odvojen od tektonskog fenomena naguravanja i slijedi u fazi relaksacije. Blokovska su klizišta nastala otkidanjem čvrste stijenske mase od čela navlake, koja nastavlja kretanje po relativno plastičnoj osnovi - flišu. Istovremeno traje postupna dezintegracija bloka i kaotično nagomilavanje gromada, a mjestimice i pretvaranje u siparišnu breču. Tako su blokovska paleokl-



Sl. 3. Geološka karta lokacije 1. Oznake: 1 - padinski nanos (Q_d): glinom povezane gromade, blokovi, kršje; 2 - gromadasta masa (Q_b): uklještene gromade kaotičnog rasporeda s kršjem i glinom ili šupljinama u međuprostoru; 3 - donekle kompaktna stijenska masa kližućeg bloka (Q_{bl}): gornjotrijaski dolomit; 4 - podloga-seizmička podina: paleogenski fliš ($E_{2,3}$): siltit, siltni lapor, sitnozrnasti pješčenjak; 5 - osnovna stijena u navlaci Visokog krša (Mz): gornjotrijaski dolomit; 6 - dotok podzemne vode po nepropusnoj podini; 7 - potencijalna bazna ploha smicanja, nekad mehanički aktivna površina; 8 - segment kliznog tijela.



Sl. 2. Shematski geološki profil i kinematički model strukturnog sklopa. Oznake: 1-mezozojski karbonatni kompleks; 2 - paleogenski fliš; 3 - kližući blok - kompaktna masa; 4 - kližući blok - gromadasta masa; 5 - padinski nanos (deluvij); 6 - geološka granica; 7 - položaj sloja; 8 - rasjed; 9 - pokriveni i vidljivi dio navlačnog kontakta; 10 - klizište; 11 - izvor; 12 - linija profila.

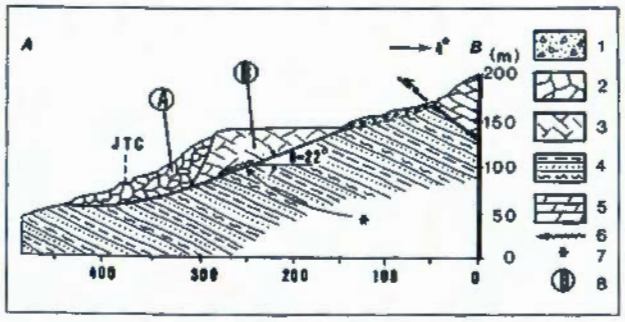
izišta danas poseban topografski i ujedno inženjerskogeološki element u građi primorske flišne padine. Geološka građa lokacije 1 prikazana je slikom 3.

3. INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Oba prikazana primjera nisu istoga stupnja istraženosti. Primjer s lokacije 1 interpretiran je na osnovi kartiranja i iskustva s drugih lokacija. Lokacija 2 istraživana je zbog sanacije manastira Gradište oštećenog potresom od 15. 04. 1979. (IZIIS, Skoplje, 1980; dokumentacija IGH, 1985). O štetama i promjenama na terenu pisali su IVANOVIĆ & VUČINIĆ (1980). Iako se neke geometrijske elemente moralo pretpostaviti, smatra se da recentno stanje predstavlja ravnotežni položaj blokova u statičkim uvjetima. Interpretacija lokacije 1 prikazana je slikom 4.

Mala razlika u sastavu podloge dviju lokacija (paleogenski, odnosno srednjotrijaski fliš) posve je nevažna za razmatrani problem. Na obje fliš predstavlja geotehničku sredinu sa "slabim stijenama" u litološkom stupu. U oba su primjera, u superpozicijskom odnosu dvije inženjerskogeološki i hidrogeološki kontrastne sredine, gdje fliš predstavlja nepropusnu podlogu i seizmičku podinu. Upravo zbog mehaničkog kontrasta, moguće je da su kruti blokovi donekle utonuli u kvaziplastičnu podlogu. Ipak, na lokaciji 1 pretpostavljena je, na dužem potezu, planarna bazna ploha, dok je na lokaciji 2 logično da bude poligonalna. Treba naglasiti da je ona nekad bila mehanički aktivna površina, a danas predstavlja potencijalnu kliznu plohu.

U analizi stabilnosti opravdano je usvojiti niže parametre čvrstoće smicanja "slabih stijena" flišnoga kompleksa. Velike deformacije koje je on pretrpio dovele su do degradacije mehaničkih svojstava. Mjerodavnima se smatraju parametri za čvrstoću diskontinuiteta. Osim toga, valja voditi računa i o strujanju vode po dodirnoj



Sl. 4. Inženjerskogeološki profil lokacije 1.

plohi. Ono može izazvati spor, ali dugotrajan, proces sufozije, čime i dalje opada čvrstoća diskontinuiteta.

U oba slučaja klizno tijelo je heterogeno i sastoji se od dva segmenta. Segment "A" predstavlja kaotično nagomilane gromade, međusobno uklještene, a međuprostori su prazni ili ispunjeni fragmentima i glinom. To se potvrdilo bušenjem sonde B-1 na lokaciji 2, kada su bila česta propadanja pribora. Moguće je i da su pojedine gromade različito duboko utisnute u plastičnu podlogu, čime se, pak, povećava trenje po diskontinuitetu. Takva okolnost ide u prilog stabilnosti.

U odnosu na segment "B", koji predstavlja znatno kompaktniju masu, segment "A" može u odgovarajućoj strukturi biti i vodonosnik. Takav je slučaj na lokaciji 2. Zbog pukotinske poroznosti i segment "B" predstavlja kolektorski medij. U mehaničkom pogledu segmenti "A" i "B" se bitno razlikuju. I dugo nakon potresa od 15. 04. 1979. bila je vidljiva vlačna pukotina na dodiru sredine "A" i "B" na lokaciji 2. Objašnjenje bi moglo biti da je uslijed vibracija došlo do slijeganja segmenta "A" zbijanjem rastresite mase. Zauzimanjem novog ravnotežnog položaja gromada došlo je do slijeganja. Pojedine gromade tada su se i odronile (IVANOVIĆ & VUČINIĆ, 1980).

4. IZBOR MJERODAVNIH PARAMETARA I METODE PRORAČUNA

U računskom tretmanu seizmičke stabilnosti padina potrebno je uskladiti razinu pouzdanosti ulaznih podataka (parametri seizmičnosti i parametri mehaničkog ponašanja materijala) s razinom složenosti seizmičke analize.

4.1 IZBOR PARAMETARA SEIZMIČNOSTI

Ovisno o kasnijem izboru metode proračuna potrebno je odrediti slijedeće parametre seizmičnosti: maksimalnu horizontalnu akceleraciju na osnovnoj stijeni a_{0max}, magnitudu potresa M i dominantni period oscilacija T_0. S obzirom na geografski položaj promatranih lokacija, kao mjerodavni usvojeni su podaci dobiveni za vrijeme potresa od 15. travnja 1979. magnitude M = 7,2. Dostupne vrijednosti a_{0max} prikazane su u tablici 1, a tipične vrijednosti za T_0 su 1,1 - 1,4 s (FAJFAR, 1980).

Izvor	Lokacija	Izmjerene i procijenjene vrijednosti na osnovnoj stijeni (fliš) a_{0max}(g)
TALAGANOV & ČUBRINOVSKI (1991)	Ulcinj (Albatros)	0,171 (N-S) 0,222 (E-W)
	Herceg Novi	0,213 (N-S) 0,231 (E-W)
Izvještaj br. 80-236 IZIIS (1980)	Manastir Gradište (lokacija 2)	0,135 (50) 0,175 (100) 0,210 (200)
Izvještaji IGH (1985-1988)	Plat-Župa dubrovačka (lokacija 1)	0,19 (100) 0,24 (200)
	Kostur-Župa dubrovačka (lokacija 1)	0,19 (100) 0,38 (1000)
JAŠAREVIĆ et al. (1988)	Herceg Novi	0,07 (50) 0,16 (100) 0,34 (200)

Tablica 1. Horizontalne akceleracije (izvadak iz tablice 1 - JURAK et al., 1995).

4.2 IZBOR PARAMETARA POSMIČNE ČVRSTOĆE

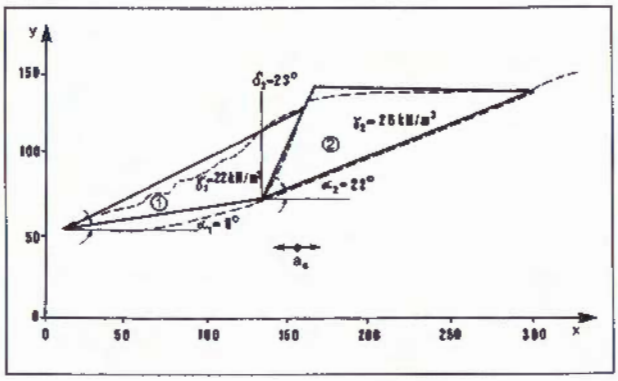
U slučaju djelovanja potresa dolazi do pojave cikličkog opterećenja, pa može doći do značajnog gubitka čvrstoće materijala na kliznoj plohi. S obzirom da se radi o koherentnom materijalu, za detaljnije definiranje ove pojave mogu se upotrijebiti preporuke koje je dao SILVER (1987). Prema tim kriterijima, na osnovi jednostavnih klasifikacijskih pokusa (prirodna vlažnost w_0, veličina zrna D_{15}, granica tečenja w_l) dovoljno dobro se uočavaju koherentni materijali u kojima se ne očekuje značajniji gubitak čvrstoće za vrijeme potresa. U konkretnom slučaju, ovi su kriteriji zadovoljeni ($w_0 < 0,9\ w_l$; $D_{15} < 0,005$ mm; $w_l < 35\%$), što ukazuje na materijale koji zadržavaju konstantnu čvrstoću za vrijeme djelovanja cikličkog opterećenja. U tom kontekstu, usvojene vrijednosti parametara posmične čvrstoće prikazane su u tablici 2.

4.3. IZBOR METODE PRORAČUNA

Za cjelovitu analizu mehaničkog ponašanja padine u seizmičkim uvjetima danas je moguće upotrijebiti numeričke metode (metoda konačnih elemenata, meto-

Izvor	Lokacija	Parametri	
		ϕ (°)	c (kN/m²)
Izvještaji IGH (1985-1988)	Manastir Gradište (lokacija 2)	21	0
	Kostur-Župa dubrovačka (lokacija 1)	20	6
MATASOVIĆ, (1991)	Velji Kaliman (zaleđe Ulcinja)	23	25

Tablica 2. Parametri posmične čvrstoće.



Sl. 5. Model padine (lokacija 1) za proračun kritične akceleracije.

da konačnih razlika, metoda diskretnih elemenata). Primjenom ovih metoda, preko odgovarajućih kompjuterskih programa, mogu se modelirati neka osnovna svojstva ponašanja tla, odnosno materijala na padini: Mohr-Coulombov zakon čvrstoće, proizvoljni odnos naprezanja i deformacija, histereza pri cikličkom opterećenju, deformacijski moduli koji ovise o razini naprezanja, itd. No, s obzirom na razinu pouzdanosti dostupnih podataka o mehaničkom ponašanju materijala kao i o geometrijskim elementima padine (položaj klizne plohe i sl.) logično je upotrijebiti jednostavniji pristup.

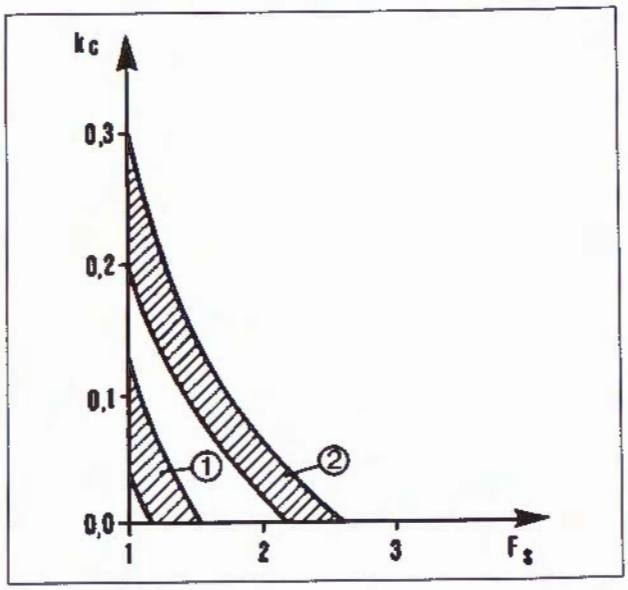
U tom smislu, kao kriterij stabilnosti padine može se upotrijebiti koeficijent sigurnosti protiv sloma na kliznoj plohi (pseudostatička metoda u kojoj se uzima u obzir utjecaj inercijalne sile od djelovanja potresa pri uspostavljanju stanja granične ravnoteže) ili veličina trajnih pomaka kližuće mase (metoda kližućeg bloka). Kod toga je pseudostatička metoda primjerenija krtim materijalima, a metoda kližućeg bloka primjerenija je ponašanju duktilnih materijala (ISHIHARA, 1985).

Kao pogodan kvantitativni kriterij za razlikovanje ponašanja materijala mogu poslužiti preporuke vezane uz vrijednosti indeksa konzistencije I_c i koeficijenta prekonsolidacije OCR koji su usvojili WROTH & HOULSBY (1985). U predmetnom slučaju, primjena ovog kriterija ($I_c > 0.5$, OCR < 5) upućuje na duktilno ponašanje materijala, pa se koristi metoda kližućeg bloka.

5. RAČUNSKA ANALIZA

Provedba proračuna trajnih pomaka izazvanih djelovanjem potresa sastoji se od tri koraka (MAKDISI & SEED, 1978).

Najprije je potrebno odrediti kritičnu akceleraciju $a_c = k_c * g$, tj. seizmičku akceleraciju koja induciranom inercijalnom silom dovodi kliznu masu u stanje granične ravnoteže, tj. do vrijednosti faktora sigurnosti $F_s = 1$. S usvojenom geometrijom kliznoga tijela i oblikom klizne plohe (slika 5) određene su vrijednosti k_c za obje lokacije. Kod toga je korištena "proširena metoda klina" (SARMA, 1979), koja se također osniva na prin-



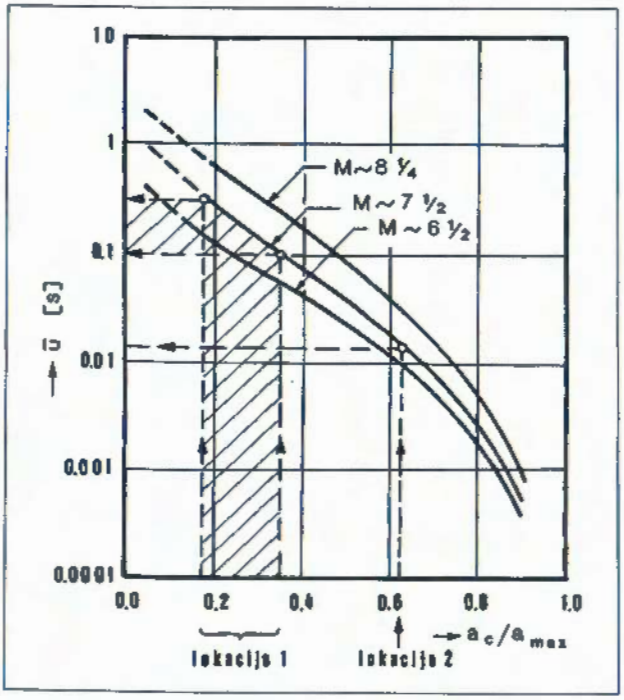
Sl. 6. Prikaz odnosa k_c i F_s.

cipu granične ravnoteže. Izračunati raspon vrijednosti k_c za usvojeni raspon vrijednosti parametara čvrstoće (tablica 2) prikazan je na slici 6.

U drugom koraku provodi se analiza dinamičkog odziva klizne mase, a kao rezultat proračuna dobije se dinamički faktor amplifikacije (DAF). Međutim, u konkretnom slučaju ovaj korak je izostavljen. Naime, klizno tijelo izravno je oslonjeno na rastrošenu osnovnu stijenu, pa se može usvojiti da je inducirana seizmička akceleracija a_{max} jednaka akceleraciji na osnovnoj stijeni a_{0max}, budući da je amplifikacija kroz koru raspadanja praktički zanemarljiva (JAŠAREVIĆ et al., 1986).

Konačno, određivanje veličine trajnih pomaka kliznog tijela uslijed djelovanja potresa provedeno je na osnovi koncepta koji je postavio NEWMARK (1965). Prema tom konceptu do pokretanja klizne mase dolazi u času kada inducirana seizmička akceleracija premašuje vrijednost kritične akceleracije, a sama vrijednost pomaka dobiva se dvostrukom vremenskom integracijom dijelova akcelerograma iznad vrijednosti kritične akceleracije. No, u ovom slučaju primijenjen je pojednostavnjeni način određivanja reda veličine pomaka (MAKDISI & SEED, 1978). Prema tom postupku koriste se krivulje prosječnih normiranih pomaka u kao funkcije magnituda potresa i odnosa a_c/a_{max}. Način korištenja prosječne krivulje za M = 7,5 prikazan je na slici 7.

Za obje lokacije uzete su srednje vrijednosti k_c sa slike 6, a korištenjem krivulje M ~ 7,5 sa slike 7 grafički su očitane vrijednosti pomaka uz a_{max} = 0,2 g za T = 100 god. i a_{max} = 0,4 g za T = 1000 god. Za lokaciju 1 (k_c = 0,07) vrijednost pomaka za T = 100 god. iznosi u = 25 cm, dok je za T = 1000 god. u = 1,5 m. Za lokaciju 2 (k_c = 0,25) u slučaju T = 100 god. nema trajnih pomaka ($a_c > a_{max}$). U slučaju T = 1000 god. vrijednost pomaka je 5 cm. Prema ovako određenim vrijednostima mogućih pomaka može se ocijeniti stabilnost



Sl. 7. Trajni pomaci kliznog tijela.

promatranih padina sa stajališta sigurnosti objekata na njima (IDRISS, 1985). Na lokaciji 1 bilo bi to srednje pomicanje tla (15 cm < u < 30 cm) za T = 100 god., odnosno veliko za T = 1000 god. (90 cm < u < 300 cm). Na lokaciji 2 radilo bi se o manjem pomicanju tla (u < 15 cm).

6. ZAKLJUČAK

Inženjerskogeološkim i geotehničkim istraživanjima opisanog područja došlo se do realne pretpostavke o blokovskim paleoklizištima. Njihovo stanje stabilnosti i mogućnost reaktiviranja pri jakim potresima razmatrani su proračunom mogućih trajnih pomaka kliznoga tijela. Povrda takvom pristupu nalazi se i u novijim radovima (NOMACHI et al., 1992; TIKA, 1995).

Usporedba lokacija po seizmičkoj stabilnosti ukazuje na nepovoljnije okolnosti na lokaciji 1, gdje se blokovsko paleoklizište može reaktivirati pri znatno manjoj kritičnoj akceleraciji, odnosno, gdje može doći do znatno većih trajnih pomaka u odnosu na lokaciju 2.

Rezultat prognoze trajnih pomaka na lokaciji 2 podudara se s rezultatima kontrolnih mjerenja položaja trigonometrijske točke br. 639 (točnosti IV. reda) na brdu Gradac, koja je između mjerenja godine 1966. i 1985. pokazala razliku po osi y = 6 cm, x = 4 cm i H = 1 cm na dolje. Vektor pomaka u iznosu od 7,5 cm usmjeren je prema jugozapadu (azimut 236°, nagib 8°), gotovo paralelno računskom profilu, tj. niz padinu. Ovu činjenicu, ipak, valja prihvatiti s ogradom, budući da je rezultat unutar moguće pogreške mjerenja.

Za pouzdaniju ocjenu stanja stabilnosti blokovskih paleoklizišta neophodno je podići razinu istraženosti predmetnih lokacija, kao i uporabiti precizniju metodu kontrolnih mjerenja pomaka nakon potresa.

Zahvala

Autori zahvaljuju kolegama Goranu MITROVIĆU, dipl. inž. fiz. i Marijanu KRSNIKU, dipl. inž. geol. (IGH, Zagreb) na susretljivosti i pomoći u naknadnom geoelektričnom sondiranju na brdu Gradac (lokacija 2). Rad je ostvaren u sklopu znanstvenog projekta 1-09-232 kojega podupire Ministarstvo znanosti i tehnologije.

LITERATURA

CVIJANOVIĆ, D. (1980): Proračun parametara djelovanja seizmičkih sila na području Crnogorskog primorja.- Simpozijum o potresu na Crnogorskom primorju od 15.04.1979. godine, Zbornik radova, 379-400, Herceg Novi.

FAJFAR, P. (1980): Projektovanje zgrada na zemljotresnim područjima - pregled stanja.- Naše gradevinarstvo, 7-8, 1035-1046.

IDRISS, I.M. (1985): Evaluating seismic risk in engineering practice.- Proc. 11th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1, 255-320.

ISHIHARA, K. (1985): Stability of natural deposits during earthquakes.- Proc. 11th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1, 321-376.

IVANOVIĆ, S. (1976): O nekim klizištima blokovskog tipa u Crnogorskom primorju.- Zbornik radova IV. jugosl. simp. o hidrogeol. i inž. geol., 2, 51-57, Skoplje.

IVANOVIĆ, S. (1982): Značaj paleoklizišta u rekonstrukciji seizmičkih aktivnosti i pri inženjersko-seizmološkim istraživanjima.- Zbornik referata VII. jugosl. simp. o hidrogeol. i inž. geol., 2, 91-96, Novi Sad.

IVANOVIĆ, S. & VUČINIĆ, S. (1980): Zemljotres od 15. aprila 1979. godine, njegove karakteristike i posledice.- Simpozijum o potresu na Crnogorskom primorju od 15.04.1979. godine, Zbornik radova, 11-26, Herceg Novi.

JAŠAREVIĆ, I., JURAK, V., CVIJANOVIĆ, D., KVASNIČKA, P., MATASOVIĆ, N. & MITROVIĆ, G. (1986): Mogućnost geotehničkog modeliranja flišnih padina u okolici Dubrovnika za potrebe seizmičke i geotehničke mikrorajonizacije.- Zbornik radova IV. kongr. Saveza društava za seizmičko gradevinarstvo Jugoslavije, Cavtat, 1, 89-100, Zagreb.

JAŠAREVIĆ, I. & JURAK, V. (1987): Stability of flysch coastal slopes of the Adriatic Sea in the static and seismic conditions.- Proc. 6th Int. Congress on Rock Mechanics, 1, 411-418, ISRM, Montreal.

JAŠAREVIĆ, I., SRKOČ, M. & MATASOVIĆ, N. (1988): Investigation, design and repairing works on Forte Mare fortress.- Proc. Int. Symp. The engineering geology of ancient works, monuments, and historical sites, Preservation and protection, 129-135, Athens, A. A. Balkema.

JURAK, V., KOVAČIĆ, D. & GARAŠIĆ, M. (1995): Seismic stability of paleoslides on the South Adriatic coast.- Proc. XI ECSMFE, 4, 77-82, Danish Geotechnical Society, Bull. 11, Copenhagen.

JURAK, V., MATASOVIĆ, N., CVIJANOVIĆ, D., JAŠAREVIĆ, I., GARAŠIĆ, M. & SLOVENEC, D. (1987): Definiranje prirodnih uvjeta terena na području Župe dubrovačke za potrebe geotehničko-seizmičkog mikrozoniranja.- Zbornik referata IX. jugosl. simp. o hidrogeol. i inž. geol., 2, 41-60, Priština.

MAKDISI, F.I. & SEED, H.B. (1978): Simplified procedure for estimating dam and embankmemt earthquake-induced deformations.- J. Geotech. Eng. Div., Proc. ASCE, 104/ GT7, 849-867.

MANIĆ, M. (1987): Analysis of the ground acceleration records detained during the April 15, 1979 Montenegro earthquake.- 5th Canadian Conf. Earthq. Eng., 655-664, Ottawa.

MATASOVIĆ, N. (1989): Seizmička stabilnost flišnih padina.- Građevinar, 41/7, 341-348, Zagreb.

MATASOVIĆ, N. (1991): Selection of method for seismic slope stability analysis.- Proc. Second int. conf. on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamic, St. Louis, Missouri, 2, 1057-1062.

MIHAILOV, V. & CVIJANOVIĆ, D. (1983): Seizmičnost južnog Jadrana s posebnim osvrtom na pojavu razornih potresa u prošlosti.- Radovi sa simp. Kulturna baština Balkana i seizmički problemi, Budva (1982), CANU, Titograd.

NEWMARK, N.M. (1965): Effects of earthquakes on dams and embankments.- Geotechnique, 15/2, 139-160.

NOVACHI, S.G., SAWADA, T., CHEN, W.F. & KIDA, T. (1992): On slope displacement by a logarithmic spiral failure slide during earthquake.- Landslides. Proc. 6th Int. symp., Christchurch, 2, 1193-1198, A.A. Balkema.

SARMA, S.K. (1979): Stability analysis of embankments and slopes.- J. Geotech. Eng. Div., Proc. ASCE, 105/GT12, 1511-1524.

SILVER, M. (1987): IAEA workshop on special requirements for design and construction of civil structures. Lecture: Slope stability.- Zagreb, 115 p.

TALAGANOV, K. & ČUBRINOVSKI, M. (1991): Soil-structure interaction effects based on recorded strong motions during earthquakes.- Proc. Second int. conf. on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics, St. Louis, Missouri, 1, 925-930.

TIKA, Th.E. (1995): Displacements of old slides reactivated by earthquakes.- Submitted for publication in the Proc. First Int. Conf. Eartq. Geot. Eng., Tokyo.

WROTH, C.P. & HOULSBY, G.T. (1985): Soil mechanics - Property characterization and analysis procedures.- Proc. 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1, 1-55.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	275 - 280	ZAGREB 1995

Metalogenija paleozoika Dinarida na području Slovenije, Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Crne Gore i zapadne Makedonije

Ivan **JURKOVIĆ**

Ključne riječi: Dinaridi, proterozoik, paleozoik, stratigrafija, metalogene epohe, rudna ležišta, parageneze, geokemija, geneza

Key words: Dinarides, Proterozoic, Palaeozoic, Stratigraphy, Metallogenic epochs, Ore deposits, Parageneses, Geochemistry, Genesis

Sažetak

Prikazane su osnovne paragenetske i geokemijske karakteristike te geotektonski položaj metamorfnih, magmatskih i sedimentnih rudnih ležišta 16 najvažnijih proterozojsko-paleozojskih područja Dinarida. Utvrđena je pripadnost pojedinih genetskih tipova ležišta bajkalskoj, kaledonskoj i hercinskoj metalogenoj epohi. Predhercinska metalogenija karakterizirana je ležištima željeza i mangana vezanim za vulkanogeno-sedimentne formacije. Ležišta stvarana u hercinskoj epohi sadrže jednake ili vrlo slične parageneze sa željezom i barijem kao glavnim elementima, bakar, olovo i cink su podređeni. U srednjoj Bosni nađeni su akcesorni minerali genetski važnih elemenata: Sn, W, Mo, F, B, Sb, As te Ag sa Au. Uočeni su reperni litostratigrafski horizonti: željeza u karbonu, urana, bakra i željeza u srednjem permu te gipsa u gornjem permu.basin.

Abstract

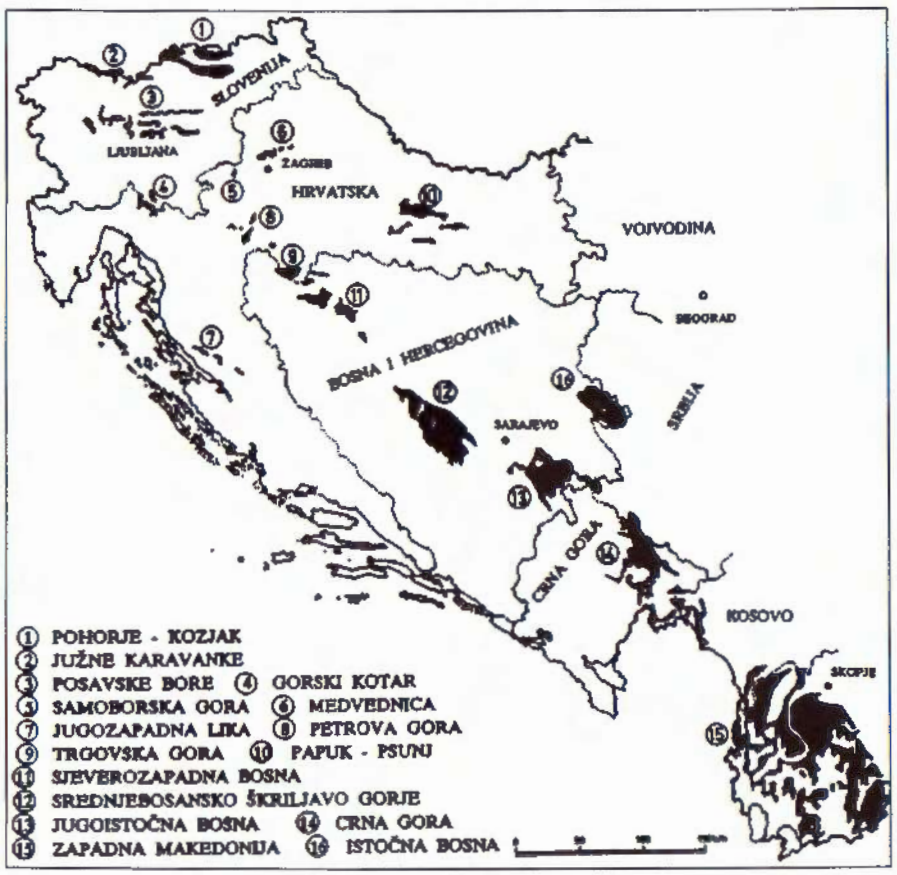
The basic paragenetic and geochemical characteristics as well as the geotectonic settings of metamorphic, magmatic and sedimentary ore deposits of the 16 most important Proterozoic-Palaeozoic areas of the Dinarides have been described. It has been determined which genetic types of ore deposits belong to the Baikalian and which to the Caledonian and Hercynian metallogenic epochs. Pre-Hercynian metallogeny is characterized by the iron and manganese deposits associated with the volcanogenous-sedimentary formations. The ore deposits formed during the Hercynian epoch contain the same or very similar parageneses with the iron and barium as the main elements, whereas copper, zinc and lead are subordinate. Genetically very important group of the accessory minerals (Sn, W, Mo, F, B, Sb, As, Ag, Au-bearing) has been discovered in the Mid-Bosnian Schist Mountains. Some characteristic lithostratigraphic horizons have been noticed: iron-bearing in the Carboniferous, uranium, copper and iron-bearing in the Middle Permian, and that with evaporites in the Upper Permian.

UVOD

Ovaj rad je rezultat petogodišnjih istraživanja u okviru znanstvenog projekta "Metalogenija paleozoika u Hrvatskoj, srednjoj i zapadnoj Bosni" financiranog od Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske (u studiji su sudjelovali na pojedinim problemima Vera Babić, Slobodan Miko, Ksenija Namjesnik, Ladislav Palinkaš, Jože Pezdič, Dragutin Slovenec, Dubravko Šiftar i Boris Šinkovec). Za izradu je korištena i vrlo obimna literatura, od koje za ovu svrhu zbog ograničenog prostora navodimo samo takove radove koji obuhvaćaju širu problematiku. Od geoloških radova: CHARVET (1993), DIMITRIJEVIĆ (1982), HERAK (1986), KARAMATA (1989), PAMIĆ & JURKOVIĆ (1995), PETKOVSKI & TEMKOVA (1981), RAMOVŠ (1984), od metalogenetskih: CISSARZ (1956), DROVENIK & PLENIČAR (1980), JANKOVIĆ (1982, 1987), JURKOVIĆ (1989), JURKOVIĆ & PALINKAŠ (1994), JURKOVIĆ et al. (1994), MILOJEVIĆ (1976, 1979a, b).

Istraživanja su pokazala da: (a) u metalogenetskom smislu područja Pohorje-Kozjak (1), Papuk-Psunj (10) i Pelagonidi (15), (slika 1), zamjetljivo odudaraju od ostalih područja te je upitno njihovo uključivanje u Dinaride; (b) područja starijeg paleozoika Medvednica (6), Srednjobosansko škriljavo gorje (12) i zapadna Makedonija (15) karakterizira metalogenija željeza i mangana asocirana na vulkanogeno-sedimentne formacije; (c) ležišta locirana u naslagama mlađeg paleozoika, osim rijetkih izuzetaka duž tektonskih ili navlačnih kontakata ne pojavljuju se u mezozojskim naslagama; paragenetski i geokemijski su podudarna, dominiraju željezo i barij, obojeni metali bakar, cink, olovo su podređeni. U srednjoj Bosni značajno je prisustvo akcesornih Sn, W, Mo, B, F. Sb, As minerala te zlatonosnih i srebronosnih pirita i živinih tetraedrita. Pojedini litostratigrafski horizonti, karakterizirani istovrsnim genetskim tipom ležišta mogu se pratiti u gotovo svima

Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Paleozoik i proterozoik Dinarida.

ili u većem broju paleozojskih područja Dinarida (u karbonu željeza, u gredenu uranska, bakarna, željezna, u gornjem permu gipsna ležišta); (e) rezultati studije omogućuju određenu reviziju međusobnih odnosa kronostratigrafije i pojedinih faza metalogenih epoha, naročito se to odnosi na razdoblje srednji karbon-gornji perm.

METALOGENETSKE KARAKTERISTIKE POJEDINIH PALEOZOJSKIH PODRUČJA

1. POHORJE - KOZJAK

Kambrij je izgrađen od gnajseva i mramora s interkalacijama amfibolita, ordovicij od eklogitnih leća, almandinskih amfibolita, a prelaz ordovicija u silur od facijesa zelenih škriljavaca s metakeratofirima s nešto mramora i filita. Silur karakterizira Remšnik formacija (slejtovi s dijabazima), donji devon je od vapnenaca s konodontima. Permoskitski crveni klastiti završavaju paleozojsku epohu. Inicijalni vulkanizam staropaleozojske (kaledonske) epohe dao je polimetalna ležišta: kvarcnu rudnu breču sa Fe, Cu, Zn, Pb sulfidima u Okoškoj gori i lećasto-žično ležište siderita s Pb-Zn i Cu-Pb sulfidima u Remšniku. Juvenilni karakter oba ležišta indiciraju izotopne vrijednosti sulfidnog sumpora, a izotopne vrijednosti sulfatnog sumpora u baritu od 24 do 26% ukazuju na moguću devonsku starost. U novijim radovima, na temelju opsežnih istraživanja izotopnih vrijednosti S, C. O, Pb izneseno je mišljenje da je primarno sedimentno staropaleozojsko ležište remobilizirano u toku alpske regionalne metamorfoze i utisnuto u zdrobljene i rasjednute zone metamorfita.

2. JUŽNE KARAVANKE

Najstarije naslage pripadaju srednjem ordoviciju-donjem devonu. Sjeverno od Mežice, unutar dijabaza nalazi se likvidno magmatsko magnetitsko ležište Hamumov vrh. Kod Stegovnika, pod Rušem i Virnikovog Grintavca nalaze se pojave Zn, Pb, Sb sulfida i baritnih breča s cinabaritom na kontaktu gornjeg devona i donjeg karbona, slične onima u Karničkim Alpama Italije koje su vezane sa spilit-keratofirskim vulkanizmom. Kod Virnikovog Grintavca je nađen u donjokarbonskim vapnencima porfiroid. U gornjokarbonskim javorniškim naslagama Jesenica na zapadu i Vitanja na istoku nalazi se niz sideritnih ležišta po paragenezi i morfologiji slična ljubijskim. Smatra se da je sedimentan način postanka vjerojatniji od epigenetskog. U trogkofelskim vapnencima iznad Tržiča te u gornjopermskim dolomitima Puharja formirana su omanja Pb-Zn ležišta.

3. POSAVSKE BORE

Pretežan dio Posavskih bora izgrađen je od karbonskih naslaga: najstarije su (a) crni šejlovi s lećama siltova, pa (b_1) mikro-i sitnozrni pješčenjaci, siltovi, slejtovi, zatim (b_2) najrašireniji tinjčasti pješčenjaci te (b_3) serija konglomerata s uloščima šejlova, djelomice

permske starosti. Slijedi salsko boranje i taloženje gredena. Mineralizacija se nalazi u pojasu istok-zapad, dugom 100 km, od Sevnice do Cerknice. Rudne pojave su pretežno žične, uglavnom locirane u sekvenci (b_2) i nema ih u gredenu. Izuzetak je ležište Pleše za koje je dokazano da se nalazi u navlačnom kontaktu. Razlikuju se četiri tipa parageneza: (1) sfaleritska (Češnjica, Zlatanek, Ponovič), (2) galenitsko-sfaleritska odnosno halkopiritsko-cinabaritna, lokalno s dosta barita (Litija, Knapovže, Pleše), (3) galenitska s baritom (Zavrsnik, Maljak, Zagorica) te (4) cinabaritna (Marija Reka). U antiklinali Trojane nalaze se pojave antimonita. Izotopski sastav sulfidnog sumpora ukazuje na juvenilni izvor. Ležišta su nastala prije taloženja gredena i pretpostavlja se da su vezana s donjopermskim magmatizmom koji je u Istočnim Alpama dao kvarcporfire i keratofire. Orudnjene pukotine su formirane u asturijskoj fazi. U gredenskim naslagama sivozelenih pješčenjaka, siltova i konglomerata formiran je dijagenetski tip Žirovski vrh lećastih ležišta uranskog smolinca i njegovih sekundarnih minerala unutar riječnih i dolinskih naplavina. Izotopni sastav sulfidnog sumpora, vrlo širokog raspona lakšeg izotopa, ukazuje na biogeno porijeklo sumpora. U području Škofje Loke-Cerkno u pojasu dugom 90 km nalaze se brojne pojave halkopirita i bornita također biogenetsko-dijagenetskog porijekla. Kod sela Hrastno pronađen je sklad niskomanganskog hematitskog ležišta srednjeg perma.

4. GORSKI KOTAR

Područje između Lokava na istoku i Mrzlih Vodica na zapadu (5x5 km) izgrađuju naslage gornjeg paleozoika. U jezgri su kod Lokava otkrivene gornjokarbonske naslage (gžel), a iznad njih ratendorfske, trogkofelske i gornjopermske naslage. Baritne pojave su u rubnom dijelu paleozojskih naslaga (Homer, Zelin, Mrzle Vodice) uz kontakt s donjotrijaskim ili višim horizontima. U paragenezi učestvuju samo barit i pirit. Ležišta imaju oblike slojevitih leća raznih dužina, u prosjeku 1-5 m debele. Sadržaj $SrSO_4$ u baritu je 1.60%, a prosjek $\delta^{34}S$=20.4‰ što odgovara vrijednostima sulfata skitskog mora. Iznesena pretpostavka ranodijagenetske akumulacije pirita i barita vezana za bakterijsku redukciju sulfata u peritidalnim uvjetima praćenim istovremenom evaporitnom dolomitizacijom potkrepljuje se postojanjem brojnih strukturnih oblika karakterističnih za sedimentaciju u sabkha okolišu. Porijeklo barija treba tražiti u završnoj fazi hercinske metalogeneze.

5. SAMOBORSKA GORA

Paleozoik se sastoji od gornjokarbonskih klastita s ulošcima dolomita (kasimov), zatim od pretpostavljenih trogkofelskih kvarcnih konglomerata, gustih pješčenjaka te crvenih pješčenjaka (kao u Sloveniji), a završava se gornjopermskim dolomitima i evaporitima. Kod sela Rude, u permskim naslagama klastita nalaze se stratiformna i statabound ležišta siderita s akcesornim Cu-Fe sulfidima koja se lateralno nastavljaju u hematitska ležišta ili hematitizirane pješčenjake. U podini ležišta siderita javljaju se sideritsko-halkopiritsko-piritske žice. U krovinskim horizontima ima naslaga gipsa, dok su baritne pojave vrlo ograničenih razmjera. Isotopni sastav sulfatnog sumpora gipsa i barita odgovara onom sulfata permskog mora. Bakronosna sideritska ležišta formirana su u postkolizionoj fazi hercinskog ciklusa.

6. MEDVEDNICA - ZAGREBAČKA GORA

Paleontološki je dokazana starost parametamorfita (metagrauvake, siltovi, vapnenci, dolomiti, šejlovi, kvarciti, mramori) u rasponu od donjeg silura do u gornji karbon. Ortometamorfiti (metadijabazi, gabri, doleriti, amfiboliti, zeleni škriljavci) nastali su metamorfozom vulkansko-sedimentnog kompleksa u razdoblju devon-karbon. Za seriju kloritskih, epidotskih, stilpnomelanskih, sericitskih i amfibolskih škriljavaca geokemijski je utvrđeno da pripadaju starijem paleozoiku, a ne predkambriju. Od rudnih pojava Medvednice najznačajnije su hematitski kvarciti s podređenim magnetitom u pojasu 6 km dugom unutar serije zelenih škriljavaca, genetski vezanih na vulkanogeno-sedimentnu seriju silur-devona. Kod Brestovca postoji metamorfozirana baritska pojava s magnetitom, kloritom, stilpnomelanom unutar serije zelenih škriljavaca. Izotopni sastav sulfatnog sumpora barita sa +26‰ upućuje na devon. Epigenetske male žične pojave siderita (Rudnica), Cu, Pb sulfida (Bistranska gora) te Pb, Zn sulfida (Sv. Jakov) genetski su vezane na hercinski ciklus.

7. JUGOZAPADNA LIKA

Područje od Sv. Roka i Ričica na SZ do Štikade na JI, u 9 km dugoj i 1.5 do 3.5 km širokoj zoni, izgrađeno je od srednjo i gornjo karbonskih sedimenata. Baritna ležišta se nalaze isključivo u srednjokarbonskim naslagama na kontaktu podinskih šejlova s krovinskim vapnencima i dolomitima kao stratiformne leće i slojevi, odnosno dijelom u krovinskim vapnencima i dolomitima u vidu remobiliziranih stratabound žica, gnijezda, nepravilnih tijela. Podinska ležišta uz barit sadrže mjestimice obilan pirit, a krovinska krupnokristalizirani dolomit. Galenit i sfalerit su akcesorije. Sadržaj $SrSO_4$ u baritu je 1.1 wt%, a izotopna vrijednost sulfatnog sumpora +15.5 ‰. Fluidne inkluzije su dale T_{fm}=-6°C do 0°C, a salinitet od 1 do 4 wt% NaCl equ. što ukazuje na alkalijske sulfate, karbonate i bikarbonate, a ne na kloride. Stratiforman i stratabound tip pojavljivanja, rana dijagenetska dolomitizacija, te sastav fluida upućuju na dijagenetske procese formiranja ležišta.

8. PETROVA GORA

Najstarije stijene su sedimenti karbonskog fliša bez fosila. Otkriveni su u dublje zasječenim dolinama Petr-

ove gore. Slijedi permokarbonska neraščlanjena serija od koje bi se dio mogao usporediti s trogkofelskim naslagama Slovenije. Najgornji horizont je izgrađen od zrelih postorogenih protokvarcita i grubozrnih oligomiktnih konglomerata, a pruža se sjever-jug, u dužini od 13 km i širini od 0.5 do 4 km. Za njega je vezana velika većina rudnih pojava u zonalnom rasporedu. U južnom dijelu su to stratabound monomineralne pločaste i lećaste žice barita, idući prema sjeveru u asocijaciji sa sve više siderita. U sjevernom dijelu nema pojava barita već samo vrlo kvarcovitih siderita te kvarcne žice sa sulfidima. Dio rudnih pojava zadire i u podinske šejlove. Barit sadrži visok sadržaj $SrSO_4$ (4.2 wt%), a izotopni sastav sulfatnog sumpora od +8.7 ‰ odgovara vrijednostima permskih evaporita. Fluidne inkluzije kristala kvarca sideritskih ležišta sa T_h= 100-200°C, T_{fm}=-20°C do 0°C, T_e=-20°C s nekoliko pikova kod -40°C i -25°C, te salinitetom od 5 do 15 wt% NaCl equ. ukazuje da se radi o hidrotermalnim ležištima stvaranim pod utjecajem meteorskih voda, najvjerojatnije u donjem permu. U području Bukovice, sjeverno od Vojnića u gredenskim šejlovima i pješčenjacima nalaze se stratiformna sedimentna ležišta niskomanganskog hematita stvarana u aridnoj klimi (41 wt% Fe, 37 % SiO_2, 0.2 % Mn).

9. TRGOVSKA GORA

Paleontološki su dokazani donji devon, donji, srednji i gornji karbon, dok se trogkofelski horizont pretpostavlja. Dominiraju grauvake u alternaciji sa šejlovima, siltovima te podređenim organogenim vapnencima. Serija ima turbiditni karakter, formirana je u fazi subdukcije. Gornjopermski sedimenti su transgresivni i kontinuirano prelaze u donji trijas. Rudne pojave su vezane za karbonske sedimente, u horizontima gdje dominiraju šejlovi s finozrnim pješčenjacima. Ležišta su stratabound tipa. Ankeritska ležišta i ankeritizirani vapnenci vezani su za interkalacije vapnenaca (Bešlinac). Sadrže vrlo malo sulfida ili su bez njih. Sideritske uslojene žice sa halkopiritom i podređeno sfaleritom su u području Gradskog potoka, sideritske žice sa srebronosnim galenitom i podređenim sfaleritom i halkopiritom vezane su za područje Zrina. Kod Gvozdanskog u SZ dijelu i kod Tomašice u JI dijelu Petrove gore ima manji broj monomineralnih pojava barita. Fluidne inkluzije u kvarcu sva tri podurčja dala su: T_h= 100-250°C, T_{fm}= -10°C do 0°C, T_e= -30°C do -20°C, salinitet od 7-11 wt% (Zrin) do 2-12 wt% NaCl equ. (Gradski potok i Bešlinac). Ležišta Trgovske gore su nastavak ležišta unsko-sanskog paleozoika i vezana su za hercinski metalogeni ciklus.

