

SLOVENSKA AKADEMIJA ZNANOSTI IN UMETNOSTI
ACADEMIA SCIENTIARUM ET ARTIUM SLOVENICA

RAZRED ZA PRIRODOSLOVNE IN MEDICINSKE VEDE
CLASSIS IV: HISTORIA NATURALIS ET MEDICINA

INSTITUT ZA RAZISKOVANJE KRASA * INSTITUTUM CARSOLOGICUM

ACTA CARSOLOGICA

KRASOSLOVNI ZBORNIK

VI

POSVEČENO
AKADEMIKU DR. SREČKU BRODARJU
OB NJEGOVI 80-LETNICI
(6. MAJA 1973)



LJUBLJANA

1974

TITULUS COMMENTARIORUM, QUI ADHUC APPELLABANTUR
POROČILA — ACTA CARSOLOGICA
VOLUMINE SEXTO ITA MUTATUR, UT POSTHAC HAC SERIES APPELLETUR
ACTA CARSOLOGICA — KRASOSLOVNI ZBORNIK

SPREJETO NA SEJI ODDELKA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE IN MEDICINSKE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI DNE 20. APRILA 1973
IN NA SEJI PREDSEDSTVA DNE 21. JUNIJA 1973

UREDIL SVETOZAR ILEŠIČ
OB SODELOVANJU OSTALIH ČLANOV UREDNIŠKEGA ODBORA
VALTERJA BOHINCA, JOŽETA BOLETA IN PETRA HABIČA

ACTA CARSOLOGICA — Krasoslovni zbornik VI
Izdala Slovenska akademija znanosti in umetnosti v Ljubljani
Natisnila tiskarna »Jože Moškrič« v Ljubljani 1974
Naklada 1200 izvodov

Publikacija šteje med proizvode iz 7. točke prvega odstavka 36. člena zakona o obdavčenju proizvodov iz storitev v prometu (Uradni list SFRJ, št. 33-316/72), za katere se ne plačuje temeljni davek od prometa proizvodov (mnenje Republiškega sekretariata za prosveto in kulturo, št. 421-1/73 od 3. 1. 1974).

PREDGOVOR

Ker je akademik Srečko Brodar zaradi zdravstvenega stanja odložil uredništvo »Acta Carsologica«, se je oblikoval nov uredniški odbor, ki ga vodi akademik Svetozar Ilešič, v njem po sodelujejo še prof dr. Valter Bohinec, znanstveni svetnik dr. Jože Bole in višji znanstveni sodelavec dr. Peter Habič.

Novi uredniški odbor želi v svojem delovnem programu ustreči želji, ki je bila večkrat izrečena v Znanstvenem svetu Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, da bi se »Acta Carsologica« iz »Poročil«, kakor se je skromno glasil njihov dosednji slovenski naslov, še nadalje oblikovala v redno izhajajoči zbornik znanstvenih razprav s področja raziskovanja krasa. Zato je sklenil spremeniti slovenski del naslova v »Krasoslovni zbornik«. Nadalje je, da pospeši izid VI. knjige, sklenil objaviti v njej poleg nekaterih razprav, ki so bile uredništvu na voljo že poprej, vse tiste referate s 6. kongresa speleologov Jugoslavije (Sežana—Lipica, 10.—15. oktobra 1972), ki imajo znanstveno-raziskovalni značaj. Pri vsakem od njih je to posebej označeno.

V znak priznanja in hvaležnosti za njegovo dosedanje uredniško kakor tudi za vso drugo dolgoletno dejavnost na področju speleologije in krasoslovja sploh, posveča uredništvo to knjigo zbornika akademiku dr. Srečku Brodarju ob priliki njegove osemdesetletnice (6. maja 1973).