10. PAPUK - PSUNJ - KRNDIJA

Najstarije stijene pripadaju bajkalskoj epohi: dvotinjčasti gnajsevi, leće para- i ortoamfibolita, lokalno mramori. Brojni silovi gabrova, diorita, metadijabaza i albit-dijabaza karakteriziraju srednji dio Psunja, i odvjetak su vulkanogeno-sedimentne serije. Mlađa donjopaleozojska je serija zelenih škriljavaca i filita s interkalacijama grafitičnih kriljavaca i lokalno vapnenaca. U području tektonske jedinice Radlovac postoje devonske naslage lepezastih i naplavnih delti. Od rudnih pojava najznačajnije su pojave grafitita, odnosno metaantracita i grafita D_2. Kod Omanovca-Rašaške (zona od 4 km) vezane su na predkambrijske metakvarcpješčenjake i slejtove, kod Brusnik-Bučja (zona od 9 km) na facijes zelenih škriljavaca predkambrija ili donjeg paleozoika, kod Sivornice i Brezovice na grafitne škriljavce i metapješčenjake asocirane sa zelenim škriljcima devonsko-karbonske starosti. Sadržaj ugljika u sve tri zone varira od 50-55 wt% C. Sličnog su kristaliniteta. Produkt su metamorfizma hercinske epohe. Od ostalih pojava navodimo: migmatitske pegmatite u dvotinjčastim gnajsevima i amfibolitima Psunja (Đukina Kosa); uranske minerale (kofinit sa sekund. mineralima) unutar grafitične serije Psunja, sekundarne uranske minerale u tektonskoj jedinici Radlovac (devon) kao i vrlo male pojave skarna (Kiseljevac) i kvarcnih žica sa sulfidima (Vetovo) koje pojave pripadaju hercinskom ciklusu.

11. SJEVEROZAPADNA BOSNA

Najstarije stijene su gornjodevonske u klastičnom i karbonatnom razvoju (Blagaj, Resavci). Subgrauvakni pješčenjaci ispod gornjodevonskih vapnenaca kod Resavaca mogli bi pripadati siluru. Donji karbon u ihnofacijesu (tabličasti škriljci) i kao šejlovi s ulošcima vapnenaca i srednjezrnatim pješčenjacima dokazan je na mnogo lokaliteta (Ljubija, Razboj). Najbolje je paleontološki dokazan srednji karbon razvijen s većim učešćem pješčenjaka i vapnenaca kao i prisustvom vulkanita. Permske naslage bez fosila leže diskordantno na karbonu. Kontinuirano se nastavljaju u donji trijas pa su izdvojene kao permotrijas. Unsko-sanski paleozoik nosilac je najvećih željeznih ležišta Dinarida. Koncentrirana su u 3 km dugom pojasu SSI-JJZ od Brda kod Ljubije na sjeveru do Vukulje na jugu, zatim u području Tomašica-Tevanovići te Razboja. Glavna su sideritska ležišta (značajno limonitizirana) s podređenim kvarcom, malo barita te nešto Fe-Zn-Pb sulfida. Ankeritska ležišta su rjeđa iako neka vrlo velika. Otkriće primarnih kripto-mikrozmatih struktura siderita na Brdu i Litici kao reliktnih struktura dokazuje stratiforman položaj primarnih ležišta. U rubnim područjima ljubijskog bazena, kod Blagaja, Razboja i Broncanog Majdana te Prijedora ima veći broj mladih, hercinskoj metalogenezi pripadnih, žičnih i metasomatskih pojava barita s podređenim sideritom, kvarcom, fluoritom te Fe-Cu-Zn-Pb-Sb sulfidima. Izotopni sastav sulfidnog sumpora u sulfidima, sulfatnog sumpora u baritima te podaci dobiveni iz fluidnih inkluzija u kvarcu i fluoritu ukazuju da se radi o hidrotermanim ležištima koji pripadaju hercinskoj metalogenezi.

Kod Ključa, u malom paleozojskom oknu, nalaze se slojevita ili lećasta ležišta pirita u zapadnom dijelu i

ležišta Fe-klorita i mušketovita u istočnom dijelu. Oba tipa su u istom stratigrafskom horizontu što ukazuje na genetsku vezu s jednom od subvulkansko-sedimentnih faza, najvjerojatnije karbonskoj.

12. SREDNJOBOSANSKE ŠKRILJAVE PLANINE

Najstarije stijene pripadaju donjopaleozojskom metamorfnom kompleksu facijesa zelenih škriljavaca čiji su protolit pelitsko-psamitski sedimenti s nešto bazita. Ta serija je dijelom pokrivena karbonatnim kompleksom donjeg, srednjeg i gornjeg devona paleontološki dokumentiranih. Donje dijelove metamorfnog kompleksa neki autori smatraju starijim od silura. Donji karbon je uvršten samo superpozicijski. Gornjopermske kontinentalne i lagunske naslage leže transgresivno na starijim uboranim kompleksom. Vrlo su rašireni paleoriolití, često metamorfozirani u škriljavce. Dio je u obliku silova u silursko-devonskom kompleksu, dio kao prostrane efuzije i subvulkanske intruzije u razdoblju srednji karbon-donji perm. Rudne pojave vezane za stariju (kaledonsku) epohu su rijetke: hematitski slojevi u bazi devona kod Dusine, metamorfno Fe-Cr-Ba-Cu-Zn ležište kod Busovače, a možda i baritno ležište Brestovsko kod Kiseljaka. Hercinskoj metalogenoj epohi pripadaju: (a) sinorogena i postorogena monomineralna ležišta kvarca u području Kreševa, Kiseljaka i Busovače; (b) polimetalna žična i metasomatska ležišta siderita ili kvarca s pirit-pirotinom (Vrtlasce) zlatonosnim piritom (Bakovići), zlatonosnim tetraedritom i piritom (Trošnik), s antimonitom (Čemernica) i arsenskim sulfidima (Hrmza). Karakteristična je prisutnost akcesornih Sn, Mo, W, F, B minerala, a izotopni sastav sulfidnog sumpora indicira juvenilno porijeklo sumpora; (c) monomineralna baritska ležišta s malo Hg-tetraedrita u devonskim vapnencima i dolomitima odnosno baritsko-sideritske žice u metamorfnom kompleksu s mnogo živina teraedrita. Izotopni sastav sulfidnog sumpora u tetraedritu i piritu je obogaćen lakšim izotopom ($\delta^{34}S$= -5 do -15 ‰), sulfatnog sumpora u baritu jednak je onome sulfata permskog mora, salinitet fluidnih inkluzija u baritu, kvarcu i fluoritu dosiže 26 wt% NaCl equ. To sve ukazuje da su baritna ležišta formirana miješanjem hidrotermi s formacijskim slanim vodama, slično onima u Rudnany (Slovačka).

13. JUGOISTOČNA BOSNA

Najstarije stijene su silurski vapnenci i slejtovi (Prača, Ustikolina). Marinski donji devon dokazan je u vapnencima Kameničke rijeke, vapnencima i klastitima u potocima Bošković i Vrbica, gornji devon u vapnencima Kameničke rijeke. Donji karbon u okolini Prače i dolinama Čehotine i Drine sadrži floru vizea, a utvrđen je ihnofacijes tipa kulma. U srednji karbon uvršten je kompleks šejlova i grauvaknih pješčenjaka s interkalacijama vapnenaca. Naslage trogkofela i gredena nisu paleontološki potvrđene, za razliku od gornjopermskih koje nose mnogo fosila. Najznačanije rudne pojave: (a) postojan litostratigrafski horizont nedovoljno pouzdano potvrđene gornjosilurske-donjodevonske starosti ankeritiziranih i sideritiziranih vapnenaca manje ili više mineralizireanih s Fe, Cu, Zn, Pb, Sb sulfidima te stratabound tijelima i žicama barita nalaze se u dolini rijeke Kolune na zapadu i jugu te doline Kosovske rijeke na istoku. Asocirane dijabaze, metadijabaze, tufove i tufite smatra se devonskom vulkanogeno-sedimentnom formacijom. Sličan horizont orudnjenih vapnenaca u široj okolini grada Prače asociran sa spilitima i dijabazima pretpostavljene je donjokarbonske starosti; (b) između Foćanske Jabuke i Prače, u pojasu dugom 15 km i širokom 3-5 km nalazi se velik broj omanjih baritnih pojava općeg pružanja SSI-JJZ s nešto Cu, Fe, Zn, Pb sulfida, također hercinske metalogeneze; (c) male pojave Cu ili Zn-Pb sulfida u dolini Čehotine i Foćanske Slatine u karbonskim naslagama nemaju ekonomsko značenje; (d) u istom litostratigrafskom horizontu gornjopermskih sivih i crvenih pješčenjaka javljaju se od Prače do Ustiprače male pojave bakarnih minerala geneze koja odgovara onoj tipa Škofje Loke. Brojna gipsna ležišta u dolinama Kolune, Osanice i Janjine vezane su za belerofonski horizont.

14. SJEVEROISTOČNA CRNA GORA

Dokazane naslage: devon-karbona Plava i Čakora (epidot-kloritski šejlovi, filiti, metapješčenjaci s interkalacijama kvarcnih konglomerata i pjeskovitih vapnenaca); karbona Andrijevice (kvarcni tinjčasti šejlovi i pješčenjaci s lećama detritičnih vapnenaca); neraščlanjenog karbon-perma Lima, Ibra, Ivangrada, Bijelog Polja, najraširenije formacije (šejlovi, kvarciti, kvarcni i tinjčasti pješčenjaci s lećama detritična vapnenca) s konkordanto uloženim tijelima ili kratkim diskordantnim žicama kvarckeratofira i kvarcdiorita. Kao najmlađe tvorbe su naslage perma Bjelasice, Boana, Komova, Plevlja (pješčenjaci, šejlovi, s interkalacijama vapnenaca te serija vapnenaca i dolomitičnih vapnenaca). U strukturnom pogledu Crna Gora je izgrađena od serije navlaka: najdublja je ona ispod Bjelasice, iznad nje je durmitorska, a dalje u smjeru SI čehotinska navlaka. Prije srednjotrijaskog riftovanja to područje je činilo cjelinu sa istočnom Bosnom. Brojne male rudne pojave nalaze se u području Bijelog Polja, Bjelasice, Murina, Plava i Bogičevice. Pretežno su to stratiformne (stratabound) leće i slojevi masivne rude, rjeđe stratabound impregnacije, a vrlo rijetko se radi o diskordantnim žicama vezanim za određeni horizont. Glavni rudni mineral je pirit, lokalno s dosta pirotina s pretežno kvarcnom jalovinom s malo karbonata, dok s promjenjenim učešćem sudjeluju Fe-Cu-Zn-Pb sulfidi. Mišljenja smo da je mineralizacija, slično onoj u istočnoj Bosni, vezana za hercinski magmatizam u karbonu.

15. ZAPADNA MAKEDONIJA

Pelagonidi su izgrađeni od rifej-kambrijskih mikašista, amfibolskih škriljavaca, mramora, cipolina, aktinolitskih škriljavaca. U Selečkoj planini na mikašiste su vezane ekonomski značajne koncentracije distena i almandinskog granata. Kod Nežilova je otkriveno metamorfno ležište koje sadrži značajne koncentracije barita, barijskih silikata, spinela i niza rijetkih minerala vezanih za intruziju alkalne magme i kasniji visok stupanj metamorfizma. U Selečkoj planini brojne pneumatolitsko-pegmatitske pojave uranskih minerala, zatim feldspatsko-muskovitski pegmatiti i kvarcne žice rezultat su granitsko-granodioritske intruzije hercinske epohe. U Dinaridima zapadne Makedonije dokazane su naslage kambrija, ordovicija, devona i karbona, dok su silurske i permske određene superpozicijski. Tokom silura, devona i gornjeg karbona razvile su se vulkanogeno-sedimentne formacije za koje su vezane željezne i manganske rude. U starijim naslagama nastale su manje pojave magnetitsko-hematitskih kvarcnih škriljavaca, lokalno i željeznih klorita. U gornjem dijelu donjeg devona formirana su u Makedoniji vrlo velika stratiformna oolitska ležišta željeznih klorita (šamozita i turingita) kod Tajmišta, Judova, Svinjišta, Kozine, Slepča, Galičnika u jednom ili više slojeva. U toku dijageneze izmijenjeni su Fe-kloriti djelomice u siderit, hematit, magnetit i pirit. Sadržaj rude: 31-35% Fe, 11-18% Al_2O_3, 10-16% SiO_2. Genetski istovrsna manganska ležišta (s primarnim rodohrozitom ili psilomelanom) sastoje se od metamorfnih manganskih oksida na planinama Stogovo, Bistra i na Ceru kod Kičeva.

16. ISTOČNA BOSNA

U paleozoiku istočne Bosne najznačajnija je drinska formacija formirana od gornjeg kambrija do u sredinu srednjeg karbona. Golijska i koviljska formacija (obje donji-srednji karbon) te biračka (srednji-gornji karbon) su prostorno podređene. Permotrijaski kompleks je u diskordantnom položaju u odnosu na te formacije. Variscijska orogeneza između srednjeg karbona do u srednji perm izvršila je ubiranje s osima bora SI-JZ, navlačenje ka SZ te metamorfizam niskog stupnja (facijes zelenih škriljavaca). Na srednjokarbonsku vulkanogeno-sedimentnu seriju metadijabaza, tufova, tufoznih šejlova, sideritiziranih i ankeritiziranih vapnenaca i dolomita vezana su genetski niskokvalitetna željezna i manganska ležišta. Željezne rude Krnjića i Tokoljaka (JI od Srebrenice) sastoje se od magnetita, zrnatog i listićavog hematita, ilmenita, siderita, ankerita, klorita. Javljaju se u obliku tankih (0.1-0.8 m) leća i slojeva s 25-35 wt% Fe, 22-55 % SiO_2 i manje od 1 % Mn. Manganske pojave Brezovice i Miočevića (JI od Bratunca) u vidu interstratificiranih nepravilnih tijela i slojeva debelih 0.2-0.4 m sastoje se od manganskih oksida s 10-30 wt% Mn, 1-2 % Fe i 20-80 % SiO_2.

POPIS LITERATURE

CHARVET, J. (1993): From Rifting Episodes to Oceanic Closure: Evolution of Ideas and Pending Problems Related to the Plate Tectonic Model of Dinarides S.L.- First Meeting of the IGCP 356 "Plate Tectonics Aspects of Alpine Metallogeny in the Carpatho-Balkan Region", Budapest, May 1993, Abstracts, 10, Budapest.

CISSARZ, A. (1956): Lagerstätten und Lagerstättenbildung in Jugoslawien und ihre Beziehung zu Vulkanismus un Geotektonik.- Mem. Serv. Geol. Geophys. Serb., 152 p., Beograd.

DIMITRIJEVIĆ, M.D. (1982): Dinarides: an outline of the Tectonics.- Earth Evolutions, 1, 4-23.

DROVENIK, M. & PLENIČAR, M. (1980): Nastanek rudišč v SR Sloveniji.- Geologija, 23/1, 1-157, Ljubljana.

HERAK, M. (1986): A New Concept of the Geotectonics of the Dinarides.- Acta geologica, 16/1, 1-42, JAZU, Zagreb.

JANKOVIĆ, S. (1982): Yugoslavia.- In: "Mineral Deposits of Europe, vol. II, Southeast Europe". Miner. Soc. and IMM, 143-202, London.

JANKOVIĆ, S. (1987): Genetic Types and Major Triassic Deposits of the Dinarides, Yugoslavia.- In: "Mineral Deposits of Tethyan Eurasian Metallogenic Belt between the Alps and the Pamirs". UNESCO/IGCP Project 169, 11-33, Beograd.

JURKOVIĆ, I. (1989): Metallogenic Epochs in the Palaeozoic of the Dinarides of Yugoslavia.- 79th Annual Meeting of the "Geologische Vereinigung". Mineral Deposits. Leoben, Austria. TERRA abstracts, 1, 53, Oxford.

JURKOVIĆ, I. & PALINKAŠ, L. (1994): Geochemistry of the Rift Related Metallogeny in the Dinarides.- Second Meeting of the IGCP 356 "Plate Tectonics Aspects of Alpine Metallogeny in the Carpatho-Balkan Region", Baia Mare, Romania.

JURKOVIĆ, I., ŠIFTAR, D., PALINKAŠ, L. & PEZDIČ, J. (1994): Geological and Geochemical Characteristics of the Variscan and Post-Variscan Barite Deposits of the Western Dinarides.- Int. Conf. Variscan Metallogeny in the Alpine Orogenetic Belt, Stará Lesná, Slovakia, Abstracts and Excursion Guide, 23.

KARAMATA, S. (1989): Tectonostratigraphic Terranes Model for the Area from the Dinarides to the Moesian Massif (Yugoslavia).- Fifth Meeting of the EUG-5, Strasbourg 1989, TERRA abstracts, 1, 58, Oxford.

MILOJEVIĆ, R. (ed.) (1976): Mineralne sirovine Bosne i Hercegovine, knj. II, Ležišta nemetala.- 231-446, "Geoinženjering", Sarajevo.

MILOJEVIĆ, R. (ed.) (1979a): Mineralne sirovine Bosne i Hercegovine, knj. III, Ležišta obojenih metala.- 7-122, "Geoinženjering", Sarajevo.

MILOJEVIĆ, R. (ed.) (1979b): Mineralne sirovine Bosne i Hercegovine, knj. IV, Ležišta crnih metala.- 219-402, "Geoinženjering", Sarajevo.

PAMIĆ, J. & JURKOVIĆ, I. (1995): Geology of Bosnia and Herzegovina.- In: MOORES, E.M. & FAILBRIDGE, R.W. (eds.): Encyclopedia of World Regional Geology. Davis, Cal., USA.

PETKOVSKI, P. & TEMKOVA, V. (1981): Razvitok na paleozoikot vo SR Makedonija.- Vesnik A, 38/39, 7-18.

RAMOVŠ, A. et al. (1984): Stratigraphic correlation Forms (SCF) of the Yugoslav Palaeozoic.- Sassi Julivert, IGCP No 5 Newsletter, 6.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	281 - 284	ZAGREB 1995

Stratigrafija pliocensko-pleistocenskih sedimenata u bušotinama podmorja Jadrana

Katica **KALAC**[1], Zlatan **BAJRAKTAREVIĆ**[2], Zoran **MARKOVIĆ**[1], Zdenka **BARBIĆ**[1] & Ivan **GUŠIĆ**[2]

Ključne riječi: pliocen i pleistocen, stratigrafija, mikroforaminifere, paleoklimatologija, paleoekologija, sjeverni dio bušotinskog podmorja Jadrana, Hrvatska

Sažetak

Biostratigrafske interpretacije temeljene su prvenstveno na rezultatima dobivenim istraživanjem foraminifera i djelomično nanofosila, a litostratigrafske na rezultatima petrografsko-sedimentoloških analiza i EK-dijagrama. Kronostratigrafski pliocen je raščlanjen na donji, srednji i gornji, a pleistocen na donji i gornji.

Donji, srednji i gornji pliocen dokazan je na prostoru jugozapadnog dijela Istarske platforme i Dugootočkog bazena, a donji do srednji uz Centralni jadranski prag. Po prvi puta pri biostratigrafskoj zonaciji pliocensko-pleistocenskih sedimenata u nas uvedena je nova zona *Globorotalia truncatulinoides excelsa* za gornji dio donjeg pleistocena.

Na temelju uglavnom planktonskih foraminifera donijeti su neki paleoekološki zaključci o salinitetu, blizini sapropela, te paleoklimatski zaključci praćenja klimatskih promjena, od toplih, umjerenih do hladnih mora. Na temelju nekih specifičnih bentičkih foraminifera došlo se i do batimetrijskih zaključaka.

UVOD

Istražene su pliocenske i pleistocenske naslage iz bušotina plinskih polja Ivana i Ika na Istarskoj platformi, te centralnog Jadranskog praga u Dugootočkom bazenu. Radi korelacije s naslagama iz Venecijanskog, Padskog i Dugootočkog bazena, u obradu su uzete istovremene naslage iz bušotina tih prostora. Navedene pliocensko-pleistocenske naslage rasprostiru se jugozapadno, južno i jugoistočno od Istarskog kopna, te južno od Zadarskog arhipelaga do linije razgraničenja Hrvatske od Italije. Cilj rada bio je da se, uglavnom na temelju provodnih formi foraminifera i pratećih nanofosila, te litoloških karakteristika stijena i njihovog prepoznavanja na EK logovima, načini što detaljnija biozonacija i litološka razdioba sedimenata, te odredi njihov međusobni odnos i odnos s podlogom. Nadalje, da se na temelju mikroforaminifera dobiju saznanja o klimi, salinitetu, batimetriji, te blizini sapropela (stupanj reduktivnosti sredine sedimentacije).

Dosadašnji važniji objavljeni radovi (osim velikog broja elaborata i izvještaja) o sedimentima pliocena i pleistocena podmorja Jadrana od seizmostratigrafije, strukturno-tektonskih odnosa do stratigrafske i sedimentološke problematike bili su: TURK, 1971; VLAŠIĆ, 1971; DJURASEK et al., 1981; BISTRIČIĆ & JENKO, 1976; KALAC et al., 1986, 1990, 1991; KRIŽ et al., 1982; KALAC & BAJRAKTAREVIĆ, 1989.

METODE RADA

Za mikropaleontološke analize upotrebljeni su mnogobrojni nalazi prvenstveno foraminifera, te djelomično nanofosila. Metodom razmuljivanja uzoraka stijena mehaničkih jezgri i fragmenata stijena iz isplake svakih 5-10 m dobivena je bogata foraminiferska fauna. Petrografske analize rađene su iz istih uzoraka, a temeljene su na litološkom opisu jezgri, kemijskim i granulometrijskim analizama, analizi teških minerala i analizi EK dijagrama. Načinjene su tabele raspona pojedinih karakterističnih foraminifera, važnih stratigrafskih ili paleoekoloških indikatora za veliki broj bušotina. Korelacijom istovremenih članova kroz profile bušotina potvrđeno EK-a markerima određeno je njihovo rasprostranjenje u prostoru. Na temelju relativne procjene zastupljenosti foraminifera kao karakterističnih paleoekoloških indikatora, dobivena su saznanja o klimi, salinitetu, batimetriji, blizini sapropela, te o postojanju reduktivnih i umjereno reduktivnih sredina taloženja.

STRATIGRAFIJA

Biostratigrafskim istraživanjima dokazan je kontinuirani slijed pliocenskih i pleistocenskih sedimenata u dubljoj vodi. Taj kontinuitet potvrđen je filetskom evolucijom vrsta *Globorotalia tosaensis* u *G. truncat-*

[1]INA-Industrija nafte, Naftaplin Zagreb, Sektor za istraživanje i razvoj, Služba laboratorijskih istraživanja, Lovinčićeva 1, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2]Geološko-paleontološki zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zvonimirova 8, 10000 Zagreb, Hrvatska.

ulinoides u bušotini Ivana-2. U drugim bušotinama ta granica više je klimatskog karaktera i vezana je na hladnije razdoblje, na što upućuju mnogobrojni nalazi umjerenih i hladnih planktonskih foraminifera. Kako sedimenti istraživanog prostora svojim najvećim dijelom pripadaju rubnim dijelovima većih sedimentacijskih neogenskih i kvartarnih bazena, a vezano uz navedene klimatske promjene, česti su hijatusi, poglavito u gornjem pliocenu i tijekom pleistocena.

Donji pliocen odlikuje se bogatom zajednicom planktonskih i bentičkih foraminifera od kojih su najbrojnije: *Orbulina* div. sp. i *Globigerinoides* div. sp., a za stratigrafsku razdiobu su važne: *Globorotalia margaritae*, *G. puncticulata*, *Globigerina decoraperta* i *Sphaeroidinellopsis* div. sp. na temelju kojih su izdvojene planktonske *zone Globorotalia margaritae* i podzona *Sphaeroidinellopsis*, te dio zone *Globorotalia puncticulata*. Nalazi bentičkih vrsta *Uvigerina rutila*, *Martinotiella communis*, *Karrieriella gaudrynoides*, *Lenticulina* div. sp., *Marginulina* div. sp., omogućili su izdvajanje bentičkih zona *Uvigerina rutila* i podzone: *Lenticulina* div. sp. i *Marginulina* div. sp.

Srednji pliocen dokazan je prisutnošću vrsta *Globorotalia crassaformis*, *G. aemiliana*, *Anomalina helicina*, te prestankom pojavljivanja prije navedenih donjopliocenskih zonskih fosila, osim vrste *Globorotalia puncticulata*, koja je u ovom razdoblju brojnije prisutna u podvrsti *Globorotalia puncticulata padana*. I ovdje su prisutne brojne bentičke i planktonske forme, osobito lentikuline odnosno globigerinoidesi. Na temelju navedenih nalaza izdvojene su planktonske zone *Globorotalia crassaformis* i *G. puncticulata*, koje odgovaraju bentičkoj zoni *Anomalina helicina*. U paleoekološkom smislu zajednica planktonskih i bentičkih foraminifera donjeg i srednjeg pliocena ukazuje na toplu klimu i na taloženje u dubljem i otvorenom moru (vanjski šelf do batijal).

Gornji pliocen razvijen je pretežno u laporima, rjeđe pješčenjacima, a očituje se osiromašenjem faune. Prestankom pojave brojnih globigerinoidesa, te tipičnih srednjopliocenskih vrsta (*Globorotalia crassaformis*, još ranije *G. aemiliana i G. puncticulata*, *Anomalina helicina*), te prvom pojavom vrste *Globorotalia inflata* i *G. tosaensis*, označena je donja granica gornjeg pliocena, a prestankom vrste *Globigerinoides obliquus* i pojavom prelaznih oblika *Globoratalia tosaensis* u *G. truncatulinoides* - gornja granica. Od bentičkih vrsta važne su: *Epistomina elegans*, *Oridorsalis umbonatus* var. *stellatus* i *Anomalinoides ornatus*. Utvrđenim vrstama određene su planktonske zone *Globorotalia inflata/G. tosaensis*, podzona: *Globigerinoides obliquus*, te odgovarajuće bentičke zone: *Anomalinoides ornatus* i podzona *Oridorsalis umbonatus* var. *stellatus*. Od nanofosila, osim pretaloženih formi iz paleogenskih i miocenskih naslaga, nađena je pliocenska vrsta *Reticulofenestra pseudoumbilica* (GARTNER), značajna za zonu NN 15. Većom zastupljenošću hladnijih plankonskih foraminiferskih vrsta naspram subtropskim, zaključujemo da su se paleoekološki uvjeti izmijenili na hladnije u odnosu na donjo i srednje pliocenske naslage. Litološki sastav i mikrofauna gornjopliocenskih sedimenata ukazivala bi na sedimentaciju otvorenog srednjeg šelfa i umjereno reduktivnu sredinu.

Donji pleistocen dokumentiran je prvom pojavom vrste *Globorotalia truncatulinoides* ili brojnom prisutnošću vrste *Globorotalia pachyderma* (*borealis*), te drugih vrsta kao što su *Globigerina dutertrei*, *G. quingueloba* i *G. cariacoensis*, te bentičkom *formom Hyalinea balthica*, školjkicom *Artica* (*Cyprina*) *islandica* u donjem dijelu d. pleistocena. U gornjem dijelu d. pleistocena prisutne su brojne vrste: *Bulimina* div. sp. i *Bolivina* div. sp. Na temelju navedenih vrsta izdvojene su planktonske zone *Globorotalia truncatulinoides* s podzonama *Globigerina pachyderma* i *G. truncatulinoides excelsa*, te bentičke zone *Hyalinea balthica*, *Bulimina* div. sp. i *Bolivina* div. sp. Nalazi vapnenačkog nanoplanktona *Pseudoemiliania lacunosa* (KAMPTNER) GARTNER i *Gephyrocapsa oceanica* KAMPTNER potvrđuju donjopleistocensku starost zone NN 19.

Gornji pleistocen zastupljen je repernim vrstama *Ammonia beccarii*, *Elphidium crispum*, *Cassidulina* div. sp., od kojih je najbrojnija *C. neocarinata*, te od miliolida - *Quingueloculina* div. sp., a prepoznatljiv je i prestankom pojavljivanja karakterističnih donjopleistocenskih foraminifera.

PALEOEKLIMATSKE I PALEOEKOLOŠKE SPOZNAJE

Za procjenu klimatskih prilika uključene su uglavnom tipične zajednice planktonskih i bentičkih foraminifera, od kojih se pojedine zajednice smatraju reprezentativnima:

a) za indikatore toplih morskih sredina: *Orbulina uviversa*, *Hastigerina siphonifera*, *Globorotalia truncatulinoides*, *Globigerinoides ruber*, *G. sacculifer*, te *Globigerina digitata*, *G. praedigitata*, *G. dutertrei* i *G. eggeri*, te bentička forma *Heglundina elegans*;

b) za indikatore umjerenih sredina: *Globorotalia inflata* i *Globigerinoides bulloides* (kod nas prisutne u g. pliocenu i tijekom d. pleistocena);

c) za indikatore hladnih morskih sredina: *Globigerina quinqueloba*, *Globorotalia pachyderma*, *G. scitula*. Od bentičkih formi tipična je *Hyalinea balthica* i školjkica *Artica* (*Cyprina*) *islandica*. (NILSON, 1983; CITA & RYAN, 1973; VIOLANTI et al., 1987a, b; THUNELL, 1979; SPROVIERI et al., 1986). Navedene vrste prisutne su u hladnim intervalima naslaga donjeg pleistocena.

Uspoređujući zajednice toplih i hladnih intervala, uočava se da topli intervali imaju znatno veći broj vrsta, i primjerci su većih dimenzija. Navedena podjela načinjena je temelju slične učestalosti pojedinih zajed-

nica Mediterana, Pacifika, Kariba i Atlantika s paleomagnetskim mjerenjima, te korelacije s istraživanjima izotopa O^{18}/O^{16} i C^{14}/C^{12} (VIOLANTI et al., 1987a, b; ERICSON et al., 1963).

Bentičke foraminifere vezane:

a) za pješčane sedimente i manje dubine su: *Trifarina angulosa* (kod nas česta u gornjem dijelu d. pleistocena), za veće dubine: *Eggerella bradyi*, *Martinottiella communis*, *Bigenerina nodosaria*, *Pyrgo* sp., *Articulina tubulosa*, te *Planulina wullerstorfi*, česte u d. pliocenu i d. pleistocenu;

b) vrste vezane za reduktivne uvjete: *Hopkinsina bononiensis*, *Chilostomella oolina*, *Gyrodinoides neosoldanii*, *Globobulimina affinis*, *Cassidulina carinata*;

c) vrste vezane za umjereno reduktivne uvjete: *Uvigerina peregrina* (česta kod nas u gornjem dijelu d. pleistocena), *Cassidulina carinata* i *Bolivina dilatata*;

d) vrste vezane za sapropelne slojeve, odnose se uglavnom na planktonske forme foraminifera *Globigerina dutertrei* (istodobno ta vrsta je indikator za smanjeni salinitet i nije osjetljiva na temperaturne promjene, već ovisi o fenomenu stagnacije dubokog mora u Mediteranu), *G. eggeri*, *Globigerinoides conglobatus* i *G. elongatus*. Navedene klasifikacije načinjene su prema: SPROVIERI et al., 1986; BERGGREN, 1973, 1978; BOERSMA, 1978; CITA et al., 1973.

ZAKLJUČAK

Utvrđeno je da su donjo, srednjo i gornjopliocenski, te donjo i gornjopleistocenski sedimenti podmorja sjevernog Jadrana na području Istarske platforme transgresivni na jursko-kredne karbonate, a u Venecijanskom, Padskom i Dugootočkom bazenu na starije neogenske ili paleogenske naslage. Dokazan je kontinuiran odnos pliocenskih i pleistocenskih naslaga u JZ i južnom dijelu Istarske platforme te u Padskom bazenu i prostoru Komata. Taj kontinuitet je u polju Ivana potvrđen i razvojnim nizom *Globorotalia tosaensis* i *G. truncatulinoides*. Tu su ujedno i najveće debljine pliocensko-pleistocenskih sedimenata (J-9/1, 1890 m); uočljive su i vrlo male debljine pliocenskih (oko 200 m) i velike debljine pleistocenskih naslaga (oko 1800 m). Litološki u pliocenu prevladavaju laporoviti sedimenti, a u pleistocenu različiti tipovi klastičnih naslaga od lapora do krupnoklastičnih nevezanih stijena. Zapaženo je da je pliocenska transgresija (s maksimumom u sr. pliocenu) samo mjestimično početkom g. pliocena zahvatila JZ i južne dijelove ovog prostora, nakon čega dolazi do regresije i isklinjavanja naslaga prema sjeveru i SI na Istarskoj platformi, a u Dugootočkom bazenu prema Zadarskom arhipelagu i Centralnom jadranskom pragu. Na tim prostorima, osim u Centralnom jadranskom pragu, osobito je uočljivo isklinjavanje pleistocenskih sedimenata, što zbog paleoreljefa, neotektonskih pokreta nakon g. pliocena i tijekom pleistocena, te klimatskih promjena dovodi do diskontinuiteta između pliocenskih i pleistocenskih naslaga, te tijekom pleistocena.

Uočeno je da su donjo i srednje pliocenski sedimenti taloženi u uvjetima tople marinske sredine, a gornjo pliocenski u umjereno hladnim uvjetima. Pliocenski sedimenti taloženi su u promjenljivim klimatskim uvjetima tople, umjerene i hladne sredine. Usporedbom zajednica toplih i hladnih intervala zapaženo je da topli intervali obiluju većim brojem vrsta, te da su primjerci većih dimenzija od onih u hladnim intervalima, gdje je veći broj jedinki, a manji broj vrsta i jedinke su znatno manjih dimenzija. U odnosu na ranija stratigrafska saznanja, uvedena je podzona *Globorotalia truncatulinoides excelsa* za gornji dio donjeg pleistocena, te mjestimice ukazano na prisutnost donjeg pliocena.

POPIS LITERATURE

BERRGREN, W.A. (1973): The Pliocene time-scale colibration of planktonic foraminireral and calcareous nannoplankton zones.- Nature, 243, 321-327.

BERRGREN, W.A. (1978): Recent advances in Cenozoic planktonic foraminiferal biostratigraphy, biochronology and biogeography: Atlantic ocean.- Micropaleontology, 24, 337-370.

BOERSMA, A. (1978): Foraminifera.- In: HAQ, B.U. & BOERSMA, A.: Introduction to marine micropaleontology. 19-77, Elsevier, New York.

BISTRIČIĆ, A. & JENKO, K. (1978): Doprinos poznavanju biostratigrafskih odnosa mlađeg paleogena, neogena i kvartara Dugootočkog bazena.- 10. jub. kongr. geol. Jugosl., 1, 25-39, Sarajevo.

CITA, M.B. & RYAN, W.B.F. (1973): Time scale and general synthesis.- In RYAN, W.B.F. et al.: Initial Reports DSDP 13, 1405-1415, Washington.

DJURASEK, N., FRANK, G., JENKO, K., KUŽINA, A. & TONČIĆ-GREGL, R. (1981): Prilog poznavanju naftnogeoloških odnosa u SZ dijelu Jadranskog podmorja.- Zbornik radova znan. savj. za naftu JAZU, A, 8, 201-213, Zagreb.

ERICSON, D.B., EWING, M. & WOLLIN, G. (1963): Pliocene-Pleistocene boundary in deep sea sediments.- Science 139, 727-37.

KALAC, K. & TARI-KOVAČIĆ, V. (1986): Naslage paleogena u podmorju Jadrana.- 11. kongres geol. Jugosl., Zbornik radova, 2, 286-299, Tara.

KALAC, K. & BAJRAKTAREVIĆ, Z. (1989): Bisostratigrafska istraživanja naslaga pliocena i pleistocena podmorja Sjevernog Jadrana.- Geol. vjesnik, 42, 33-48.

KALAC, K., TARI-KOVAČIĆ, V., VELIMIROVIĆ, Z. & ŠIKIĆ, L. (1990): Biostratigrafska istraživanja paleogena i dijela neogena podmorja Srednjeg Jadrana.- 12. kongres na geolozi na Jugosl., Zbornik radova, 1, 95-104, Ohrid.

KALAC, K. & TARI-KOVAČIĆ, V. (1991): Paleogene carbonate platform of Mid-Adriatic subsea.- 2. internacional. simpozij o jadranskoj karbonatnoj platformi, Zadar, Abstract-book, 104, Zagreb.

KRIŽ, J., KALAC, K., TONČIĆ-GREGL, R., BAUER, V., VELIMIROVIĆ, Z. & MAGDALENIĆ, Z. (1982): Stratigrafsko-tektonski odnosi i sedimentološke karakteristike pliocenskih i kvartarnih naslaga dijela podmorja sjevernog Jadrana.- 10. jub. kongr. geol. Jugosl., 1, 25-42, Budva.

SPROVIERI, R., THUNELL, R. & HOVELL, M. (1986): Paleontological and Geochemical analysis of three laminated sedimentary units of Late Pliocene - Early Pleistocene age from Monte San Nicola section in Sicily.- Riv. It. Paleont. Strat., 92/3, 401-434.

TURK, M. (1971): Građa tercijarnog bazena u sjeveroistočnom dijelu Jadranskog mora.- Nafta, 22/4-5, 275-282, Zagreb.

VIOLANTI, D., BONFIGLIO, L. & SACCA, D. (1987a): Foraminiferi pleistocenici e interpretazioni paleoambientali in un affioramento della Sicilia nord-orientale (Rometta, Messina).- Riv. Ital. Paleont. Strat., 93/2, 252-286.

VIOLANTI, D., PARISI, E. & ERBA, E. (1987b): Fluttuazioni climatiche durante il Quaternario nel Mal Tirreno, Mediteraneo, occidentale (carota PC-19, BAN 80).- Riv. Ital. Paleont. Strat., 93/2, 451-570, Milano.

VLAŠIĆ, B., KADIJA, N., & RAŠKOVIĆ, M. (1981): Neki rezultati geološke interpretacije seizmičkih podataka u jadranskom podmorju.- Simpozij "Kompleksna naftno-geološka problematika podmorja i priobalnih dijelova Jadranskog mora", Zbornik radova, II, 77-93, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	285 - 288	ZAGREB 1995

Određivanje hidrauličke vodljivosti sedimenata uz hidroelektrane u aluvijalnoj dolini rijeke Drave

Alan KEREKOVIĆ & Damir BOROVIĆ

Ključne riječi: hidraulička vodljivost, anizotropija vodopropusnosti, aluvijalna dolina, akumulacijsko jezero

Sažetak

Hidroelektranama se iskorištava potencijal rijeka kako bi se dobila prijeko potrebna električna energija. Akumulacijska jezera hidroelektrana imaju višestruki utjecaj na okoliš, a jedan od važnijih je utjecaj na podzemne vode. Pravilno određivanje i korištenje hidrauličke vodljivosti sedimenata osnovni je preduvjet za prognoziranje veličine i načina utjecaja akumulacijskih jezera na podzemne vode u zaobalju, te projektiranje tehničkih rješenja kojima se taj utjecaj kontrolirano regulira.

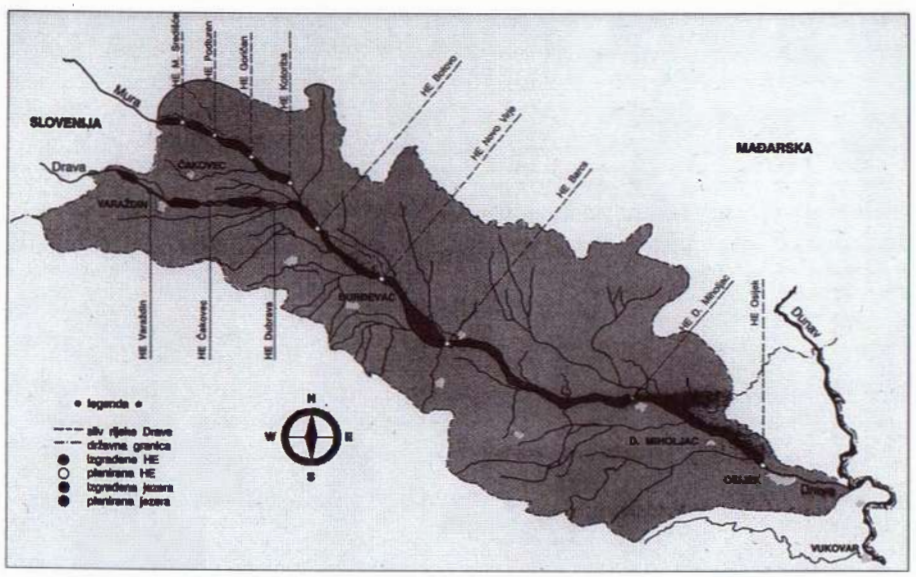
S obzirom na stupanj projektiranja, hidraulička vodljivost određuje se upotrebom jednostavnih empirijskih metoda temeljenih na granulometrijskom sastavu, preko laboratorijskih i terenskih ispitivanja, do obrada podataka pokusnog crpljenja analitičkim postupcima, ili numeričkim metodama uz upotrebu računala kao pomoćnog sredstva. Metode daju različitu točnost, ovisno o zadovoljenju uvjeta za njihovu upotrebu, na što prilikom određivanja i daljnje upotrebe rezultata treba posvetiti posebnu pažnju.

UVOD

Hidroenergetski potencijal rijeke Drave iskorišten je u uzvodnom dijelu toka kroz Hrvatsku trima hidroelektranama - HE Varaždin (1975.), HE Čakovec (1982.) i HE Dubrava (1989.), dok je u fazi izrada projektne dokumentacije za HE Novo Virje u središnjem dijelu toka, a za HE Osijek, koja se nalazi u nizvodnom dijelu toka, izrađeno je idejno rješenje. Izgradnjom ovih objekata ostvaruju se ciljevi iz područja vodoprivrede, energetike, poljoprivrede, lova i ribolova, a posredno se ostvaruju rješenja u sferi ekologije, urbanizma, prometa, turizma i dr. Hidroelektrane su derivacijskog ili pribranskog tipa i svaka ima akumulacijsko jezero i odvodni kanal, koji imaju direktan utjecaj na podzemne vode zaobalja. Izgradnjom postojećih hidroelektrana na Dravi (Austrija, Slovenija, Hrvatska) znatno je promijenjen prirodni režim podzemnih voda, te je na budućim zahvatima potrebno predvidjeti i provesti tehnička rješenja kako bi se on prilagodio potrebama stanovništva, poljoprivrede i šumarstva. Kao osnova za tehnička rješenja, provode se u prvoj fazi istraživanja, cilj kojih je što bolje upoznati sastav i karakteristike sedimenata. U slijedećoj fazi se podaci istraživanja analiziraju, sistematiziraju, te se izrađuju rješenja za pojedine probleme zaštite. Završna faza projektiranja je simulacija tehničkih rješenja zaštite upotrebom matematskog modela na računalu.

Utjecajno područje akumulacije na podzemne vode ograničeno je na dravsku dolinu, koja je formirana tokom pleistocena i podređeno holocena, nasipavanjem od strane Drave i u manjoj mjeri njenih pritoka. Kvartarni nanos potoka je relativno male površine i debljine. Ukupna debljina kvartarnih naslaga kreće se mjestimično i preko 200 m, a povećava se od varaždinskog područja na sjeverozapadu prema osječkom dijelu doline na jugoistoku. Za uzvodni dio kvartarnog kompleksa od slovenske granice do Pitomače karakteristično je da ga izgrađuju pretežno šljunak s pijeskom i mjestimičnim proslojcima gline i praha, dok nizvodnije prema jugoistoku opada veličina zrna, te se povećava udio pijeska. Općenito uzevši, na uzvodnom dijelu dravske doline od Ormoža do Pitomače, na koji se odnosi najveći dio provedenih i predviđenih istraživanja, na površini se nalazi sloj humusa debljine od 0,0 do 0,30 m. Ispod njega slijedi slabije vodopropusan sloj pjeskovito-prašinasto-glinovitog sastava debljine od nekoliko decimetara u središnjim dijelovima doline do oko 8 metara u rubnim dijelovima. Dublje od ovih površinskih naslaga dolazi kvartarni vodonosni kompleks unutar kojeg se izmjenjuju deblji vodonosni slojevi od šljunka s tanjim slojevima i proslojcima slabije vodopropusnih sedimenata pjeskovito-prašinasto-glinovitog sastava. Polazeći od globalnih hidrogeoloških značajki, utjecaj akumulacije na zaobalje, tj. promjena razine podzemne vode, u najvećoj mjeri se očituje samo u najplićem dijelu kvartarnog vodonosnog kompleksa dubine do oko 30 m. On je u direktnom kontaktu s koritom rijeke Drave, a na većem dijelu područja odvojen je od dubljih vodonosnika slojem pjeskovito-prašinasto-glinovitog sedimenta debljine od par decimetara do par metara.

Elektroprojekt, Avenija grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Hidroelektrane dravskog sliva - perspektiva izgradnje.

ODREĐIVANJE HIDRAULIČKE VODLJIVOSTI SEDIMENATA

Hidraulička vodljivost osnovni je hidrogeološki parametar koji se, uz podatke o sastavu i rasporedu slojeva, koristi prilikom projektiranja hidroenergetskih objekata i pronalaženja rješenja koja umanjuju nepovoljan utjecaj hidroelektrane na podzemne vode. S obzirom da se najveći utjecaj na podzemne vode pojavljuje u blizini hidroenergetskih objekata, to se prilikom određivanja referentnih vrijednosti hidrauličke vodljivosti uzimaju podaci bliže samom hidroenergetskom objektu. Utjecaj objekata hidroelektrane pronosi se na zaobalje kroz dobro vodopropusne slojeve šljunka i pijeska, a znatnu ulogu imaju i slabije vodopropusni slojevi prašinastog i glinovitog sastava kao površinske naslage, odnosno kao slojevi i proslojci unutar vodonosnog kompleksa. Iz tih je razloga potrebno poznavati vrijednosti hidrauličke vodljivosti svih litoloških članova na području pod utjecajem hidroelektrane. Oni se potom koriste kao ulazni parametri matematskog modeliranja utjecaja na zaobalje.

ODREĐIVANJE HIDRAULIČKE VODLJIVOSTI SLABIJE VODOPROPUSNIH NASLAGA

Jednu od važnijih uloga prilikom projektiranja zaštite zaobalja imaju slabije vodopropusne površinske naslage u inundaciji, između dravskog korita i nasipa akumulacijskog jezera. One otežavaju kontakt vode u akumulacijskom jezeru s podzemnom vodom. Od njihove sposobnosti propuštanja vode iz akumulacijskog jezera, te od razlike u razini vode u jezeru i u zaobalju, ovisi kolika će se količina vode procijediti iz tog dijela akumulacijskog jezera u zaobalje. Površinski sloj sastoji se od praha, gline ili pijeska u različitim omjerima.

Hidraulička vodljivost može se odrediti s većom ili manjom točnošću mjerenjem na terenu, laboratorijskim mjerenjem vodopropusnosti na uzorcima, a grubo se može procijeniti tek na bazi terenske determinacije, granulometrijskog sastava i podataka iz literature za određeni tip sedimenta. Također se može odrediti analogijom s podacima dobivenim na osnovi provedenih pokusnih crpljenja u vodonosnom kompleksu, iz kojih se, obradom posebnim matematskim programima, dobivaju koeficijenti za slojeve i proslojke sedimenata čiji je sastav sličan sastavu površinskih naslaga.

Hidraulička vodljivost ovakvih taložina najtočnije se može odrediti na terenu metodama infiltracije vode, od kojih se kod nas najčešće upotrebljava metoda Boldirev-Nestorova. Ispitivanje se sastoji od utiskivanja dva cilindra različite veličine centrično postavljenih, u koje se vrši istovremeno odvojeno nalijevanje vode, dok se ne postigne ustaljeni infiltracijski protok vode. Pretpostavka je da voda iz vanjskog cilindra, uz vertikalnu infiltraciju, u određenoj mjeri prihranjuje i bočne naslage, a da se voda iz unutarnjeg cilindra u najvećoj mjeri infiltrira vertikalno unutar presjeka zadanog cilindrom. Hidraulička vodljivost se prema podacima mjerenja proračuna po pripadajućoj formuli. Na žalost, do sada se ova metoda nije primjenjivala prilikom istraživanja uz izgrađene dravske hidroelektrane. Tek se u novije vrijeme predviđa na taj način ispitati vodljivost površinskih naslaga uz predviđenu hidroelektranu Novo Virje.

Određene vrijednosti vodljivosti mogu pružiti i laboratorijska geomehanička ispitivanja vodopropusnosti na neporemećenim uzorcima, s time da je uzorke moguće uzeti jedino za prašinasto-glinovite materijale, a u prašinasto-pjeskovitim materijalima je to teško izvedivo. Uz to što se takva ispitivanja vrlo rijetko izvode u okviru istraživanja uz hidroelektrane, treba imati na umu da se ovim načinom određivanja hidrauličke vodljivosti izdvaja vrlo mali dio sedimenta iz šireg hidrauličkog sklopa, te se za ispitivanjem dobiveni podatak ne može sa sigurnošću reći da je reprezentativan za šire područje.

Pokazatelj hidrauličke vodljivosti su i rezultati obrada pokusnih crpljenja matematskim modelom. Pri tome se koristi program FILTRA_W koji je namijenjen za

nestacionarnu simulaciju crpljenja iz zdenca koji se nalazi u nehomogenim anizotropnim slojevima. Njime je moguće odrediti hidrauličku vodljivost slojeva u horizontalnom i uspravnom smjeru na temelju podataka o sniženjima za vrijeme pokusnog crpljenja zdenca. Uz proračun hidrauličke vodljivosti vodonosnih slojeva struktura modela omogućava dobivanje hidrauličkih parametara i za slabije vodopropusne proslojke. Za njih je odlučujuća uspravna vodljivost, jer je zbog relativno male debljine i većih gradijenata u uspravnom nego u horizontalnom smjeru to smjer kojim se kroz njih odigrava strujanje između vodonosnih slojeva. Dobivene vrijednosti s pokusnih crpljenja uz HE Dubrava i HE Novo Virje u granicama su očekivanih za pjeskovito-prašinasto-glinovite proslojke, dok bi vrijednosti za sličnu vrstu taložina u površinskom sloju zbog manjeg stupnja zbijenosti i utjecaja biosfere vjerojatno bile nešto veće.

Postupak koji je najčešći, najjednostavniji, ali i koji daje najmanje točne vrijednosti hidrauličke vodljivosti je određivanje prema granulometrijskim analizama. Postoji vrlo veliki fond podataka granulometrijskog sastava površinskog sloja, budući da je izvedeno mnoštvo plitkih geomehaničkih bušotina po trasama nasipa akumulacije i kanala. Obrada se vrši prema empirijskim jednadžbama, od kojih se najčešće upotrebljavaju Hazenova, Slichterova i po USBRu. Navedene empirijske metode daju dobre rezultate ukoliko se upotrebljavaju sukladno pretpostavkama na kojima se temelje. Sedimenti koji sačinjavaju površinski sloj u dravskoj nizini širokog su granulometrijskog raspona, od šljunkovito-pjeskovitih do glinovito-prašinastih, te upotreba spomenutih metoda daje tek orjentacijske podatke s mogućim otklonom vrijednosti reda veličine. Važno je prilikom obrada postojećih granulometrijskih analiza provjeriti na koji je način izvedeno bušenje, jer različite metode bušenja u istom tlu daju značajne razlike u granulometrijskom sastavu.

Grubo se hidraulička vodljivost površinskih slabije vodopropusnih naslaga može odrediti prema stručnoj literaturi. Ovom se načinu rijetko pribjegava, tj. obično kao početna vrijednost za postavljanje detaljnijih istraživanja, kad istraživač na raspolaganju ima samo terensku determinaciju jezgre bušotine sa šireg područja koje se namjerava istražiti. Zbog potrebe poznavanja hidrauličke vodljivosti prilikom proračuna hidrauličkih odnosa unutar i između pojedinih slojeva, pojedini autori stručnih knjiga koje se bave hidrogeološkom, odnosno hidrodinamičkom problematikom tla, izdvojili su vrijednosti hidrauličke vodljivosti za karakteristične tipove sedimenata. Podaci se baziraju na postojećim ispitivanjima na terenu i u laboratoriju, te mogu poslužiti kao prognozne vrijednosti. Vrijednosti se kreću u širokim intervalima za pojedine litološke tipove, što ovisi o sadržaju sitnije ili krupnije komponente u sedimentu.

ODREĐIVANJE HIDRAULIČKE VODLJIVOSTI DOBRO VODOPROPUSNIH NASLAGA

Najvažnije podloge za matemetsko modeliranje utjecaja akumulacijskog jezera na zaobalje vezane su uz poznavanje geometrije, sastava i hidrauličkih karakteristika vodonosnih slojeva. Utjecaj akumulacijskog jezera u najvećoj mjeri se prenosi na zaobalje direktnim kontaktom dravskog korita s vodonosnikom, jer je prosječna dubina rijeke Drave oko 4 do 8 metara, te je većim dijelom korita usječena u vodonosne naslage.

Osnovni, najčešći i najbolji način određivanja hidrauličke vodljivosti dobro vodopropusnih slojeva je obrada rezultata pokusnog crpljenja. Crpljenje se provodi iz zdenca uz istovremeno praćenje promjena razine podzemne vode na opažačkim piezometrima. Kvaliteta izračunatih vrijednosti hidrauličke vodljivosti ovisna je o nekoliko faktora. To su postavljanje i izvedba pokusnog polja, provedba pokusnog crpljenja, te način interpretacije podataka crpljenja. Proračunate vrijednosti hidrauličke vodljivosti iz podataka pokusnog crpljenja zbog čestih promjena u litološkoj građi naslaga imaju više ili manje lokalni značaj. Međutim, rijetko se raspolaže sa više od dva do tri, na taj kvalitetan način dobivena podatka za cijelo područje pod utjecajem pojedine hidroelektrane. Stoga se podatak pridružuje na ono šire područje na kome se detaljnom usporedbom litološkog sastava zaključi da je slično sastavu sedimenata na lokaciji pokusnog crpljenja. Pri usporedbi se uzimaju svi dostupni podaci, kao na primjer determinacije, granulometrijske analize, rezultati geofizičkih ispitivanja i dr.

S ozirom na osjetljivost problematike i tehnička rješenja zaštite zaobalja, u zadnjih desetak godina provode se takva istraživanja koja omogućuju određivanje hidrauličke vodljivosti u horizontalnom i uspravnom smjeru. Kao podloga istraživanjima određuje se, na temelju dostupnih podataka, preliminarni hidrogeološki model tla prema kome se postavi geometrija cjelokupnog ispitivanja. Istraživanja se sastoje od provedbe pokusnih crpljenja iz jednog ili više zdenaca sa filtrima na raznim dubinama, uz opažanje promjena razine podzemne vode na grupama piezometara, koji su u odnosu na centralno postavljene zdence položeni u dva ili tri kraka. Grupe piezometara sastoje se od više piezometara s filtrima na raznim dubinama, ovisno o rasporedu slojeva i položaju filtra zdenca. Zdenci se radi omogućavanja dobivanja podataka o uspravnoj hidrauličkoj vodljivosti izvode kao nepotpuni bunari, tj. filter zahvaće vrlo mali dio vodonosnog sloja. Ujedno su grupe na piezometarskom kraku raspoređene na raznim udaljenostima od zdenca, kako bi se dobili podaci o postignutim sniženjima na različitoj udaljenost od zdenca. Nakon provedenog crpljenja pristupa se, uz upotrebu računala, obradi podataka već navedenim programom FILTRA_W. Međutim, kao podloga za proračun računalom, potrebno je s obzirom na nove podatke redefinirati hidrogeološki model tla na lokaciji crpljenja, te izvršiti proračun

hidrauličke vodljivosti analitičkim metodama. Ovime se stječu osnovni uvjeti za optimalnu obradu podataka crpljenja upotrebom računala i programa FILTRA_W.

Program FILTRA_W je matematički model nestacionarnog toka u makro anizotropnoj sredini, prilagoden za simulaciju crpljenja iz zdenca, a konkretno je namijenjen za određivanje hidrauličkih karakteristika slojeva iz podataka o sniženju razine podzemne vode za vrijeme pokusnog crpljenja zdenca, te za određivanje piezometarskog potencijala u okolišu nepotpunih zdenaca u realnim uvjetima. Pri tome se podrazumijeva da su vodonosni slojevi horizontalni, a strujanje podzemne vode osnosimetrično. Tipični primjeri koje rješava program FILTRA_W su homogeni anizotropni sloj, nehomogeni anizotropni sloj, vodonosni sloj s krovinskim i podinskim slabije propusnim proslojcima te homogeni odnosno nehomogeni sloj sa slobodnim vodnim licem. Program FILTRA_W obrađuje podatke o količini crpljenja i nestacionarne rubne uvjete, dakle, prisutne globalne promjene režima podzemnih vode tijekom pokusnog crpljenja. Metoda modeliranja zasniva se na numeričkom rješenju jednadžbe nestacionarnog procjeđivanja u anizotropnoj sredini.

Ovim matematičkim modelom moguće je odrediti, osim horizontalne, i uspravnu hidrauličku vodljivost vodonosnog horizonta, koje je moguće odrediti samo pokusnim crpljenjem na hidraulički nepotpunom zdencu. Naime, tokom crpljenja u okolini takvog bunara javlja se osim dominantnog horizontalnog i uspravni tok podzemne vode. Pitanje nehomogenosti sloja u uspravnom smjeru ispituje se izvedbom više piezometara s filtrima na različitim dubinama.

Princip određivanja hidrauličkih karakteristika vodonosnog sloja je uspoređivanje izračunatih sniženja u čvorovima modela, gdje se modeliraju piezometri, s izmjerenim podacima sniženja na piezometrima za vrijeme pokusnog crpljenja. Postupnim približavanjem izračunatih i izmjerenih vrijednosti odreduju se realne vrijednosti filtracijskih karakteristika vodonosnog sloja.

Iz tih istraživanja proizlaze početne vrijednosti hidrauličkih karakteristika kao osnovnih ulaznih veličina za daljnje proračune utjecaja hidroelektrane na zaobalje.

ZAKLJUČAK

Hidraulička vodljivost, kao osnovna hidrogeološka karakteristika tla, parametar je o kome u najvećoj mjeri ovisi utjecaj akumulacijskog jezera hidroelektrane na razinu podzemne vode zaobalja. U današnje vrijeme se utjecaj akumulacijskog jezera može predvidjeti s vrlo velikom točnošću upotrebom posebnih programa za računalo. Da bi se tim matematskim modelima dobile realne vrijednosti, vrlo je važno na pravilan način postaviti i provesti istraživanja za određivanje hidrauličke vodljivosti, te potom ispravno obraditi dobivene podatke. Naime, novija istraživanja pokazuju znatna odstupanja vrijednosti hidrauličke vodljivosti ovisno o smjeru u kojem je mjereno. Tako je vidljivo da je uslijed načina sedimentacije i uslojenosti u aluvijalnim sedimentima vrijednost u uspravnom smjeru znatno niža od one u horizontalnom smjeru, što ovisi o lokalnim prilikama na terenu i specifično je za svaku lokaciju. Međutim, suvremene metode ispitivanja i određivanja hidrauličke vodljivosti omogućuju, uz pravilnu primjenu, dobru podlogu za daljnju upotrebu tako dobivenih vrijednosti u inženjerskoj praksi.

POPIS KORIŠTENE LITERATURE I ELABORATA

BOROVIĆ, D., KEREKOVIĆ, A. & JOVIĆ, V. (1995): Matematičko modeliranje utjecaja akumulacije u aluvijalnoj dolini na promjenu razine podzemne vode u zaobalju.- I hrvatska konferencija o vodama, Dubrovnik.

ELEKTROPROJEKT (1993): HE Novo Virje - Matematički modeli podzemnih voda.- Fond str. dok., Elektroprojekt, Zagreb.

FILIPOVIĆ, B. (1980): Metodika hidrogeoloških istraživanja I.- Naučna knjiga, Beograd.

FRANKOVIĆ, B. & JOVIĆ, V. (1985): Design and Construction of Sealing and Drainage for the Čakovec Dam.- XV International Congress on Large Dams, Lausanne.

IGI (1975): Vodoopskrba Podravine - hidrogeološke karakteristike.- Fond str. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.

JOVIĆ, V. (1984): Procjedivanje ispod nasipa kroz holocenski nanos.- Fond str. dok. Elektroprojekta, Zagreb.

JOVIĆ, V. (1993): Uvod u inženjersko numeričko modeliranje.- Aquarius Engineering, Split.

JOVIĆ, V., BOROVIĆ, D. & PLETIKAPIĆ, Z. (1990): Ispitivanje vodopropusnosti i anizotropije vodopropusnosti u aluvijalnim dolinama.- X simpozij JDHI, Sarajevo.

KRUSEMAN, G.P. & DE RIDDER, N.A. (1975): Analysis and Evaluation of Pumping Test Data.- Inter. Inst. for Land Reclamation and Improvement Bulletin, 11.

ORTOLAN, Ž., POLLAK, Z. & JOVIĆ, V. (1984): Mogućnost vodoopskrbe iz aluvijalnog nanosa Drave na primjeru vodoistražnih radova kod Koprivnice.- VIII simpozij o hidrogeologiji i inžinjerskoj geologiji, Ohrid.

VUKOVIĆ, M. & SORO, A. (1990): Hidraulika bunara - teorija i praksa.- Građevinska knjiga, Beograd.

WALTON, W.C. (1985): Practical Aspects of Groundwater Modeling.- National Water Well Association, Worthington, Ohio.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	289 - 292	ZAGREB 1995

Beds of the Liburnian Formation in a View of Paleoecological Research (Škocjanske jame Caves, Slovenia)

Martin KNEZ

Key words: Paleoecology, Vreme beds, Kozina beds, *Gyropleura*, *Apricardia*, Characeas, Škocjanske jame Caves, Slovenia

Abstract

In the Vreme and Kozina beds several geological traverses from the immediate surroundings of the Škocjan caves have been studied from the paleoecological point of view. The basic aim was to recognize the depositional environment of the Vreme beds that contain gyropleuras and apricardias, and of the Kozina beds with characeas and snails. It was established that numerous valves of the genus *Gyropleura*, *Apricardia* and others occur in limestones of the Vreme beds in a secondary place. Gyropleuras lived in shallow water not far from shore. The remains were carried to secondary positions by waves and currents resulting from storms. Characeas were found in limestones on primary and secondary locations.

1. INTRODUCTION

In this study were investigated in detail in the Vreme beds especially the strata that contain gyropleuras and apricardias (for simplicity, in the following text only the genus *Gyropleura* will be referred to), and the manner of occurrence of their tests and fragments in individual horizons. The author attempted to obtain ecological indications on the primary or secondary character of remains of gyropleuras. Next to gyropleuras also foraminifers and algae are abundant in certain horizons.

In selected traverses in the Kozina beds horizons with especially numerous characeae and snails were studied. Between these groups possible connection of their occurrence was investigated. These and several other fossils were used for reconstruction of the paleoecological conditions at the time of deposition.

2. STUDY AREA

The examined traverses are located on sheets Gorica, Postojna, Trst and Ilirska Bistrica of the Basic geological map 1:100,000 in the immediate surroundings of Divača (Fig. 1). The area is situated at the southeast border of the tectonic unit Triest-Komen plateau, close to the boundary to the Tertiary of the Brkini. The Triest-Komen plateau, or Triest-Komen anticlinorium, belongs as the tectonic unit of the lower order to the Adriatic-Ionic folded zone. The entire area is a part of the ancient Dinaric carbonate platform.

3. LIBURNIAN FORMATION

The predominantly carbonate deposits that occur in southwest Slovenia and Istria between the beds of limestones with rudists and limestones with alveolinas and nummulites were named by STACHE (1872) the Liburnian stage, or Protocene. The same author subdivided this succession od beds into three parts: the lower limestones with foraminifers, the Kozina beds containing intercalated main limestone with characeas, and the lower limestone with miliolides. Stache's subdivision is considered to have only facial character. Later the Liburnian stage was reevaluated to formation. The Liburnian Formation is considered a chronolithological term. In this sense the Liburnian formation comprises lithologically and facially similar beds from the same evolutionary cycle (from Maastrichtian to Thanetian).

4. VREME BEDS

The age of the Vreme beds was a subject of very differing opinions. Some authors attributed them to "Protocene", others to Danian (Cretaceous), and to Eocene (Paleocene), or to Upper Cretaceous. PLENIČAR (1961) considered the Vreme beds as "limestones with gyropleuras", and attributed them Danian (Cretaceous) age. PAVLOVEC (1963) gave the Vreme beds their name, and ranged them into the lower part of the Liburnian Formation of Danian (Paleocene). Nowadays the Vreme beds are considered to be of Upper Maastrichtian age (PAVLOVEC, 1981; PAVLOVEC & DROBNE, 1991).

Karst Research Institute, Scientific Research Centre of the Slovene Academy of Sciences and Arts, Titov trg 2, 66230 Postojna, Slovenija.

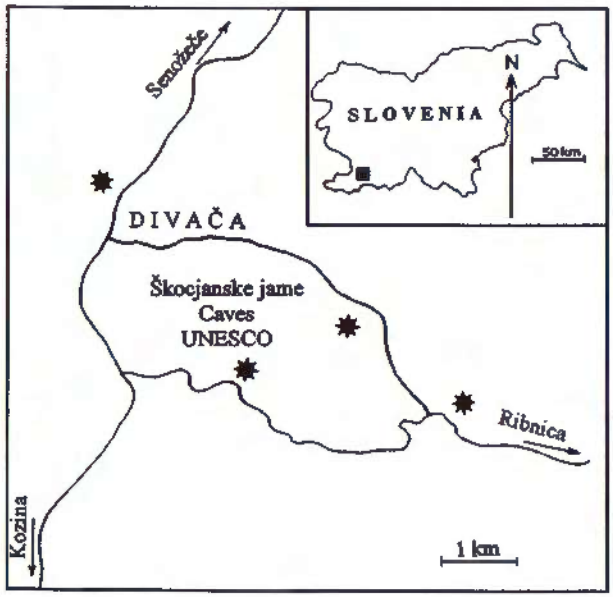


Fig. 1 The location of profiles.

5. KOZINA BEDS

STACHE (1872) recognized in the succession of beds named the Liburnian Formation originally only their middle part, although he already distinguished the lower and the upper limestones with foraminifers. He subdivided the Kozina beds into limestones with stomapsidas in the lower horitzons and the limestones with characeas in the uppere horizons. Later STACHE (1889) named the middle part Kozina beds, after the village of Kozina. Up to the present this denomination was not changed. Certain researchers maintain that this name should not be confined to the lower Paleocene part of the Liburnian Formation only, but that it should be extended to all bituminous limestone beds with coal and fauna of cosinias, stomatopsises, characeas, and others.

6. RESULTS OF PALEOECOLOGICAL STUDIES

6.1. PALEOGEOGRAPHICAL AND PALEOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LIBURNIAN FORMATION

The beds of the Liburnian Formation were deposited from Maastrichtian to Thanetian. The region of the Slovenian Littoral was subjected at the end of Cretaceous to the Laramian folding. The synclines formed were invaded in Danian and Paleocene by the transgressing sea. Indications of general uplift at the termination of Cretaceous are found in this part of Slovenia. During the transition from Cretaceous into Tertiary the sea bottom oscillated several times, as it can be observed in the examined Divaèa traverse.

After the deposition of beds with rudists a marine regression followed during which the sedimentation of the Vreme beds in Slovenia took place (PAVLOVEC, 1981).

The sediments of the Liburnian Formation were deposited according to G. Stache's concepts (STACHE, 1872) close to a very dissected coastline. The sea was considered to be in part brackish with estuaries and isolated coastal lakes between the lagoons (STACHE, 1889). On the basis of the occurrence of coskinolinas and miliolids certain authors are more inclined to accept the epicontinental rather than the continental origin of the Liburnian beds.

Breccias and bauxites of the Liburnian Formation that occur in a number of localities in the Slovenian Littoral are an indication of the regression of the sea that was shallow with local dry land areas. In marine lagoons and partly in fresh-water lakes the sedimentation of the Liburnian Formation took place without any considerable tectonic movements (PLENIČAR, 1961). At the end of Cretaceous occurred the uplift which, however, had the character of epeirogenic, an not of orogenic processes.

The study of fresh-water beds of the Liburnian Formation by G. Stache (STACHE, 1889) was based on snails, coal beds and characeas. All three characteristics of the Vreme and Kozina beds appear in numerous beds and horizons in the studied traverses. As for the snails, R.Pavlovec expressed his doubts about their freshwater character. Some authors believe that the karst was already well developed during the deposition of the Liburnian Formation, so that many streams flowing into the coastal lakes cannot be expected.

According to Norton's zoning *Rhapydionina liburnica* that occurs in several horizons in the Vremski Britof traverse is the most important fossil of the Maastrichtian Vreme beds. It is by far the most frequent in the A zone where the sea depth was believed less than 9 meters, and the sea temperature from 21 to 32 °C.

Following the results of studies in the surroundings of the Dolenja vas traverse that is similar to traverses described in the present work, the beds were deposited in a mostly quiet and shallow protected shelf with low values of the energy index (1- 2). Such environment is believed to have been uniform over an extended region of the Slovenian part of the Outer Dinarides.

According to recent investigations the beds of the Liburnian Formation were not entirely marine nor entirely freshwater. The Vreme beds are overlain by limestones with numerous characeas. These limestones indicate the vicinity of freshwater or brackish environment (PAVLOVEC, 1981).

6.2. VREME BEDS

Types of horizons with gyropleuras

With respect to the occurrence of valves of gyropleuras (Fig. 2) in the examined traverses a few types of horizons with gyropleuras can be distinguished.

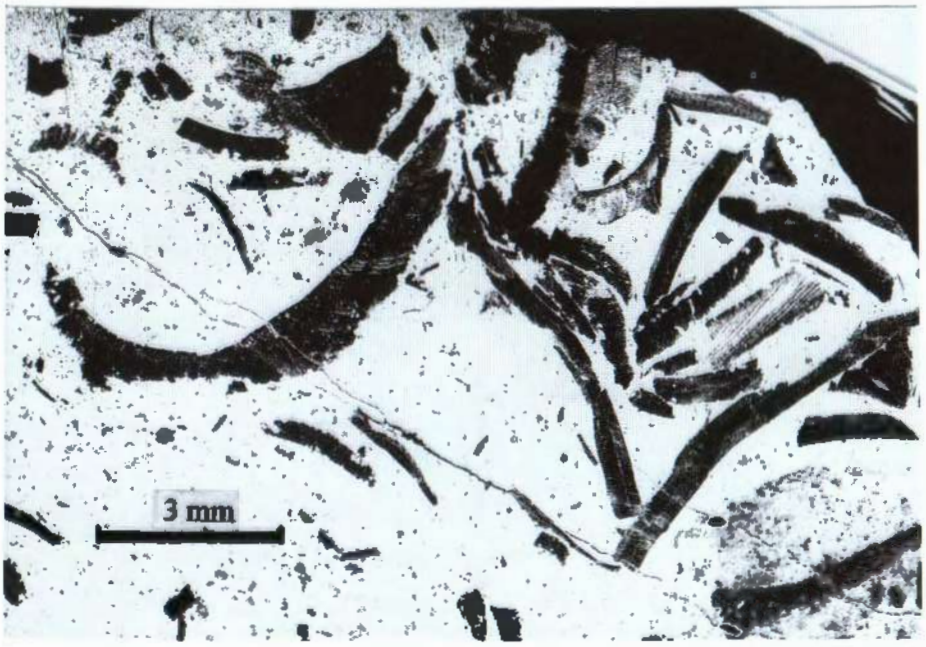


Fig. 2 Most horizons with gyropleuras contain broken and fractured valves.

On the basis of vertical variability in the occurrence of valves of gyropleuras and their fragments in the horizon five types have been distinguished:

Type A: The frequency of valves of gyropleuras in the horizon gradually increases from the lower towards the upper boundary of the horizon;

Type B: The abundance of valves of gyropleuras is about equal in the lower and the upper part of the horizon with gyropleuras. In the middle part of the horizon the valves are less frequent;

Type C: The maxium of valves of gyropleuras occurs in the middle part of the horizon, whereas they are less abundant in the lower and the upper part;

Type D: The abundance of valves of gyropleuras in the horizon gradually decreases from the lower towards the upper boundary of the horizon;

Type E: The abundance of valves of gyropleuras is about equal throughout the horizon.

Already during the first investigations this author conjectured in many cases the thanatocoenosis of gyropleuras. This means that the living environment of gyropleuras and apricardias was not at localities where they are found today. Chamidic pelecypods of genus *Gyropleura* and *Apricardia* most probably lived in quiet water, in shallows, buried in silt. This conclusion corresponds to the observation that although some valve fragments look extraordinarily thick (several mm), they are on the average still much thinner than valves of pelecypods that lived, and still live in waters with a higher energy. Of the latter one would expect thicker valves. The exterior surface of valves has no supplementary reinforcements (ribs or similar) that usually indicate the quiet living environment.

The primary locality of gyropleuras is not known yet. Their valves were carried to present locations by periodical water gusts that were caused according to this author's opinion by heavier storms or longer tempests. The waves kept accumulating the valves of gyropleuras in protected parts of the depositional basin. This conclusion corresponds also to the observation that between the horizons no valves of gyropleuras occur. In the contrary case at least some valves of gyropleuras between the horizons could be expected. It is consequently highly probable that the described horizons represent thanatocoenoses. In recent restricted near-shore parts of the basins many tens centimeters of sediment may be deposited during the stormy periods.

Although it is assumed according to the characteristics of the sediment that the depositional environment of valves of gyropleuras was shallow (most probably less than 10 m), and that also their living environment corresponded to this depth, it is interesting to remind that stormy waves may reach with their base to 30 m deep.

6.3. KOZINA BEDS

Types of horizons with characeas and snails

In the examined traverses in the Kozina beds three types of horizons are distinguished from which paleoecological conditions during deposition can be deduced. The most useful in this respect appeared the remains of characeas (Figs. 3, 4).

Type A: horizons with characeas (characean meadows, according to G. Stache).

Here the horizons with characeas are classified that do not show indications of any longer transport. This means that next to oogonia also other parts of the bodies of algae are preserved in the sediment;

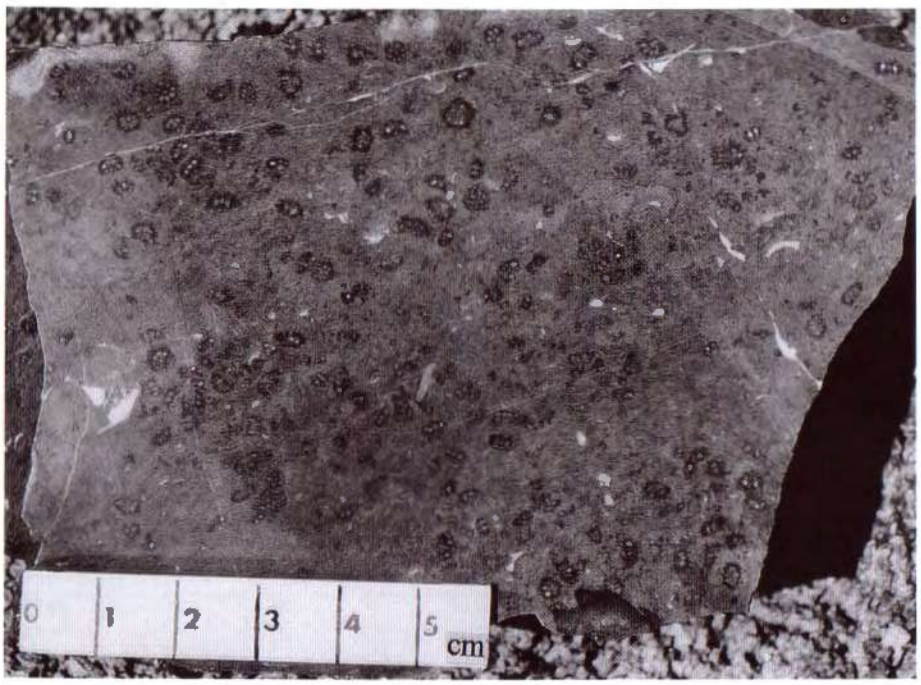


Fig 3 Characeas are classified here that do not show indications of any longer transport.



Fig. 4 Oogonia of characeas that show traces of transport.

Type B: horizons with oogonia.

To the B type belong the horizons with characeas that show traces of transport. Of the plant only oogonia are preserved.

Type C: horizons with snails.

In these horizons only snails occur.

7. MORE IMPORTANT REFERENCES

PAVLOVEC, R. (1963): Stratigrafski razvoj starejšega paleogena v južnozahodni Sloveniji.- Razprave IV.razr. SAZU, 7, 419-556, Ljubljana.

PAVLOVEC, R. (1981): Nekaj primerjav s plastmi liburnijske formacije izven jugoslovanskega ozemlja.- Simpozij o problemih danija v Jugoslaviji, Zbornik referatov, Proceedings, 2, 167-174, Ljubljana.

PAVLOVEC, R. & DROBNE, K. (1991): The Vremski Britof profile, Upper Maastrichtian.- Introduction to the Paleogene, SW Slovenia and Istria, Field-trip guidebook, IGCP Project 286 - Early Paleogene Benthos, 43-45, Ljubljana.

PLENIČAR, M. (1961): Stratigrafski razvoj krednih plasti na južnem Primorskem in Notranjskem.- Geologija, 6, 22-145, Ljubljana.

STACHE, G. (1872): Geologische Reisenotizen aus Istrien.- Verh. Geol. R. A., 215-223, Wien.

STACHE, G. (1889): Die Liburnische Stufe und deren Grenz-Horizonte.- Abh. Geol. R. A., 13, 1-170, Wien.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 16-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	293 - 296	ZAGREB 1995

Some Paleontological Evidence of the Paleogene Transgression on the Adriatic Carbonate Platform

Mladen **KOIĆ**, Vlasta **ĆOSOVIĆ**, Ivan **GUŠIĆ**, Vladimir **JELASKA**, Tihomir **MARJANAC** & Alan **MORO**

Key words: K/T boundary, Emersion, Foraminiferal Limestone, Kozina-type sediments

Abstract

Some of the most disputable questions are about the age and conditions of the re-establishment of marine regime on the carbonate platform after Senonian regression. Synsedimentary tectonics and/or sea-level changes have caused short- and long-lasting emersions that resulted in hiati, as well as creation of a new accommodation space that conditioned open marine and/or restricted lagoonal depositional regime. Since emersion that occurred at the top of Cretaceous, sedimentation on the Adriatic platform was re-established diachronously, covering a basement of different ages (Cenomanian-Turonian, Early Santonian to Late Maastrichtian) on different parts of the platform. Transgression is ranging in age from Paleocene to (Early to Middle) Eocene, so deposition was renewed in Paleocene and continued through Eocene, either by fresh-water to brackish limestone of the Kozina Beds or directly by the Foraminiferal Limestones. The latter are characterized by very abundant larger foraminifers. The contact between Cretaceous and Paleogene deposits may be characterized by karstification, carbonate breccias, bauxites, and sometimes coals.

INTRODUCTION

One of the most disputable questions regarding stratigraphy of the Adriatic zone of External Dinarides is the one of the time and conditions of the re-establishment of marine regime on the Adriatic carbonate platform after Senonian regression. Upper Cretaceous and Paleogene sediments (deposited on the Adriatic carbonate platform) are well exposed along the eastern Adriatic coast, and display a great variability of facies. Tectonics (synsedimentary faulting) and/or sea-level changes have caused short- and long-lasting emersions that resulted in hiati and accumulation of bauxites, as well as creation of a new accomodation space that conditioned open marine and/or restricted lagoonal depositional regime; naturally at different times during the Upper Cretaceous, and at different settings on the platform. Following the Upper Cretaceous regression, deposition was renewed in Paleocene and continued through Eocene, either by fresh-water to brackish limestone of the Kozina Beds (which is typically overlain by Foraminiferal Limestones), or directly by the Foraminiferal Limestones (BIGNOT, 1972; DROBNE, 1977) of the outer shelf origin. The latter are characterized by very abundant larger foraminifers, such as nummulites, alveolinas and orthophragminids. The contact between Cretaceous and Paleogene deposits may be characterized by karstification, carbonate breccias, bauxites, and sometimes coals.

Sediments from the K/T boundary were studied on several localities on the northern and southern Adriatic islands (Figs. 1 and 2), described below.

STRATIGRAPHY

STARA BAŠKA, KRK ISLAND (1, Fig. 1)

The Upper Cretaceous muddy limestones contain calcispheres, small planktonic foraminifers, echinoderm debris (both benthic and pelagic forms) and sponge spicules. These are attributed to the Cenomanian-Turonian age, according to paleontological similarities to sediments known from other parts of the Adriatic carbonate platform (POLŠAK et al., 1982; GUŠIĆ & JELASKA, 1990). Emersion on the top of Cretaceous sediments initiated local accumulations of bauxite. The oldest Paleogene deposit is 50 cm thick transgressive breccia, characterized by clasts of Cretaceous limestones and a fossiliferous matrix. They are overlain by laminites comprising mollusc debris, ostracods, characean gyrogonites, numerous *"Girvanella"*-like tubes and sparse foraminiferal assemblages where prevail tiny discorbids. This fossil association has no particular palaeoecological significance, but indicates eutrophic and mesotrophic conditions in shallow intertidal and supratidal with brackish episodes. Insufficient correlation with foraminifers rendered attribution of age as problematic in this case, but the sediment is nevertheless considered as of the Paleogene age by comparison with sediments from other localities (BIGNOT, 1972; DROBNE et al., 1989). These laminites are over-

Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Ulica kralja Zvonimira 8/II, 10000 Zagreb, Hrvatska.

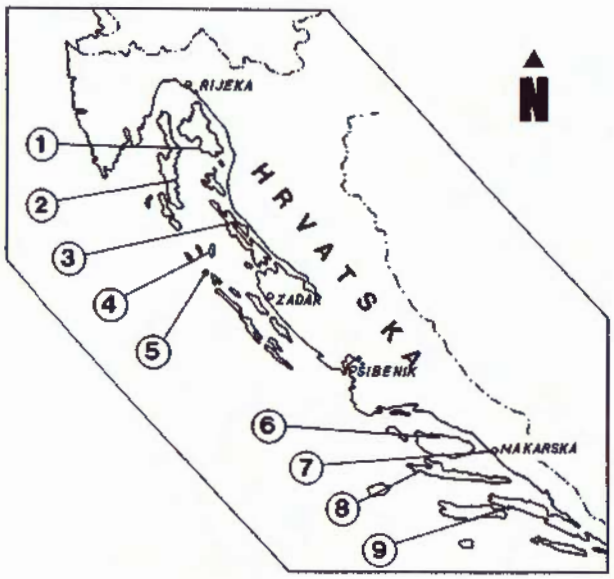


Fig. 1 Locations of studied sections.

lain by Foraminiferal Limestones (with abundant small miliolids) of Eocene age, documenting establishment of intertidal - subtidal environements.

KOROMAČNA COVE, CRES ISLAND (2, Fig. 1)

Cenomanian-Turonian limestones are overlain by carbonate microbreccias and bauxites, these are overlain by laminated mudstones and wackestones. Numerous *"Girvanella"*-like tubes have been recognized in mudstones. These sediments contain bituminous intercalations, and may be recognized as the Kozina-type sediments, attributed to the Paleocene/ Eocene age (BIGNOT, 1972). The frequent occurrence of *Girvanella*-like filaments indicates higher levels of eutrophication in a shallow water setting. Laminated sediments are overlain by foraminiferal wackestone, which is characterized by a gradual enrichment of the foraminiferal assemblage from the base upwards (from miliolids towards the larger foraminifera). Determined foraminifers *Idalina sinjarica* GRIMSDALE, *Chrysalidina (Pfendericonus) makarskae* (VAN SOEST), *Coskinolina* sp., *Spirolina* sp., and miliolids document the Middle Paleocene to Early Eocene age (HOTTINGER & DROBNE, 1980). Foraminiferal assemblage is best developed in wackestones of subtidal origin, and consists of long-ranging and eutrophic species (miliolids) where the living conditions were still far from optimal for larger foraminifers. Later, the environement become less restricted and more favourable for colonization of shallow-water benthic foraminifers.

KUSTIĆI VILLAGE, PAG ISLAND (3, Fig. 1)

Predominantly recrystallized Senonian limestones with occurrence of bauxite are overlain by laminites, followed by Foraminiferal Limestones of the Middle Paleocene age, according to *Coskinolina (Coskinolina) liburnica* STACHE, *Idalina aff. sinjarica, Alveolina (Glomalveolina) primaeva primaeva* (REICHEL) (HOTTINGER & DROBNE, 1980).

FUČINSKA COVE, OLIB ISLAND (4, Fig. 1)

Lower Santonian rudistid limestones are overlain by (only locally developed) transgressive breccias, and Foraminiferal Limestones with numerous conical foraminifers (*Coskinolina (C.) liburnica, Chrysalidina* sp., *Idalina sinjarica*, and many small miliolids). These sediments can be dated as the Early Eocene age.

CAPE KOK, IST ISLAND (5, Fig. 1)

Pelagic Santonian limestones are overlain by transgressive breccias, and these by Foraminiferal Limestones that comprise conical foraminifers (*Coskinolina (C.) liburnica, Chrysalidina (P.) makarskae*), which indicate the Early Eocene age (HOTTINGER & DROBNE, 1980).

ENVIRONS OF SUPETAR CITY, BRAČ ISLAND (6, Fig. 1)

The Eocene transgression is marked by transgressive breccias that overlie Late Maastrichtian carbonates, and these are overlain by the Foraminiferal Limestones. The nummulite fauna determined indicates the Early Lutetian age of transgression.

CAPE OSEJAVA, NEAR MAKARSKA CITY (7, Fig. 1)

Late Maastrichtian limestones are transgressively overlain by the Foraminiferal Limestones. Their fossil content (*Coskinolina (C.) liburnica, Chrysalidina (P.) makarskae, Idalina sinjarica, Alveolina (A.) levantina* HOTTINGER, *Orbitolites* sp.) indicates the "Late Ilerdian" (HOTTINGER & DROBNE, 1980) (Early Eocene) age of transgression; younger than on the above described sites.

PODSTINA COVE, HVAR ISLAND (8, Fig. 1)

The K/T boundary is marked by several meters thick breccia with bauxite matrix, overlain by the Kozina-type limestones. The latter comprise stromatolites interbedded with brackish-water limestones with abundant gastropods, discorbids, ostracods, and characean gyrogonites. Numerous breaks in deposition are marked by karstification, local accumulation of bauxites, and stromatolite overgrowths, and are attributed to falls in sea-level. The age of these sediments is determined as the Early Eocene (Late Ypresian). Kozina-type limestones are transgressively ovelain by the Foraminiferal Limestones of the Middle Lutetian age, and the contact is a ravinement surface with only a thin veneer of pebbles (MARJANAC et al., in press). Small thickness of both sediments is attributed to low rate of subsidence, small new accomodation space created, and frequent emersions.

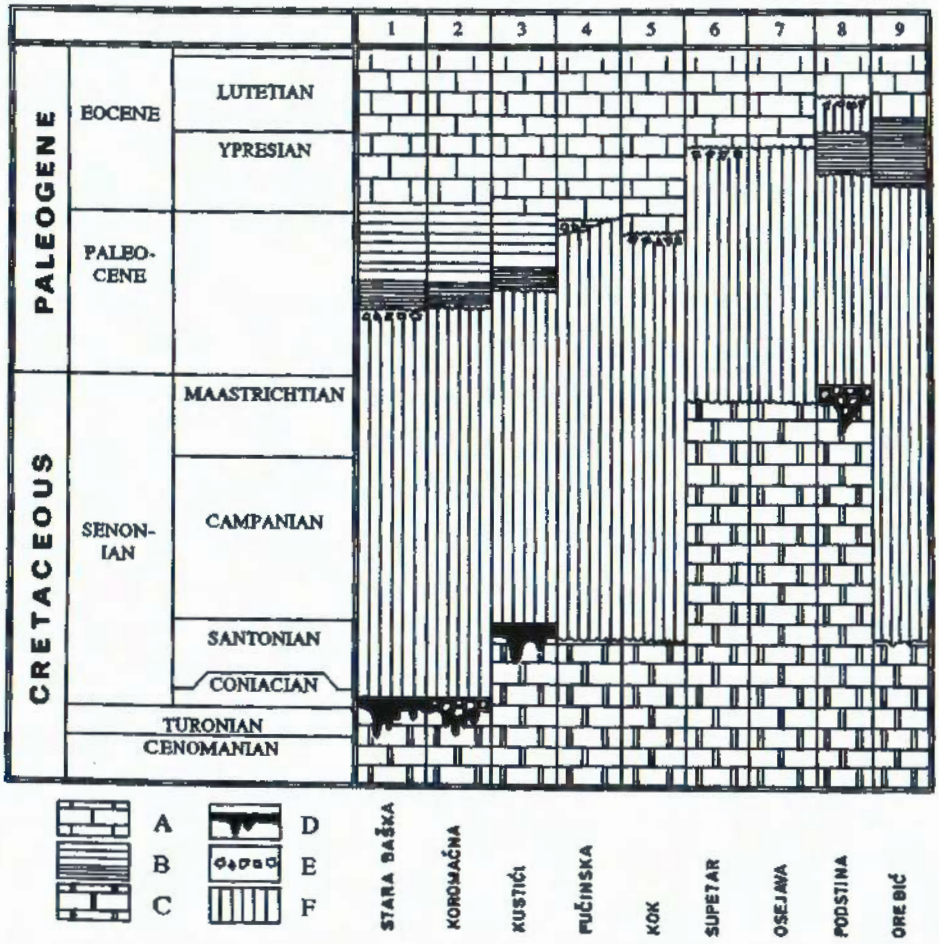


Fig. 2 Schematic sections of all studied localities (see text for details). Note variable span of hiatus at various localities. Although not illustrated herein, Cretaceous basement shows various degree of deformation at different localities. Key: A) Foraminiferal Limestones, B) Laminites and/or Kozina-type limestones, C) Late Cretaceous Limestones, D) bauxites, E) breccias, F) hiatus.

ENVIRONS OF OREBIĆ VILLAGE, PELJEŠAC PENINSULA (9, Fig. 1)

The base of Kozina-type limestones is determined as of probable Early Eocene age. During their deposition numerous emersions occurred as a consequence of sea-level falls, and caused erosion and karstification that contributed to stratigraphic incompleteness of the section. These are transitionally overlain by the Foraminiferal Limestones, and their base is of the Early Lutetian age (MARJANAC et al., in press). Larger thickness of facies compared to that on the Hvar Island is interpreted as a consequence of more pronounced tectonic subsidence and larger accomodation space created.

CONCLUSION

Since emersion that occured at the top of Cretaceous, sedimentation on the Adriatic platform re-established diachronously, above a basement of different ages (Cenomanian-Turonian, Early Santonian to Late Maastrichtian) on different parts of the platform (Fig. 2). Transgression is ranging in age from Paleocene to (Early to Middle) Eocene. Several Paleogene environements and corresponding facies have been recognized, ranging from more-or-less brackish, protected lagoons and bays, characterized by deposition of laminites (with characean gyrogonites, *Girvanella*-type filaments and bituminous intercalations) of the Kozina Beds to open marine shelf where Foraminiferal Limestones have been deposited. Recognized emersions had different durations, and all contribute to stratigraphic incompleteness of studied sections. They have governed a diversification of facies, and are attributed to local block tectonics and falls in sea-level.

REFERENCES

BIGNOT, G. (1972): Recherches stratigraphiques sur les calcaires du Cretace superieur et de l'Eocene d'Istrie et des regions voisines. Essai de revision du Liburnien.- Thesé, Travaux du Lab. Micropaleontologie, 2, Univ. Paris VI, 1-353.