Ljubljana, 17. julija 1973

Uredniški odbor

VSEBINA — INDEX

Predgovor	3
<i>Roglić, Josip:</i>	
Odnos izmedju površja i podzemlja Dinarskog krša (sa 3 slike u tekstu)	9
The Relationship between Surface and Underground in the Dinaric Karst (with 3 Figures in Text)	17
<i>Radinja, Darko:</i>	
Matični Kras v luči širšega reliefnega razvoja (z 1 risbo v besedilu)	21
Le Karst proprement dit à la lumière de l'évolution plus large du relief (avec 1 dessin dans le texte)	32
<i>Habič, Peter:</i>	
Tesnenje požiralnikov in presihanje Cerknškega jezera (s 17 risbami in fotografijami v besedilu)	35
Bouchement des ponors et tarissement du Lac de Cerknica (avec 17 dessins et figures dans le texte)	54
<i>Novak, Dušan:</i>	
Osameli kras v podravskem delu SR Slovenije (z 8 risbami in 6 fotografijami v besedilu)	57
The Isolated Karst Areas of Drava River Basin in the Northeastern Slovenia (with 8 Maps and 6 Figures in Text)	77
<i>Placer, Ladislav, Čar, Jože:</i>	
Problem podzemeljske razvodnice Trnovskega gozda, Križne gore in Črnovrške planote (s 4 slikami v besedilu)	79
The Hydrological Problematics of the High Karst between Idrijca and Vipava Rivers (Trnovski gozd, Križna gora and the Plateau of Črni vrh) (with 4 Figures in Text)	91
<i>Božičević, Srečko:</i>	
Podzemni krški fenomeni planine Medvednice kraj Zagreba (sa 4 karte i 4 fotografije u tekstu)	95
Subterranean Karst Phenomena in the Medvednica Mountain near Zagreb (with 4 Maps and 4 Figures in Text)	107
<i>Radulović, Vasilije:</i>	
Ponori-jame i pećine kao pokazatelji napredovanja karstifikacije duž profila od Kotora do Crnojevića Rijeke (sa 3 skice u tekstu)	111
Abîmes-gouffres et grottes en tant qu'indicateurs de l'évolution de la karstification le long du profil Kotor—Rijeka Crnojevića (con 3 figures en texte)	124
<i>Gašparović, Ratimir:</i>	
Prirodni uslovi nastanka i razvoja speleoloških objekata Zapadne Hercegovine (sa 1 skicom u tekstu)	127
Natural Conditions of Rising Development of Speleologic Objects in West Herzegovina (with 1 Figure in Text)	136

<i>Petrović, Borislav, Antunović, Ivan:</i>	
Dubina i intenzitet karstifikacije u području Salakovca u zavisnosti od tektonske izlomljenosti (sa 1 skicom u prilogu)	139
The Depth and the Intensity of Karstification in Dependence of the Tectonic Activity (with 1 Figure in Annex)	146
<i>Gavrilović, Dušan:</i>	
Genetski tipovi pećina u Sahari (sa 6 slika u tekstu)	149
Genetic Types of Caves in the Sahara (with 6 Figures in Text)	163
<i>Gospodarić, Rado, Pavlovec, Rajko:</i>	
Izvor apnenčevega proda v Planinski jami (z 8 slikami v besedilu in 1 karto ter 4 tablami v prilogi)	167
The Origin of the Limestone Gravel in the Cave of Planina (with 8 Figures in Text and 1 Map and 4 Plates in Annex)	180
<i>Gams, Ivan:</i>	
Koncentracija CO ₂ v jamah v odvisnosti od zračne cirkulacije (na primeru Postojnske jame) (z 2 slikama v besedilu)	183
Concentration of CO ₂ in the Caves in Relation to the Air Circulation (in the Case of the Postojna Cave) (with 2 Figures in Text)	191
<i>Žibret, Željko:</i>	
Proračun bilansa gubitaka vode na potezima kraških rijeka	193
Statistical Treatment of Losses of Water on some Parts of the Karstic Rivers	205
<i>Avdagić, Izet:</i>	
Mehanizam rada ponora i estavela (sa 8 slika u tekstu)	207
The Mechanism of Ponors (Sink-Holes) and Estavelas (with 8 Figures in Text)	217
<i>Krulc, Zvonimir:</i>	
Neki aspekti primjene geofizičkih, posebno geoelektričnih istraživanja u speleologiji (sa 5 slika u tekstu)	219
Some Aspects of the Application of Geophysical, particularly Geoelectrical Methods in Speleology (with 5 Figures in Text)	230
<i>Šercelj, Alojz:</i>	
Paleovegetacijske raziskave sedimentov Cerknškega jezera (z 2 pelodnima diagramoma)	233
Palaeovegetational Investigations of the Sediments of Cerknško jezero (Lake of Cerknica) (with 2 Pollen Diagrams)	238
<i>Leben, France:</i>	
Jamska arheologija matičnega Krasa (z 2 kartama v besedilu)	241
Höhlenarchäologie des klassischen Karstes (mit 2 Karten im Text) . . .	252
<i>Malez, Mirko:</i>	
Nova dostignuća u istraživanju paleolitika u nekim pećinama Hrvatske (s 3 slike u tekstu)	257
New Achievements in Investigations on the Palaeolithic in some Caves of Croatia (with 3 Figures in Text)	268
<i>Hadži, Jovan:</i>	
Človeška ribica je neotenična ali pa ni dvoživka	271
Proteus ist entweder neotenisch, oder ist kein Amphibium	275
<i>Bole, Jože:</i>	
Podzemeljski polži in zoogeografske razmere Slovenskega Primorja (z 2 slikama v besedilu)	277
Die unterirdischen Schnecken und die zoogeographischen Verhältnisse des Slowenischen Küstenlandes (mit 2 Abbildungen im Text)	283