DROBNE, K. (1977): Alveolines paleogenes de la Slovenie et de l'Istrie.- Schweiz. Palaont. Abh., 99, 1-132, Basel.

DROBNE, K., OGORELEC, B., PLENIČAR, M., BARATTOLO, F., TURNŠEK, D. & ZUCCI-STOLFA, M.L., (1989): The Dolenja Vas section, a transition from Cretaceous to Paleocene in the NW Dinarides, Yugoslavia.- Mem. Soc. Geol. It., 40 (1987), 73-84.

GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1990): Stratigrafija gornjokrednih naslaga otoka Brača u okviru geodinamske evolucije Jadranske karbonatne platforme.- Djela JAZU, 69, 1-160, Zagreb.

HOTTINGER, L. & DROBNE, K. (1980): Early Tertiary Conical Imperforate Foraminifera.- Razprave (Dissert.) SAZU, 22/3, Cl. 4, 189-276.

MARJANAC, T., BABAC, D., BENIĆ, J., ĆOSOVIĆ, V., DROBNE, K., MARJANAC, LJ., PAVLOVEC, R. & VELIMIROVIĆ, Z. (in press): Eocene Carbonate Sediments and Sea-level Changes on NE Part of Adriatic Carbonate Platform (Island of Hvar and Pelješac Peninsula, Croatia). In: DROBNE, K., HOTTINGER, L. & PAVLOVEC, R. (eds.): Paleogene of central Tethys, Dela Slov. akad. znan. umjetn., 31.

POLŠAK, A., BAUER, V. & SLIŠKOVIĆ, T. (1982): Stratigraphie du Crétacé Supérieur de Plate-forme Carbonatée dans les Dinarides Externes.- Cretaceous research, 3, 125-133.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	297 - 302	ZAGREB 1995

Prilog geofizičkih mjerenja poznavanju geologije SI Istre i Kvarnera s osvrtom na geotermalne odnose

Slobodan **KOLBAH**, Nevenka **ROMANIĆ KRISTENSEN** & Mario **ŠUŠTARČIĆ**

Ključne riječi: geofizička mjerenja, geološko-geofizička interpretacija, SI Istra i Kvarner, geotermalna istraživanja

Key words: Geophysical survey, Geological-geophysical interpretation, NE Istria and Kvarner, Geothermal exploration

Sažetak

Na tragu dosadašnjih geofizičkih istraživanja i naših iskustava na području SI Istre i Kvarnera pokušano je dati kvalitativan prilog geofizičkih informacija u integralnu geološku sliku. Svjedoci smo eksplozije informacija, pa ih ovim pristupom želimo obuzdati i koristiti za nove spoznaje. Osnovni poticaj za to su dosadašnja geotermička istraživanja, sudjelovanje na projektu Geotermalnog atlasa Europe i interpretacija najnovijih geofizičkih mjerenja u sklopu naftnih istraživanja. Prethodnim geotermičkim istraživanjima područje je okarakterizirano kao "hladno" sa zonama intenzivnog geotermalnog dotoka, često praćenim i površinskim termalnim izvorima (Istarske toplice 34,5°C). Korištenjem raspoloživih geofizičkih mjerenja upotpunjena je slika geološke građe neophodne za nastavak dosadašnjih geotermalnih istraživanja.

Abstract

Based on the former geophysical exploration and our experience in the NE Istria and Kvarner area, we tried to give the quantitative contribution of geophysical information to the integral geological picture. We are witnessing an explosion on information, so using this approach we would like to restrain it and use it for new conceptions. The main impulse for that are previous geothermal exploration, the participation in the Geothermal Atlas of Europe project and the interpretation of the newest geophysical surveys in the frame of the oil exploration. The former geothermal exploration determined this area as "cold", with the zones of the intensive geothermal influx, occasionally followed by the surface thermal sources (Istarske toplice 34.5°C). The use of the available geophysical surveys completed the picture of the geological composure necessary for the continuation of the geothermal exploration.

UVOD

Moto ovog izlaganja je uklapanje indirektnih - geofizičkih metoda za stvaranje što cjelovitije geološke slike. Osnovu za takvo poimanje imamo ovdje u Voloskom i Andriji Mohorovičiću (1857-1936). Višeznačno: prostorno, metodološki i konceptualno, ako se zamislimo možemo pratiti njegov virtuelan pogled prema duboko smještenoj tajni našeg istraživanja: sjevernog i istočnog dijela Istre, Kvarnera s njegovim arhipelagom.

Osnova tog pristupa pretežno su istražni radovi poduzeća Naftaplin, Zagreb i pojedini međunarodni projekti. Prvi u nizu suvremenih geološko-geofizičkih interpretacija je rad Vlašića (VLAŠIĆ, 1970). Istovremeno u svijetu spoj geofizičkih i geoloških informacija uvodi koncepciju "Tektonike ploča" i sve što je iza nje sljedilo. Interes za regionalno i dublje sagledavanje geološke građe javlja se početkom 80-tih godina i označen je radovima ALJINOVIĆ (1979), ALJINOVIĆ & BLAŠKOVIĆ (1981) i PRELOGOVIĆ et al. (1981). U međuvremenu pojedini autori kao MORELLI (1983) Tektoniku ploča prepoznaju i na području Jadrana, a HERAK (1986) se javlja s "novim koncepcijama geotektonike Dinarida", odnosno geološko-geofizičkom sintezom.

Ovom radu prethode i naša iskustva na geotermalnim istraživanjima Jadrana i Dinarida (KOLBAH et al.,1986) i pripremanju izvještaja o geotermalnom potencijalu Hrvatske (KOLBAH & KOVAČIĆ, 1992), sudjelovanju na projektu Geotermalnog Atlasa Europe (1992) i Gravimetrijskom projektu za Zapadnu i Istočnu Europu (1994).

GEOGRAFSKI SMJEŠTAJ I ZNAČAJKE

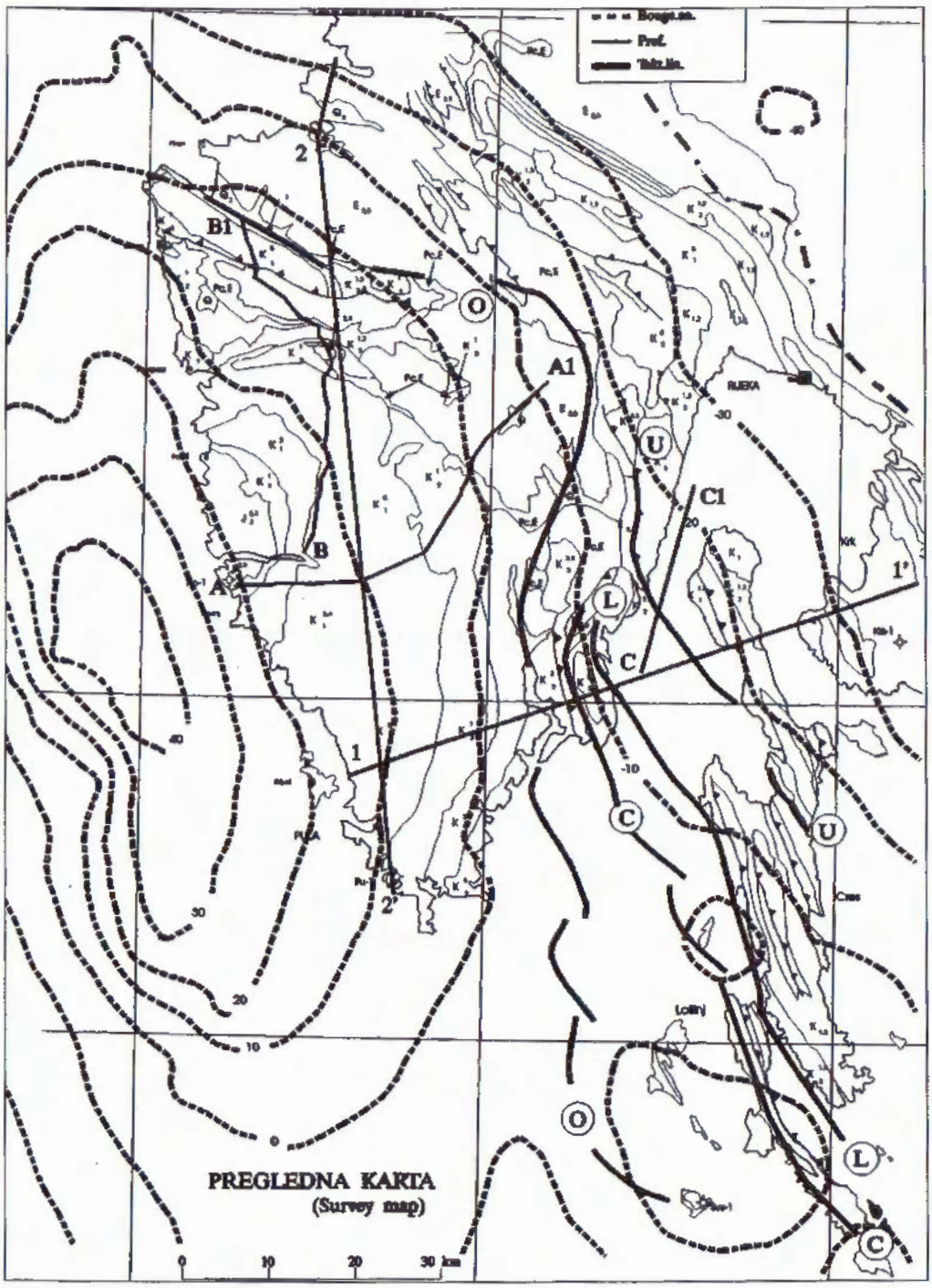
Područje našeg središnjeg interesa zahvaća sjeverne i istočne dijelove Istre i Kvarnera s pripadnim otocima.

Ovdje morfološki razlikujemo nizove uzvišenja s pobrđem i plato Istre sa specifičnom morfologijom.

Od nizova uzvišenja gledajući prema platou pratimo:

- najistaknutiji niz od Ćićarije (1273m), Učke (1401m) i sjeveroistočnog masiva Cresa (648m),

INA d.d. Zagreb, Naftaplin, Služba istraživanja, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Pregledna karta.
Fig. 1 Survey map.

- nešto manje istaknut je niz od sjeverne Labinštine (474m) i jugozapadnog masiva Cresa (483m),

- ponovo nešto istaknutiji niz od masiva Crne Punte (539m) preko Osorčice (589m) na Lošinju i

- pobrđa ovih uzvišenja, različite širine i morfologije pružaju se prema Platou Istre jasno odijeljena osnovnom linijom koju pratimo od Rta Savudrije, donjeg toka Dragonje, linijom krških ponora, niza vodotoka koji se slijevaju sa sjevera, dalje preko Buzeta i gornjih tokova Mirne i Boljunšćice, Raške drage i Raškim zaljevom prema jugu (sl. 1).

Ovi nizovi često su prekidani izrazitim depresijama kao: Vela vrata, Čepić polje, pa i dijelovi samog Kvarnera, no one u osnovi ne narušavaju kontinuitet nabrojenih nizova uzvišenja.

PREGLED I IZBOR DOSADAŠNJIH RADOVA

Prilog geofizičkih istraživanja pridružen je osnovnim geološkim spoznajama.

Geološke površinske i dubinske informacije razmatrane su u okviru rezultata OGK (tumača i listova M 1:100.000): Trst, Ilirska Bistrica, Rovinj, Labin, Pula, Cres i Lošinj i dubokih istražnih bušotina na naftu: Rovinj-1, Pula-1 i Susak-1, uz konzultaciju odgovarajućih informacija šireg područja.

Geofizička mjerenja odnose se na one opće namjene pretežno **lokalnog** karaktera, za potrebe "naftnih" istraživanja pretežno **regionalnog i superregionalnog** karaktera, koja obuhvaćaju **geoelektrička, geomagnetska, gravimetrijska i refleksivna seizmička** površinska mjerenja te **karotažna** mjerenja u kanalima dubokih bušotina, i

Kontinentalna i globalna mjerenja. Ona kao okvir regionalnih opažanja, pa naniže, također imaju velik doprinos i u razumjevanju najsuptilnijih lokalnih odnosa. Odnose se na **udaljena opažanja, geodetska i refrakcijska seizmička** mjerenja i dugoročna opažanja i mjerenja **potresa.**

Geoelektrička mjerenja vršena su 1958-60-ih godina, ali tek su duboka geoelektrička sondiranja duž regionalnih profila 1984. god. omogućila pouzdanije indiciranje strukturno-tektonskih odnosa, kao i korelaciju rezultata s drugim geofizičkim i dubinskim podacima.

Geomagnetska mjerenja su super regionalnog karaktera (gustoće 1 točka na 10km^2).

Kopneno područje mjereno je 1956-58. god., a akvatorij sa rubnim dijelovima kopna 1963-65. god. i 1976-78. god.

Gravimetrijskim regionalnim mjerenjima (približne gustoće 1 gravimetrijska stanica na 1 km^2) obuhvaćeno je promatrano područje u 50-tim odnosno 60-tim godinama: 1953-55. god. gornji Jadran i priobalje, 1956-57. god. Istra (jugozapadni dio), 1958-59. god. Zagreb - Buje (Sjeverni dio), 1961. god. Sjeveroistočna Istra. Ova mjerenja su kasnije u niz navrata reinterpretirana.

Seizmička refleksivna mjerenja kopnenog dijela promatranog područja vršena su u dva navrata: u 60-tim godinama i 80-tim godinama. Prva su korištena za interpretaciju dubokih repernih horizonata, dok su novija korištena u ovom radu, jer su kvalitetom omogućila i detaljnu interpretaciju. Marinska seizmika snima se od kraja 60-tih godina, no za nas ključni profili snimljeni su 1987. godine pod oznakom IS. Njihovom interpretacijom ostvaren je napredak u razumijevanju strukturno tektonskog sklopa.

Duboko istražno bušenje započinje na lokaciji Rovinj-1 (K.D. 4.135m) 1960-62. god., Krk-1 (K.D. 3.716,6m) 1966-67. god., Pula-1 (K.D. 3.028,6m) 1967-68. god. i završava na lokaciji Susak-1 (K.D. 3.547,3m) 1968-69. god. Pored geološkog praćenja i uzimanja mehaničkih jezgri na njima su izvršena opsežna geofizička mjerenja kanala bušotine. Pored ostalog njihovi podaci omogućili su izradu priloga za geotermalno kartiranje Europe.

Od mjerenja **globalnog** značaja za promatrano područje važna su sljedeća

Udaljena opažanja i geodetska mjerenja i kartografski prikazi koji su bitno doprinijeli stvaranju zajedničke slike.

Duboka seizmička refraktivna mjerenja kontinentalnog karaktera (približne gustoće 1km profila na 300km^2) relativno dobro definiraju promatrano područje. Direktno ga zahvaća profil Pula-Maribor dok bočne informacije daju profili s područja Italije Venezia-Piave Di Cadore, poprečni na glavni pregib Alpa, i Palagruža-Valpovo, poprečan na glavni pregib Dinarida. Ovakva mreža i kvaliteta profila omogućava interpretaciju dubine Mohorovičićevog diskontinuiteta i pojedinih plićih uz korelaciju s drugim metodama.

Potresi i njihovo proučavanje od velike su važnosti za ovo razmatranje i pratimo ih na cijelom području. Morfološki uzdignuta područja karakteriziraju gotovo kontinuirani maksimumi sa vrijednostima magnituda većim od 4,5, čija os se podudara sa nizom: Ćićarija - Učka - Sjeverna Labinština - jugozapadni masiv Cresa i dalje preko njegovog dijela utonulog u more JI od Punta Križa. Na Platou Istre imamo zabilježene izolirane potresne zone, također magnitude veće od 4.5 (SI od Poreča) i 4.0 (JZ od Pule).

Najviše magnitude potresa zabilježene su u zaleđu promatranog područja. Od Furlanije do Gorskog Kotara i Hrvatskog primorja pratimo ih duž osi gravimetrijskog minimuma Dinarida, odnosno u blagom iskoraku pred glavnim pregibom Mohorovičićeva diskontinuiteta Dinarida. Ujedno se i dubine žarišta potresa idući prema toj liniji znatno povećavaju i procjenjuju se na dubine veće od 12 - 18 km (SI Krk i Vinodol).

Tumačenje ovih pojava je dvojako pa ih vežemo uz:

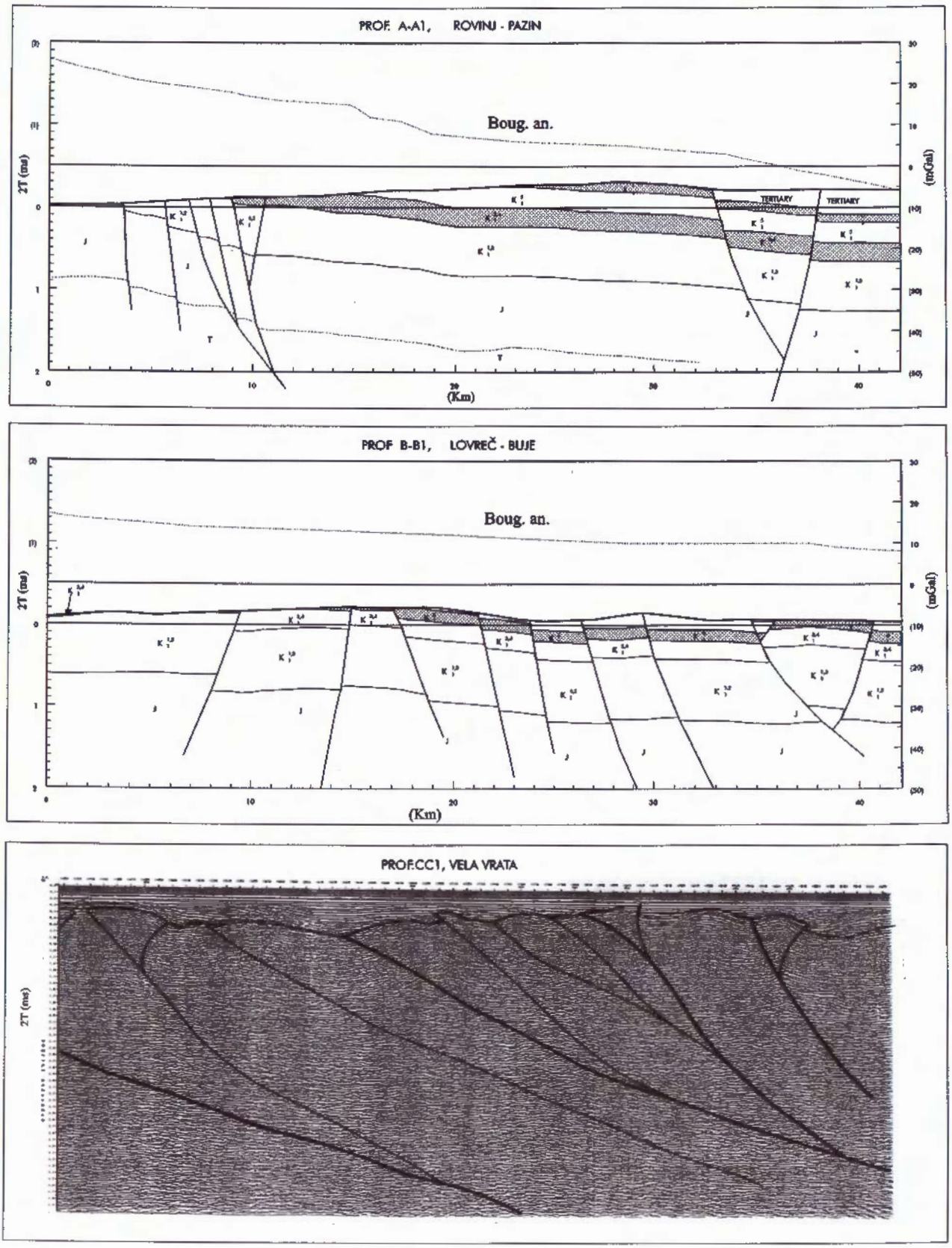
- **osnovne rigidne kompenzacije** u kori, ali su istovremeno i izvorišta
- **niži nivo kompenzacija** u plićim dijelovima kore.

Dakle raznorodna geofizička opažanja daju nam uporište za formiranje integralne slike i razumijevanja geoloških odnosa i obrnuto.

PRILOG GEOFIZIČKIH MJERENJA POZNAVANJU GEOLOŠKE GRAĐE

Iako spomenuta geofizička mjerenja daju pretežno indirektne informacije, ona pridonose sa svojim osnovnim i kvalitativnim značajkama sagledavanju cijele Litosfere. Neke direktno upućuju na zemljin dinamizam, a u interakciji s direktnim geološkim opažanjima mogu imati i kvantitativni karakter.

Litosfera je u dubini definirana, prelazom krute kore u plastičnu Astenosferu gornjeg dijela plašta odnosno, **Mohorovičićevim** diskontinuitetom (M). Prepoznatljiv je na dubokom seizmičkom refraktivnom porofilu Pula - Maribor. Njegovo kartiranje u okviru spomenute mreže ukazuje da na promatranom prostoru utonjuje prema SI, prema glavnom pregibu Dinarida. On je ovdje nešto manje izražen, ali i neosporno prisutan. Prema tome debljina Litosfere povećava se od cca 30 do maksimalno 45 km (sl. 3). S prosječnom brzinom Vp bliskom 6,4 km/s i udjelom osnovnih slojeva predstavlja **kontinentalnu** koru **platforme** Istre s prijelazom u izrazito **orogeno** područje Dinarida. Bazaltni sloj

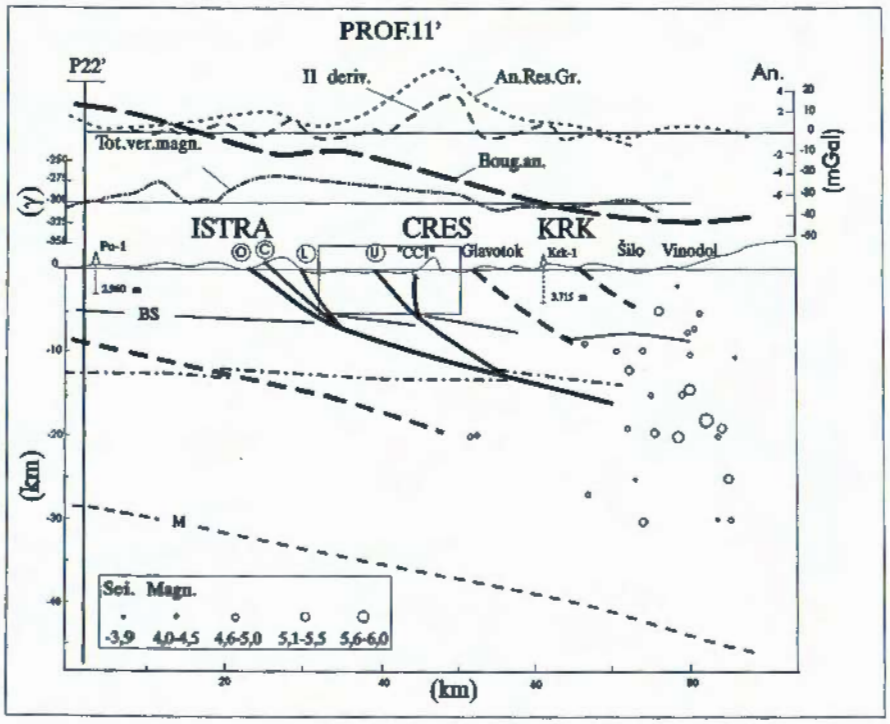


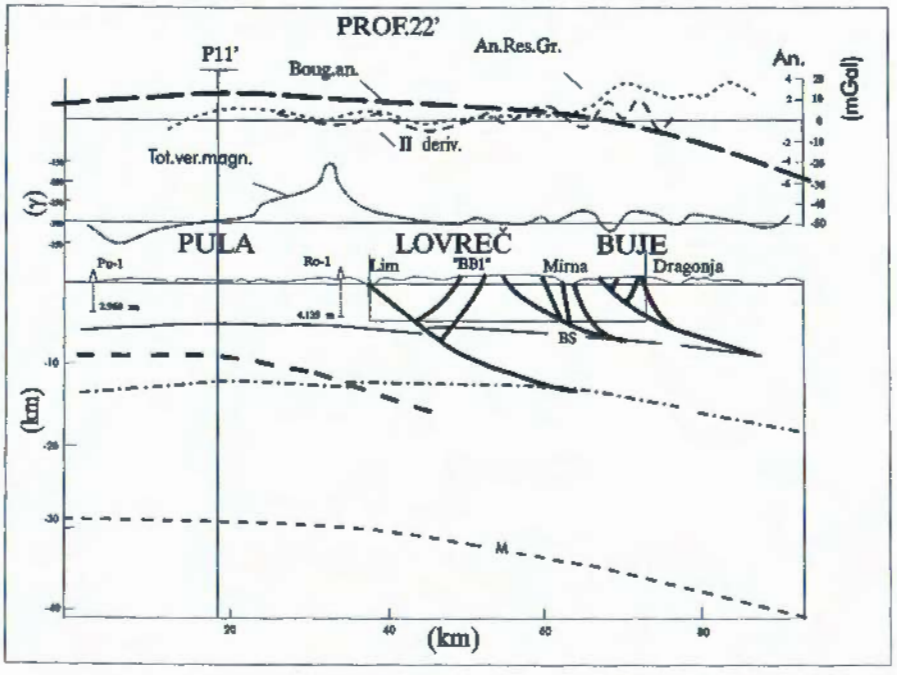
Sl. 2 Interpretacija geofizičkih profila AA1, BB1 & CC1.

Fig. 2 Geophysical interpretation cross sections AA1, BB1 & CC1.

vjerojatno je kontinuirane debljine manje od 10 km, dok je značajno zadebljanje kore na relativno maloj udaljenosti posljedica zadebljanja lakšeg Granitnog sloja i sedimentnog pokrivača.

Prema geomagnetskim mjerenjima ispod **baze sedimenata** (BS) očekuju se značajne debljine **paraškri-**





Sl. 3 Pojednostavljeni profili 11' i 22'.

Fig. 3 Simplified cross sections 11' and 22'.

ljavca smanjenog magnetskog susceptibiliteta. Znači kristalaste stijene su na znatno većim dubinama osim mjestimično, što možemo vezati uz lokalne žične prodore. Sama baza sedimenata nije uočena na profilu Pula-Maribor. Moguće ju je ekstrapolirati uz pomoć gravimetrijskih podataka. Debljina sedimenata se znatno mijenja na promatranom području. Na najuzdignutijim dijelovima platforme JZ Istre i vanjskih Kvarnerskih otoka ove debljine su manje od 5 km. To vrlo konkretno potkrepljuju i podaci bušotina u ovoj zoni, od kojih je i Rovinj-1, najdublja po konačnoj dubini od 4.135 m, stratigrafski ostala u gornje permskim vulkanogeno-sedimentnim naslagama. Najveća dubina sedimenata očekuje se na SZ, u zoni pregiba Dinarida, preko 10 km i to s trendom smanjenja prema JI. Zamišljena ploha koja spaja os maksimalnih pregiba sedimenata i kore nagnuta je prema platou Istre, s time da se sve više ustrmljuje prema JI. Ova zona maksimalnog nagomilavanja mase kore i sedimenata podudara se s najvećim magnitudama i koncentracijom potresa kao centrom distribucije dinamizma nižih rangova.

Interpretacija posljednjih generacija seizmičkih profila uputila je pored ostalog na:

- veću složenost i karakter tektonike na samom platou Istre i
- moguću povezanost nabranih struktura Istre i Kvarnera.

STRUKTURNO TEKTONSKI ODNOSI

Tektonska aktivnost na području Istarskog poluotoka je vrlo složena, a može se pratiti sve do danas. S obzirom na tektonsku građu Istre razlikuju se u genetskom i strukturnom smislu dvije prostorne tektonske jedinice: Zapadno-istarska jursko-kredna antiklinala i Pazinski paleogenski bazen.

Zapadno istarska jursko-kredna antiklinala predstavlja relativno stabilnu masu konkordantnih sedimenata koji blago tonu u smjeru SI i JI. Niz normalnih rasjeda koji su pomicali blokove (vidljivo na profilima A - A1 i B - B1, sl. 2) predstavljaju prateću fazu relaksacije nakon slabljenja diferencijalnog pritiska. Intenzivnom tektonskom aktivnošću formirane su navlačne strukture Ćićarije, Učke i Labinskog bazena koje se prate dalje kroz podmorje i na otocima Cres, Lošinj (slike 1 i 2). Na sjevernom rubu promatranog prostora je Buje antiklinala sa smjerom pružanja osi (ZSZ - IJI) gotovo okomitim na spomenuti niz. Za pretpostaviti je da su uslijed različitih smjerova pritisaka vršena zakretanja, kao i horizontalni pomaci.

Pazinski paleogenski bazen formiran je spuštanjem dijela jursko-kredne antiklinale koja tone prema sjeveroistoku. Odvajanje bazenskog dijela u kojem se taložio fliš od ostalog područja praćeno je tektonskim pokretima koji su aktivni i sasvim pri kraju sedimentacije fliša, a uzrokovali su njegovo boranje.

OSVRT NA GEOTERMALNE ODNOSE

Suvremena geotermička istraživanja na kontinentalnim orogenim platformnim područjima poput promatranog s znatnijim udjelom gornjih slojeva kore suočavaju se s dodatnom komponentom - utjecajem različitog zasićenja fluidima i promjenama njihovog sastava. U slučajevima njihovog kretanja u podzemlju geotermička slika se još više komplicira. Tada dolazi do promjene osnovnih karakteristika termičke vodljivosti stijena, a u slučajevima kretanja fluida pored termičke kondukcije susrećemo se s efektom konvekcije topline, što bitno utječe na geotermički tok. Zbog toga je u ova istraživanja nužno uključiti dobro poznavanje geoloških odnosa i rekonstrukciju mogućnosti migracije dubinskih fluida.

U tu svrhu na našem primjeru pokušali smo definirati: opću sliku građe kore, smještaj potencijalnih akvifera i izolatorskih stijena, strukturno tektonske odnose značajne za otvaranje ili blokiranje komunikacije fluida i korelaciju direktnih geotermičkih mjerenja s drugim geofizičkim metodama.

S novim spoznajama i pretpostavkama možemo bolje razumjeti raspoložive geotermičke podatke i dati racionalnije smjernice za nastavak geotermičkih istraživanja.

LITERATURA:

ALJINOVIĆ, B. (1979): Studija o dubokim repernim horizontima SJ Jadrana.- Fond Struč. dok. "Geofizika", Zagreb.

ALJINOVIĆ, B. & BLAŠKOVIĆ, I. (1981): O plohi dubokih seizmičkih horizonata sjeveroistočnog Jadrana.- Zbornik radova simpozija o Jadranu, ZSN JAZU, 363-380, Split.

FAIRHED, J.D. (1994): West-East Europe Gravity Project.- GETECH, Leeds, Fond struč. dok., Ina d.d., Naftaplin, Zagreb.

HERAK, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides.- Acta geol., 16/1, 1-42, Zagreb.

HURTIG, E. (1992): Geothermal atlas of Europe.- Hermann Haock Verlagsgesellschaft, Gotha.

JOKSOVIĆ, P. & ANDRIĆ, B. (1983): Ispitivanje građe zemljine kore metodom dubokog seizmičkog sondiranja na profilu Pula-Maribor.- Fond str. dok. "Geofizika",1-14, Zagreb.

KOLBAH, S. & KOVAČIĆ, Z. (1992): Izvješće o do sada izvršenim istražnim radovima i rezultatima istraživanja na mineralnu i geotermalnu vodu na području RH.- Fond str. dok. INA d.d., Naftaplin, Zagreb.

KOLBAH, S., TARI-KOVAČIĆ, V. & DRAGAŠ, M. (1986): Geotermičke metode u naftnom istraživanju Dinarida.- Zbornik radova XI kongresa geologa Jugoslavije, Tara.

MORELLI, C. (1983): Promotorio Africano o microplacca Adriatica.- Bull. di oceanol. teor. ed applic., 2/2, 151-168, Trieste.

PRELOGOVIĆ, E., BLAŠKOVIĆ, I., CVIJANOVIĆ, D., SKOKO, D. & ALJINOVIĆ, B. (1981): Seizmotektonske značajke vinodolskog područja.- Geol. vjesnik, 33, 75-93, Zagreb.

VLAŠIĆ, B. (1970): Jadran - marinska seizmika 1968 god.- Fond Struč. dok. Ina d.d., Naftaplin, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	303 - 306	ZAGREB 1995

Prilog poznavanju gustoće površinskog toplinskog toka u širem području Zagreba

Miron **KOVAČIĆ**

Ključne riječi: geotermija, gustoća toplinskog toka, geotermijska anomalija, Zagreb

Key words: Geothermics, Heat-flow density, Geothermal anomaly, Zagreb

Sažetak

U sklopu projekta *Osnovna geotermijska karta Republike Hrvatske* obavljeno je istraživanje gustoće površinskog toplinskog toka u širem području Zagreba. Proračun je obavljen na temelju temperaturnih podataka dubokih bušotina i konduktivne toplinske vodljivosti probušenih litoloških cjelina. Utvrđeno je da vrijednosti geotermijskih gradijenata, toplinskih vodljivosti stijena, intervalnih gustoća toplinskog toka i površinskih gustoća toplinskog toka imaju velik raspon. Vrijednosti gustoće površinskog toplinskog toka su u uskoj zoni istraživanog prostora znatno više od prosječnih i karakteristične su za pozitivne anomalije gustoće površinskog toplinskog toka. Pozitivna anomalija gustoće površinskog toplinskog toka je nešto šira od pozitivne temperaturne anomalije na 1000 m dubine. Vrijednosti gustoće površinskog toplinskog toka dobivene ovim istraživanjem razlikuju se od podataka objavljenih do sada.

Abstract

Within the project *Basic Geothermal Map of the Republic of Croatia* investigation on terrestrial heat-flow density in the wider area of Zagreb was carried out. The calculation was based on temperature data for deep drill-holes and conductivity of the drilled lithologic units. It has been determined that values of geothermal gradients, rock thermal conductivities, interval heat-flow densities and terrestrial heat-flow densities are of wide range. Terrestrial heat-flow density values in the narrow zone of the investigated area are considerably higher than the average and are typical of positive anomalies of the terrestrial heat-flow density. Positive anomaly of terrestrial heat-flow density is somewhat wider than positive temperature anomaly at the depth of 1000 m. Values of terrestrial heat-flow density obtained by this investigation differ from data published so far.

UVOD

Dotok toplinske energije iz dubine na površinu Zemlje izražava se kao gustoća toplinskog toka (GTT) na površini i jedan je od značajnijih geotermijskih parametara. Ona je neizbježan čimbenik pri procjeni geotermijskog potencijala ili regionalnih geoloških istraživanja prostora.

Istraživanje površinske GTT u širem području Zagreba obavlja se u sklopu projekta *Osnovna geotermijska karta Republike Hrvatske*. Cilj istraživanja je da se točno utvrdi GTT u području u kojem je ustanovljena pozitivna temperaturna anomalija (ČUBRIĆ, 1993). U radu su iznijeti djelomični rezultati istraživanja koje je u tijeku. Proračun GTT obavljen je na temelju temperaturnih podataka dubokih bušotina i poznavanja konduktivne toplinske vodljivosti probušenih litoloških cjelina. Ustanovljeno je da zbog različitih intervalnih geotermijskih gradijenata i različitih toplinskih vodljivosti, intervalne GTT imaju velik raspon. Dobivene vrijednosti površinske GTT, u dijelu istraživanog prostora, znatno su više od prosječnih i karakteristične su za pozitivne geotermijske anomalije.

KORIŠTENE KRATICE I SIMBOLI

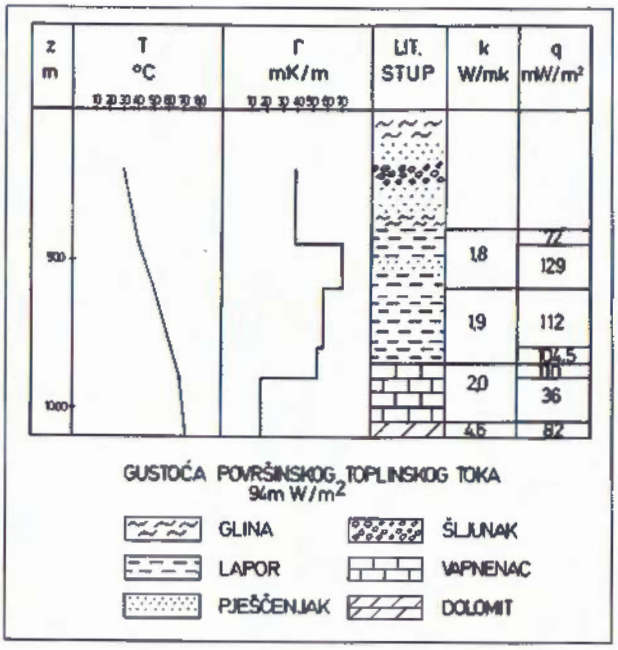
GTT ; q - gustoća toplinskog toka
k - toplinska vodljivost
T - temperatura
Γ - geotermijski gradijent
z - dubina

PODACI I METODE

Za proračun temperaturnih gradijenata korišteni su objavljeni podaci statičkih temperatura u bušotinama na geotermalnom polju Zagreb (ČUBRIĆ, 1993). Temperaturni gradijenti u bušotinama izvan geotermalnog polja izračunati su iz podataka kontinuirane karotaže temperature i temperatura mjerenih u dnu bušotina (BHT - Bottom Hole Temperature).

Konduktivna toplinska vodljivost pojedinih litoloških cjelina utvrđena je mjerenjima na uzorcima iz bušotina i uzorcima iz površinskih ekvivalenata bušenih naslaga. Za svaku litološku cjelinu obavljeno je mjerenje na većem broju uzoraka. Pri tom je u obzir uzeta slojevitost litoloških cjelina te njihovo zasićenje

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



Sl. 1 Geotermijski i litološki podaci bušotine KBNZ - 1a.

vodom. Zatim je statistički utvrđena srednja vrijednost konduktivne toplinske vodljivosti pojedinih litoloških cjelina.

Toplinska vodljivost mjerena je poboljšanom metodom grijaće žice (SUMIKAWA & ARAKAWA, 1976; PRELOVŠEK et al., 1982; PRELOVŠEK & URAN, 1984).

Intervalne gustoće toplinskog toka određene su standardnim postupcima, a površinska gustoća toplinskog toka dobivena je njihovim ponderiranjem (HAENEL et al., 1988).

GUSTOĆA POVRŠINSKOG TOPLINSKOG TOKA

Zbog namjene ovog rada i velikog broja podataka koji su upotrebljeni za proračun površinske GTT, ovdje je prikazan samo djelomičan pregled podataka i rezultata istraživanja koji su ga omogućili.

Prirast temperature s dubinom u istraživanim bušotinama nije jednolik, pa temperaturni gradijenti imaju veliki raspon. Primjerice, u bušotini KBNZ - 1a (sl. 1) minimalni temperaturni gradijent iznosi 18, a maksimalni 72 mK/m.

Mjerenje toplinske vodljivosti obavljeno je na 65 uzoraka, a za litostratigrafske cjeline dobivene su slijedeće vrijednosti:

Trijaski dolomiti i vapnoviti dolomiti su vrlo velike toplinske vodljivosti. U tim naslagama ona varira od 4.1 do 4.6 W/(mK).

Sedimenti donjeg i srednjeg miocena različitog su litološkog sastava, zbog čega vodljivost varira u širokom rasponu od 1.7 do 2.9 W/(mK).

Toplinska vodljivost sedimenata gornjeg miocena i donjeg pliocena je u rasponu od 1.7 do 1.9 W/(mK).

Bušotina	Raspon intervalnih GTT mW/m²	Površinska GTT mW/m²
KBNZ - 1A	36 - 129	94
KBNZ - 1B	55 - 171	110
Lučanka - 1	49 - 108	88
Mladost - 1	95 - 142	115
Nedjelja - 1	46 - 106	68
Samobor - 2	36 - 82	71
Sava - 1	62 - 81	75
Stupnik - 1	86 - 140	119
Resnik - 1	54 -67	58

Tablica 1. Površinska GTT bušotina.

Na slici 1 može se uočiti da je raspon vrijednosti intervalne gustoće toplinskog toka također vrlo velik. Minimalna vrijednost iznosi 36 a maksimalna 129 mW/m². Za sve bušotine raspon vrijednosti intervalne GTT još je veći: minimalna vrijednost je 36, a maksimalna 170 mW/m².

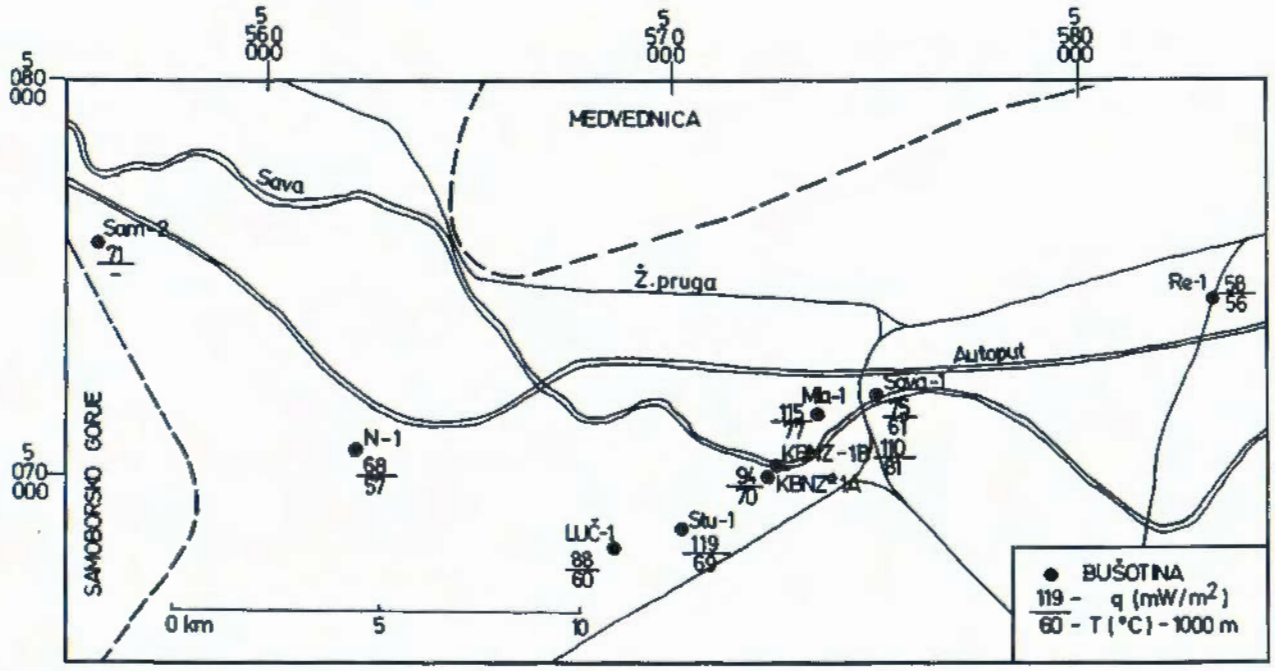
Površinska gustoća toplinskog toka na lokacijama bušotina prikazana je na tablici 1. Vrijednosti su dobivene na temelju intervalnih GTT probušenih odnosno nabušenih litostratigrafskih jedinica u rasponu srednji trijas - gornji pont. Srednja debljina tih naslaga je 700m. Pri proračunu nisu uzeti u obzir sedimenti kvartara, romanija i dacija, srednje debljine 300m, jer su vrlo šarolikog litološkog sastava, veličine zrna od gline do šljunka. Osim toga bušenje kroz najmlađe naslage najčešće je slabije geološki praćeno, pa su utvrđene debljine pojedinih litoloških cjelina upitne. Stoga je vrlo teško korektno odrediti konduktivnu toplinsku vodljivost mlađih naslaga.

Znakovito je da vrijednosti površinske GTT u istraživanom području imaju vrlo velik raspon. Najveća vrijednost je na lokaciji bušotine Stupnik-1 (Stu-1) - 119 mW/m² a najmanja na lokaciji bušotine Resnik-1 (Re-1) - 58 mW/m². Statistički srednja vrijednost površinske GTT iznosi 89 mW/m². Na slici 2 primjećuje se da su najveće vrijednosti koncentrirane između bušotina Lučanka-1 i Mladost-1 u zoni širine oko 4.5 km. Istočno i zapadno od te zone, vrijednosti površinske GTT su izrazito niže. Rasprostiranje zone u smjeru sjever-jug ovim istraživanjem nije utvrđeno.

DISKUSIJA

U Savskoj potolini prosječna temperatura na dubini 1000 m iznosi 64°C (JELIĆ, 1987) pa se može utvrditi da je temperatura u rubnim dijelovima istraživanog područja približno jednaka ili je malo ispod prosjeka, a iznosi 60°C. U centralnom dijelu nalazi se pozitivna temperaturna anomalija u kojoj je temperatura u rasponu 70-80°C.

Kada se usporede objavljeni podaci o vrijednostima površinske GTT u istraživanom području s vrijednosti-



Sl. 2 Pregledna karta lokacija bušotina i geotermijskih vrijednosti.

ma dobivenim ovim istraživanjem, uočava se razlika. Na karti površinske gustoće toplinskog toka Europe (ČERMAK & RYBACH, 1979) u tom području vrijednosti površinske GTT su u rasponu od 70 do 80 mW/m². Prema preglednoj karti površinske GTT (KOLBAH, 1994), vrijednosti su više od 100 mW/m². JELIĆ (1984) je u dijelu prostora kojeg smo istraživali dobio vrijednosti površinske GTT u rasponu od 56 do 79 mW/m². Našim istraživanjem je utvrđeno da su vrijednosti više od 100 mW/m² koncentrirane u uskom području u kojem su vrijednosti u rasponu 110-119 mW/m². U blizini se nalaze bušotine s vrijednošću oko 90 mW/m², dok su vrijednosti izvan uske zone u rasponu od 57 do 71 mW/m². Razlike između vrijednosti površinske GTT dobivenih ovim istraživanjem i onih ranije objavljenih nemoguće je komentirati, jer u navedenim izvorima nema podataka o vrijednostima GTT na lokacijama pojedinih bušotina. Izuzetak je rad K. Jelića (JELIĆ, 1984) koji daje vrijednosti površinske GTT za neke od bušotina koje su navedene u ovom radu. Vrijednosti koje on navodi razlikuju se od naših što je uvjetovano različitim metodološkim pristupom i većim brojem podataka kojim smo raspolagali. Treba naglasiti da, iako su vrijednosti različite odnosi veličina GTT za lokacije pojedinih bušotina uglavnom koincidiraju. Prema istraživanjima u Sloveniji (RAVNIK,1991), Italiji (CATALDI et al, 1995) i Slovačkoj (KUTAS, 1973) kao i prema karti površinske GTT Europe (ČERMAK & RYBACH, 1979), vrijednosti veće od 80 mW/m² predstavljaju pozitivnu anomaliju površinske GTT.