Briegleb, W., Schatz, A.:

Der Extrembiotop Höhle als Informationslieferant für die allgemeine Physiologie am Beispiel des Grottenolms (*Proteus anguinus* Laur.) (mit 4 Abbildungen im Text) 285

Ekstremni jamski biotop kot vir informacij za splošno fiziologijo na primeru človeške ribice (*Proteus anguinus* Laur.) (s 4 slikami v besedilu) 295

Istenič, L., Sojar, A.:

Poraba kisika pri močerilu (*Proteus anguinus*) (z 1 sliko v besedilu) 299

Oxygen Consumption of *Proteus anguinus* (with 1 Figure in Text) 304

Pretner, Egon:

Zgodovinski pregled koleopteroloških raziskovanj v jamah Slovenije 307

Historische Übersicht der koleopterologischen Forschungen in den Höhlen Sloweniens 312

Drovenik, B.:

Enoletno opazovanje jamskih hroščev v dveh jamah na Dobrovljah . . . 317

Einjährige Beobachtung der Höhlenkäfer in zwei Höhlen des Dobrovlje—Gebirges 324

Gospodarić, Rado:

Fluvialni sedimenti v Križni jami (s 27 slikami v besedilu) 325

Fluvial Sediments in Križna jama (with 27 Figures in Text) 363

Novak, Dušan:

Nekaj o vodnih razmerah na Kočevskem polju (z 9 slikami v besedilu) 367

Sur la hydrographie du Polje de Kočevje (avec 9 figures en texte) 390

Lapažne, Janez:

Geofizikalne raziskave na krasu (s 13 slikami v besedilu) 395

Geophysical Explorations in Karst (with 13 Figures in Text) 419

ODNOS IZMEDJU POVRŠJA I PODZEMLJA
DINARSKOG KRŠA

(sa 3 slike u tekstu)

THE RELATIONSHIP BETWEEN SURFACE AND UNDERGROUND
IN THE DINARIC KARST

(with 3 Figures in Text)

JOSIP ROGLIĆ

(Geografski zavod Prirodno-matematičkog fakulteta, Zagreb)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktobar 1972)

Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

Specifična je osobina krša da obiluje podzemnim šupljinama, u koje voda ponire i protječe kroz složene, međusobno povezane ili izdvojene sustave. Podzemlje, te njegove složene i još nedovoljno poznate osobine, izdvajaju krš od drugih kategorija reljefa.

Litološka osnova uvjetuje razvoj krša. Karbonatne stijene, prvenstveno vapnenac, otapaju se i pukotine protjecanjem vode šire, a iznimno se zatrpavaju trošnim nanosima ili izlučenim mineralima. U koliko je vapnenac homogeniji lakše puca, a protjecanje agresivnih voda širi pukotine. U čistim vapnencima ostaje neznatno neotopivih sastojina, te izuzetno dolazi do ispunjavanja pukotina.