Na slici 2 uočljivo je da se rasprostiranje zone povišene temperature i zone povišene površinske GTT ne poklapaju u potpunosti. Zona povišene površinske GTT je prema jugozapadu nešto šira.

Na temelju dosadašnjih istraživanja može se za razmatrano područje zaključiti slijedeće:

- geotermijski gradijenti, toplinska vodljivost litostratigrafskih jedinica i intervalne vrijednosti gustoće toplinskog toka imaju velik raspon;
- vrijednosti površinske gustoće toplinskog toka također imaju velik raspon;
- veliki rasponi vrijednosti geotermijskih parametara vjerojatno su najvećim dijelom uzrokovani konvekcijskim prijenosom topline.
- vrijednosti površinske GTT u uskom području mogu se okarakterizirati kao pozitivna anomalija površinske GTT;
- pozitivna temperaturna anomalija na dubini 1000 m i pozitivna anomalija površinske GTT ne poklapaju se u potpunosti;
- do sada objavljene vrijednosti površinske GTT u istraživanom području nisu jednake vrijednostima dobivenim ovim istraživanjem, što je uvjetovano različitim metodološkim pristupom i većim brojem podataka kojim smo raspolagali.

LITERATURA

CATALDI, R., MONGELLI, F., SQUARCI, P., TAFFI, L., ZITO, G. & CALORE, C. (1995): Geotermal Ranking of Italian Territory.- Geothermics, 24/1, 115-129.

ČERMAK, V. & RYBACH, L. (1979): Terrestrial heat Flow in Europe.- Springer Verlag, Berlin.

ČUBRIĆ, S. (1993): Power and energy of Gothermal reservoirs in the Republic of Croatia.- Nafta, 44/9, 459-470.

HAENEL, R., RYBACH, L. & STEGNA, L. (1988): Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination.- Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 486 p.

JELIĆ, K. (1984) Geotermijska anomalija na području grada Zagreba.- Zbornik radova simpozija "Energija u proizvodnji hrane", Prehrambeno-biotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 59-66.

JELIĆ, K. (1987): Odnos temperature i toplinskog kapaciteta s dubinom stijena u Panonskom bazenu SR Hrvatske.- Zbornik radova savjetovanja "Problematika istraživanja resursa geotermalne energije sa posebnim osvrtom na mjesto i ulogu geofizičkih metoda ispitivanja", Niška Banja, 191-204.

KOLBAH, S. (1994): Prilog geološkim istraživanjima geotermalnog potencijala Republike Hrvatske.- Naftaplin, 2, 19-27, DIT INA-Naftaplin, Zagreb.

KUTAS, R.I. (1973): Characteristics of the Thermal Field in the Eastern Carpathians.- Carpathian-Balkan Geological Association, Proceedings of the Xth Congress, Section VIII, Geophysics, 41-47, Bratislava.

PRELOVŠEK, P., BABIČ, M. & URAN, B. (1982): Meritve toplotne prevodnosti kamenim z izboljšano metodo grelne žice.- Geologija, 25/2, 335-339, Ljubljana.

PRELOVŠEK, P. & URAN, B. (1984): Generalised hot wire method for thermal conductivity measurements.- J. Phys. E. Sci. Instrum., 17, 674-677.

RAVNIK, D. (1991): Geotermične raziskave v Sloveniji.- Geologija, 34, 265-303, Ljubljana.

SUMIKAWA, S. & ARAKAWA, Y. (1976): Quick thermal conductivity meter.- Instrumentation and Automation (Japan), 4, 60.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	307 - 310	ZAGREB 1995

First Evidence of Middle Permian Ammonitico Rosso and Further New Stratigraphic Results in the Permian and Triassic of the Sosio Valley Area, Western Sicily

Heinz **KOZUR**

Key words: Permian ammonitico rosso, Sicily, Permian, Triassic, Paleogeography

Abstract

For the first time, Permian ammonitico rosso was found in a basinal to distal slope sequence in western Sicily, near to the western end of the Tethys. So far, this facies was unknown in the Permian west of Oman and NE Iraq. Upper Ladinian basic volcanics within pelagic limestones were found in the same facies zone, as in the Triassic above the Middle Permian slope sediments of the famous Sosio Limestone Klippes.



The Permian of the Sosio Valley area occurs according to CATALANO et al. (1991) at the base of the Upper Nappe Unit. According to KOZUR (1994), this Permian and its Lower to Middle Triassic cover consist of tectonic slices between the Lower Nappe Unit and the Upper Nappe Unit (Palazzo Adriano Nappe).

Three Permian facies zones are discriminated: a continuous Permian deep-sea facies (facies zone A), a basinal to distal slope facies (facies zone B) and a slope facies (facies zone C). The Permian of facies Zone A begins with Cathedralian siliciclastic deep-sea turbidites and ends with latest Changxingian red deep-sea clays (succession see in Fig. 2). The Cathedralian siliciclastic turbidites were known so far in the Sosio Valley area only from olistoliths in the Roadian Olistostrome Unit. Now, for the first time, the siliciclastic turbidites of the Sosio Valley area (locality D in Fig. 1, about 100 m S of Rupe del Passo di Burgio) were dated by conodonts (pl. 1, Fig. 3) as early Cathedralian.

The Permian of facies zone B (succession see in Fig. 3) is distinctly different from that of zone A. Roadian red, subordinately gray, siliciclastic turbidites with siltstones, sandstones and calcareous sandstones are present instead of the Olistostrome Unit in zone A with gray clayey matrix. The first Permian ammonitico rosso in the western Tethys was found in zone B and dated by conodonts as Wordian (pl. 1, Figs. 1, 2, 4, 5, 11). So far, the westernmost occurrences of Permian ammonitico rosso were known from NE Iraq (VAŠÍČEK & KULLMANN, 1988) and above all Oman (BLENDINGER et al., 1992), 3-4000 km east of western Sicily. The pelagic ammonitico rosso with common radiolarians and pelagic conodonts is intercalated and overlain by partly graded light-gray grainstones with slightly erosive base. These grainstones contain both pelagic and shallow water fossils and represent distal slope sediments. Also the Upper Permian, consisting mainly of light-gray, graded calcarenites (distal slope sediments with pelagic and shallow-water fossils) is different from the red deep sea clays of zone A.

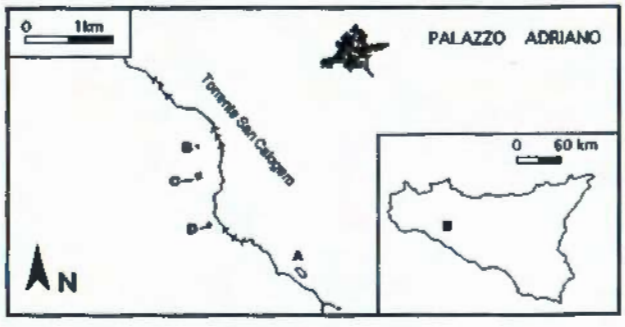


Fig. 1 Investigated area in western Sicily. A - Pietra di Salomone Klippe; B - Pietra dei Saracini Klippe (both facies zone C); C - locality with slices of Wordian ammonitico rosso and Roadian turbidites (facies zone B); D - outcrop with Cathedralian turbidites about 100 m S of Rupe del Passo di Burgio (facies zone A).

Rézsü u. 83, H-1029 Budapest, Hungary.

The Triassic cover of Permian facies zone B (succession see in Fig. 3) is completely known from the base of the Triassic up to the Middle Carnian and partly described by GULLO & KOZUR (1993). It is not only lithologically, but also faunistically different from the Triassic cover of zone A in the comparable Ladinian part (compare Figs. 2 and 3). Middle Longobardian and Cordevolian reddish and greenish deep pelagic cherty limestones, clays and red radiolarites of zone A are rich in *Pseudofurnishius* that was so far not found (and is therefore at least very rare) in gray middle Longobardian and Cordevolian limestones of zone B. Moreover, basic volcanics are present in the middle Longobardian of zone B, but lacking in zone A.

The Permian slope facies of zone C is long known in the famous Sosio Klippes and has been recently studied by FLÜGEL et al. (1991). A part of the rocks described from the Pietra di Salomone Klippe by these authors has been derived from olistoliths of the tectonically attached Olistostrome Unit of facies zone A, the matrix of which is older than the Pietra di Salomone Klippe that is to a large part Wordian in age.

Only the middle Longobardian part of the Triassic cover of facies zone C is known N of the Pietra di Salomone block. It consists of gray limestones with basic volcanics, as contemporaneous beds in zone B. *Pseudofurnishius* was not found in these beds as well.

	Series	Stage	Lithology - Fossils
TRIASSIC	Upper Triassic	Rhaetian	Pelagic, whitish to light-gray calcilutites, some greenish-gray marls. Conodonts.
		Norian	Pelagic, gray, cherty, calcilutites and calcarenites, partly with slump-breccias. Halobia, Monotis, ammonoids, conodonts, radiolarians.
		Carnian Upper	Pelagic, gray or brown calcarenites, calcirudites, gray shales. Halobia, conodonts, radiolarians, ostracods, trace fossils.
		Carnian Middle	
		Carnian Lower	Pelagic greenish-gray to pink nodular limestones, greenish-gray, reddish, rarely violet marly clays, very few thin red radiolarites. Posidonia wengensis, Daonella, ammonoids, conodonts (Gladigondolella, Paragondolella trammeri, Budurovignathus spp., Pseudofurnishius spp.).
	Middle Triassic	Ladinian Upper	
		Ladinian Lower	Pelagic, greenish-gray to pink nodular, siliceous to cherty limestones, greenish tuffites, in the lower part greenish to gray radiolarites. Conodonts, radiolarians.
		Anisian	unknown
	Lower Triassic = Scythian	Olenekian	
		Brahmanian	
PERMIAN	Upper Permian = Lopingian	Changxingian	Red, above all in the lower part also light-gray, deep-water claystones, with few thin intercalations of calcarenites. Claystones with albaillellid radiolarians, sponge spicules, paleopsychrospheric deep-water ostracods and few conodonts. Calcarenites with common conodonts, sponge spicules, paleopsychrospheric and transported ostracods from different parts of slope.
		Dzhulfian	
	Middle Permian = Guadalupian	Capitanian	unknown
		Wordian	Gray, yellowish weathering claystones. Conodonts (N. siciliensis), radiolarians.
		Roadian	Olistostrome Unit: Matrix of gray clays with reworked sand and garnet grains. Olistoliths consisting of turbiditic sandstones, siltstones (often with flute casts and plant debris) and rarely of sandy calcarenites. Matrix with conodonts (Mesogondolella phosphoriensis, Sweetognathus subsymmetricus), albaillellid radiolarians and sporomorphs. Olistoliths with conodonts (N. idahoensis, N. zsuzsannae), albaillellid radiolarians and sporomorphs.
	Lower Permian	Cathedralian	Gray and red turbidites: Graded sandstones, siltstones, shales and few calcarenites. Agglutinating foraminifers, conodonts (N. cf. idahoensis), in calcarenites also transported shallow-water fossils, as bryozoans, calcareous algae and Neostreptognathodus exsculptus.

Fig. 2 Permian and Triassic succession of facies zone A.

	Series	Stage	Lithology - Fossils
TRIASSIC	Upper Triassic	Norian	Pelagic, bedded gray, partly cherty limestones, "spotty marls". Conodonts, radiolarians.
		Carnian Upper	Unknown
		Carnian Middle	Pelagic, bedded, platy, marly, dark-gray limestones, marls, shales. Conodonts, ostracods, radiolarians.
		Carnian Lower	Pelagic, massive to thick-bedded, gray limestones. Conodonts.
	Middle Triassic	Ladinian Upper	Pelagic gray, bedded to nodular limestone with basic volcanics. Radiolarians, conodonts.
		Ladinian Lower	Pelagic red, strongly siliceous limestones with filaments. Radiolarians, conodonts.
		Anisian Upper	Pelagic, greenish, partly tuffitic, strongly siliceous calcilutites with filaments. Conodonts, radiolarians.
		Anisian Middle-Lower	Pelagic, bedded, pink to white, uncondensed Hallstatt Limestones. Conodonts.
	Lower Triassic = Scythian	Upper Olenekian	Pelagic reddish to pink marly calcilutites, partly uncondensed Hallstatt Limestones, yellow weathering pelagic limestones, marls, pelagic limestone conglomerates. Conodonts, ostracods, foraminifers, radiolarians.
		Lower Olenekian	Gray, yellowish weathered, partly sandy siltstones, claystones, few sandy or graded limestones, common roe pyrite. Pelagic conodonts.
		Brahmanian	Graded, yellowish weathering grain supported fine-conglomeratic to fine-grained calcarenites (slope deposits). Pelagic and shallow-water conodonts, foraminifers
			2 m yellowish-brown weathered, pyritic anoxic shales, thin, laminated limestones. H. parvus.
PERMIAN	Upper Permian = Lopingian	Changxingian	Bedded, partly graded, light-gray calcarenites with rich conodont fauna (Clarkina changxingensis, C. subcarinata, C. taylorae, Hindeodus typicalis, Stepanovites sp.), fusulinids (Reichelina simplex), sponge spicules, brachiopods.
		Dzhulfian	Not fossil-proven.
	Middle Permian = Guadalupian	Capitanian	Light-gray calcarenites, in the Wordian also ammonitico rosso. Ammonoids, foraminifers, radiolarians, conodonts (Mesogondolella siciliensis, M. n. sp., Pseudohindeodus ramovsi).
		Wordian	
		Roadian	Red, partly gray turbidites: Graded sandstones, sandy calcarenites, siltstones, shales. Sponge spicules, agglutinating foraminifers, conodonts (Mesogondolella phosphoriensis, Sweetognathus guizhouensis, S. subsymmetricus, P. oertlii).

Fig. 3 Permian and Triassic succession of facies zone B.

Facies zones B and C represent Permian basin, base of slope and slope developments that were originally in immediately adjacent position. This is confirmed by the identical middle Longobardian development with the same fauna and the same basic volcanism in the Triassic cover of both Permian facies zones. Facies zone C represent a Permian deep-sea development, originally distant from facies zones B and C. This is not only indicated by different Permian facies (that could represent an adjacent deep basin facies), but also by a very different Ladinian development with reddish and greenish nodular limestones, clays and reddish radiolarites without basic volcanic in the Longobardian and the presence of a rich pelagic *Pseudofurnishius* fauna. Absence (or at least very rare occurrence) of *Pseudofurnishius* in facies zones B and C and their tectonic position above facies zone A in the south-vergent nappe system of the Sosio Valley area indicate an originally more northern position of facies zones B and C compared with facies zone A. Facies zone C may represent the Permian of the Palazzo Adriano nappe (KOZUR, 1994), but the Permian of facies zone C surely does not belong to this nappe.

Acknowledgement

The author thank the Deutsche Forschungsgemeinschaft for sponsoring the investigation and Dr. KRAINER, Innsbruck, for preparing the thin sections and photos of them.

REFERENCES

BLENDINGER, W., FURNISH, W.M. & GLENISTER, B.F. (1992): Permian cephalopod limestones, Oman Mountains: evidence for a Permian seaway along the northern margin of Gondwana.- Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 93, 13-20.

CATALANO, R., DI STEFANO, P. & KOZUR, H. (1991): Permian Circum-Pacific deep-water faunas from the Western Tethys (Sicily, Italy) - new evidences for the position of the Permian Tethys.- Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 87(1-4), 75-108.

FLÜGEL, E., DISTEFANO, P. & SENOWBARI-DARYAN, B. (1991): Microfacies and depositional structure of allochthonous carbonate base-of-slope deposits: The Late Permian Pietra di Salomone megablock, Sosio Valley (Western Sicily).- Facies, 25, 147-186.

GULLO, M. & KOZUR, H. (1993): First evidence of Scythian conodonts in Sicily.- N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1993/8, 477-488.

KOZUR, H. (1994): The early evolution of the southern Tethys on the example of western Sicily and the interaction of the southern Tethys with the Alpine-Carpathian Belt.- In: ALCAPA II: Geological evolution of the Alps-Carpathian-Pannonian System.- Romanian J. Tect. Reg. Geol., 75, suppl. 1, 29-30.

VAŠÍČEK, Z. & KULLMANN, J. (1988): Eine Ammonoideen Fauna von Sosio-Typ (Guadalupian, Oberperm) aus Kurdistan (Iraq).- Palaeontographica, A. 204/1-3, 95-115.

PLATE 1

Scales: Figs. 1, 2 = 3 mm; figs. 3-10: 100 µm scale; fig. 11: 200 µm scale.

Fig. 1 Ammonitico rosso, sharply and slightly erosional overlain by light-gray calcarenites, Wordian, locality C, sample WWS 10/94. Upside above.

Fig. 2 Ammonitico rosso, sample data as for fig. 1. Upside left.

Fig. 3 *Neostreptognathodus exsculptus* IGO, locality D, sample RPB K/94, siliciclastic turbidite of facies zone A, basal Cathedralian, rep.-no. 16-2-95/II-95.

Fig. 4, 11 *Mesogondolella siciliensis* (KOZUR), sample data as for fig. 1. Fig. 4: lateral view, rep.-no. Ko 1995/III-41; Fig. 11: lower view, rep.-no. 25-2-95/II-44.

Fig. 5 *Pseudohindeodus ramovsi* GULLO & KOZUR, sample data as for fig. 1. rep.-no. K o 1995/III-38.

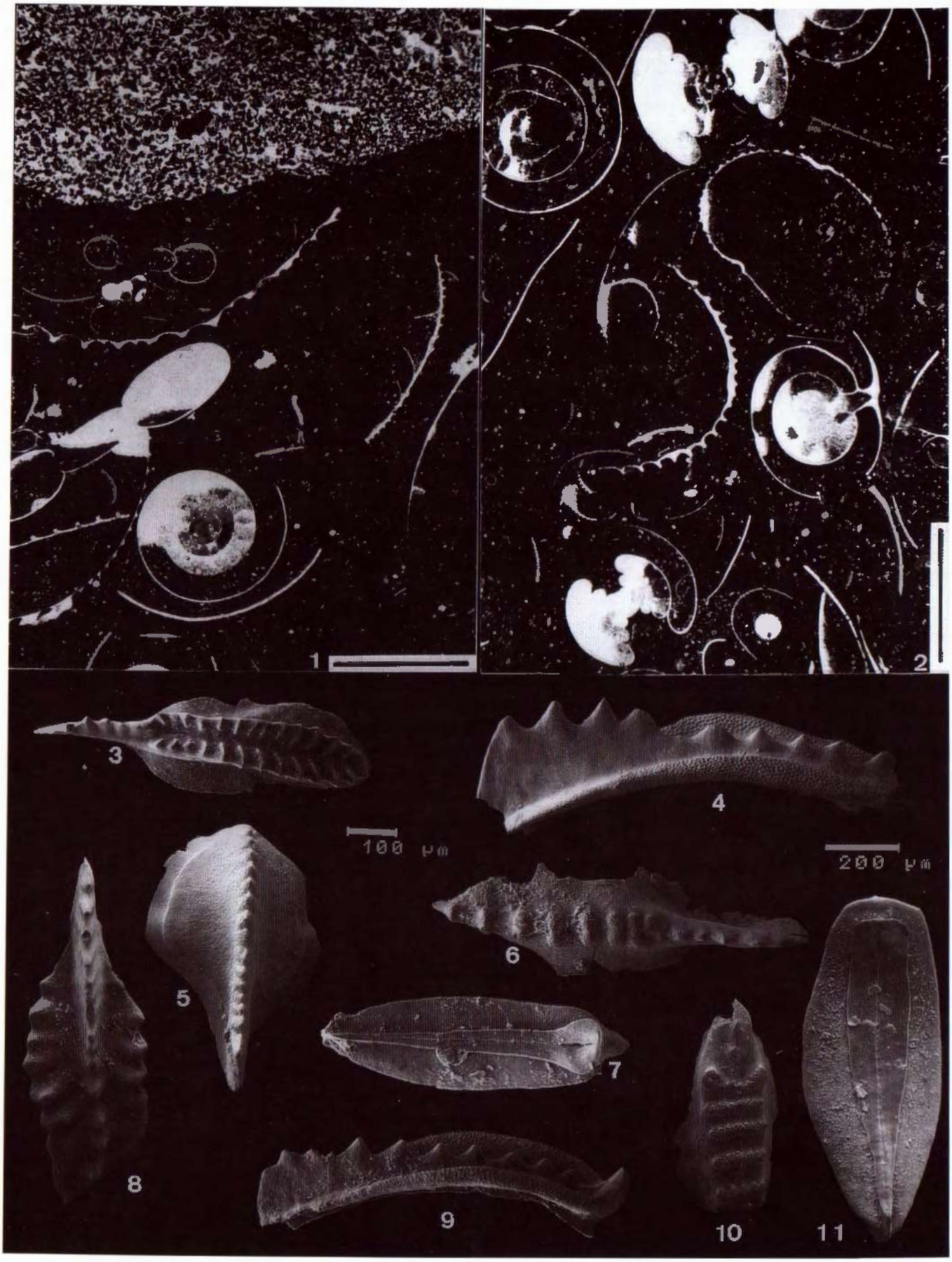
Fig. 6 *Neostreptognathodus subsymmetricus* WANG, RITTER & CLARK, locality C, sample WLPS 1/94, calcareous sandstone in a siliciclastic turbidite of facies zone B, Roadian, rep.-no. 16-2-95/II-86.

Figs. 7, 8 *Mesogondolella phosphoriensis* (YOUNGQUIST, HAWLEY & MILLER), sample data as for fig. 6. Fig. 7: lower view, rep.-no. 16-2-95/II-81; fig. 8: lateral view, rep.-no. 16-2-95/II-87.

Fig. 9 *Budurovignathus mungoensis* (DIEBEL), outcrop 50 m N of Pietra di Salomone Klippe, gray limestone 5 cm above a submarine basalt, Longobardian, rep.-no. 16-2-95/II-107.

Fig. 10 *Neostreptognathodus guizhouensis* BANDO et al., sample data as for fig. 6., rep.-no. 16-2-95/II-91.

PLATE 1



1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	311 - 314	ZAGREB 1995

The Position of the Anisian-Ladinian Boundary and the Development of the Radiolarian Faunas in this Level

Heinz **KOZUR**

Key words: Anisian-Ladinian boundary, *Reitziites reitzi* Zone, *Kellnerites felsoeoersensis* Zone, Radiolaria

Abstract

The priority biostratigraphic Anisian-Ladinian boundary at the base of the *Reitziites reitzi* Zone s.str. is recognizable and well correlable by ammonoids, conodonts and radiolarians. The *Kellnerites felsoeoersensis* Zone has an Anisian-Ladinian transition character. It corresponds to the *Spongosilicarmiger transita* radiolarian zone with dominating Anisian radiolarian taxa and successively beginning Ladinian newcomers.



INTRODUCTION

The Anisian-Ladinian boundary, as all stratigraphic boundaries, must be well recognizable and correlable by different fossil groups in different facies. Ammonoids have a high evolutionary rate in the Anisian-Ladinian boundary interval. The evolutionary rate of conodonts in this interval is rather low. In contrast, the stratigraphic potential of the radiolarians is as high as that of ammonoids. Several phylomorphogenetic lineages of radiolarians are very suitable for defining and correlation of the Anisian-Ladinian boundary. Moreover, radiolarians allow stratigraphic subdivision of oceanic chert or ophiolite-chert sequences that does not contain any other stratigraphically important fossils except conodonts in some places.

POSITION OF THE ANISIAN-LADINIAN BOUNDARY

Ammonoids are commonly used for original definition of stratigraphic boundaries within the Triassic. Their stratigraphic potential is high because of rapid evolution in several lineages. Triassic ammonoids play an important role for the definition of stage and substage boundaries. However, because of the facially restricted, very patchy occurrences of ammonoids, their importance for practical stratigraphy is often restricted. They are missing or very rare in shallow marine platform carbonates, where also other stratigraphically important fossils (e.g. conodonts, radiolarians) are generally rare or missing. However, ammonoids are also missing in deep-water deposits (e.g. radiolarites, deep-water clays). Even in pelagic limestones, deposited under moderate water depth, ideal for the occurrence of ammonoids, it is often difficult to find sequences of stratigraphically important ammonoids. For instance, in the entire Northern Alps and Western Carpathians, there is no section with continuous ammonoid control across the Anisian-Ladinian boundary in stratigraphically uncondensed sediments, in which the Anisian-Ladinian boundary can be defined by ammonoids. For this reason, stage or substage boundaries should not be placed at such ammonoid boundaries that cannot be traced by distinct changes of other stratigraphically important fossils near to that level.

The priority biostratigraphic Anisian-Ladinian boundary is at the base of the *reitzi* Zone. Different opinions (BRACK & RIEBER, 1994) were based on the fact that in the last century the base of the Ladinian was sometimes defined with the base of the *curionii* Zone. However, if in that time the base of the Ladinian (named as Norian) was placed at the base of the *curionii* Zone, the horizon with "*Ceratites*" *reitzi* was included at the base of that zone and consequently the boundary was also placed at the base of the *reitzi* Zone s.str. In the last years two other ammonoid boundaries

Rézsü u. 83, H-1029 Budapest, Hungary.

have been proposed, the base of the *Nevadites* fauna (KRYSTYN, 1983), now named by BRACK & RIEBER (1994) as *Nevadites secedensis* Zone, and the base of the *Eoprotrachyceras curionii* Zone and time equivalents (TOZER, 1967, BRACK & RIEBER, 1993, 1994). However, a priority boundary should not be changed, if there is not a larger overlap between two stratigraphic units defined by that boundary. Moreover, at the base of the *N. secedensis* and of the *E. curionii*-zones no distinct and well correlable changes in microfaunas or sporomorphs can be observed. As pointed out by KOZUR & MOSTLER (1994) and confirmed by our investigations of microfaunas in the ammonoid-rich Bagolino section, the interval from the upper *reitzi* Zone up to the middle *curionii* Zone is characterized by the *Paragondolella* ? *trammeri* fauna. Only few and mostly rare conodonts appear within this rather long interval, e.g. *Neogondolella transita* (KOZUR & MOSTLER), *N. aequidentata* KOZUR, KRAINER & LUTZ, but none of these species appeared at the base of the *secedensis* or *curionii* Zone. In contrast, the base of the *reitzi* Zone is recognizable by conodonts. *P. alpina* KOZUR & MOSTLER begins at that level and first *P.* ? *trammeri* appeared (this species becomes dominant in the following *costosus* Subzone of the *reitzi* Zone). Consequently, the conodont fauna of the *reitzi* Zone has already a distinct Lower Ladinian character.

The entire interval from the *Lardaroceras* ammonoid fauna up to the base of the *B. mungoensis* conodont zone (Longobardian) is characterized by the *meieri-scheuringi* phase of sporomorphs (KOVÀCS et al., 1994) and any change in the sporomorph associations is consequently far away from the base of the *secedensis* and base of *curionii* Zone that are both situated in the middle part of the *meieri-scheuringi* phase.

One of the strongest changes of radiolarian faunas in the entire Mesozoic era occurs between the top of the *Paraceratites trinodosus* Zone and the base of the *Reitziites reitzi* Zone str. Following this turnover, a very characteristic and rather homogeneous Lower Ladinian radiolarian fauna occurs from the base of the *reitzi* Zone s.str. up to the top of the Fassanian. There are several second order changes within this fauna, but they do not change the unique Lower Ladinian character of this fauna.

DEVELOPMENT OF THE RADIOLARIAN FAUNA IN THE ANISIAN-LADINIAN BOUNDARY INTERVAL

The priority of the Ladinian base at the base of the *reitzi* Zone means base of the horizon with *Reitziites reitzi*. However, between this horizon and the *trinodosus* Zone, there is a short stratigraphic interval with an ammonoid fauna that is different from those both of the *trinodosus* and reitzi zones (if the base of the latter one is defined by the first appearance of *R. reitzi*). In this interval two similar ammonoid faunas can be discriminated, a *Lardaroceras* fauna below and a *Kellnerites* fauna above. The latter fauna was included as *Kellnerites felsoeoersensis* and *Hypapardites liepoldti* subzones in the *reitzi* Zone s.l. by VÖRÖS (1993). These two subzones are not well separated, because their index species appear at the same level and *H. liepoldti* ranges only a little higher than *K. felsoeoersensis*. Consequently, both subzones can be united into one *K. felsoeoersensis* Subzone. *Lardaroceras* and *Kellnerites* faunas are herein united to the *Kellnerites felsoeoersensis* Zone with the *Lardaroceras pseudohungaricum* and *Kellnerites felsoeoersensis* subzones. By this, the *reitzi* Zone is restricted to the *reitzi* and *costosus* subzones. By the appearance of *Reitziites*, *Aplococeras* and *Parakellnerites* and the disappearance of *Kellnerites* both zones are well separated in the ammonoid fauna. Because the *felsoeoersensis* Zone was not yet known, as the Anisian/Ladinian ("Norian") boundary was biostratigraphically defined between the *trinodosus* and *reitzi* zones, its Anisian or Ladinian character must be evaluated by its fossil content.

Beginning with the base of the *reitzi* Zone, a typical Lower Ladinian radiolarian fauna is present, dominated in low latitude faunas by the very characteristic *Oertlispongus*, *Baumgartneria* and *Falcispongus* that can be determined even from isolated main spines, *Eptingium manfredi manfredi* DUMITRICÀ, *Pentactinocarpus fusiformis* DUMITRICÀ, *P. acanthicus* DUMITRICÀ, *Triassocampe deweveri* NAKASEKO & NISHIMURA, *T. scalaris* DUMITRICÀ, KOZUR & MOSTLER, *Yeharaia annulata* NAKASEKO & NISHIMURA, numerous Intermediellidae, Monicastericidae, Spongolophophaenidae, and many other forms, all absent in the *P. trinodosus* Zone. Decisive Illyrian radiolarians, as *Eptingium nakasEKOI* KOZUR & MOSTLER, *Hindeosphaera spinulosa* (NAKASEKO & NISHIMURA), *Parentactinia lata* KOZUR & MOSTLER, *Pentactinocapsa awaensis* (NAKASEKO & NISHIMURA), *Pentactinorbis dumitricai* KOZUR & MOSTLER, *P. pessagnoi* KOZUR & MOSTLER, *Pseudosepsagon* spp., *Tiborella anisica* KOZUR & MOSTLER *Archaeospongoprunum bispinosum* KOZUR & MOSTLER, *A. mesotriassicum* KOZUR & MOSTLER, *A. tetraspinosum* KOZUR & MOSTLER, *A. trispinosum* KOZUR & MOSTLER, *Hozmadia rotunda* (NAKASEKO & NISHIMURA), *Poulpus illyricus* KOZUR & MOSTLER, *P. gracilis* KOZUR & MOSTLER, *Tetraspinocyrtis anisica* KOZUR & MOSTLER, *T. annuloporata* KOZUR & MOSTLER, *T. laevis* KOZUR & MOSTLER and many other species are missing in the *reitzi* Zone s.str.

The radiolarian fauna of the *felsoeoersensis* Zone has transition character between the very different Anisian and Ladinian radiolarian faunas. Many important Illyrian guideforms are still present and dominant in the *pseudohungaricum* Subzone, few others, as *Tetraspinocyrtis laevis* KOZUR & MOSTLER, are al-

Stage	Substage	Ammonoid Zone/Subzone		Conodont Zone	Radiolarian Zone	Rad. Subzone
Carnian	Cordevolian	Trachyceras aon		G. tethydis I.Z.	unnamed	unnamed
		Frankites sutherlandi		Budurovignathus diebeli	Tritortis kretaensis	unnamed
Ladinian	Longobardian	Protrachyceras archelaus		Budurovignathus mungoensis	Muelleritortis cochleata	S. fluegeli
						S. rarauana
						P. priscus
		Protrachyceras gredleri		Budurovignathus hungaricus	unnamed	unnamed
	Fassanian	Eoprotrachyceras curionii		B. truempyi		
				P. ? trammeri - Neogondolella transita	Ladinocampe multiperforata	Ladinocampe vicentinensis
		Nevadites secedensis				Ladinocampe annuloperforata
		Reitziites reitzi	Halilucites costosus	Paragondolella alpina - Paragondolella ? trammeri	Spongosilicarmiger italicus	O. inaequispinosus
			Reitziites reitzi			Oertlispongus primitivus
Anisian	Illyrian	Kellnerites felsoeoersensis	Kellnerites felsoeoers.	Neogondolella mesotriassica	Spongosilicarmiger transitus	Yeharaia annulata
			Lardaroceras pseudohung.			Tiborella florida
		Paraceratites trinodosus		Neogondolella constricta	Tetraspinocyrtis laevis	
	Upper Pelsonian	Bulogites zoldianus fauna		Neog. bulgarica Nicor. germanica	Parasepsagon robustus	

Fig. 1 Middle Triassic radiolarian zonation and its correlation with the stratigraphic scale.

ready absent. Additionally, the first few Ladinian newcomers, *Eptingium manfredi manfredi*, *Triassocampe deweveri* and first, primitive representatives of Spongolophophaenidae are present, but most of those species that characterizes the Lower Ladinian, are still missing. Some forms show transitional character between Anisian and Ladinian forms, as *Spongosilicarmiger transita* KOZUR & MOSTLER, a transitional from between *S. priscus* KOZUR & MOSTLER from the *trinodosus* Zone and *S. italicus* KOZUR & MOSTLER from the *reitzi* Zone. Rich faunas of this horizon have been found in the Karawanken (KOZUR et al., in press), but an identical fauna occurs also in Slovenia (GORIČAN & RAMOVŠ, in press). By the co-occurrence of dominating Illyrian forms with *E. manfredi manfredi*, *T. deweveri* and *Triassospongocyrtis* n.sp., but absence of *T. scalaris* and *Yeharaia annulata*, this fauna can be also recognized in the Circum-Pacific realm (NAKASEKO & NISHIMURA, 1979, SUGIYAMA, 1992). *Tiborella florida* (NAKASEKO & NISHIMURA), common both in the Circum-Pacific realm and in the Tethys, probably restricted to this level.

In the *felsoeoersensis* Subzone further Illyrian forms disappeared or became very rare, as *Parentactinia lata*, *Pentactinocapsa awaensis and Spongosilicarmiger scabiturritus*, but Illyrian radiolarians are still common. Further Ladinian newcomers appeared, as *T. scalaris* and *Yeharaia annulata*. DOSZTÀLY (1993) figured very primitive *Oertlispongus* n.sp., transitional to *Paroertlispongus*, from a horizon with *Kellnerites bosnensis* (middle to upper *K. felsoeoersensis* Subzone), but in general *Oertlispongus* is still very rare and in many samples absent in the *felsoeoersensis* Subzone.

The *Spongosilicarmiger transitus* Subzone sensu KOZUR & MOSTLER is elevated to zonal rank and united with the next older radiolarian fauna from the *pseudohungaricum* ammonoid Subzone. Two subzones can be discriminated in the *S. transitus* Zone, a lower *Tiborella florida* Subzone and upper *Yeharaia annulata* Subzone. Their correlation with the ammonoid and conodont zonation is shown in Fig. 1.

The radiolarian faunas from the *trinodosus* to the *reitzi* zones with successive beginning of Lower Ladinian species and successive disappearance of Anisian forms indicate that the strong Tethyan Anisian-Ladinian radiolarian turnover in the interval between the top of the *trinodosus* Zone until the base of the *reitzi* Zone s.str. is not facies controlled, but indicates a time of rapid changes in the radiolarian faunas. The radiolarian faunas of the *felsoeoersensis* Zone are transitional between the Anisian and Ladinian faunas. Despite the successive appearance of Ladinian newcomers and the successive disappearance of Anisian forms, the Anisian character of the radiolarian faunas is still dominant in the *T. florida* Subzone and mostly distinct in the *Y. annulata* Subzone. Those Anisian guide forms that are present in the *S. transitus* Zone disappeared at the base of the *S. italicus* Zone (base of the *reitzi* Zone). In the same level some Ladinian guide forms become dominant (e.g. *Oertlispongus*) and other common Ladinian guide forms appeared (*Baumgartne-*

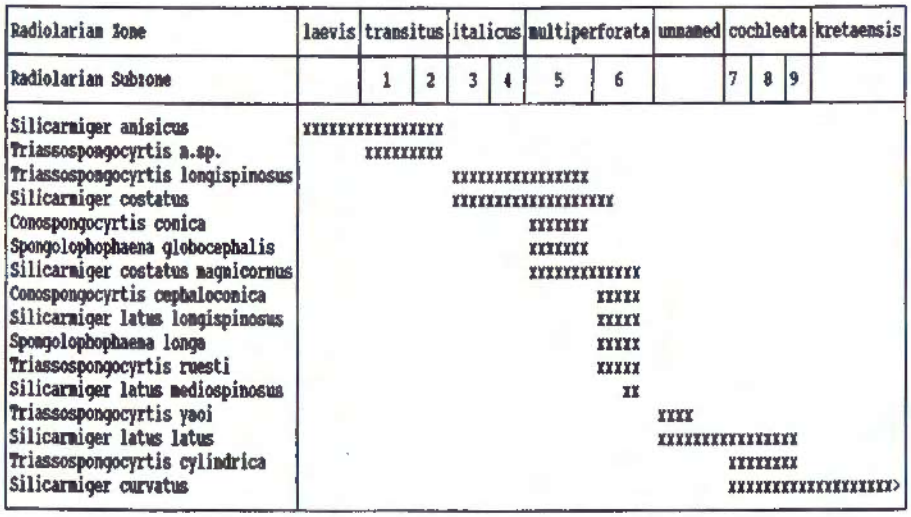


Fig. 2 Stratigraphic range of characteristic low latitude radiolarian species that occur also in high latitudes or are represented there by very similar forms. Legend: 1-9 radiolarian subzones: 1) *Tiborella florida*; 2) *Yeharaia annulata*; 3) *Oertlispongus primitivus*; 4) *O. inaequispinosus*; 5) *Ladinocampe annuloperforata*; 6) *L. vicentinensis*; 7) *Pterospongus priscus*; 8) *Spongoserrula rarauana*; 9) *S. fluegeli*.

ria, *Falcispongus*, *Pentactinocarpus fusiformis*, *P. acanthicus*, numerous Intermediellidae, Monicastericidae and advanced Spongolophophaenidae). The radiolarian fauna of the *reitzi* Zone is therefore a typical Lower Ladinian fauna, fundamentally different from the Anisian radiolarian fauna of the *trinodosus* Zone.

The Circum-Pacific radiolarian faunas of Philippines, Japan, NE China, SE Siberia are very similar, but Lower Ladinian Oertlispongidae are rare. Other typical Tethyan elements, like *Triassocampe*, are common. The Circum-Pacific and Tethyan radiolarian successions in the Late Anisian-Early Ladinian interval can be correlated without difficulties, generally by the same guide forms.

The radiolarian faunas from high latitudes (Omolon Massif in NE Siberia, New Zealand) are rather different from the low latitude faunas. Oertlispongidae, *Triassocampe*, *Yeharaia* and many other stratigraphically important Tethyan radiolarians are absent. However, the *Silicarmiger* lineage and the Spongolophophaenidae are common also in high latitude radiolarian faunas. They allow a good correlation with the low latitude faunas (see Fig. 2).

Acknowledgements

The radiolarian investigations were sponsored by the Deutsche Forschungsgemeinschaft. The author thanks very much for this import help.

REFERENCES

BRACK, P. & RIEBER, H. (1993): Towards a better definition of the Anisian/Ladinian boundary: New biostratigraphic data and correlations of boundary sections from the Southern Alps.- Eclogae Geol. Helv., 86/2, 415-527.

BRACK, P. & RIEBER, H. (1994): The Anisian/Ladinian boundary: Retrospective and new constraints.- Albertiana, 13, 25-36.

DOSZTÀLY, L. (1993): The Anisian/Ladinian and Ladinian/Carnian boundaries in the Balaton Highland based on radiolarians.- Acta Geol. Hungarica, 36/1, 59-72.

KOVÀCS, S., DOSZTÀLY, L., GOCZÀN, F., ORAVECZ-SCHEFFER, A. & BUDAI, T. (1994): The Anisian/Ladinian boundary in the Balaton Highland, Hungary - a complex microbiostratigraphic approach.- Albertiana, 14, 53-64.

KOZUR, H. & MOSTLER, H. (1994): Anisian to Middle Carnian radiolarian zonation and description of some stratigraphically important radiolarians.- Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, Sonderband 3, 39-199.

KRYSTYN, L. (1983): Das Epidaurus-Profil (Griechenland) - Ein Beitrag zur Condonten-Standardzonierung des tethyalen Ladin und Unterkarn.- In: ZAPFE, H. (ed.): Neue Beiträge zur Biostratigraphie der Tethys-Trias. Schriftenr. Erdwiss. Komm. Österr. Akad. Wiss., 5, 231-258.

NAKASEKO, K. & NISHIMURA, A. (1979): Upper Triassic Radiolaria from southwest Japan.- Sci. Rep., Col. Educ. Osaka Univ., 28/2, 61-109.

SUGIYAMA, K. (1992): Lower and Middle Triassic radiolarians from Mt. Kinkazan, Gifu Prefecture, Central Japan.- Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N.S., 167, 1180-1223.

TOZER, E.T. (1967): A standard for Triassic time.- Bull. Geol. Surv. Canada, 156, 1-103.

VÖRÖS, A. (1993): Redefinition of the Reitzi Zone at its type region (Balaton area, Hungary) as the basal zone of the Ladinian.- Acta Geol. Hungarica, 36/1, 15-38.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	315 - 319	ZAGREB 1995

Nova saznanja o površinama naših otoka s posebnim osvrtom na otoke Cres i Krk

Ivan KRIVIČIĆ

Ključne riječi: GPS, WGS 84, satelitska geodezija, geoid, altimetrija, undulacija, EUREF

Sažetak

O površinama naših otoka, posebno Cresu i Krku, objavljivani su različiti podaci. To je dalo povoda da se oni provjere iz svih raspoloživih karata.

Dobiveni rezultati obaraju usvojenu činjenicu da je Krk naš najveći otok, već daju neznatnu prednost otoku Cresu.

Ponukan tim otkrićem, autor govori o upotrebi GPS-a za točnije računanje površina, kao i o uzrocima njihovih promjena. Isto se tako govori o današnjim mogućnostima satelitske geodezije, s posebnim osvrtom na GPS tehnologiju mjerenja, te o korištenju podataka dobivenih geodetskim mjerenjima u geologiji.

UVOD

Povod ovom javljanju su zapažanja o raznorodnosti i sve većoj različitosti podataka o površinama nekih naših otoka, posebno dva najveća: Cresa i Krka.

Shodno tome, pristupilo se njihovom testiranju računanjem iz novih i najnovijih izvora tj. karata izrađenih mahom na osnovu fotogrametrijske izmjere.

Dobiveni rezultati doveli su do otkrića da su Krk i Cres u ovom geološkom trenutku praktički jednaki po površini, uz prognozu da će ubrzo Cres zasigurno prijeći Krk.

Na upit da bi jedan ipak trebao biti koliko-toliko veći, može se odgovoriti na slijedeći način.

Premda usporedni podaci o površinama iz tablice 2 pokazuju izvjesnu prevagu u korist otoka Cresa, još uvijek nemamo pravo tvrditi da je u ovom trenutku Cres veći od Krka.

Naime, usporedba podataka iz tablice unutar stupca za Cres i stupca za Krk, odnosno njihove razlike, pokazuje da standardna devijacija, kao mjera točnosti dobivenih rezultata za površine "pokriva" razlike unutar redaka.

Slijedi zaključak da je za ovu svrhu potrebno još točnije određivanje površina. Osjetno povećanje točnosti određivanja površina otoka postigli bi digitalizacijom obalnih linija direktno iz stereoparova, dobivenih u postupku fotogrametrijske restitucije.

No, najveću točnost omogućava nam GPS tehnologija mjerenja primijenjena za određivanje površina.

ODREĐIVANJE POVRŠINA GPS-om

GPS, bolje reći njegova relativna i diferencijalna metoda pruža mogućnost računanja i određivanja površina bez posrednika, bilo da su to planovi i karte ili fotogrametrijski avionski ili satelitski snimci.

Dovoljno je samo obići jedan otok malim plovilom sa GPS antenom i opremom za registraciju pređenog puta - itinerera, u ovom slučaju linije obale, da dobijemo, bez većih dodatnih računanja u uredu veličinu "opasane" površine i ujedno duljinu same zatvorene linije, te njenu niveletu, sa točnostima koje možemo dozirati, odnosno apriori postaviti.

Površina određena digitalizacijom obalnih linija, bilo vektorskim bilo rasterskim postupkom iz planova i karata, uvijek sadrži pogrešku grafički iscrtane linije te pogrešku njenog "skidanja" digitalizacijom, povrh pogreške same izmjere, klasične ili fotogrametrijske. U oba slučaja izmjera se vezuje na trigonometrijsku mrežu, koja nužno prenosi svoje položajne pogreške na snimljene točke ili linije.

Naprotiv, relativnim i diferencijalnim GPS-om direktno uspostavljamo kontakt sa referentnom točkom i s obzirom na svojstva tih metoda, eliminiraju se pogreške gore spomenutih "posrednika" ili prenosnika pogrešaka. Preostaje samo pogreška više ili manje pažljivog obilaženja linije ili točaka na obali, ili općenito, pogreška obilaženja neke linije pokretnom antenom ili pak metodom točke do točke nazvanom "step and stop", s napomenom da je potonja točnija.

Ograničavajući pak učinak na točnost izračunate površine nekog otoka ima nepoznavanje ili nedovoljno poznavanje srednje razine mora, zbog nepostojanja mareografa, činjenica koja nas upućuje na potrebu njihovog postavljanja na naše veće i udaljenije otoke.

Geodetski zavod Rijeka, Kresnikova 33, 51000 Rijeka, Hrvatska.

Naziv otoka	Površina				
	Iz karte m=1:50.000	Iz statistike godišnjaka	Iz katastarske izmjere	Iz publikacije	Iz karte m=1:1.000.000
Cres	406.63	404.3		398-405	407.5
Krk	406.27	409.9		404-410	405.2
Pag		284.6	296.48		279.8
Rab	89.320	90.8	86.14		85.4
Lošinj	74.83	74.7			78.5
Unije	17.095	16.9	16.8309		15.5
Prvić		13.4	13.46		12.5
Plavnik		8.8	8.80		8.4
Ilovik	5.542	5.9			5.8
Goli		4.7	4.73		4.5
Susak	3.832	3.7	3.7608		
Zeča	2.550	2.9	2.62		
Srakane v.	3.822	1.2			
Sv. Petar	0.969	0.9			
Srakane m.	1.190	0.8			
Silba	14.297				13.8

Tablica 1 Usporedba površina nekih naših otoka.

UTJECAJ GEOLOŠKIH I GEOFIZIČKIH POJAVA I PROCESA NA POVRŠINE OTOKA

Dosad objavljivani podaci za površinu Krka kretali su se u rasponu od 404 do 410 km^2, a za Cres od 398 do 405 km^2 (tablice 1 i 2).

Podatak za Cres od oko 405 km^2 dosta dobro odgovara sada ustanovljenoj površini. Istu brojku dobivamo ako površini od 398 km^2 dodamo površinu Vranskog jezera koja iznosi oko 7 km^2. To bi moglo značiti da je netko tko je prvi računao, dao površinu bez jezera, a kasnije se to prepisivalo. Da bi to moglo biti (banalnim) razlogom svojedobnog "smanjivanja" otoka Cresa, može poslužiti činjenica da je prva izmjera otoka Cresa bila ona katastarska obavljena oko 1820. godine za potrebe naplaćivanja poreza. Naravno, tadašnje poreznike nije zanimalo Vransko jezero, ta ono i nije bilo u sastavu nijedne katastarske općine koje ga okružuju. Kao da se radi o moru!

Isto tako, od dosad objavljivanih podataka za otok Krk, ona najmanja od oko 404 km^2 približno odgovara sada dobivenim rezultatima. Nije jasno odakle površina od 410 km^2! I ovdje bi mogao biti posrijedi banalni razlog: da je netko računajući "na brzinu" iz neke karte sitnijeg mjerila, recimo vojne M = 1:25.000, uračunao u površinu i uvalu Soline ili pak Puntarsku uvalu.

Mjerilo karte	Cres km^2	Krk km^2
1:5.000	405.78	
1:20.000		405.78
1:25.000		405.24
1:50.000	406.63	406.27
1:100.000		405.26
1:200.000	407.07	406.13
1:1.000.000	407.5	405.2

Tablica 2 Površina otoka Cresa i Krka.

Razmotrimo ukratko znanstveni aspekt promjena površina svih naših otoka, a posebno ova dva najveća kroz prošla geološka i povijesna razdoblja, kako bi mogli zaključivati i o budućim takvim događajima.

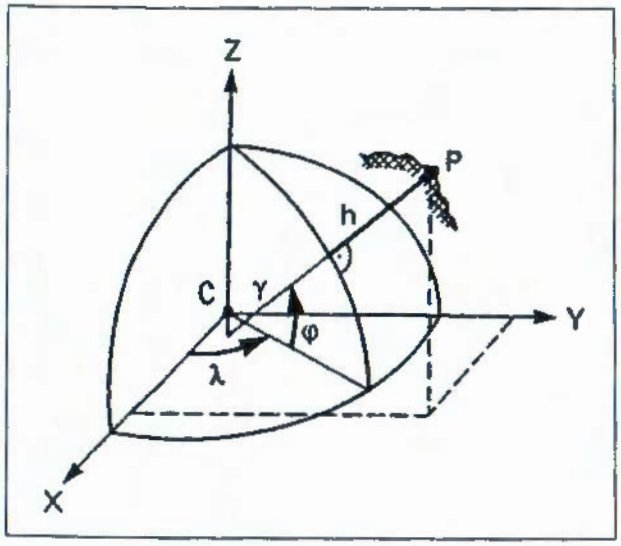
Svima nam je poznato da je u rimskim vremenima površina otoka bila veća, da i ne govorimo o prošlim geološkim razdobljima kad su isti bili planine, te da je do današnjih dana more u odnosu na kopno naraslo za najmanje 2 m.

Naplavljivanjem naše obale i otoka oni se smanjuju: strmiji manje, blaži više, tako da se danas nalazimo u trenutku kad je Cres kao strmiji sustigao Krk kao blaži, izjednačivši se po površini.

Kako proces naplavljivanja i dalje traje, na početku izrečena prognoza o Cresu i Krku je sasvim utemeljena.

Pored naplavljivanja na smanjivanje površina paralelno utječe abrazija, erozija i posebno bioerozija. Potonjoj možemo dodati i djelovanje čovjeka koji ubrzanim tempom radi isti posao iz spekulativnih ili komercijalnih razloga.

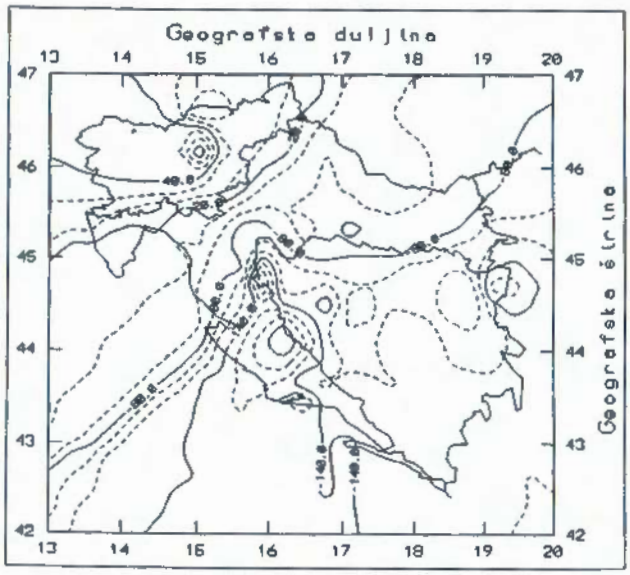
Spomenutim pojavama djeluju suprotno bujice i bujičnjaci (potoci), te ostala ispiranja i izjedanja kopna u smislu povećanja površine otoka, a njihovo je djelovanje jače na strmijim i višim otocima, te onima sa razvijenijom konfiguracijom (reljefom). Na promjenu (smanjenje) površina otoka svakako djeluje i "efekt staklenika", za koji se prognozira ubrzanije djelovanje u narednom stoljeću (mileniju). Ne smijemo zaboraviti i na moguće potrese. Mogli bi nabrajati i dalje, no drugi uzroci imaju slabiji učinak, a i nisu predmet ovog rada.



Sl. 1 Svjetski koordinatni sustav WGS'84.

SATELITSKA GEODEZIJA I NJENE MOGUĆNOSTI S POSEBNIM OSVRTOM NA GPS

Satelitska geodezija je u mnogočemu revolucionirala teoriju i praksu geodetskih mjerenja. Otvorila nam je mogućnost određivanja koordinata neke točke - stajališta na Zemlji mjerenjem njene udaljenosti do satelita, jednog u više vremenskih trenutaka ili više njih istovremeno, pri čemu je putanja satelita po svojoj naravi fiksna u odnosu na težište masa Zemlje (geoida) i ravninu njenog ekvatora, a pri tome je položaj satelita na njoj u svakom trenutku poznat, uz potrebne korekcije uvjetovane položajem Mjeseca, Sunca, te undulacijom geoida.



Sl. 2 Visinski pomaci na području Hrvatske, Bosne i Hercegovine i Slovenije.

Svaka točka na Zemlji na taj način određena bit će isto tako svojim koordinatama čvrsto vezana na težište masa Zemlje, kao svoje ishodište (sl. 1).

Iz spomenutih razloga je i uveden, najprije WGS72, pa WGS84 (World Geodetic System) sa ravninom x,y po ekvatoru i ravninom x,z po griničkom meridijanu. Dakle, svaka mjerena točka ima svoj radijus vektor, čijom usporedbom sa radijus vektorom usvojenog rotacionog elipsoida možemo dobiti vektor visine, odnosno samo visinu mjerene točke. Jasno nam je da je ovdje riječ o čisto geometrijskim veličinama, te možemo zaključiti da nam satelitska geodezija, a posebno tehnika GPS mjerenja daje "geometriju" površine Zemlje, njenog mora i kopna. Spomenuta činjenica je dovela do nove definicije geodezije, da je: "Geometrija + Fizika = Geodezija". Uvođenje geometrijskih odrednica u "igru", po prvi put nam rješava dosadašnju dilemu (dvosmislenost): da li se negdje more diglo ili se spustila zemljina kora?

GEODEZIJA I GEOLOGIJA - KORIŠTENJE GEODETSKIH PODATAKA U GEOLOGIJI

I dosad je geodezija svojim mjerenjima bila od pomoći geologiji, kao i drugim srodnim znanostima - sa svima koje u svom nazivu imaju prefiks "geo". No, dok je u mjerenju visinskih razlika i određivanju visina (nadmorskih) već od polovice devetnaestog stoljeća, zahvaljujući mjernom instrumentu - niveliru, postizavana visoka točnost, odnosno točnost koja je mogla potpuno zadovoljiti potrebe geologije, to nije bio slučaj i sa mjerenjem udaljenosti (dužina), a u manjoj mjeri i kutova.

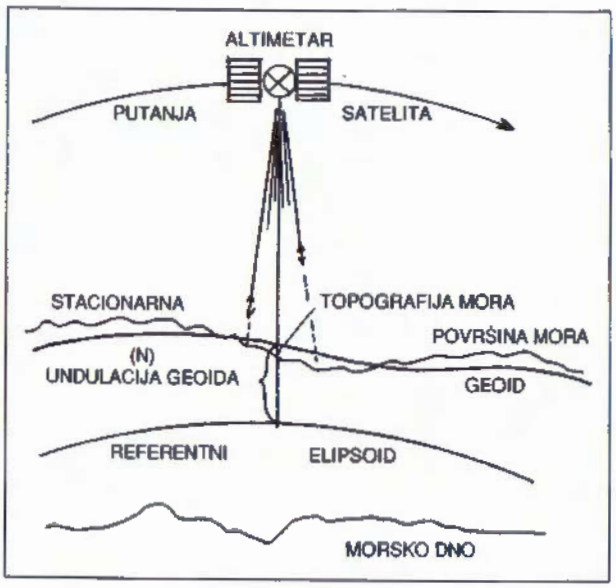
Tek je pojavom elektronskih daljinomjera, danas i laserskih, a posebno pojavom GPS tehnike mjerenja i određivanja koordinata, postalo moguće izmjeriti i dužinu, odnosno odrediti koordinate sa podjednakom točnosti kao i visine.

GPS će nam tako objediniti položajne geodetske pravokutne y i x odnosno koordinate φ i λ i visinu H u jedinstvene koordinate x,y,z u koordinatnom sistemu WGS84 (World Geodetic System) sa ishodištem u težištu mase planete Zemlje.

Naravno da je pitanje transformacije između ovih koordinata samo stvar matematičke rutine.

Gore spomenuta visoka točnost u određivanju nadmorskih visina postignuta metodom niveliranja omogućila je međusobnom usporedbom dobivenih rezulltata iz dva (ili više) mjerenja u vremenskom rasponu od cca 125 godina, da se registrira visinski pomak od max. 42 cm između planinskog i primorskog područja Hrvatske, Bosne i Slovenije (vidi sl. 2).

Podatak je to od velikog interesa za geologiju. Kažimo samo da on ukazuje da proces nabiranja zemljine kore i dalje traje, premda nam je sa sigurnošću poznata samo njegova vertikalna komponenta (vektor). Podjednako točno određivanje horizontalne kompo-



Sl. 3 Karakteristične veličine u satelitskoj altimetriji.

nente vektora pomaka zemljine kore omogućava nam formiranje test poligona oko planinskih lanaca i vodenih površina ili jednostavno prekrivanje područja mrežama točaka čijim ćemo praćenjem moći dobivati dragocjene podatke o pomicanju zemljine kore.

Napomenimo ovdje da se niveliranjem doduše dobivaju vrlo precizno visinske razlike između pojedinih repera, ali ostaje dilema da li se stvarno u geometrijskom smislu neka točka uzdigla ili se spustio osnovni reper (reperi) na koji je nivelman vezan.

Dilemu nam rješava, kao što smo već rekli, GPS, jer će nam on izmjeriti apsolutni vektor pomaka.

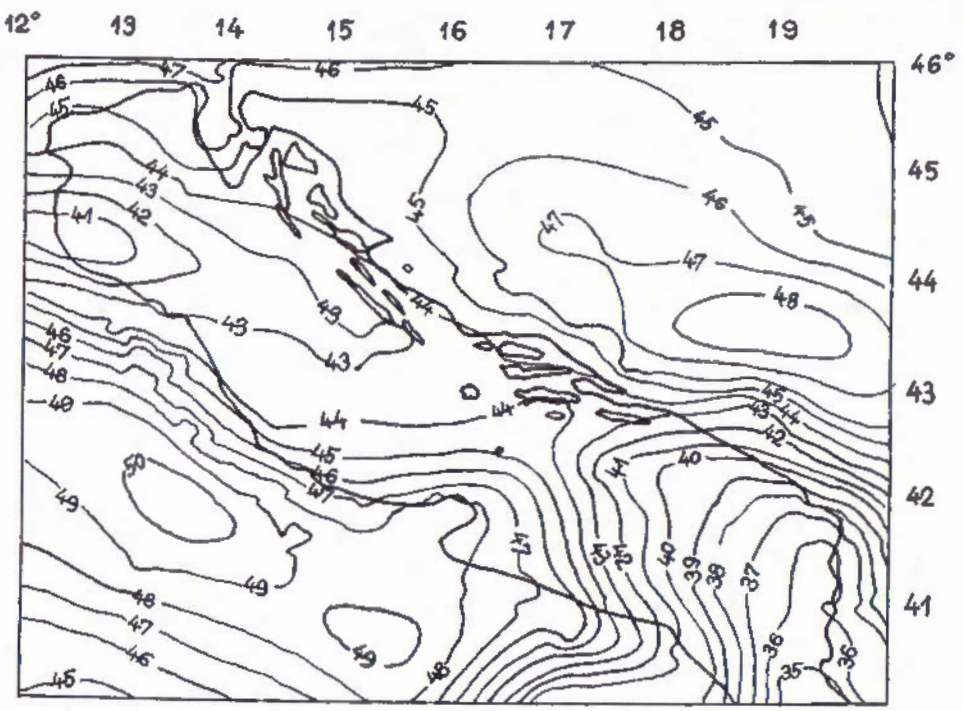
Osvrnimo se još na problematiku povezivanja naših otoka s kopnom i međusobno, napose u visinskom smislu. Horizontalno već jesu povezani, ne samo u cjelinu Hrvatske, nego i Europu, jer su upravo objavljene koordinate φ, λ iz prošlogodišnje kampanje mjerenja po projektu EUREF (Europski referentni sustav) za trigonometrijske točke prvog reda, od kojih su neke na našim otocima. Kod povezivanja po visini ostaje za riješiti određivanje srednje razine mora, jer se ona jamačno razlikuje od otoka do otoka. To je moguće postići postavljanjem mareografa na njih.

U svrhu objašnjenja cjelokupne problematike razmotrimo sliku 3. Na njoj se vide tri različite linije - krivulje. Krivulja referentnog elipsoida predstavlja dio rotacionog elipsoida (ili njegovog presjeka) čiji su parametri određeni na osnovu satelitskih mjerenja (Dopplerovskih i GPS) obavljenih sedamdesetih i osamdesestih godina u čijem je središtu ishodište koord. sistema WGS84, a koje je po prirodi stvari i težište masa naše planete, te žarište (jedno od dva) putanja umjetnih (GPS) ili drugih satelita (Mjeseca) . Krivulja dijela geoida je nepravilna i, naravno, matematski neodrediva, uslijed svoje undulacije kao rezultata nepravilnosti rasporeda gustoća na i unutar zemlje, te samog zemljinog reljefa. Ona predstavlja ekvipotencijalnu plohu, određenu jakošću polja sile teže, a u strogom pogledu moguće ju je dobiti jedino gravimetrijskim mjerenjima. Njena undulacija i je izraz anomalija sile teže (sl. 4).

No, ona će se približno podudarati sa stacionarnom površinom mora, koju je pak moguće odrediti samo dugogodišnjim (najmanje 18,6 godina) osmatranjem razine mora.

Vezivanjem srednje (stacionarne) razine mora na repere mareografa, moguće je sada GPS mjerenjima odrediti njihovu niveletu kao geometrijski grafikon.

Satelitska altimetrija shvaćena ovdje kao nadgradnja ili uspješna zamjena GPS-a, stoga što GPS nije podoban za dostatno precizna i ekonomski opravdana mjerenja visina diljem morskih prostranstava, može



Sl. 4 Prikaz undulacije geoida na Jadranskom moru.

nam sasvim precizno odrediti topografiju mora u nekom trenutku (datumu). Poznavajući pak stanje razina mora u istom trenutku na obližnjim mareografima možemo se, uvođenjem još nekih korekcija u altimetrijska mjerenja, sasvim približiti njegovoj niveleti (geometrijskoj).

Ipak, satelitska altimetrija ili neka druga tehnologija (GPS, laser) mjerenja omogućit će nam određivanje srednje razine mora za spomenuti ciklus od 18,6 godina, tek nakon niza mjerenja različitih datuma, i njihovim uspoređivanjem u tom razdoblju.

LITERATURA

BAŠIĆ, T. (1992): Primjena satelitske altimetrije u istraživanju zemljinog polja sile teže na Jadranu.- Zbornik Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

BENAC, Č. (1994): Inženjersko geološke osobitosti obalnog pojasa i podmorja Riječkog zaljeva.- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu.

BILAJBEGOVIĆ, A. & HOFMANN-VELLENHOF (1991): Osnovni geodetski radovi.- Tehnička knjiga, Zagreb.

DOUGLAS, B.C. (1992): Global sea level acceleration.- Journal of geophysical research, 97/8, 12699-12706.

FEIL, L., KLAK, S. & ROŠIĆ, N. (1992): Određivanje visinskih pomaka na području Republike Hrvatske.- Zbornik Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u povodu 30. obljetnice samostalnog djelovanja.

FRANČULA, N. (1994): Novi pristup kartografiji.- Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

KRIVIČIĆ, I. (1993): O površinama otoka Cresa i Krka.- Geodetski list, 4, 370-372.

LAPAINE, M., FRANČULA, N. & VUČETIĆ, N. (1994): Površina hrvatskoga mora i otoka.- Zbornik radova Korema, 39.

SOLARIĆ, M. (1994): Satelitske metode određivanja položaja točaka na zemlji - princip GPS mjerenja.- J.P. Hrvatske šume, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 33-60.

WOODWORTH, D.L. (1990): A search for accelerations in records of european mean sea level.- International journal of climatology, 10, 129-143.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 19-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	321 - 326	ZAGREB 1995

Jurski silicijski sedimenti lemeškog facijesa (malm) u Dalmaciji i Lici

Eugen KRKALO[1], Ante ŠUŠNJARA, Biserka ŠĆAVNIČAR[2] & Anto GABRIĆ[1]

Ključne riječi: jura, silicijski sedimenti, lemeški facijes, Dalmacija, Lika

Key words: Jurassic, Siliceous sediments, Lemeš facies, Dalmatia, Lika

Sažetak

Istraživani sedimenti - regionalno rasprostranjeni na karbonatnoj platformi u smjeru SZ-JI u Lici i Dalmaciji - su laminirani kriptomikrokristalasti kelcedonsko-kvarcni sedimenti, često radiolarijski rožnjaci, interstratificirani s pločastim vapnencima i rjeđe glinama. Na dvanaest lokaliteta utvrđeno je da su pretežno vezani za dijagenetsku laminarnu i nodularnu silicifikaciju vapnenačkih sedimenata s brojnim dokazima zamjenjivanja $CaCO_3$ sa SiO_2. Dijelom mogu biti i rezultat neposredne precipitacije SiO_2.

Na vulkansko porijeklo SiO_2 lokalno ukazuju proslojci silicificiranog staklastog tufa u Lici, te montmorilonitske gline s vitroklastima, kristobalitom i hojlanditom, ili miješanoslojne ilit-montmorilonitske gline s česticama vulkanskog pepela u Dalmaciji.

Neki lokaliteti su detaljno istraženi i definirani kao rudna ležišta.

Abstract

The investigated sediments - regionally spread on the carbonate platform in the NW-SE direction in Lika and Dalmatia - are microcrystalline chalcedony-quartz sediments, often radiolarian cherts, interstratified with platy limestones, or less frequently with clay.

Siliceous sediments, explored on twelve localities, are mainly the results of diagenetic laminar or nodular silicification of calcareous sediments, with numerous evidences of replacement. Partly they are products of direct chemical precipitation of SiO_2.

Volcanic origin of SiO_2 in sediments of Lemeš facies was locally proved by thin beds of silicified vitric tuff in Lika, then by montmorillonitic clay with vitroclasts, cristobalite and heulandite or interstratified illite-montmorillonitic clay with particles of volcanic ash in Dalmatia. Many of localities are investigated and established as mineral deposits.

1. UVOD

Tijekom višegodišnjih regionalnih i detaljnih geoloških istraživanja mineralnih sirovina, dijelom u okviru Projekta 14 Ministarstva znanosti Republike Hrvatske, a dijelom za potrebe gospodarskih čimbenika, izvedena su brojna istraživanja silicijskih sedimenata na području Dalmacije (VRSALOVIĆ-CAREVIĆ, 1970; KRKALO, 1971; GABRIĆ & PENCINGER, 1975; PENCINGER, 1980; PEH, 1982; ŠUŠNJARA & SAKAČ, 1985) i području Like (ŠĆAVNIČAR & NIKLER, 1976). U okviru navedenih istraživanja urađena su također obimna petrološka i sedimentološka istraživanja (ŠĆAVNIČAR, 1970, 1971, 1980, 1982, 1984, 1985), te rendgenske analize (ŠĆAVNIČAR, 1982, 1985). Veći dio spomenutih regionalnih i detaljnih istraživanja silicijskih sedimenata programski je pripremio i vodio Ante ŠUŠNJARA, te mu posvećujemo ovaj članak, koristeći radove navedenih autora i njegove neobjavljene podatke.

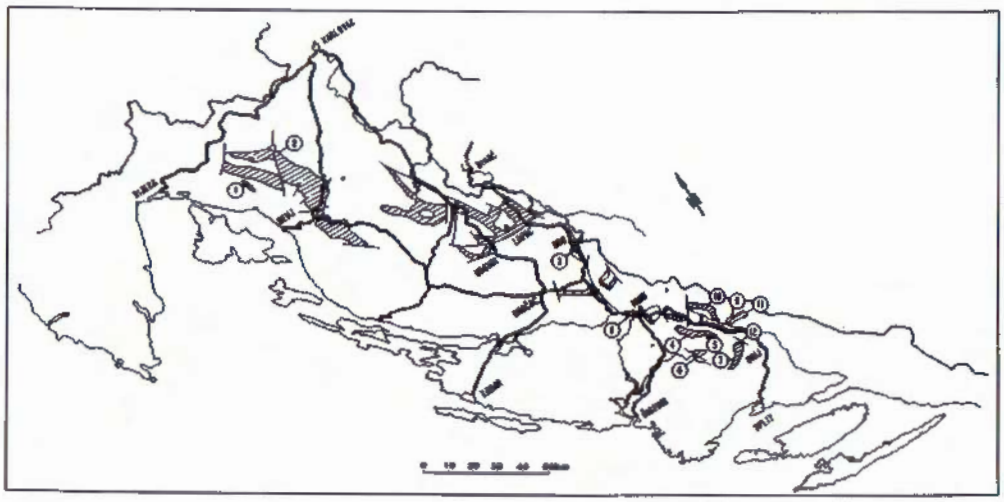
Silicijski sedimenti u naslagama malma fragmentarno su razvijeni počev od jugozapadnih padina Velike Kapele preko Plitvičkog Ljeskovca, jugozapadne i južne Plješivice, dijelom uz dolinu Une, potom na obodima Kosova polja, te u masivu Svilaje i dijelu Dinare (sl. 1). Najveći dio pripada lemeškom facijesu, ali ima i značajnih pojava koje pripadaju drugim litofacijelnim okolišima. Na pozicijama gdje su silicijski sedimenti prostorno razvijeniji, istraženi su i definirani kao ležišta mineralnih sirovina.

Kratak pregled ranijih geoloških istraživanja

Ove naslage privlače pažnju istraživača od početka ovoga stoljeća. Tako su po prevoju Lemeš na Svilaji u Dalmaciji dobile od austrijskih geologa naziv Die Lemeš-Schichte. Prema analizama faune amonita, FURLANI (1910) je odredila starost lemeških naslaga u rasponu gornji kimeridge-donji tithon, a KERNER (1916) raščlanjuje naslage malma područja Ogorja i Zelova na Svilaji na Cladocoropsis vapnence, Cladocoropsis dolomite, Lemeš naslage i koraljne vapnence tithona. ZIEGLER (1963) proučavanjem amonita istih lokaliteta smatra da ove naslage imaju nešto stariji nivo te im određuje starost u rasponu gornji oxford-donji kimeridge.

Značajni istražni radovi u izdvajanju i raščlanjivanju gornjomalmskih naslaga sa silicijskim sedimentima

[1]Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2]Čazmanska 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1. Pregledna karta položaja jurskih silicijskih sedimenata (malm) u Dalmaciji i Lici. Legenda: 1) Breza (V. Kapela); 2) Stalak-Jasenak; 3) Brotinja-Suvaja-Zavalje; 4) Maovice; 5) Otišić; 6) Baljci; 7) Plana; 8) Stara Straža; 9) Dabar; 10) Koljane; 11) Bitelić i 12) Potravlje.

obavljeni su tijekom izrade Osnovne geološke karte M 1:100.000 listova: Udbina, Drvar, Crikvenica (ŠUŠNJAR et al., 1965, 1968 i 1969), Knin (GRIMANI et al., 1966), Bihać (POLŠAK et al., 1967), Drniš (IVANOVIĆ et al., 1972), Sinj (MAGAŠ et al. i PAPEŠ et al., 1976) i Ogulin (VELIĆ & SOKAČ, 1980). U osvrtu na lemeške naslage u Lici CHOROWICZ & GEYSSANT (1972) za razliku od lokaliteta u Dalmaciji koji pripadaju tzv. visokom kršu, lička nalazišta izdvajaju u dvije različite tektonski predisponirane paleogeografske jedinice, greben i njegov unutarnji rub.

Osim istraživanja silicijskih sedimenata značajna su istraživanja glina unutar naslaga lemeškog facijesa (BRAUN, 1970, 1991; ŠUŠNJARA & SAKAČ, 1985; S. ŠĆAVNIČAR, 1982, 1985; SLOVENEC et al., 1990), koja ukazuju na vulkanogeno porijeklo naslaga. Kao ležišta su također istraženi kvarcni sedimenti malma na području Dinare, koji ne pripadaju lemeškom facijesu (ŠUŠNJARA & SAKAČ, 1985), a imaju značaj u korelaciji pojedinih sedimentacijskih nivoa gornje jure i prijelaza u donju kredu.

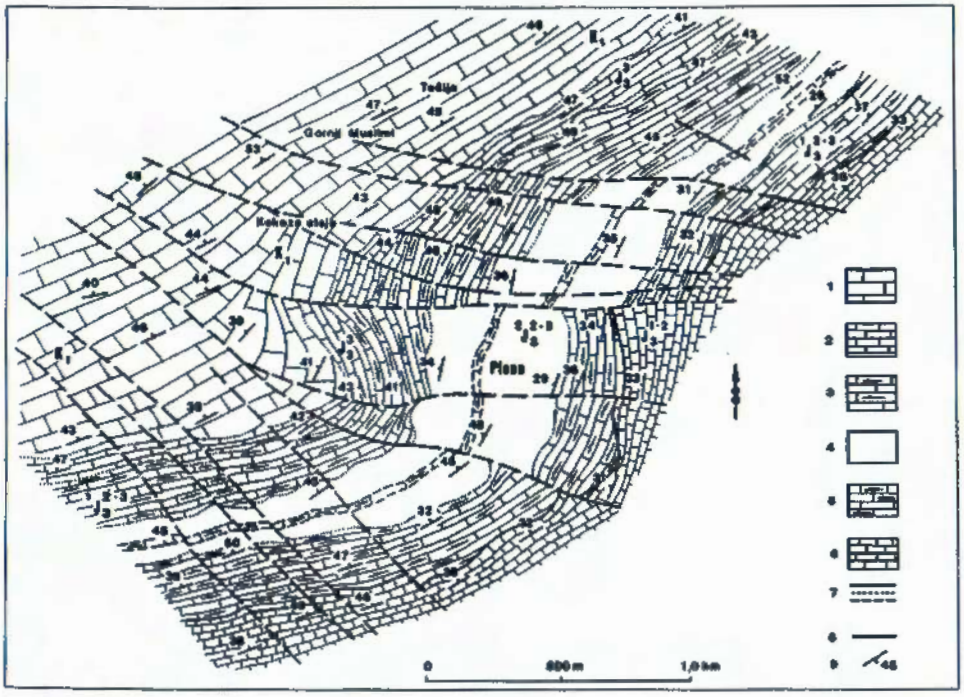
2. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE SILICIJSKIH SEDIMENATA I PRATEĆIH NASLAGA

Tipičan razvoj lemeških naslaga utvrđen je na lokalitetima Ogorje, Plana, Potravlje, Otišić, Maovice i Baljci na Svilaji, te Stara Straža i Dabar na Dinari. Sukcesija razvoja ovih naslaga može se dobro pratiti na području Plane kod Zelova (sl. 2). U podini lemeških naslaga nalaze se sivi i tamnosivi Cladocoropsis vapnenci s brojnim nalazima fosila *Cladocoropsis mirabilis*. Granica prema lemeškim naslagama nije oštra nego predstavlja postupni prijelaz. Slijed lemeških sedimenata započinje razvojem vapnenaca i rožnjaka u izmjeni. To su pločasti tankouslojeni do debље uslojeni vapnenci u kojima su proslojci, leće i slojevi silicijskih sedimenata - rožnjaka centimetarskih i decimetarskih debljina. U starijim nivoima ove izmjene prevladavaju vapnenci, a idući prema mlađim dijelovima naslaga sve više rožnjaci. Unutar ovih, na području Maovica i Štikova nalaze se deblji slojevi i leće montmorilonitskih glina. Pojave glina sličnog sastava su registrirane na lokalitetima Baljci i Plana. Vapnenci mjestimično obiluju amonitima kao što su vrste rodova *Virgatosphinctes*, *Glochiceras*, *Perisphinctes*, *Aspidoceras* i drugi. U istim naslagama nađeni su ostaci riba, te fosili školjkaša *Aulacomyella problematica*, te drugi fosilni ostaci koji s tipom sedimenata upućuju na taloženje u plitkim lagunama toplog malmskog mora (ŠUŠNJARA & SAKAČ, 1984).

U superpoziciji iznad ovih naslaga slijedi serija čistih silicijskih sedimenata. Na području Plane silicijski sedimenti sadrže deblji uložak-sloj vapnenaca i rožnjaka u izmjeni. Nabušene debljine glavne serije čistih silicijskih sedimenata kreću se na ležištu Plana od nekoliko do 24 m. Kako su bušotine ostale u istim materijalima, pretpostavljena maksimalna debljina je i veća. Na ostalim lokalitetima na Svilaji debljine silicijskih naslaga su skromnije; u Maovicama iznose 5-10 m, na ležištu Baljci 8-15 m, na području Ogorja 5-8 m, na području Otišića 2-5 m, a kod Dabra do 4 m. Ove naslage se mogu pratiti kilometrima po pružanju.

Silicijski sedimenti su tankouslojeni, s debljinama slojeva najčešće od 5-10 cm. Slojevi su ispucali okomito na slojevitost, kako na površinskim izdancima, tako i po dubini naslaga. Česte su pojave laminirane, a ponegdje i kose slojevitosti, te kemogenih kvrga i nodula unutar slojeva. U istim sedimentima ima također fosilnih ostataka školjkaša i amonita. Silicijski sedimenti se pojavljuju u više varijeteta koji se razlikuju po boji i teksturama, dok su varijacije u sadržaju SiO_2 male. Uz granicu s podinskom serijom rožnjaka i vapnenaca u izmjeni najčešći je varijetet poroznog silicijskog sedimenta svijetlosmeđe boje, koji je nastao potpunom silicifikacijom karbonata; ima kalkarenitsku strukturu i silicificirane ostatke fosila, pretežno foraminifera. U središnjem dijelu naslaga čest je varijetet tankouslojenog crnog i sivog rožnjaka u gustoj milimetarskoj izmjeni. U vršnim dijelovima mjestimično su rasprostranjene uslojene kvarc-kalcedonske mase bijele boje.

Na seriji čistih silicijskih sedimenata ponovno dolaze vapnenci s rožnjacima u izmjeni. Prema geološkoj



Slika 2. Geološka karta ležišta silicijskih sedimenata Plana na Svilaji (Dalmacija). Legenda: 1) Vapnenci donje krede (K_1); 2) Vapnenci gornjeg malma (J_3^3); 3) Silicijski vapnenci i silicijski sedimenti u izmjeni ($^1J_3^{2-3}$); 4) Silicijski sedimenti (rožnjaci) sa slojem rožnjaka i vapnenaca u izmjeni ($^2J_3^{2-3}$); 5) Podinski vapnenci i silicijski sedimenti u izmjeni ($^1J_3^{2-3}$); 6) Cladocoropsis vapnenci (J_3^{1-2}); 7) Geološka granica: normalna, postupni prijelaz i pretpostavljena; 8) Rasjed; 9) Elementi pružanja i pada sloja.

granici s vapnencima gornjeg malma proslojci silicijskih sedimenata su sve rjeđi.

Ukupna debljina lemeških naslaga na jugoistočnim padinama Svilaje, na području Plane je od 70-120 m, a na ostalim lokalitetima Svilaje i Dinare je nešto manja.

Unutar lemeških naslaga Sviłaje u antiklinalnoj strukturi prevoja Lemeš na području Maovica istražene su osim silicijskih sedimenata i bentonitske gline. Vezane su za najstariji nivo naslaga gdje se izmjenjuju vapnenci i dolomiti s rožnjacima; utvrđene su kao ležišta u dva sloja s debljinama od nekoliko decimetara do 6 m (BRAUN, 1970).

Na području Like naslage malma sa silicijskim sedimentima imaju znatno prostranstvo, ali nisu dovoljno istražene, posebno s aspekta ležišta mineralnih sirovina. Od obrađenih nalazišta značajan je razvoj lemeških naslaga na području Suvaja-Brotinja-Zavalje, gdje su razvijeni pločasti vapnenci s rožnjacima u izmjeni. Na području Suvaje registriran je paket crnih rožnjaka s tankim interkalacijama laporovitih vapnenaca i glina debljine oko 30 m, dok je ukupna debljina ovih naslaga procijenjena na oko 350 m (ŠUŠNJAR et al., 1979). Na području Velike Kapele unutar tipičnih lemeških slojeva izgrađenih od pločastih vapnenaca s rožnjacima, istražen je sloj silicificiranog staklastog tufa debljine 2-3 m, čime je po prvi puta u lemeškim naslagama Like utvrđeno prisustvo vulkanogenog materijala.

Osim u sklopu silicijskih sedimenata lemeškog facijesa značajne su pojave silicijskih sedimenata u drugim nivoima malma. Na području Like tu se mogu uvrstiti pojave na lokaciji Stalak-Jasenak, dok su na području Dalmacije istražena kao značajna ležišta kvarca lokaliteti Bitelić i Koljane na Dinari, i pojave u Maovicama gornjim i Potravlju na Svilaji. Na potezu od Koljana do Bitelića u zapadnom podnožju Dinare proteže se zona dolomita, brečastih dolomita i dolomitnih breča uz koje su vezana ležišta kvarca. Unutar ovih naslaga nisu nađeni fosilni ostaci, pa im je starost određena kao stariji dio malma prema analogiji s nalazištima u Maovicama gornjim i Potravlju na Svilaji, gdje su stratigrafski odnosi jasniji prema superpozicijama. Zanimljivo je da su pružanja ležišta silicijskih sedimenata u Biteliću i Koljanima okomita na generalna pružanja naslaga i struktura Dinare.

3. PETROGRAFSKE KARAKTERISTIKE

Na području Like obrađene su silicijske naslage na tri lokacije: 1) Breza, 2) Stalak-Jasenak i 3) Brotinja-Suvaja-Zavalje.

Na prvoj se prati razvoj lemeških naslaga duž ceste Breza - N. Vinodolski, predstavljen pretežno pločastim vapnencima tipa pelmikrita i biopelmikrita (rjeđe dolomita) sa slojevima, lećama i kvrgama rožnjaka i proslojcima glina. Istraživanjem glinovito-rožnjačkog sloja debljine 2-3 m (ŠĆAVNIČAR & NIKLER, 1976) otkriveno je piroklastično porijeklo sedimenta. Sastoji se od finih čestica vulkanskog pepela, tipične morfologije, koje su alterirane najčešće u mikrozrnati kvarc-kalcedonski agregat. Uz to određen je K-feldspat sanidin i mineral glina ilit, kojima obiluju pojedini uzorci. Primarno staklasti vulkanski pepeo ishodišni je materijal SiO_2. Taloženje kalcedona i kvarca vezano je za obogaćenje sredine kremičnom kiselinom za vrijeme devitrifikacije stakla. To je razlog bogatog razvoja mikrofosila sa silicijskim skeletom, kao i silicifikacije karbonatnih taloga.

Druga lokacija je na profilu Stalak-Jasenak. Naslage su zastupljene tanje uslojenim vapnencima, dolomitima i rožnjacima. Osnovni vapnenački sediment uniforman je kroz cijeli slijed naslaga. To su pretežno peletni i više

manje fosiliferni vapnenci, koji su u pojedinim nivoima bili silicificirani. U nižem dijelu naslaga silicifikacija je manje izražena. Idući prema središnjem dijelu, sve više se izmjenjuju silicificirani i nesilicificirani nivoi. Kripto i mikrokristalasti SiO_2 prožima vapnenačke sedimente u međuprostorima i porama, ili potiskuje karbonatnu komponentu. Proslojci i nodule često sadrže radiolarije i spikule spongia. U višim nivoima pojavljuju se ooliti i onkoliti, a dalje slijedi zona rekristaliziranih i dolomitiziranih vapnenaca. VELIĆ & SOKAČ (1980) ove naslage, debljine oko 250 m, definiraju kao bočni ekvivalent algalno-vapnenačkog i dolomitnog facijesa središnjeg dijela malma, koji se bitno razlikuje od tipičnih lemeških sedimenata Svilaje.

Dio gornjojurskih naslaga sa silicijskim sedimentima zapadno od Bihaća aproksimativno je izdvojen prema podacima OGK, kako bi se ukazalo na određeni kontinuitet razvoja u Lici gdje je najjužnije u nizu obrađeno treće područje kod Brotinje, Suvaje i Zavalja. Na ovim lokalitetima nisu utvrđene bitne razlike u odnosu na sedimente lemeškog facijesa Dalmacije. Laminirani sitnozrni do mikrokristalasti kvarcni sedimenti često su produkti zamjenjivanja $CaCO_3$ u vapnenačkim sedimentima, što dokazuju reliktne strukture bio-peletskih alokemijskih vapnenaca, inkluzije kalcita, nesilicificirani ostaci alokema i izmjena s djelomično silicificiranim vapnenačkim laminama. Gusti rožnjaci homogene strukture vjerojatno su produkt neposredne precipitacije SiO_2 i obično obiluju radiolarijama.

Na području Dalmacije (sl. 1) obrađeni su lokaliteti s lemeškim facijesom na Svilaji: 4) Maovice; 5) Otišić; 6) Baljci i 7) Plana, a na području Dinare: 8) Stara Straža i 9) Dabar. Na području Dinare obrađena su također i ležišta kvarcnih sedimenata 10) Koljane i 11) Bitelić, a na Svilaji nalazište 12) Potravlje, koja ne pripadaju lemeškom facijesu.

Silicijski sedimenti lemeškog facijesa najdetaljnije su analizirani na području Plane i Baljaka. Na području Plane izdvojeni su vapnenci, dijelom ili potpuno silicificirani vapnenci, rjeđe dolomiti s rožnjacima u izmjeni, tipični rožnjaci i tanji proslojci glina. Vapnenci su srednje do krupnozrnati kalkareniti, rjeđe kalciruditi, s intraklastima, peletima i mikrofosilima, a krupnozrniji varijeteti sadrže onkoide, algalne lopte, litoklaste, oolite i kršje fosila u mikritskoj ili rekristaliziranoj osnovi. Isti vapnenci, često djelomično ili potpuno silicificirani, dolaze u laminarnoj izmjeni s rožnjacima. Silicificirani vapnenci sačuvali su reliktne strukture kalkarenita s prepoznatljivim alokemima. Rožnjaci, mikrokristalasti kvarc-kalcedonski sedimenti, dijelom su nastali zamjenjivanjem mikritskih vapnenačkih taloga sa SiO_2, a dijelom neposrednom kemijskom precipitacijom. Jedni i drugi najčešće sadrže radiolarije. Gline su rjeđe, ilit-montmorilonitskog sastava. U ovom glinovitom i zdrobljenom rožnjačkom materijalu nađene su čestice vulkanskog stakla (pepela), što i na ovom lokalitetu ukazuje na prisutnost vulkanogenog materijala i njegovu alteraciju tijekom taloženja lemeških naslaga.

U **Baljcima** silicijski su sedimenti uglavnom istih karakteristika, ali su vapnenci i silicificirani vapnenci u prosjeku sitnozrnatiji, najčešće peletni i biopeletni varijeteti ili peloidni glinoviti mikriti. U laminarnoj su izmjeni s rožnjacima s međusobnim prožimanjem duž granica. Rožnjaci su katkada ekstremno gusti, kriptokristalasti, a radiolarije brojne. Dosadašnja istraživanja nisu utvrdila prisutnost vulkanskog stakla.

Područja **Maovica** i **Otišića** predstavljaju jedinstvenu zonu razvoja silicijskih sedimenata. Podudaraju se s ostalim silicijskim sedimentima lemeškog facijesa na Svilaji. U seriji tankouslojenih vapnenaca, silicificiranih vapnenaca, te nodularnih i laminiranih rožnjaka, u području Maovica ističu se posebno deblji ulošci i slojevi montmorilonitskih glina. U njima obilje čestica staklastog i alteriranog vulkanskog pepela upućuje na značajan vulkanogeni utjecaj u formiranju silicijskih naslaga lemeškog facijesa.

Istovjetne petrografske karakteristike imaju silicijski sedimenti i prateće naslage lemeškog facijesa na području Dinare; 8) Stara Straža i 9) Dabar. Na do sada istraženim uzorcima s ovih lokaliteta nije dokazana prisutnost vulkanogenih komponenata, ni njihovih alteracijskih produkata. Kao u Baljcima, u silicificiranim pelmikritima i biopelmikritima, te u radiolarijskim rožnjacima, česti su dokazi zamjenjivanja $CaCO_3$ sa SiO_2.

Znatno se razlikuju nalazišta kvarcnih naslaga 10) Koljane, 11) Bitelić i 12) Potravlje. Ležište Koljani predstavlja kompleks epigenetski silicificiranih klastičnih karbonatnih stijena (dolomitne breče?, kalkareniti). Ovi kvarcni sedimenti su grubo šupljikavi, često spužvastog izgleda, najčešće žućkasto-crvenkaste boje, dok su rjeđi bijeli kvarcni sedimenti, bez relikata klastične teksture. U sastavu prevladava kvarc različitog kristaliniteta i čistoće, anhedralan, rjeđe euhedralan, često zonarne strukture. Usprkos potpune silicifikacije, u mnogim uzorcima sačuvana je jasna reliktna struktura breče, što objašnjava genezu. Vrlo slične naslage dolaze u Biteliću. Silicijski sedimenti Potravlja su također šupljikavi bjeličasti kvarcni sedimenti ili djelomično kvarcificirani vapnenci. U njima su sa sigurnošću utvrđene reliktne strukture kalkarenita s različitim alokemima, naročito često s dobro prepoznatljivim favreinama. Cement im je prozirni mozaični agregat kvarca. Nekoliko istraženih vapnenaca pripada dijelom silicificiranim stromatolitskim vapnencima. U njima se vide desikacijske pukotine ispunjene kvarcom, kao i rompski presjeci bivših dolomitnih kristala ispunjenih također kvarcom s nešto mikrokristalastih karbonatnih inkluzija.

4. LEŽIŠTA SILICIJSKIH SEDIMENATA

Prema geomorfološkim karakteristikama, debljini slojeva silicijskih sedimenata i sadržaju SiO_2, izdvojeni su i detaljno su istraženi lokaliteti Plana, Baljci i Koljane. U tim ležištima je utvrđeno više milijuna tona

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	g.žar.
Plana	95,69	0,84	0,76	0,05	0,49	0,04	-	-	1,41
Baljci	93,15	2,73	1,10	0,12	0,60	0,13	0,16	0,03	2,01
Koljani	98,37								

Tablica 1. Srednji kemijski sastav silicijskih sedimenata u ležištima. (Koljani - na ispranim uzorcima SiO_2 je iznosio 97,87-99,17%).

silicijskih sedimenata s povoljnim srednjim kemijskim sastavom sirovine (tablica 1).