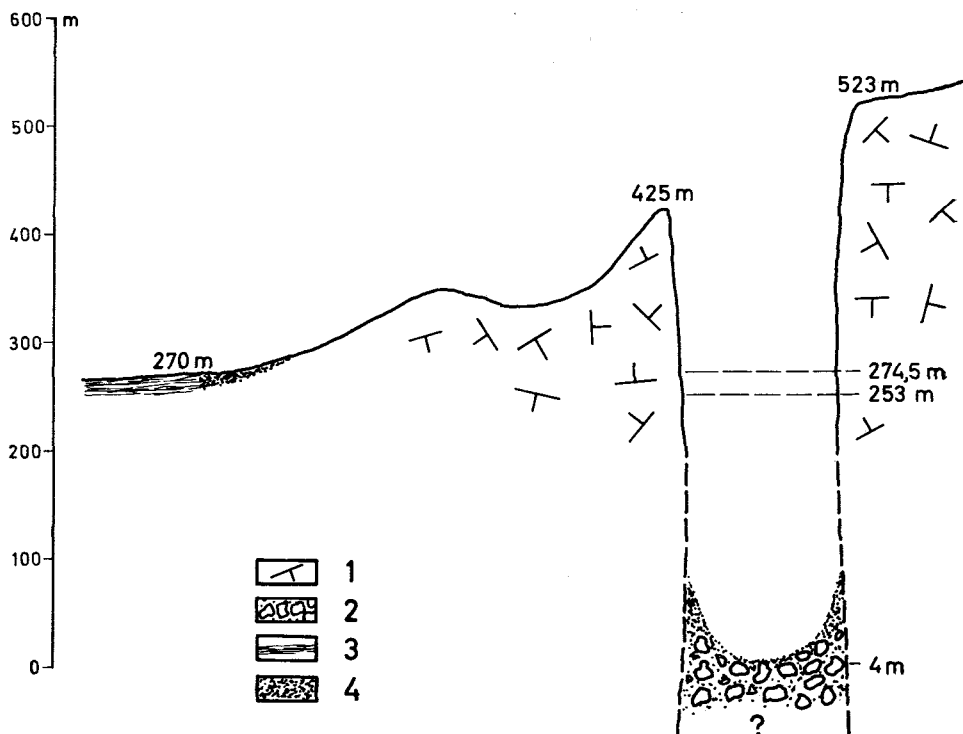
Ako je serija karbonatnih stijena debela — kao što je slučaj u primorskom planinskom pojasu Dinarskog krša, gdje stratigrafski niz mezozojskih i paleogenih vapnenaca doseže debljinu oko 5000 m (M. H e r a k i sur., 1969) — razvijen je duboki krš, karakteriziran složenim i prostranim podzemnim šupljinama (sl. 1).

Površje je nagrizeno dubokim dolovima, kojima se u nekim krajevima daje karakterističan naziv bogodoli, posebno su značajne jame, koje očekuju sredstva i ljudsku smjelost da se zaviri u dublje dijelove podzemnog svijeta. Izuzetno bogatstvo padalina, zadržavanje snijega i vegetacijski procesi pridonose korozijskom udubljavanju i razvoju dubokog krša.

Duboki krš primorskih planina ponekad se naziva »ljuti krš«, čime se želi istaći njegova negostoljubivost i teška prohodnost. Narodni naziv »ljut« često se susreće i obično se odnosi na škraparske i teško prohodne prostore, na kojima se bosonogo i slabo obučeno stanovništvo ranjalo ili na drugi način doživljavalo »ljuti kamen«. Šteta da nije populariziran narodni naziv »ljutac« ili »ljutac kamen« za čiste vapnence, za razliku od dolomita za koje se čuju nazivi »pržnjak« (Hercegovina), »tuvnjak« (Kordun) i sl.

Pod utjecajem njemačke literature često se upotrebljavaju termini »visoki krš«, »visokoplaninski krš«, odnosno »visokogorski krš«. Smatram da ta hipsografska oznaka nije adekvatna i sa stanovišta suvremenog kompleksnog geomorfološkog gledanja stvara pometnju. Visoki, odnosno planinski krš bio bi onaj čije je površje modificirano glacijalnim i periglacijskim procesima tokom hladnog pleistocena, a u najvišim planinskim dijelovima hladnoća, odnosno zamrzavanje i odmrzavanje i u naše doba uvjetuju specifične oblike krša. Takvog krša imamo i kod nas, a posebno je karakterističan za visoke vapnenačke Alpe.

Bitna osobina krša je da je razvijen u dubinu, a onaj u dinarskom primorskom pojasu je izuzetno dubok (sl. 2). Na primorske planine padaju velike količine padalina, a niz padine ne teku potoci, nema priobalskih vrela, a vrulje su relativno rijetke; vode protječu kroz velike dubine i izlijevaju se dubljem podmorju — očit odraz dubine krša.



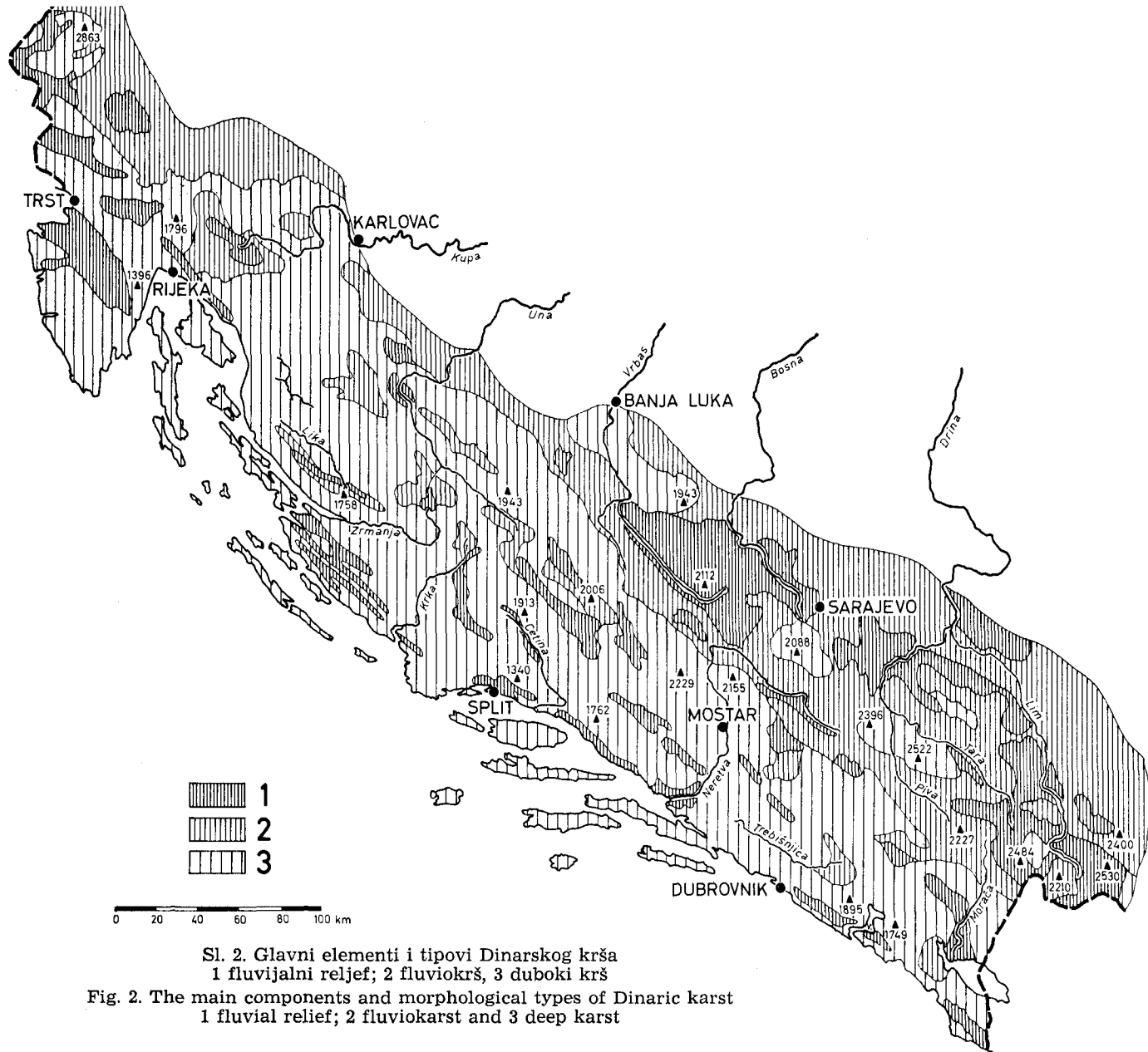
Sl. 1. Provalija Crvenog jezera (kod Imotskog) u dubokom kršu. Visinsko mjerilo dvaput veće; označene su najviša i najniža izmjerena razina vode
1 neuslojeni vapnenci; 2 urušeno stijenje; 3 naplavna ravnica Imotskog polja i 4 padinski šljunak