Kao potencijalna za daljnja istraživanja i eksploataciju ističu se nalazišta na Maovicama, Otišiću, Staroj Straži i Dabru.

5. DISKUSIJA

Ne ulazeći u manje razlike koje postoje na različitim lokalitetima istraženi silicijski sedimenti unutar lemeških naslaga imaju iste bitne karakteristike sastava, strukture, teksture, odnosa sa sedimentima s kojima su interstratificirani, te postanka i uvjeta sedimentacije.

Rožnjaci su tamnosivi, tankouslojeni i laminirani kripto-mikrokristalasti kalcedonsko-kvarcni sedimenti sa ili bez primjesa gline. Često sadrže silicijske mikrofosile (pretežno radiolarije). Međutim, kod većine rožnjaka mikroskopski se vide kalcitne inkluzije, često kalcitni mikrofosili, te fine lamine i uklopci mikritskog vapnenačkog sedimenta, što upućuje na silicifikaciju primarno vapnenačkog sedimenta. Silicifikacija izvršena u dijagenezi pretežno je laminarna, ali na mnogim lokalitetima i nodularna. Međutim, nađeni su i gusti, optički slabo anizotropni kriptokristalasti rožnjaci, sa ili bez radiolarija, bez reliktnih struktura ili ostataka primarno vapnenačkog sedimenta, dakle bez dokaza zamjenjivanja, a koji bi mogli biti produkti neposredne kemijske precipitacije uslijed obogaćenja morske vode sa SiO_2.

Vapnenci su svijetli, dobro uslojeni. Variraju od dominantno srednjozrnih biomikrita, biopelmikrita i biointramikrita (Plana) do dominantno finozrnih mikrita, fosilifernih mikrita i pelmikrita (Baljci, St. Straža, Dabar). Najčešće imaju mikritski matriks. Gotovo kod svih prisutni peleti, a često peloidne čestice, obljepljene algalne čestice te onkoidi, ukazuju na plitko lagunarne uvjete sedimentacije. I ostali alokemi, kao intraklasti, ooliti, te fosilni ostaci (foraminifere, krinoidni i ljušturni detritus te drugi bioklasti) reflektiraju utjecaj i prisutnost plitkovodnog okoliša. Vapnenci su često dijelom ili potpuno silicificirani. I u slučaju kada su potpuno pretvoreni u silicijsku stijenu, jasno je sačuvana i prepoznatljiva struktura vapnenačkog sedimenta s obrisima mikrofosila, ljušturnog detritusa, intraklasta, peleta, oolita, onkoida i drugih plitkovodnih karbonatnih čestica. Silicijske stijene ovog tipa su značajni član lemeškog facijesa (osobito u Plani) i nepobitan dokaz da je velik dio njih rezultat silicifikacije vapnenačkih naslaga.

Glina. Glineni proslojci s lokaliteta Plana, Baljci i Maovice, analizirani rendgenskim i mikroskopskim metodama, dali su korisne genetske podatke o porijeklu SiO_2:

1) prisutnost vulkanskog stakla (vulkanskog pepela - vitroklasta) i piroklastičnog kvarca u Plani i Maovicama (utvrđenih mikroskopski u dezagregiranoj lakoj frakciji glina);

2) Sastav glina (montmorilonitska ili miješanoslojna ilit-montmorilonitska glina) upućuje da su one alteracijski produkt vulkanskog pepela, što potvrđuje u istim uzorcima prisutnost hojlandita i kristobalita;

3) Slojevi glinovitih rožnjaka u Kapeli predstavljaju silicificirani vulkanski pepeo i dopunjuju podatke o piroklastičnom porijeklu SiO_2. Donos staklastog vulkanskog pepela u bazen sedimentacije, njegova devitrifikacija i obogaćenje sredine kremičnom kiselinom, uzrokovalo je silicifikaciju lagunskih karbonatnih taloga, omogućilo razvoj radiolarija i formiranja rožnjaka.

Akcesorni teški minerali analizirani iz glinovitih i zdrobljenih glinovito-rožnjačkih uzoraka identični su onima u mezozojskim karbonatnim stijenama ovih područja.

Zanimljivo je da u istraženim sedimentima nekih lokaliteta (Stara Straža, Maovice, Baljci) ima tekstumih osobitosti, kao što su vertikalne pukotinice unutar slojića i lamina koje podsjećaju na desikacije, međuslojne pukotinice, valovito-korasta laminacija, te tvorbe slične peloidnim stromatolitima i cjevičaste nakupine modrozelenih algi. One su još u istraživanju.

S druge strane uočena je graduirana slojevitost slojića kalkarenita i njihovih silicificiranih ekvivalenata, kao i pojave kose slojevitosti unutar naslaga na području Plane, što bi moglo upućivati na nagibe i rubne dijelove lagune. Poseban su problem u rožnjacima kemijske teksture izuvijanih lamina koje variraju u boji i traže svoju interpretaciju.

Svi ovi sedimentološki, batimetrijski i paleogeografski problemi lemeških silicijskih naslaga još su u istraživanju i bit će predmet jednog opsežnijeg rada.

6. ZAKLJUČAK

Jurski silicijski sedimenti lemeškog facijesa (malm) - regionalno rasprostranjeni na karbonatnoj platformi u smjeru NW-SE u Lici i Dalmaciji - su laminirani kripto-mikrokristalasti kalcedonsko-kvarcni sedimenti, često radiolarijski rožnjaci, interstratificirani s pločastim vapnencima i rjeđe glinom. U svim ležištima utvrđeno je da su pretežno vezani za dijagenetsku laminarnu i nodularnu silicifikaciju polukonsolidiranih vapnenačkih sedimenata, iako se ne isključuje i neposredna precipitacija SiO_2. Mnoge sedimentološke odlike i

reliktne strukture ukazuju na uvjete taloženja u plićoj vodi nego se to obično interpretira za radiolarijske čertove. Porijeklo SiO_2 je lokalno riješeno nalazom silicificiranog vulkanskog pepela (V. Kapela), kao i montmorilonitske gline s kristobalitom, hojlanditom i vulkanskim pepelom (Maovice) ili miješanoslojne ilit-montmorilonitske gline s česticama stakla (Plana), koji upućuju na vulkanogeno ishodište SiO_2.

Neuslojena ležišta kvarcnih sedimenata Koljani, Bitelić i Potravlje ne pripadaju lemeškom facijesu i vezani su za silicifikaciju litificiranih karbonatnih stijena.

Istražena ležišta Baljci, Plana i Koljane imaju gospodarski značaj i privedena su eksploataciji za potrebe industrije ferolegura.

7. LITERATURA

Objavljeni radovi:

BRAUN, K. (1991): Mineraloško-petrografske karakteristike i geneza ležišta bentonitskih glina Maovica, Gornje Jelenske, Bednje i Poljanske Luke.- Acta geologica, 21/1, 1-34, Zagreb.

CHOROWICZ, M.J. & GEYSSANT, J.R. (1972): Presence des couches de Lemeš (calcaires a Ammonites subme,diteraneenns du Malm) dans la Lika (Croatie).- Extrait des Comptes rendus des senaces de l'Academie des Sciences senace du 7 aout 1972.

FURLANI, M. (1910): Die Lemeš-Schichten. Ein Beitrag zur Kenntnis der Jura formation in Mittel-Dalmatien.- Jahrb. DGRA,Wien.

KERNER, F. (1916): Erläuterungen zur Geologischen Karte Sinj und Spalato.- Geol. Reichsanst., Wien.

SLOVENEC, D., ŠEBEČIĆ, B. & ŠIFTAR, D. (1990): Minerali glina u gornjojurskim kerogenim sedimentima Vrela Koreničkog kraj Titove Korenice.- Geol. vjesnik, 43, 97-107.

ŠĆAVNIČAR, B. & NIKLER, L. (1976): Staklasti tuf u lemeškim naslagama Velike Kapele.- Geol. vjesnik, 29, 169-275.

ZIEGLER, B. (1963): Die Fauna der Lemeš-Schichten (Dalmatien) und ihre Bedeutung für den Mediterranen Oberjura.- Jahrb. Geol. Pal., 8., 405-421, Stuttgart.

Listovi i tumači OGK M 1:100.000: Udbina, Drvar, Crikvenica, Knin, Bihać, Drniš, Sinj i Ogulin.

Neobjavljeni radovi:

BRAUN, K. (1970): Bentonitske gline područja Štikovo-Maovice i keramičke gline kod Žagrovića i Otona.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

GABRIĆ, A. & PENCINGER, V. (1976): Geološka istraživanja i proračun rezervi silicijskih sedimenata ležišta "Plana" kod Sinja.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

KRKALO, E. (1971): Istraživanje i proračun rezervi kvarcnih sedimenata na području Plane kod Zelova.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

PEH, Z. (1982): Elaborat o rezervama ležišta silicijskih sedimenata "Plana" kod Sinja.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

PENCINGER, V. (1980): Elaborat o geološkim istraživanjima i proračunu rezervi kvarcnih sedimenata lokaliteta Baljci.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

ŠĆAVNIČAR, B. (1970): Mikroskopske analize mineralnih sirovina s regiona Srednje Dalmacije.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

ŠĆAVNIČAR, B. (1971): Mikroskopske analize uzoraka s nalazišta kvarcnih sedimenata "Plana" kod Zelova.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

ŠĆAVNIČAR, B. (1980): Mikroskopske analize kvarcnih sedimenata na području Baljci (Drniš).- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

ŠĆAVNIČAR, B. (1982): Mikroskopske analize uzoraka silicijskih stijena iz Plane (Svilaja).- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

ŠĆAVNIČAR, B. (1984): Mineraloško-petrografska istraživanja rožnjačkih i kvarcnih sedimenata planine Svilaje i jugozapadnih padina Dinare.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

ŠĆAVNIČAR, B. (1985): Mikroskopske analize uzoraka kvarcnih i karbonatnih stijena iz bušotina i raskopa ležišta Glavica-Koljani.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

ŠĆAVNIČAR S. (1982): Rendgenske analize mineralnog sastava uzoraka gline s lokaliteta Plana.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

ŠĆAVNIČAR, S. (1985): Rendgenografska analiza mineralnog sastava tri uzorka gline Gornje Maovice.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

ŠUŠNJARA, A. & SAKAČ, K. (1984): Geološka istraživanja rožnjaka i kvarca Svilaje i zapadnog podnožja Dinare.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

ŠUŠNJARA, A. & SAKAČ, K. (1985): Geološka građa područja Maovice-Štikovo s nalazištima montmorilonitskih glina i rožnjaka.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

ŠUŠNJARA, A. et al. (1985): Elaborat o geološkim istraživanjima i rudnim rezervama ležišta kvarca "Glavica" u Koljanima.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

VRSALOVIĆ-CAREVIĆ, I. (1969): Istraživanje silicijskih sedimenata u Srednjoj Dalmaciji.- Fond struč. dokum. Inst. geol. istraž., Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	327 - 330	ZAGREB 1995

Numeričko-taksonomska klasifikacija metakarpalnih kostiju Mc I vrste *Ursus spelaeus* iz naslaga spilje Vindije

Nevenka **KRKLEC**

Key words: Mc I Metacarpal bones, Numerical taxonomy, Classification, Dendrograms, *Ursus spelaeus*

Abstract

Metapodial bones of the cave bear are predominant, beside teeth, in the reach Pleistocene fauna in the strata of the Vindija cave. 8267 well preserved metapodial bones have been found in all strata. Due to the quantity of fossils material, multivariable methods, numerical taxonomy in particular, have been used together with descriptive statistics. The morphometrical investigation of metapodial bones show the most evident changes in the size of the cave beer in the Mc I metacarpal bones.

The morphological and metrical differences within individual strata are very small. Generally speaking, the measured material is highly heterogeneous. According to DRIESCH (1976), nine variables have been measured on 294 Mc I metacarpal bones. This is the first paper based on all measured variables. The cluster analysis, Q-mod, with correlation coefficients and UPGMA classification method were used. The obtained results are plotted in dendrograms.

The numerical taxonomic classification clearly shows that the Mc I metacarpal bones are grouped in two taphodems, the first being the taphodeme from the Middle Pleistocene M, L and K strata. The second one is from the younger Upper Pleistocene J, I, H, G, F, E, and D strata.

UVOD

Posljednih desetak godina morfogenetska su proučavanja zubi spiljskih medvjeda ukazala na brze mikroevolucijske promjene koje posredno ukazuju na starost proučavane tafodeme (RABEDER, 1989). Uz očitu pretpostavku da mikroevolucijom nije zahvaćen samo vidan relativni element novija su istraživanja obuhvatila postkranijalni skelet ove najbrojnije gornjopleistocenske vrste i njegovih predaka (*U. deningeri*).

Brojnost materijala uz poznate relativne stratigrafske odnose nalazišta, pokazala je da je za takva istraživanja najpogodniji fosilni fundus spilje Vindije kod Donje Voće (sjeverno zapadna Hrvatska). Morfometrijske i morfogenetske analize zuba medvjeda iz tog lokaliteta ukazale su na porast broja evuluiranijih morfotipova u mladim, odnosno veći broj manjih i primitivnijih morfotipova u starijim naslagama, odnosno prijelazni varijetet (podvrstu) *Ursus spelaeus* ssp. u razvojnom nizu *Ursus deningeri* - *Ursus spelaeus* (PAUNOVIĆ, 1988).

NALAZIŠTE

U spilji Vindiji kvartarni su sedimenti taloženi od srednjeg (kompleksi naslaga N - L), do gornjeg pleistocena (kompleksi naslaga K - D) i holocena (C - A). Radiometrijski su datirani: kompleks K 114.000 god. (U - serija, Institut für Kernphysik, Beč), sloj G3 42.400 ± 4300 god. (Amino-kiseline, Frankfurt), sloj G1 33.000 ± 400 god. (ETH - Zürich), sloj $F_{d/d}$ 26.600 ± 900 god. (R. Bošković, Zagreb), sloj E 28.500 ± 300 god. (R. Bošković, Zagreb), sloj C 4929 ± 134 god. (R. Bošković, Zagreb).

Fosilni su medvjedi pronađeni u svim slojevima s dominacijom oko 90% u cjelokupnoj kvartarnoj fauni. Preliminarnim je određivanjem u najstarijim slojevima (M - K) određena vrsta *U. deningeri*, odnosno *U. spelaeus* za gornjopleistocenske naslage (MALEZ, 1983). Kasnija suproučavanja medvjeđih zuba ukazala su da se kod srednjepleistocenskih (kompleksi naslaga M - K) najvjerojatni radi o prijelaznom obliku (podvrsta - varijetet) *U. spelaeus* ssp. (PAUNOVIĆ, 1988). Ta je pretpostavka uvjetovala morfometrijsku i morfogenetsku obradu postkranijalnog skeleta tj. metapodnih kostiju.

METODE

Klasičnim paleontološkim metodama utvrđena je morfološka uniformnost uz neznatne promjene koje mogu biti izraz individualnih transformacija, a ne promjena koja zahvaćaju cjelokupnu populaciju (tafodemu). Veličina proučavanog uzorka (8267 komada) ukazala je na potrebu statističke obrade mjerenih parametara svake pojedine metapodne kosti. Naime, dosada je, uobičajena paleontološka statistika obuhvaćala izračunavanje tzv. indeksa robustnosti za

Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska.

koji se smatralo da je najindikativniji za razlikovanje deningerija od speleusa (CHAGNEAU, 1985; BALLESIO, 1983; ARGAND, 1991). Međutim, današnje mogućnosti (sve brži razvoj statističkih programa za kompjutersku obradu i na polju paleontologije) pružaju mnogo bolje uvjete za obradu materijala.

Najpogodnija se za obradu vindijskog materijala pokazala numerička taksonomija koju će biti moguće primijeniti i na druge lokalitete kojima uz brojnost materijala interpretaciju otežava nepoznavanje pripadnosti određenoj stratigrafskoj jedinici.

Od ukupnog uzorka (8267) dobro očuvanih metapodnih kostiju, u ovom su radu kao primjer prikazani rezultati obrade 294 prve metakarpalne kosti Mc I. Za razliku od prije spomenute metode, u obzir je uzeto svih 9 parametara, mjerenih prema DRIESCH (1976). Mjerenja su ukazala na heterogenost materijala naročito u dužini i širini distalne zglobne plohe, pa je primijenjena numerička taksonomija koja se koristi za određivanje sličnosti ili različitosti između taksonomskih jedinica tj. fosilnih grupa (programski paket NTSYS - ROHLF, 1992).

Podaci mjerenja uređeni su u obliku n x t matrica. Uz svaku signuiranu kost koja predstavlja operacijsku taksonomsku jedinicu ili OTU, u matrici je naznačena i pripadnost sloju čiji su podaci smješteni u kolonama matrice.

Metrijske vrijednosti za svaku kost nalaze se u devet redova i predstavljaju varijable. Kontinuirane vrijednosti varijabli standardizirane su "Z-score" metodom.

Kvantitativnu sličnost između fosilnih ostataka pokazuje numerička vrijednost izračunata na temelju svih varijabli istovremeno upotrebom Q tehnike. Za utvrđivanje sličnosti primijenjen je produkt - moment koeficijent korelacije. Rezultat primjene viševarijantnog koeficijenta korelacije na standardiziranu matricu podataka je matrica koeficijenata korelacije koja predstavlja ulaznu informaciju za cluster analizu. Cluster analiza primarno neklasificirane OTU-e svrstava u grupe tako da je svaka grupa homogena i razlikuje se od ostalih grupa. Primijenjeno je SAHN - hijerarhijsko klasteriranje koje izabire najsličnije OTU-e na prvoj razini klasifikacije i postupno (hijerarhijski) pripaja slijedeći najsličniji OTU na slijedećoj razini, sve do završno jedne grupe, odnosno do matrice 2 x 2.

Za testiranje dobivenih rezultata korišten je kofenetski koeficijent korelacije. Rezultat numeričko-taksomske klasifikacije prikazan je grafički dendrogramom. Budući da bi grafički prikaz klasifikacije svih 294 kostiju zbog veličine bio neprikladan, ulazna matrica podataka je reducirana upotrebom Monte Carlo simulacije na 50 slučajno izabranih kostiju. Zbog usporedbe provedena je numerička taksonomija na dvije ulazne matrice podataka.

INTERPRETACIJA

Metrijske razlike veličina pojedinih varijabli minimalne su unutar pojedinih slojeva. Provedena numerička taksonomija metakarpalnih kostiju Mc I iz svih slojeva spilje Vindije klasificirala je fosilne ostatke u dvije odvojene grupe. Prva grupa obuhvaća sve kosti iz starijih slojeva M, L i K, dok se u drugoj grupi nalaze sve kosti iz slojeva J, I, H, G, F, E i D. Rezultati klasifikacije slučajno izabranih metakarpalnih kostiju prikazani su dendrogramom A i B na slici 1 i 2.

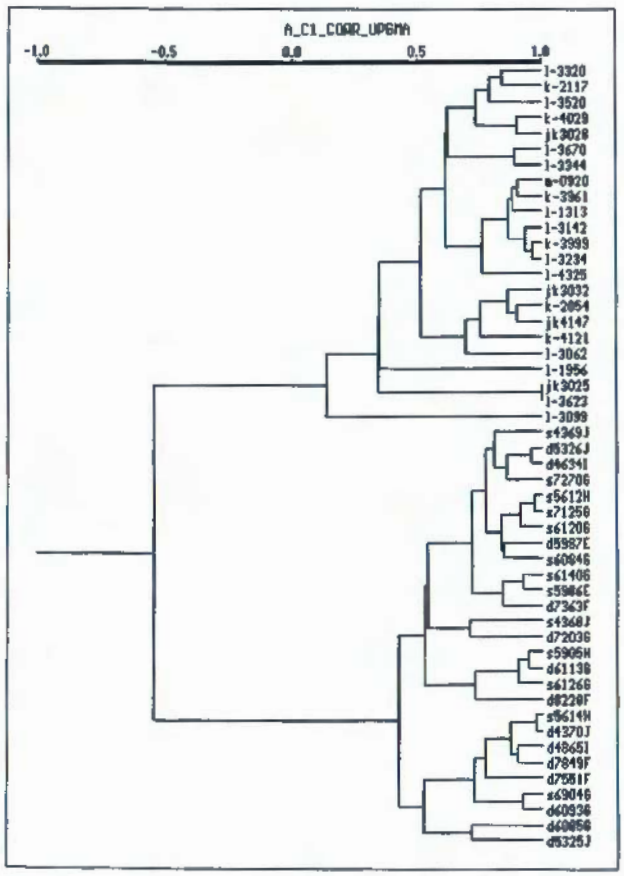
Na dendrogramu A prikazana je klasifikacija 23 kostiju iz naslaga M, L i K i 27 kostiju iz naslaga J, I, H, G, F, E i D. Jasno je izraženo grupiranje svih kostiju iz slojeva M, L i K u jednu grupu, dok su u drugoj grupi obuhvaćene sve kosti mlađih slojeva. Razina na kojoj se grupe spajaju je negativna i niska, iznosi - 0.54 čime se ukazuje njihova različitost. Iz dendrograma je vidljivo da nema miješanja fosilnih ostataka iz slojeva M, L i K s mlađim, već su oni oštro odijeljeni.

Dendrogram B prikazuje klasifikaciju 22 kosti iz naslaga M, L i K i 28 kostiju iz mlađih naslaga. Prve metakarpalne kosti iz naslaga M, L i K klasificirane su u prvu grupu osim uzorka oznake m-0960 koji je uključen u drugu grupu. Razlog je vjerojatno u nemogućnosti mjerenja varijabli. Kosti iz naslaga M, L i K klasificirane su u šest podgrupa spojenih na razinu 0.40. Prva i druga grupa u dendrogramu 2 pokazuju numeričku različitost na temelju niske i negativne razine spajanja od -0.50.

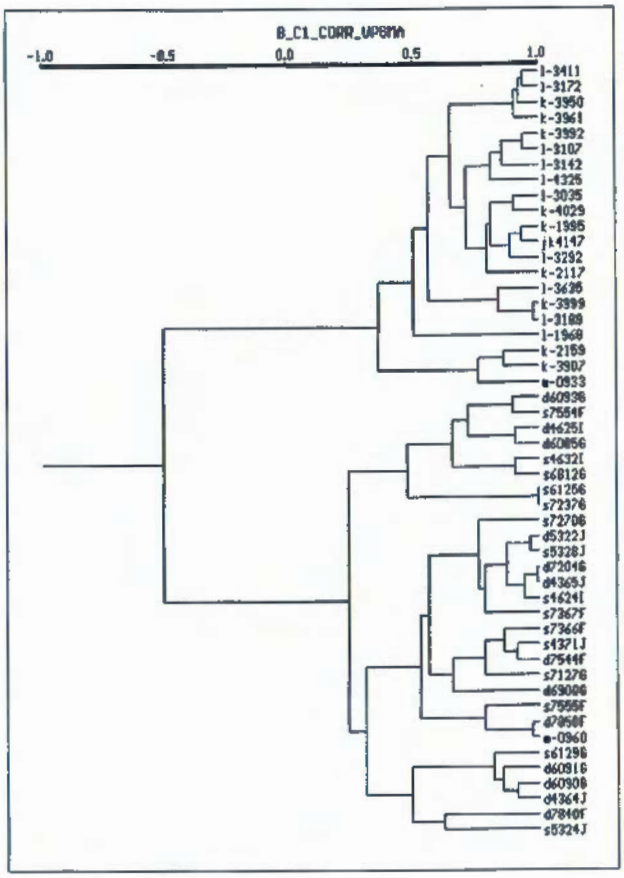
Metrijske razlike između metakarpalnih kostiju Mc I razultirale su u klasifikaciji ostataka iz naslaga M, L i K u jednu grupu i klasifikaciji ostataka iz naslaga J, I, H, G, F, E i D u drugu grupu. Očito između ovih dviju grupa naslaga postoji oštra granica u metrijskim veličinama zbog čega se one i numerički razlikuju. Standardne statističke metode pokazuju minimalne razlike unutar ispitanog materijala, dok je primjena viševarijantne numeričko-taksonomske metode pokazala svrhovitost za determinaciju kostiju koje ne nose karakteristične oznake vrste. Provedena numeričko-taksonomska klasifikacija metakarpalnih kostiju Mc I ukazuje na grupiranje fosilnih ostataka u dvije grupe. Uz poznavanje pripadnosti svake kosti sloju iz kojeg potječe, potvrđuje se pretpostavka o postojanju dviju tafodema spiljskog medvjeda.

ZAKLJUČAK

Metapodne su kosti uz zube najbrojniji fosilni materijal u nalazištima spiljskog medvjeda. Morfometrijska istraživanja 8267 dobro očuvanih metapodnih kostiju iz profila naslaga spilje Vindije ukazala su na najizraženije promjene veličina na metakarpalnim kostima Mc I. Mjereni je materijal heterogen iako su metrijske razlike unutar pojedinih slojeva minimalne. Na svakoj metakarpalnoj kosti Mc I



Sl. 1 Dendrogram A za prve metakarpalne kosti Mc I: k - 4029 prva metakarpalna kost iz sloja K; s 5905H lijeva prva metakarpalna kost iz sloja H.



Sl. 2 Dendrogram B za prve metakarpalne kosti Mc I: k - 4029 prva metakarpalna kost iz sloja K; s 5905H lijeva prva metakarpalna kost iz sloja H.

mjereno je devet veličina prema DRIESCH (1976), te je ovo prvi rad temeljen na podacima mjerenja svih varijabli jedne kosti.

U literaturi ove su kosti obrađene daleko rjeđe (KUNST, 1992) i najčešće su služile samo za iskazivanje metrijskih veličina kojima su se uspoređivale fosilne populacije različitih nalazišta (CHAGNEAU, 1985; BELLESIO, 1983; ARGANT, 1991 i dr.).

Numeričko-taksonomska klasifikacija 294 metakarpalnih kostiju Mc I iz deset naslaga spilje Vindije grupirala je fosilne ostatke u dvije grupe. Jednu grupu predstavljaju fosilni ostaci koji potječu iz naslaga M, L i K, a drugu ostaci iz J, I, H, G, F, E i D naslaga. Takva klasifikacija fosilnih ostataka podudara se s rezultatima morfometrijskih i morfogenetskih proučavanja zubi (PAUNOVIĆ, 1988) prema kojem je u M, L i K naslagama ustanovljen varijetet s većim postotkom deningeroidnih karakteristika i označen kao *Ursus spelaeus* ssp., a u mlađim gornjopleistocenskim naslagama utvrđen je tipični spiljski medvjed *Ursus spelaeus*.

LITERATURA

ARGANT, A. (1991): Carnivores quaternaires de Bourgogne.- Docum. Lab. Geol. Lyon, 115, 301, Lyon.

BALLESIO, R. (1983): Le gisement pléistocène supérieur de la grotte de Jaurnes à Nespouls, Corrèze, France.- Nouv. Arch. Mus. Hist. nat. Lyon, 21, 9-43.

CHAGNEAU, J. (1985): Contribution à l' étude des os des extremités des pattes d' Ursus deningeri romeviensis. Comparasion avec Ursus arctos et Ursus spelaeus.- Bull. Soc. Anthrop. S. O., 20/2-3, 61-107, Bordeaux.

DRIESCH, A. (1976): Das Vermessen von Tierknochen aus Vor und Frühgeschichtlichen Siedlungen.- Inst. Paläoanat. Domestikationsf. Gesch. Tiermedizin. Univ. München, 1-89, München.

KUNST, K.G. (1992): Hoch und spätglaziale Grobsaugetierreste aus dem Nixloch bei Losenstein-Ternberg (O.Ö.).- Mitt. Komm. Quartärforsch., 8, 83-127, Wien.

MALEZ, M. & RUKAVINA, D. (1979): Položaj naslaga spilje Vindije u sustavu članjenja kvartara šireg područja Alpa (Lage der Hohlenbelagerungen von Vindija im System der quartaren Vollgliederung des Alpengebietes).- Rad Jugosl. akad. znan. umjet., 383, 187-218, Zagreb.

MALEZ, M., ŠIMUNIĆ, An. & ŠIMUNIĆ, Al. (1984): Geološki, sedimentološki i paleoklimatski odnosi spilje Vindije i bliže okolice (Geologische, sedimentologische, und paläoklimatische Verhältnisse der Höhle Vindija und der näheren Umgebung).- Rad Jugosl. akad. znan. umjet., 411, 231-264, Zagreb.

MALEZ, M. (1983): Razvoj kvartara, fosilnog čovjeka i njegovih materijalnih kultura na tlu sjeverne Hrvatske.- Varaždinski zbornik 1181-1981, 129-144, Varaždin.

PAUNOVIĆ, M. (1988): Morphometrische und morphogenetische Untersuchungen der Ursidenzahne aus den Höhlen Nordwestkroatiens.- Palaeont. Jugosl., 36, 1-40, Zagreb.

ROHLF, F.J. (1992): NTSYS-pc. Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System.- Exeter Software, New York.

SNEATH, P.H.A. & SOKAL, R.R. (1973): Numerical Taxonomy.- W. H. Freeman and comp., San Francisco, 574p.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	331 - 335	ZAGREB 1995

Ugljenonosni bazeni Republike Hrvatske

Boris **KRUK**, Boris **LUKŠIĆ**, Anto **GABRIĆ**, Željko **KASTMÜLLER** & Vili **PENCINGER**

Ključne riječi: ugljen, Hrvatska

Sažetak

Uvodni dio sadrži opći prikaz ugljenonosnosti geoloških formacija s kratkim osvrtom na pojave ugljena koje nemaju gospodarsko značenje. Na kraju uvodnoga dijela slijedi kratki prikaz genetskih značajki ugljena u Hrvatskoj.

Nadalje se opisuju važniji ugljeni bazeni. Obrađuju se u smislu stratigrafskih, strukturnih, paleogeografskih i drugih značajki, te u svjetlu kakvoće ugljena.

Na kraju se daje ocjena perspektivnosti područja za buduća istraživanja ugljena, kako za potrebe pronalaženja novih rezervi, tako i za rješavanje geološko-znanstvenih problema bitnih za prognoziranje područja s potencijalnim ležištima ugljena.

1. UVOD

Prostor Republike Hrvatske zahvaća južni i jugozapadni dio prostrane Panonske nizine i gorski sustav Dinarida. Međuprostor spomenutih geomorfostrukturnih cjelina u okviru Hrvatske smatra se peripanonskim područjem u kojemu prevladavaju blago razvijena pobrda uz nizinske i aluvijalne ravnice rijeka. U Međimurju i Hrvatskom zagorju razvijene gorice i blage uzvisine predstavljaju također peripanonsko područje kao prijelaz iz Panonske nizine u istočni dio alpskog gorskog sustava u Sloveniji. Panonska nizina u Hrvatskoj nije posvuda izrazita ravnica, nego je isprekidana relativno manjim planinskim skupinama ili usamljenim gorama. To je važno zbog toga jer su se njihovim izdizanjem pojavili na površini ugljeni slojevi koji su u ravničarskom dijelu oko njih u području spuštanja duboko potonuli. Pojave i ležišta ugljena različite geološke starosti, različitih debljina slojeva i različitih kemijskih i fizikalnih svojstava nalazimo u svim spomenutim područjima, ali ekonomski vrijedne naslage ugljena eksploatirane na više od stotinjak lokacija prisutne su samo u ugljenonosnim bazenima tercijara, odnosno paleogena i neogena (Sl. 1). Najbogatija su ležišta gornjeg miocena i pliocena čije se rezerve mogu procijeniti na više stotina milijuna tona, pri čemu je od toga već više od 150 milijuna tona dokazano na nivou $A+B+C_1$ kategorije bilančnih rezervi.

2. UGLJENONOSNOST GEOLOŠKIH FORMACIJA

Geološke formacije koje su razvijene na području Hrvatske su u pogledu ugljenonosnosti vrlo različite. Većina ih uopće ne sadrži ugljena ležišta. Pojave kamenog ugljena paleozoika i mezozoika u obliku tankih proslojaka i slojeva debljina od nekoliko centimetara, lokalno i nešto više, nalazimo samo u gornjokarbonskoj formaciji u okolini Gospića te u trijasu sjeverno od Krašića na Žumberku.

U najstarijem dijelu paleogena, za vrijeme trajanja paleocena, stvoreno je nekada najbogatije ležište kamenoga ugljena u RH - Raša, gdje su nosioci ugljena naslage nastale kao posljedica paleocenske transgresije na okršeno kopno izdignuto u okviru alpske orogeneze, odnosno subhercinske i laramijske orogenetske faze.

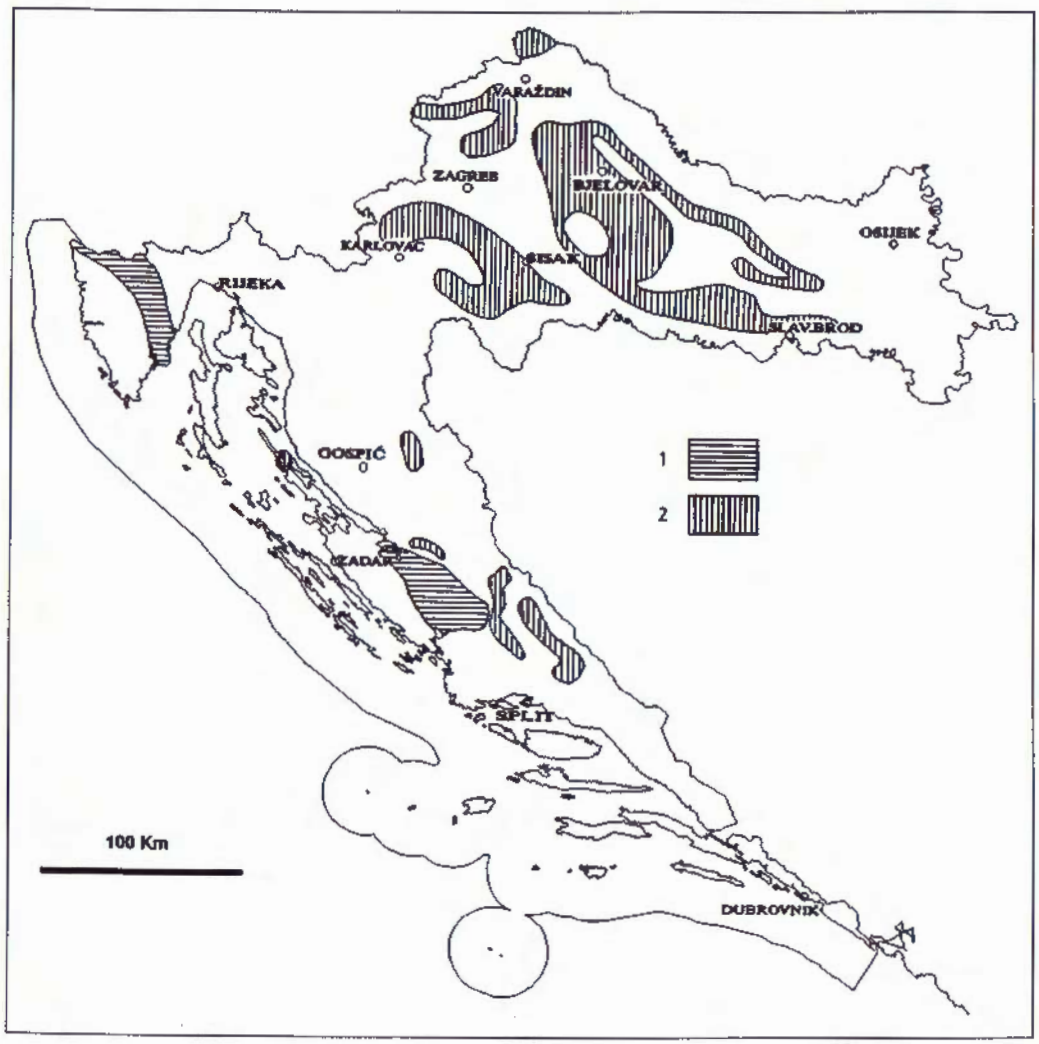
Na prijelazu iz eocena u oligocen na području Dalmacije nastaju unutar transgresivnih molasnih sedimenata prominskih naslaga, na rubovima nemirne marinske sredine, smeđi ugljeni uloženi u slojeve i/ili leće lapora.

U donjem miocenu nastala su u savskoj orogenetskoj fazi ležišta smeđeg ugljena u sjeverozapadnoj i zapadnoj Hrvatskoj, u Hrvatskom Zagorju (Pregrada, Krapina, Golubovec, Zajezda, Ivanopolje) i jedino ležište takovoga ugljena u Slavoniji - Ratkovica.

U gornjem miocenu tektonskim pokretima uzrokovanim atičkom i rodanskom orogenetskom fazom, formiraju se bazeni sa sedimentacijom treseta. U gornjem panonu nastali su ligniti Ivanečko-Ladanjskog bazena, a u gornjem pontu ligniti Međimurskog i Konjščinskog bazena. Nalazimo ih i u Križevačko-koprivničkom području, na sjevernom i južnom krilu Bilogore, te u području Pokuplja, Banovine i Korduna, ali nemaju većeg gospodarskog značaja.

U pliocenu su, prilikom povlačenja jezerskih bazena prema istoku kada su taložene paludinske naslage, nastala također neka veća ležišta lignita u Posavini središnje i istočne Hrvatske (Vukomeričke gorice i potez Kutina-Slavonski Brod).

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



Sl. 1. Područja ugljenonosnih bazena u Hrvatskoj: 1) Paleogenski ugljenonosni bazeni; 2) Neogenski ugljenonosni bazeni.

Fig. 1. Areas with coal-bearing basins in Croatia: 1) Paleogene coal-bearing basins; 2) Neogene coal-bearing basins.

3. GENETSKE ZNAČAJKE STVARANJA UGLJENA U HRVATSKOJ

Slojevi ugljena koje nalazimo u različitim ugljenonosnim bazenima diljem Hrvatske uglavnom se mogu uvrstiti u humusne ugljene nastale od celulozno-ligninskog tkiva viših organiziranih biljaka (trave, šaševi, trske, listopadno i četinjasto drveće, itd.). Procesima potresećivanja, dijageneze i metamorfizma, biljno je tkivo pretvoreno u humusne kiseline i konačno u neutralnu humusnu tvar - ugljen. U pravilu, humusni ugljeni imaju nizak postotni sadržaj vodika - do 60%, a dosta hlapivih sastojaka (do 60%). U Hrvatskoj nalazimo lignit, te smeđi i kameni ugljen.

S obzirom na okoliš u kojem su nastali razlikujemo paralički i limnički tip ugljena. Međutim, bilo da su limnički ili paralički, većina ležišta ugljena nastala je in situ (autohtona ležišta) ili iz organskih ostataka koji su unutar bazena doplavljeni u položaj gdje je konačno iz njih nastao treset (hipoautohtona ležišta), a manji dio pretaložavanjem već nastalog ugljena (alohtona ležišta).

4. UGLJENONOSNI BAZENI DINARSKOG POJASA

Paleocenski bazen Istre

Tercijarni paleogenski bazen s kamenim ugljenom kozinskih naslaga paleocenske starosti, u području Tupljaka, Podlabina, Raše i Koromačnog, gdje su kozinske naslage i najrazvijenije (80-120 m), sadrži na desetine ugljenih slojeva, no s obzirom na njihov ekonomski značaj mogu se razlikovati 3 grupe slojeva (TAKŠIĆ, 1958): a) Skupina "**krednih**" slojeva, b) Skupina "**srednjih**" slojeva i c) Skupina "**krovinskih**" slojeva. Slojevi su jako promjenljjive debljine, a od ekomonskog značaja su samo oni iz skupine tzv. krednih slojeva i samo neki iz skupine srednjih slojeva. Kameni ugljeni Istre su autohtoni, a pripadaju paraličkom, humusno-sapropelitnom tipu. Sadrže 2-3% vlage, 10-15% pepela i 9-11% sumpora. Donja ogrijevna moć im se kreće između 27.000 i 29.500 kJ/kg.

Eocensko-oligocenski bazen Dalmacije

U peridodu srednji eocen - donji oligocen stvaraju se u području Dalmacije tzv. prominske naslage koje u sebi nose slojeve ugljena. Leže na naslagama krede i starijeg paleogena. Ugljenonosni sedimenti se sastoje od izmjene više zona komglomerata i lapora s čestim pojavama ugljena. Ležišta nalazimo u području Siverića, Petrovca, Velušića, Krstančuše, Kljaka, Biovičina sela, Širitovaca i Dubravica. Pojavljuju se dva tipa ugljena. Jednom tipu ugljena pripadaju smeđi ugljeni iz skupine sjajnih i tvrdih humusnih ugljena donje kalorične vrijednosti redovito iznad 15.000 kJ/kg, s 3-10% grube vlage, 9-16% higroskopne vlage, 12-22% pepela i 5.3 do 6.6% ukupnog sumpora, od čega 3.69 do 4.21% gorivog sumpora. Drugom tipu ugljena pripadaju tzv. čadavci sa znatno nižom kaloričnom vrijednošću (8.360-12.500 kJ/kg) i s maksimalno do 14.4% higroskopske vlage i oko 50% pepela. Razvijeni su samo u ležištima rudnika Siverić. Naziv su dobili po tome što kod sagorijevanja stvaraju velike količine dima, sumpora i pepela.

Neogenski (miocenski) ugljenonosni bazeni Dalmacije i Like

Nalazimo ih očuvane u krškim poljima i riječnim dolinama. To su Sinjsko polje s dolinom rijeke Cetine, Petrovo, Vrličko, Cetinsko (Paško), Kosovo, Kninsko, Žegarsko i Krbavsko polje te na otoku Pagu kod Kolana i uvale Caske. Neogenski ugljeni Dalmacije pripadaju lignitu. Kalorična vrijednost im je 10.470-12.560 kJ/kg. Skloni su samozapaljenju, a mjestimično su radioaktivni. Redovito se u produktivnoj seriji ugljen pojavljuje u više slojeva odijeljenih laporima i glinama. Mogu biti znatne debljine. Npr. u Ruduši debljina glavnog ugljenog sloja sa jalovim uloščima iznosi oko 30 m, u Potravlju cca 17 m.

5. UGLJENONOSNI BAZENI PANONSKOG POJASA

OLIGOMIOCENSKI UGLJENONOSNI BAZENI

Nakon odvajanja Panonskog područja od Vanjskih Dinarida i početka stvaranja Paratethysa sredinom oligocena, na kraju oligocena u području središnje i sjeverne Hrvatske pod utjecajem Savske orogenetske faze nakon jake erozije počinje transgresija i stvaranje limničko-marinskog sedimentacijskog prostora. Oligomiocenske sedimente s pojavama i ležištima ugljena nalazimo u Hrvatskom Zagorju i Banovini.

Područje Hrvatskog Zagorja

Nosioci sjajnog smeđeg ugljena po starosti pripadaju egeru, a po litostratigrafskoj podjeli pripadaju tzv. Socka slojevima. Ugljeni slojevi uloženi su u sedimente koji se nalaze na konglomeratima i brečama, a sastoje se uglavnom od sitno zrnastih tinjčastih pješčenjaka i pjeskovitih glina, te sporedno pijesaka i pjeskovitih lapora.

U Hrvatskom Zagorju tvore dvije usporedne i uske zone: sjevernu zonu - od Malog Tabora do Beletinca i južnu zonu - od Pregrade na Kalnik. Debljina ugljenih slojeva u prosjeku iznosi oko 1.15 m, vrlo rijetko 2.00 m. Najveće zadebljanje iznosilo je mjestimično 10 m (ugljenokop ZAJEZDA). Tektonske prilike su vrlo komplicirane, zbog toga što su u nekoliko mahova bile podvrgnute intenzivnoj tangencijalnoj i radijalnoj tektonskoj djelatnosti, kada su intenzivno borani i razbijani u veće ili manje blokove, više ili manje izdignute jedne prema drugima. Ugljeni su paraličkog tipa, a sadrže do 20% vlage, 10-30% pepela, oko 5% sumpora, a donja ogrijevna moć se kreće od 14.650 do 20.100 kJ/kg.

Područje Banovine

U Banovini su poznate dvije pojave ugljena. To su Buzeta-Vrtline i Lovča. FILJAK (1952) pretpostavlja oligocensku starost i klasificira ih kao mlađe kamene ugljene, a TAKŠIĆ & GABRIĆ (1978) pretpostavljaju oligomiocensku starost i navode da se radi o humusnim sjajnim smeđim ugljenima, te smatraju da su zbog velike količine pepela opisana ležišta alohtona.

UGLJENONOSNI BAZENI DONJEG MIOCENA

Područje Slavonije

Nosioci sjajnog smeđeg ugljena u Slavoniji su naslage taložene za vrijeme helveta odnosno otnanga(?) u području Požeške gore, te karpata u području Krndije. Ugljenonosna serija u Požeškoj gori leži na bazalnim brečama i konglomeratima, a sastoji se od naslaga pijesaka te u najvišem dijelu od pjeskovitih lapora i glina s mjestimično uloženim slojevima i lećama ugljena. U području Krndije je situacija slična, a u sedimentima se nalaze još tufovi i tufiti. Naslage su tektonski vrlo poremećene, a ugljeni slojevi ili leće su vrlo nestalne debljine. Smeđi ugljen ozbiljnije je iskopavan na području zvanom Majdan ("Ratkovica"). Debljina mu je bila prosječno 4.00 m. Teškoće pri radovima na iskorištavanju uzrokovalo je snažno bujanje glina, a jedna od neugodnih svojstava ugljena bila je sklonost samozapaljenju, što je dovodilo do jamskih požara. Spominje se da je ugljen iskorištavan i na sjevernim obroncima Požeške gore južno od Nurkovca i Požeškog Brestovca.

Područje Pokuplja

Između Vrginmosta i Lasinje, na području sela Stipan prisutni su ugljenonosni sedimenti helveta (otnanga). U bazi tih sedimenata nalaze se konglomerati, pješčenjaci, tufitične gline i tufovi. Nakon horizonta s tufom sedimentirana je slatkovodna ugljenonosna serija. Unutar glina javljaju se slojevi ugljena debljine 1.5 do 2.0 m. Prosječna donja ogrijevna moć je 6240 kJ/kg s ukupnom vlagom od 48% i sadržajem pepela 21%. Sadržaj ukupnog sumpora kreće se od 2 do 5%.