Fig. 1. The trench of Crveno Jezero (near Imotski) in deep karst. Vertical scale twice horizontal once. Indicated are the highest and lowest measured lake-levels
1 unstratified limestone; 2 collapsed blocks; 3 alluvial plain of Imotsko polje and 4 slope gravel

Polja su posebno izrazit odraz velikih dimenzija podzemnih šupljina i dubine krša. Vezana su za klasične stijene koje su okružene vapnencima; taj odnos je tektonski uvjetovan.¹ Na različitim stijenama odvijaju se diferencirani procesi modeliranja: na vapnencima krški proces, a na rastrošivim stijenama trošenje i spiranje padina te transport trošnog materijala.

Vode otjecanja i trošan materijal s klastičnih stijena, okruženih vapnencima, evakuirani su kroz duboko podzemlje okolnog krša. Polja su vezana za duboki krš. Goleme zavale Livanjskog (405 m² površine i najmanja relativna dubina oko 70 m), te Duvanjskog, Glamočkog, Imotskog i drugih polja ukazuju

¹ Reljefno izolirana polja su specifičnost krša i zaslužuju posebnu pažnju, dok su proširenja u složenim dolinama opća pojava. Istina, dolinska proširenja su u kršnim krajevima jače izražena, zbog velikih razlika između morfogenetskih procesa na klastičnim stijenama i vapnencima.



Sl. 2. Glavni elementi i tipovi Dinarskog krša
1 fluvijalni reljef; 2 fluviokrš, 3 duboki krš

Fig. 2. The main components and morphological types of Dinaric karst
1 fluvial relief; 2 fluviokarst and 3 deep karst

kolike su količine erodirane i podzemno evakuirane. Nužno slijede: zaključak o postojanju velikih podzemnih šupljina i pitanje, gdje je staložen evakuirani materijal?

Trošan materijal je transportom kroz krško podzemlje usitnjavan, te je konačno staložen u najdubljim šupljinama ili izbačen u morske zavale. Naslage spiljskih glina su neznatne, ako se usporede s količinom erodiranih stijena i evakuiranih trošina.

Činjenica, da podzemno protječu velike količine vode i transportira se mnogo trošnog materijala, traži objašnjenje, kada i kako su nastale tako velike šupljine. Klasično gledanje, o okršavanju kao sekundarnom procesu, ne može se uskladiti s očitim činjenicama. Poznato je da na čistim i kompaktnim vapnencima nema ni teoretskih mogućnosti za dolinsko modeliranje (J. Roglić, 1960).