UGLJENONOSNI BAZENI GORNJEG MIOCENA

Područje Ivanečko-Ladanjskog bazena u Hrvatskom Zagorju

Bazen leži između Ivanščice i gora Macelja i Kolosa. Sastoji se od brakično-slatkovodnih naslaga gornjeg panona: pijesaka, glina, glinovitih lapora, te ugljenih slojeva uloženih u sedimente u gornjem dijelu serije. Slojevi koji su iskorištavani bili su debljine najčešće 5 do 6m. Kakvoća ugljena je dobra i ujednačena. Sadrže do 38% vlage, pepela 16%, sumpora 1% do 2%, a donja ogrijevna moć im se kreće od 11.720 do 12.560 kJ/kg.

Područje Međimurskog bazena

Smeđe-lignitni ugljeni uloženi su u pretežno pjeskovite kaspibrakične sedimente romboidejske starosti. Vezani su za Ormoško-selničku antiklinalu, odnosno Međimurske gorice koje periklinalno okružuju. Od tridesetak, uglavnom blago nagnutih, gotovo paralelnih ugljenih slojeva od kojih je većina prošarana jalovim uloščima, svega tri imaju eksploatabilnu debljinu (najviše 2m do 3m). Donja ogrijevna moć ugljena dostiže 17.000 kJ/kg. Prosječni sadržaj vlage je 30%, pepela 14 % i uk. sumpora 2%.

Područje Konjščinjske sinklinale

U đolini rijeke Krapine lignitonosne naslage iste su starosti i sličnog litološkog sastava kao i one u Međimurju. Područje predstavlja brahisinklinalu s blago nagnutim rubovima. Prisutno je više od 16 slojeva lignita, a najveća debljina registrirana je na lokalitetu Poljanica-Sušobreg 11m. Donja ogrijevna moć lignita rijetko prelazi 9.000 kJ/kg. Sadržaj vlage dostiže i više od 50%, a pepela 40%. Ukupni sumpor obično se kreće od 1 do 2%.

Područje Koprivničko-Križevačko-Bilogorskog bazena

Između Kalnika i rijeke Drave, istočno od Varaždina, te na južnim i sjevernim padinama Bilogore (relativno uzdignuti prostor između Savske i Dravske potoline) u nepovezanom slijedu poznato je niz lokaliteta sa slojevima lignita unutar romboidejskih naslaga. Ponegdje ima i desetak slojeva, a debljina im je ponegdje 3.50 m, kada su najčešće prožeti jalovim proslojcima. Kakoća im je slična međimurskim ugljenima. Imaju malo nižu ogrijevnu moć (10.470 do 13.820 kJ/kg) i nešto niži sadržaj sumpora (do 1.5%).

Područje Pokuplja, Banovine i Korduna

Osnovna i bitna značajka je međusobna izoliranost i malena prostorna veličina ležišta bez neke posebne gospođarske vrijednosti. Slojevi ugljena su na manje više svim ležištima i nalazištima neujednačene debljine, jako onečišćeni i loše kvalitete (5.000 do 10.500 kJ/kg). Najčešće su prisutna jedan do dva sloja debljine od 1 do 2m. Deblji ugljeni slojevi redovito su raslojeni u niz tanjih ploča. Tako je npr. u Petrovini sloj debeo 18m bio toliko raslojen da pojedinačna debljina ploča nije prelazila 2m, a ogrijevna moć iznosila je samo 5.240 kJ/kg.

PLIOCENSKI UGLJENONOSNI BAZENI

Pliocenske limničke lignite nalazimo uložene u paludinskim naslagama koje se rasprostiru od Slavonskog Broda, sjevernim rubom Savske potoline, do južnih obronaka Moslavačke gore, prelazeći na Vukomeričke gorice. Njihove glavne značajke su nestalna debljina, česta raslojavanja debljega sloja u tanje ploče ili obrnuto, stapanje tanjih ploča ugljena u deblji sloj, te velika učestalost jalovih, pretežno glinovitih uložaka u slojevima. Od utvrđenih 6 (Zapadna Slavonija), odnosno 4 sloja (Vukomeričke gorice) eksploatiran je jedan i/ili dva sloja. Ponegdje su slojevi bili homogeni, a debljina se kretala od 1 do 4m. Donja ogrijevna moć kreće im se najčešće od 8.400 do 10.500 kJ/kg, vlaga od 40% do 50%, a pepel od 5% do 15%. Sadržaj sumpora dostiže 1%, iznimno 2.25%.

6. OSVRT NA PERSPEKTIVE UGLJENA U HRVATSKOJ

Interes za geološka istraživanja ugljenonosnih naslaga i eksploataciju ugljena, danas kao i ranije, neposredno ovisi o političkim i gospodarskim prilikama (smjenjivanje ratnih i mirnodopskih perioda, državni ili privatni status "investitora", situacija na svjetskom tržištu i dr.). Uz ostalo, to je rezultiralo i značajnim razlikama u stupnju istraženosti pojava i ležišta ugljena, kao i mogućnoj primjeni. U gospodarskom smislu, pojave ugljena paleozojske i mezozojske starosti zbog malog broja pojava, tankih i tektonski poremećenih ugljenih slojeva, praktički su bez značaja. Slična se procjena pridaje i nekim ugljenima tercijarne starosti. Sadašnja eksploatacija, kao i geološka istraživanja koja su im prethodila, vezana je za paleocenski kameni ugljen u Istri, te samo nekoliko manjih površinskih kopova lignita romboidejske starosti na području sjeverozapadne Hrvatske. Prvi se koristi kao energetska sirovina u termoelektrani Plomin i u nevelikim količinama za potrebe u domaćinstvu.

Čak i kao energetska sirovina, ugljen biva sve više potiskivan od, na našem, a i svjetskom tržištu, jeftine nafte i zemnog plina, negativnog ekološkog utjecaja, kao i izgradnjom novih hidroenergetskih objekata. Stoga je perspektiva korištenja ugljena vjerojatno veća kao petrokemijske sirovine, te u nizu tehnoloških procesa, koji još danas u nas nisu na nivou razvijenih zemalja. Istodobno, nužno je naglasiti da današnja saznanja o genezi, sastavu i količini ugljena, te montangeološkim prilikama naših ugljenonosnih područja u cjelini nisu dovoljna i zadovoljavajuća. S obzirom na rečeno i glede kretanja cijena ugljena na svjetskom tržištu u trenutku ovakove opće gospodarske situacije kakva je danas, perspektivna bi za daljnja istraživanja i eventualnu eksploataciju bila područja u kojima bi bilo

moguće pronaći nove rezerve ugljena koje se mogu eksploatirati površinski bez značajnog utjecaja na lokalni ekosistem. Prema tome, daljnja istraživanja trebala bi se usmjeriti na područja koja su izgrađena od ugljenonosnih naslaga gornjeg miocena i pliocena, a nemaju poseban turistički i agrokulturni značaj. Na kraju se mora spomenuti da je početak procesa definitivne valorizacije krutih energetskih resursa Republike Hrvatske već počeo izdvajanjem potencijalnih područja kroz izradu Karte mineralnih sirovina i prognozne karte Republike Hrvatske.

PREGLED KORIŠTENE LITERATURE

ANIĆ, D. (1953): Starost naslaga sa smeđim ugljenom u Bosni, Hercegovini i Dalmaciji.- Geol.vjesnik, 5-7.

FILJAK, R. (1952): Izvještaj o geološkim i tektonskim odnosima te pojavama mlađeg, sjajnog kamenog ugljena u Buzeti (Banija).- Zavod za geološka istraživanja - Zagreb, fond struč.dok.br. 2056, Zagreb.

KRANJEC, V. & PRELOGOVIĆ, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriji SR Hrvatske.- Geol.vjesnik, 27, 95-112.

KRUK, B. (1991): Ugljenonosne naslage ležišta "Lendava - Mursko Središće".- Magistarski rad, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

NIKLER, L. (1982): Značaj i karakteristike smeđih ugljena Dalmacije.- Geol.vjesnik, 35, 181-194.

ŠIKIĆ, D. (1953): O mogućnosti nalaska novih produktivnih ugljonosnih naslaga u Pazinskom bazenu Istre.- Geol. vjesnik, 5-7, Zagreb.

ŠIMUNIĆ, A. (1992): Geološki odnosi središnjeg dijela Hrvatskog Zagorja.- Disertacija, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 190p., Zagreb.

TAKŠIĆ, A. (1953): Pliocenske naslage okolice Novske i Nove Gradiške.- Geol. vjesnik, 5-7, Zagreb.

TAKŠIĆ, A. (1958): Mineralne sirovine Istre.- Zavod za geološka istraživanja, Zagreb, Fond stuč. dok. br. 3009, Zagreb.

TAKŠIĆ, A. (1967): Das braunkohlenlager von Mursko Središće.- Geol. vjesnik, 20, 303-315.

TAKŠIĆ, A. & GABRIĆ, A. (1978): Izvještaj o proučavanju ugljenonosnih struktura na interesnom području Elektroprivrede - Zagreb.- Geološki zavod - Zagreb, Fond struč. dok. br. 6872, Zagreb.

VUJEC, S. & SAPAČ, F. (1979): Studija - valorizacija istraženih i utvrđenih rezervi ugljena na području Elektroprivrede - Zagreb.- Zajednički elaborat Studije za 1979. godinu, Knjiga V, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	337 - 340	ZAGREB 1995

Geovizualizacija podataka i parametara o bušotinskim jezgrama i preparatima

Željko **KRUŠLIN**[1], Oleg **VOJVODIĆ**[2], Ivan **OPIĆ**[2] & Vjekoslav **BRITVIĆ**[1]

Ključne riječi: slikovna baza podataka, logiranje, GeoLog, analiza fondovske građe

Abstract

Postupci uzorkovanja, mjerenja, obrade, arhiviranja te distribucije prikupljenih podataka i informacija zauzimaju značajno mjesto u procesima geoloških istraživanja. Ispitivanjima svojstava i analizama sastava nad prikupljenim uzorcima, formira se fond numeričkih, tekstualnih i grafičkih podataka i informacija.

Suvremena strojna i programska sredstva automatske obrade podataka dovela su do značajnog napretka u postupcima prikupljanja, obrade i distribucije tekstualnih i grafičkih formi i sadržaja.

Ta mogućnost iskorištena je kao podloga u izradi modela slikovne baze podataka o uzorcima bušotinskih jezgara i iz njih izrađenih preparata. Pored slikovne baze podataka razvijen je programski alat, GeoGraph, za potrebe prostorne geovizualizacije grafičkog sadržaja o bušotinama, jezgrama i preparatima.

Na ovaj način podignut je stupanj uređenosti pristupa rješenju općeg problema geoloških istraživanja zasnovanog na prikupljanju, obradi i distribuciji grafičkih podataka i informacija.

UVOD

Tijekom procesa geološke obrade istražnog prostora koriste se različita pomagala u fazama prikupljanja, opisa, prikaza i distribucije podataka, te rezultata obrade. Na raspolaganju su različita metodološka pravila i dogovori, programski i strojni alati, standardi, legende i formulari. Primjenjenim istraživačkim tehnikama i alatima prikupljaju se signifikantni podaci o građi, odnosima, objektima, pojavama i procesima. Zadatak navedenih tehnika je u sustavnom prikupljanju i opisu predmeta istraživanja, kao i elimininiranju subjektivističkog pristupa istraživačkim procesima, kroz faze prikupljanja, obrade i distribucije podataka i informacija.

Podatke i rezultate istraživanja moguće je predstaviti tekstualno, numerički, grafički ili slikovno. Grafičko prezentiranje u geološkim istraživanjima ima posebno mjesto i ulogu. Iz širokog spektra korištenih grafičkih prikaza posebna se pažnja posvetila dijagramskom prikazu zavisnosti mjerenih podataka i odnosa sa dubinom ili vremenom. Ovaj način prikaza naziva se log, a tehnika logiranjem.

Da bismo došli do loga neophodno je prikupljene podatke pažljivo kompilirati radi jasne i potpune slike o objektu (bušotini, profilu, uzorku ili preparatu). Uvođenje log formulara ima za posljedicu standardizaciju opisa, smanjenje vremena opisa, ujednačavanje prikaza opisa različitih autora, prikaz podataka i informacija u vertikalnom slijedu, čitljivost podataka, vizualnu komparabilnost u daljnjim analizama, tematsko grupiranje podataka i dr. Sama tehnika logiranja nije do kraja standardizirana, što ima za posljedicu korištenje različito dizajniranih standarda, legendi i formulara.

U Službi istraživanja INA Istraživanja i proizvodnje nafte i plina, logiranje geoloških podataka je rutinski posao. U okviru aktivnosti na uvođenju AOP u geologiji postavljen je zahtjev za automatizacijom postupaka izrade i distribucije različitih log formulara, kao standardne metode procesa geološke obrade i prikaza podataka i odnosa u bušotini.

Tijekom realizacije poslova na kompjutorizaciji logiranja geoloških podataka i odnosa postavljen je niz zahtjeva kod digitalizacije podataka, uspostavljanja interaktivnog i s korisnikom ljubaznog rada, uspostavljanja i usvajanja metodologije rada i programskog alata, rješenja problema komuniciranja među krajnjim korisnicima i dr.

Navedenu problematiku bilo je moguće riješiti zahvaljujući angažiranju grupe autora na problemima geovizualizacije za potrebe Službe istraživanja. Tom prilikom usvojen je niz originalnih rješenja, kao na primjer: formiranje opće i tematske baze podataka, formiranje odgovarajućih podloga, kodiranju i simbolizaciji pojmova, uspostavljanju Rječnika kodiranih i vizualiziranih pojmova, ažuriranju odgovarajućih prikaza i podloga, uspostavljanju tematski ljubaznog i interaktivnog rada korisnika i programa, te uspostavljanju i korištenju programa GeoLog kao alata i dr.

[1]INA - Istraživanje i proizvodnja nafte i plina, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.
[2]GEOIST, Antuna Nemčića 33, 10430 Samobor, Hrvatska.

O OKRUŽENJU FONDA JEZGARA I PODATAKA O JEZGRAMA

Sastavni dio naftnogeoloških istraživanja odnosi se na prikupljanje, obradu i čuvanje uzorkovanog materijala. Tijekom dugogodišnjih istraživačkih aktivnosti prikupljen je i daljnjim postupcima obrađen bogat fondovski materijal. Količina i značaj fonda jezgrovanog bušotinskog materijala u procesima naftnogeoloških istraživanja dovela je do potrebe automatizacije postupaka arhiviranja i komuniciranja sa okruženjem.

U daljnjem tekstu navedeni su neki statistički pokazatelji fonda jezgara iz dubokih bušotina u periodu od 1946. do 1993. godine:

- ukupan broj jezgrovanih intervala: 9791 kom.;
- ukupan broj jezgrovanih bušotina: 1382;
- ukupno jezgrovano: 47.791 m;
- ukupno dobiveno jezgre: 33.713 m;
- najveći broj izvađenih jezgara u bušotini: 99 (KLO-0001);
- najmanja dubina jezgrovanja: 34-37 m (BRU-0001);
- najveća dubina jezgrovanja: 6102-6103 m (OR-0002).

Odnos dubine i broja jezgrovanih intervala prikazan je slijedećim pokazateljima:

0 - 1000 m	2533 kom.
1000-2000 m	3947 kom.
2000-3000 m	2482 kom.
3000-4000 m	680 kom.
4000-5000 m	145 kom.
> 5000 m	22 kom.

Radi uvida u stanje o rezultatima jezgrovanja za vrijeme bušenja i arhiviranog materijala u Mramor brdu uspostavljena je odgovarajuća datoteka podataka. Uspostavljeni su svi relevantni podaci o jezgrovanom materijalu, uvjetima jezgrovanja, te najnužniji podaci o okruženju. Datoteka u sebi sadrži alfanumeričke podatke. Postupcima šifriranja objekata, te inkrementiranja površine i dubine, formiran je jedinstven ključ kojim je ova datoteka povezana sa naftnogeološkom bazom podataka.

Pored uzorkovanja stijena, tijekom bušenja izvodi se uzorkovanje nafte, kondenzata, plina i vode. Dobiveni uzorci, i pored svoje iznimne važnosti u naftnogeološkim obradama, ovim prikazom nisu obuhvaćeni.

FOND ANALITIČKIH PODATAKA O JEZGROVANIM INTERVALIMA

Gotovo svaka jezgra višekratno je analizirana te makroskopski, mikroskopski i analitički opisivana. Analizirano je 69 elaborata iz fonda stručne literature za razdoblje 1987 - 1994 godine. Na taj način formiran je daljnji set signifikantnih podataka (tablica 1).

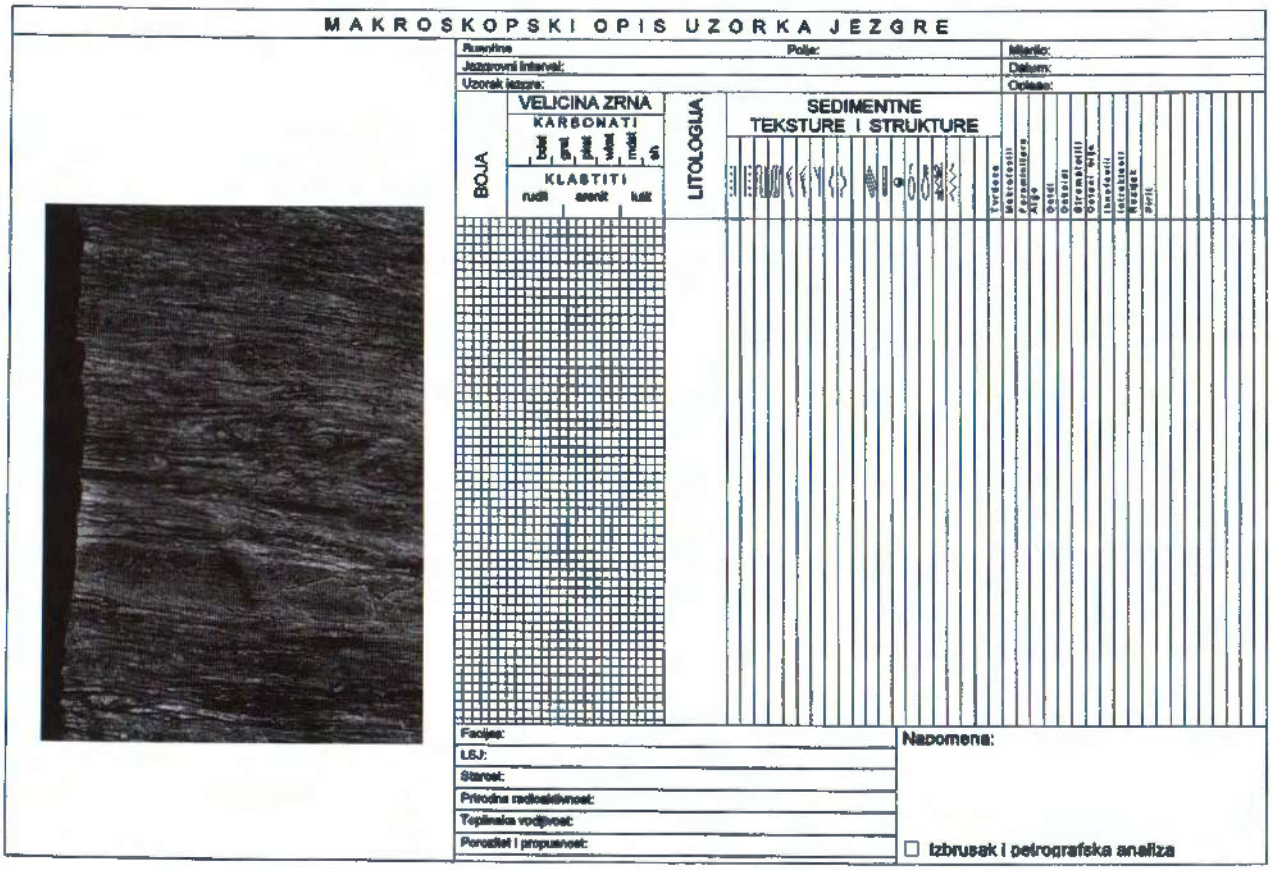
Navedeni korpus podataka od neprocjenjive je važnosti za upoznavanje građe i odnosa u podzemlju, te predstavlja značajan georesurs na koji se mora računati. Radi svoje specifičnosti, te specifičnih obrada u brojnim drugim primjenama, iste je neophodno i jedino moguće cjelovito obraditi uz pomoć sredstava automatske obrade podataka.

Fond materijala s alfanumeričkim opisom

Brojni podaci, informacije i spoznaje prikazani su elaboratima u fondu stručne dokumentacije. Uglavnom se koriste klasično. U novije vrijeme pristupilo se automatizaciji i tih materijala. Organizirane su bibliotekarske datoteke sa djelomično obrađenim i na magnetne medije uspostavljenim podacima o naftnogeološkim objektima i istraživanjima. Mnogi analitički podaci su organizirani u zasebne datoteke kojima se služe brojni korisnici. U narednom periodu planira se automatska obrada podataka analizom naslova, sadržaja, popisa priloga, te uvoda i zaključaka. Uspostavio bi se značajan fond ključnih riječi za svaki elaborat. Ovako organizirani podaci podigli bi nivo budućih obrada fondovskog materijala.

godina / vrsta analize	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
FIZIKALNE	23	151	314	225	103	41	151	85
GEOKEMIJSKE	163	25	200	355	39	160	415	788
ORGANSKO-GEOKEMIJSKE	70	80	30	30	-	-	10	261
MINERALOŠKO-PETROGRAFSKE	563	440	255	755	293	920	1575	1463
SEDIMENTOLOŠKE	284	306	575	495	340	100	240	405
PALEONTOLOŠKE	1697	985	1056	860	396	615	1004	1720

Tablica 1 Fond analitičkih mjerenja u razdoblju 1987-1994. godine



Sl. 1 Slikovni log makroskopskog opisa uzorka jezgre.

Fond materijala s grafičkim opisom

Grafički prikaz postignuća o naftnogeološkim istraživanjima i zaključivanjima veoma je rasprostranjen. Za njegovu izradu postoje razrađena uputstva, specifična za pojedine discipline. Izrađivala su se i višekratno koristila na klasičan način. Omogućila su standardizaciju u izradi priloga i kasnijim zaključivanjima. U posljednje vrijeme proces izrade grafičkih priloga je do određenog stupnja automatiziran. Osnovni problem je u usvajanju opće prihvaćenih standarda, legendi i ažuriranja datoteka.

Fond materijala sa slikovnim prikazom

Prisutnost fotografije u prikazu geoloških pojava i procesa ima svoje posebno mjesto i ulogu. I pored svih tehnički i stručno kvalitetnih opisa i prikaza, fotografijom se najvjernije opisuje tematski sadržaj. Pored raznih kataloga i atlasa, fotografija se veoma često komponira sa drugim formama naftnogeoloških prikaza. Pojavom uređaja (scanner) za digitalizaciju grafičkih prikaza, u boji ili crno bijelih, otvorile su se nove mogućnosti u dizajnu i komunikacijama grafičkog sadržaja.

Posebna se pažnja posvećuje digitalizaciji jezgara i preparata, te njihovih fotografija.

GeoLog

Raznim aktivnostima dosada je prikupljen bogat fond organiziranih i automatiziranih naftnogeoloških podataka. Korišteni su na različite načine i u različite svrhe. Osim eksperimentalnih pokušaja nije bilo sustavnih obrada slikovnih sadržaja. Tome je uzrok nedovoljno razvijena programska podrška vizualizacije geološkog sadržaja u grafičkom okruženju. Jedan od takvih pokušaja realiziran je programom GeoLog, koji sa programima GeoSim i GeoLit izgrađuje grafički programski alat GEOGRAPH. Program je izrađen u Windows grafičkom okruženju, u programskom jeziku C++. Koncipiran je s namjerom da bude alat u procesu automatske geovizualizacije sadržaja različite namjene. Prvobitna mu je namjena bila pomoći kod automatske izrade litoloških stupova bušotina i stratimetrijskih profila. Dodatnim zahtjevima program je proširen na poslove automatskog logiranja naftnogeološkog sadržaja bušotina (Composit i Master Log). Kod analize grafičkih log priloga riješen je i problem prikaza slikovnog sadržaja (sl. 1). Proces geovizualizacije tematskog sadržaja proširen je i na prikaz rasteriziranog slikovnog sadržaja. Organizacija slikovnih baza podataka, te njihovo povezivanje sa već uspostavljenim "klasičnim" bazama podataka, jedna je od slijedećih zadaća.

ZAKLJUČAK

Razvoj suvremenih programskih i strojnih uređaja i alata omogućili su automatizaciju gotovo svih postupaka. Pored prvih pozitivnih iskustava svjesni smo brojnih zadaća u procesu geovizualizacije, kao što su izrada specijaliziranih standarda, kataloga, pravila i brojnih drugih dogovora u međusobnoj komunikaciji između krajnjih korisnika. Sigurno je da će nova tehnička poboljšanja doći prije nego se kompletira cjelokupan proces automatske geovizualizacije.

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	OPATIJA 18-21.10.1995.	Zbornik radova Proceedings	1	341 - 344	ZAGREB 1995

The Lake of Bled (Slovenia): A Stable Isotope Study

Sonja **LOJEN**[1], Tadej **DOLENEC**[2], Nives **OGRINC**[1] & Jože **PEZDIČ**[1]

Key words: Recent sediments, Stable isotopes, Oxygen, Carbon, Nitrogen

Abstract

Stable isotope analysis of water and sediment in Lake Bled (NW Slovenia) was performed to estimate biogeochemical processes, as well as human impact to the lacustrine environment. Isotopic composition of oxygen was found to be an excellent tracer for following water circulation within the lake basin. In the sediment, particulate organic matter is the main source of dissolved carbon and nitrogen in the water. Carbonate is occasionally precipitating in pore waters, following the isotope composition of source carbon in the solution. Depending on the conditions of precipitation and relative amount of allogenic material, four groups of carbonate sediments were distinguished.

INTRODUCTION

Eutrophication of freshwater lakes is a natural process. However, it can be enhanced by anthropogenic pollution which causes a supersaturation with nutrients with consequent regular algae overpopulation. In connection with organic overproduction, the lack of oxygen in hypolimnion is observed and anaerobic degradation of organic matter occurs already in the water column. When planning restoration measures, biogeochemical processes and natural equilibria in the ecosystem have to be taken into account. Essential data for reconstruction and interpretation of origin conditions of lacustrine sediments can be provided through investigation of recent sediments in fresh water environments like lakes and swamps. Stable isotope ratios of rock forming light elements (C, O, S,...) and sedimentary organic matter, as well as chemical and isotopic composition of water and dissolved species in it are an useful tool for the definition of processes, which govern the reactions in the sediment during the sedimentation process and during the earliest stages of diagenesis (i.e.mmineralisation of organic compounds, bacterial sulphate reduction, methanogenesis, etc.).

The Lake of Bled is an eutrophic eumictic subalpine glacial lake, which was formed during the last glacial period. It covers an area of 1.44 km^2 and has a watershed of about 9.2 km^2. A dolomite reef separates the lake into two basins (western and eastern) with maximal depth of 30 and 24 m, respectively. The lake's volume is about $25x10^6$ m^3. It has some natural inflows, among which the Mišca river is the most important (average flux 200 l/s). A pipeline with maximal flux of 600 l/s supplies the hypolimnion with fresh water from Radovna river and an "Olszewski tube" diverts the water from the bottom of the lake (LEIBUNDGUT & ZUPAN, 1992). The lake has all of the characteristics of eumictic fresh water basins with an anoxic hypolimnical zone. Nevertheless, in some parts of the lake, oxidising conditions prevail during most of the year (oxygen excess in the water column and at the water/sediment interface due to biological activity). Eutrophication processes, which have begun in the lake, caused many biological and physico - chemical changes, which reflect also in the variability of the isotopic composition of carbon, oxygen and nitrogen. The carbon isotope ratio of autochtonous algae and plants was determined, too.

METHODS

Separate studies of water column, sediment and the pore water, extracted from the sediment were performed. Samples were taken in the spring (May), summer (July) and autumn (September/October) in 1983-89 and 1994-95. Sediment cores were taken using a gravitational corer with a Plexiglas tube with inner diameter of 36 mm. In the first period of sampling (1983-89), pore waters were extracted by centrifugation at 8000 rpm and subsequently filtered. Recently, sediment cores are processed in a nitrogen atmosphere in a glove box. Pore water is squeezed from the sediment under pressure of 0.4 MPa nitrogen through a 0.45 µm membrane filter. For metal cation analyses, water samples are immediately acidified to pH = 1 with nitric acid.

Anion analyses of pore waters were performed through standard spectrophotometric methods. Metal concentrations were determined using flame AAS (Ca, Mg, K, Na, Fe, Cr, Mn, Pb, Al), P and Si were mea-

[1]Jožef Stefan Institute, Department for Environmental Chemistry, Jamova 39, 61111 Ljubljana, Slovenia.
[2]University of Ljubljana, Faculty of Natural Science and Technology, Department for geology, Aškerčeva 12, 61000 Ljubljana, Slovenia.

sured by means of ICP-AAS. Alkalinity as HCO_3^- was calculated from acid neutralisation capacity (0.01 M HCl) till pH = 4.5. Isotopic compositions of C, O_2, N_2 and S are determined by mass spectrometry and expressed as relative (δ) values in permill compared to international standards (PDB for carbon, SMOW for oxygen, CDT for sulphur and deoxidised air for nitrogen).

In the lake water, $\delta^{18}O$ of H_2O, $\delta^{13}C$ of dissolved inorganic carbon (DIC) and $\delta^{34}S$ of dissolved sulphate were determined. Sediment was undertaken to chemical analysis, as well as measurements of $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ in the carbonate phase and $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ in the organic matter. Mineralogical composition was determined by X - ray diffraction. Scanning electron microscopy with energy dispersion spectrometry (EDS) was used to study the morphology and composition of single grains.

In the pore waters, chemical analysis (metal cations, DIC, DOC - dissolved organic carbon, nitrogen species) were performed and $\delta^{15}N$ of dissolved nitrogen was measured.

Also some autochtonous plants, phyto- and zooplankton species were analysed with respect to $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$.

RESULTS AND DISCUSSION

In the lake water, $\delta^{18}O$ values vary in the range between -7.72 and -9.56‰. This variability is a consequence of two factors: inflow of river water from the pipeline and evaporation of surface water. Radovna water, as well as natural inflows, is regularly depleted with ^{18}O compared to the lake water, so $\delta^{18}O$ value of water can be used as a natural tracer for following the flow paths of the inflows, i.e. water circulation within the lake. The incoming water is spread in a strictly defined depth according to its temperature (i.e. density) and the actual temperature conditions (stratification) in the lake. Measurements of isotopic composition of water gave results in perfect accordance with tracer experiments (LEIBUNDGUT & ZUPAN, 1992). The evaporation effect is stronger in the summer and early autumn when the water temperature at the surface of the lake reaches up to 26°C, whereas in the deepest part of the lake basin it usually doesn't exceed 7°C, so a typical increase of ^{18}O with increasing depth can be observed. Nevertheless, the major influence on the $\delta^{18}O$ variability has the artificial inflow of the river water, since about 1/3 of the whole water volume is yearly exchanged through the pipeline (VRHOVŠEK et al., 1981). The influence of natural inflows is almost negligible and can be followed only at a distance of a few meters away from the inflowing site.

Also the isotopic composition of carbon ($\delta^{13}C$) in DIC is highly variable (from -5.26 to -13.44‰ PDB). Generally, dissolved carbon becomes lighter with increasing depth according to increased biological activity in the epilimnion and decomposition of organic matter in the hypolimnion and at the bottom (ROSEN et al., 1995). $\delta^{13}C$ is related to the growth of algal population. During the algal bloom, $\delta^{13}C$ decreases considerably, indicating that biological activity is the main source of dissolved carbon species in the water column. Seasonal changes of isotopic composition of C through the water column indicate that the biggest production of light C in the epilimnion takes place during the winter and the spring, whereas in the warmer part of the year, it is suppressed; the dissolution of inorganic carbon in the water is more important (C in DIC becomes slightly heavier).

Isotopic characteristics of sulphur in the lake water are very similar to those in all other freshwater environments. The mean value of $\delta^{34}S$ is about +9,7‰ CDT indicating the sulphur source in the nearby carbonate rocks. With increasing depth, $\delta^{34}S$ decreases due to sulphate reduction processes. The existence of reducing conditions is proved also by the presence of autigenic pyrite in the deepest part of the lake (DOLENEC et al., 1984).

The supernatant - water layer just above the lake bottom - can be considered as an intermediate environment between water and the sediment. It is a diluted suspension of organic and inorganic particulate matter from the bottom, but it's characteristics are closer to the water system than to the sediment. The variability of $\delta^{18}O$ in the supernatant is relatively low (up to 0.2‰ during a season and up to 0.5‰ during the year) and the values don't differ much in the different parts of the lake. Obviously, temperature is the only factor influencing the isotopic composition of oxygen at the bottom, and the temperature variation between summer and winter regularly doesn't exceed 3-4°C. $\delta^{13}C$ values of DIC in the supernatant are as low as -14‰ ; they are typical for environments where intense decomposition of organic matter occurs (HAYES, 1993).

Sediments were divided into solid and liquid component (pore water). In the upper 10 cm, sediment contains 90 - 91% of water; the liquid content decreases slightly with the depth, but 35 cm deep it is still as high as 73% (ČERMELJ et al., 1995).

First mineralogical investigation of the sediment in the Lake Bled was published in late seventies (MOLNAR et al., 1978). It was stated that the sediment belongs to the group of clayey silts with carbonate content of 55 to 79% (mostly calcite, dolomite is low). Non-carbonate phase consists mostly of quartz, clay minerals, feldspars and diatoms. Some autigenic pyrite was found in the deepest part of the western basin. The organic carbon is high, in uppermost layer from the western basin it reaches up to 10.7%. The age of upper 45 cm of the sediment was estimated to be 400 - 500 years using pollen analysis. Detailed investigation of the carbonate component showed that it is mostly autigenic with variable chemical composition, but the amount of detritic component can also be relatively

high in some places (in the deltas of inflows or near the shore). Total carbonate component from the sediment cores, taken near the coast (in the Zaka bay in the western part of the lake with a small natural inflow) shows higher $\delta^{13}C$ values (between -3.5 and -2.2‰ PDB) than the carbonate sediment in the deepest part of the lake (-4.6 to -3‰ PDB), where the water circulation is very limited. Here relatively more autigenic carbonate is precipitating in the equilibrium with the dissolved CO_2. Detritic carbonate sediments are characterised by isotopic composition of carbon (-1.8 to +4.2‰ PDB) and oxygen (+25 to +31.2‰ SMOW, DOLENEC et al., 1985), showing typical values for marine environments (they derive from the Mesozoic carbonate, which is very abundant in the hinterland of the lake), so a relative amount of detritic phase can be estimated. A more detailed investigation is in progress.

$\delta^{13}C$ values of organic matter from different parts of the lake are highly variable (-27 to -38‰ PDB, measured on 96 samples). With increased depth, organic carbon in the sediment becomes isotopicaly heavier due to a higher degree of its maturation. Generally, the $\delta^{13}C$ values of organic matter in the deeper parts of the lake are also lower than on the shallower platforms and near the shore.

The main source of particulate organic matter at the bottom are phytoplankton- and zooplankton organisms. The highest $\delta^{13}C$ values are characteristic for green algae (-15.3 to -19‰), whereas diatoms are isotopicaly lighter ($\delta^{13}C$ = -19.65 to -26‰). Analysed water plants, present in the lake, have $\delta^{13}C$ values between -11.77‰ (*Myriophyllum spicatum*, leaf) and -25.82‰ (*Nymphea* sp., blossom). $\delta^{13}C$ values of leaves of the nearby trees and pollen were found to be between -26 and -30‰ PDB. Organic carbon in the sediment is though significantly depleted with ^{13}C indicating different degrees of mineralisation increasing with the depth. Results of TOC (total organic carbon) analysis in pore water from the deepest part of the western basin show that the ratio between organic and inorganic dissolved carbon is relatively stable till the depth of 10 cm (21 - 25% of organic component); between 10 and 12 cm it suddenly increases to 55% and finally reaches 68% below 36 cm with a slight decrease in the layer between 28 and 36 cm. The layers with higher organic C content are also optically different from the remaining sediments (dark greyish - black in colour compared to greyish - brown); reasons for such an increase in the organic content in the sediment are not explained yet. For these segments, also higher pH values of pore water are typical.

Detailed analysis of sediments from the cores showed that there exists a relation between $\delta^{13}C$ in the carbonate and in the organic matter from the same depth interval and also between alkalinity of pore water and isotopic composition of sediment carbonate. Higher alkalinity (more dissolved inorganic CO_2) favours isotopicaly lighter carbonate. In the same interval, also the organic matter shows lower $\delta^{13}C$ values. That would mean, that organic matter is the source of carbon for precipitation of calcite in the pore waters. In fact, sediment is an important source of carbon in the water column and $\delta^{13}C$ values for DOC in pore waters are reported to be the same than in the sedimentary organic matter, where $\delta^{13}C$ for DIC should be higher (BAUER et al., 1995). Unfortunately, we weren't able to measure $\delta^{13}C$ in pore waters since the samples were too small. Carbonate is usually reported to be dissolving in the pore waters (APPELLO & POSTMA, 1994). To prove it, we calculated the saturation indices of main minerals present in the sediments on the basis of chemical composition and pH value of pore waters using a commercial available geochemical computer programme (PHREEQM - PARKHURST et al., 1994). Our results showed that pore waters were slightly undersaturated with respect to calcite and aragonite in the moment of analysis (October 1994). Consequently, organic matter was concluded to be the main source for DOC and DIC in the pore waters. However, a slight increase in pH can shift saturation indices toward positive values through all the possible temperature range (4 - 15°C). By scanning electron microscopy, typical crystallite forms indicating precipitation or dissolution can be observed. Consequently we conclude, that during the year carbonates in the upper 40 cm of the sediment are both precipitating and dissolving, following the actual changes in pH, temperature and availability of decomposed organic matter.

Examination of $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ in the sediment carbonate in relation to the covariant trend (TALBOT, 1990) showed four groups of the carbonate sediment: (1) sediment of stagnant anoxic closed environment, (2) lacustrine chalk (present in the shallow plateau in the SW part of the lake), precipitated in the open basin condition, (3) sediments with considerable amount of detritic material and (4) sediment, formed below the interface with autigenic calcite modified by postdepositional changes and influenced by $\delta^{13}C$ depleted methane and ^{13}C enriched organic matter from the lake bottom (DOLENEC et al., 1994).

Isotopic studies of nitrogen in the sediment and in the pore waters have recently been started at our laboratory so only preliminary results can be reported. Total nitrogen concentration ($NO_3^- + NO_2^- + NH_4^+$) in the pore waters increases with the depth from 300 µM in the supernatant to 1220 µM in 40 cm depth as measured in an autumn sample 1994 from the Zaka bay. Only in the uppermost interval (0 - 2 cm deep) nitrate is important; almost all nitrogen is present in the form of NH_4^+. $\delta^{15}N$ of particulate organic nitrogen in the sediment varies between 5.3 and 6.5‰ in the Zaka bay and between 4.8 and 7.1‰ in the deepest part of the lake. $\delta^{15}N$ values for marine plankton and animals are reported to be between 6 and 11‰ (PETERSON & HOWARTH, 1987); no data for autochtonous phyto- and zooplankton species are available, however, $\delta^{15}N$ of leafs of nearby trees (chestnut, oak, sorb, ivy, linden,

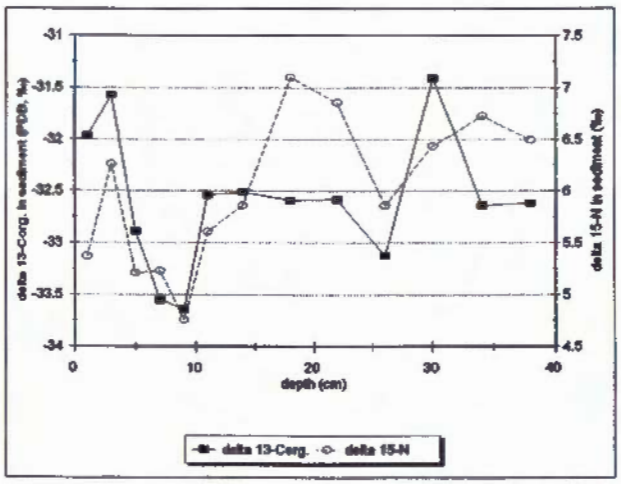


Fig. 1 $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ of particulate organic matter in the sediment in relation to depth in the deepest part of the western basin of Lake Bled.

beech and maple) and water plants (*Myriophillum*) were determined. They are highly variable, reaching from -2.24‰ for sorb-tree (*Sorbus* sp.) to 4.42‰ for *Myriophillum* sp. $\delta^{15}N$ values for the sediment lie between those for plants and those, reported for plankton species, what seems to be logical comparing to $\delta^{13}C$ data for sedimentary organic carbon.

A relation between $\delta^{15}N$ and $\delta^{13}C$ in the sedimentary organic matter was observed: isotopicaly lighter nitrogen is bond to isotopicaly lighter carbon (Fig. 1); similar tendency was observed in leafs, too.

Isotopic composition of nitrogen in the pore water shows a linear dependence on the sedimentary nitrogen with excellent regression (Fig. 2):

$$\delta^{15}N_{\text{pore water}} = -3.88\ \delta^{15}N_{\text{sediment}} + 25.81 \text{ with } r^2 = 0.969.$$

No relation to the depth or to nitrogen concentration in the pore water was found. For more details, further investigation is needed.

CONCLUSION

Isotopic investigation of C, O, N and S was performed in the Lake Bled so as to obtain essential data to estimate the biogeochemical processes, as well as the extent of human influence on the conditions in the lake. $\delta^{18}O$ of the lake water can be used as a natural tracer for following the water circulation within the lake. $\delta^{18}O$ of the lake water is governed by the artificial inflow of the fresh river water through the pipeline, which yearly exchanges approximately 1/3 of the whole water volume. $\delta^{13}C$ of DIC in the water column depends on the biological activity, which is only indirectly influenced by human impacts. Isotopic characteristics of dissolved sulphur are practically the same as in other freshwater environments with a reduction zone at the bottom.

In the sediment, particulate organic matter is the source of carbon for DOC and DIC, as well as for the occasional precipitation of carbonates, dependent on

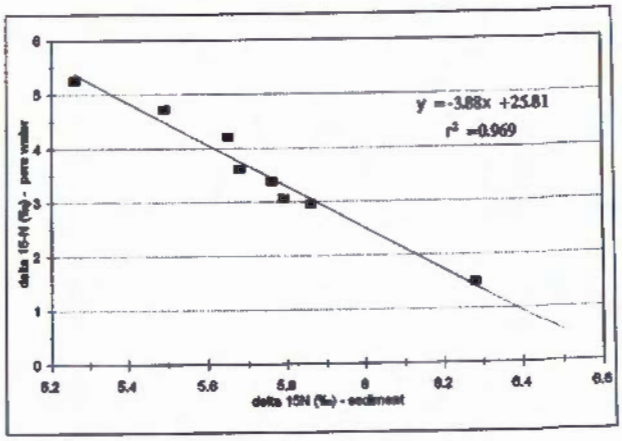


Fig. 2 $\delta^{15}N$ of dissolved nitrogen in the pore water as a function of $\delta^{15}N$ of the source particulate organic nitrogen.

pH, temperature and redox conditions at the lake's bottom and in the sediment. Based on regression analysis of isotopic data (C and O) for the carbonates, four types of sediment can be distinguished: sediment of stagnant, anoxic closed environments, lacustrine chalk, sediments with a lot of detritic material and sediment below the surface with autigenic calcite, modified by postdepositional changes.

Isotopic composition of nitrogen varies consistently with $\delta^{13}C$ of organic matter, whereas $\delta^{15}N$ in the pore water shows a linear relationship to the isotopic composition of particulate organic nitrogen with regression coefficient of 0.97. Further detailed investigation is in progress.

REFERENCES

APPELO, C. A. J. & POSTMA, D. (1994): Geochemistry, groundwater and pollution.- A. A. Balkema, Rotterdam, 535 pp.

BAUER, J. E., REIMERS, C. E., DRUFFEL, E. R. M. & WILLIAMS, P. M. (1995): Nature, 373, 686-689.

ČERMELJ, B., FAGANELI, J., OGORELEC, B., DOLENEC, T., PEZDIČ, J. & SMODIŠ, B. (1995): The origin and recycling of sedimented biogenic debris in an Subalpine eutrophic lake (Lake of Bled, Slovenia). Submitted to Biogeochemistry.

DOLENEC, T., PEZDIČ, J., OGORELEC, B. & MIŠIČ, M. (1984): Geologija, 27, 161 - 170.

DOLENEC, T., PEZDIČ, J. & PERKO, S. (1985): Geologija, 32, 73 - 82.

DOLENEC, T., PEZDIČ, J., OGORELEC, B. & LOJEN, S. (1994): Abstracts of 15th regional meeting of International Association of Sedimentologists, 158 - 159, Ischia, Italy.

HAYES, J. M. (1993): Marine Geology, 113, 111-125.

PARKHURST, D. L., PLUMMER, L. N. & THORSTENSON, D. C. (1994): S. Geological Survey - Water Resources, 80-96, 157 p.

PETERSON, B. J. & HOWARTH, R. W. (1987): Limnology and Oceanography, 32/6, 1195 - 1213.

ROSEN, M. R., TURNER, J. V., COSHELL, L. & GAILITIS, V. (1995): Geochimica et Cosmochimica Acta, 59/5, 979-990.

TALBOT, M. R. (1990): Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), 80, 261-279.

VRHOVŠEK, D., KOSI, G. & ZUPAN, M. (1981): Biološki vestnik, 29, 157-180.