Širenje pukotina je, ne samo specifično za otopive stijene, već se homogeni vapnenci lako lome. Pri tektonskim pokretima su kompaktni i homogeni vapnenci lomljeni u cijeloj seriji, a pukotine su protjecanjem agresivnih voda dalje širene. Na temelju protjecanja velikih količina vode i evakuacije trošnog materijala možemo zaključiti da su šupljine posebno velike u dubokim dijelovima krša, za to su očita potvrda dimenzije i dubina provalije Crvenog jezera kod Imotskog (sl. 1). Primarnost krškog procesa, te dubina i velike dimenzije podzemnih šupljina posebne su oznake primorske zone Dinarskog krša.

O dubini i ranom postanku podzemnih šupljina svjedoči protjecanje krških voda ispod uklještenih pojasa paleogenog fliša. Ti pojasi redovito ne zaustavljaju cirkuliranje krških voda, te su vrela na kontaktu rijetka i uglavnom periodska. Vrulje izbijaju na 35 m dubokom dnu Kaštelanskog zaliva, a vode vjerovatno pritječu iz krškog zaledja Kozjaka, protječući ispod kaštelanskog flišnog pojasa (Sl. Alfirević, 1969).

Duboko okršavanje je rezultat dugotrajnog krškog procesa. Kopnene, odnosno krške faze su utvrđene: na prijelazu iz srednjeg u gornji trijas; na prijelazu trijasa u juru; na prijelazu krede u tercijar; sredinom eocena i nakon prijelaza iz donjeg u srednji oligocen (Herak i sur., 1969). Mladjim transgresijama je prekidano samo površinsko krško modeliranje, dok su šupljine dubokog podzemlja ostale netaknute, te su mogle hidrološki dalje funkcionirati i razvijati se. Neogenski jezerski bazeni su imali ograničeno prostranstvo i njima nije prekidano krški proces u podzemlju, o čemu svjedoči pukotinska cirkulacija ispod jezerskih naslaga, npr. u Livanjskom polju.²

Kroz duboki krš vode relativno brzo i lako protječu. Jedino izbijanja donjotrijaske i paleozojske klastične podloge zaustavljaju pukotinsku kršku cirkulaciju i uvijetuju pojavu stalnih vrela. U skladu s litološkotektonskim odnosima u dubokom Dinarskom kršu, spuštanja okršanih vapnenačkih masa u nepropusnu podlogu i nakupljanje vodnih retencija rijetka je pojava i malih dimenzija. Vode brzo protječu kroz podzemlje, zbog toga protok u rijetkim tekucicama ekstremno i brzo koleba (Trebišnjica 2246 m³/sek i suho korito!).

² Za pokrov neogenih naslaga je upotrebljen termin »viseća barijera« koji očito nije adekvatan (J. Papeš i R. Srdić, 1969). Površinski položaj i odgovarajući hidrološki utjecaj glavne su osobine, te bi termin »površinska hidrološka zavjesa« bio mnogo pogodniji. Analogna je uloga i mladih naplavnih ravnica.

Režim tekućica odražava raspored padalina, a sporo prelijevanje podzemnih retencija ima sekundarno značenje.

Naplavne ravnice polja i priroda njihovih sastojina ukazuju da je, zbog nesrazmjere između pritjecanja i naplavljivanja s jedne strane i kapaciteta ponora na drugoj strani, dolazilo do zatrpavanja posljednjih, taloženja naplavnih ravnica i inundacija (J. Roglić, 1964). Klimamorfogenetski procesi tokom hladnog pleistocena bili su za ovu izmjenu posebno povoljni.

Pleistocenske naplavne ravnice se u suvremenim uvjetima spiraju i urušavaju »provaljuju«, npr. u Popovom polju, Buškom Blatu i dr; time se aktiviraju, a često i ponovno zatrpavaju, veze s dubokim krškim podzemljem. Rezultat ovog složenog procesa je da se naplavne ravnice smanjuju i »stijene rastu«, kako nostalgично konstatira domaće stanovništvo.

Zaravni na dukobom kršu, u litološki dodirnom pojasu, upućuju da su rubni korozijski procesi imali veliko značenje u prepleistocenskoj prošlosti, posebno u gornjem pliocenu. U doba tektonske stabilnosti i povoljnih ekoloških prilika dodirne naplavne ravnice su rubnom korozijom širene u vapnenačke stijene (J. Roglić, 1957).

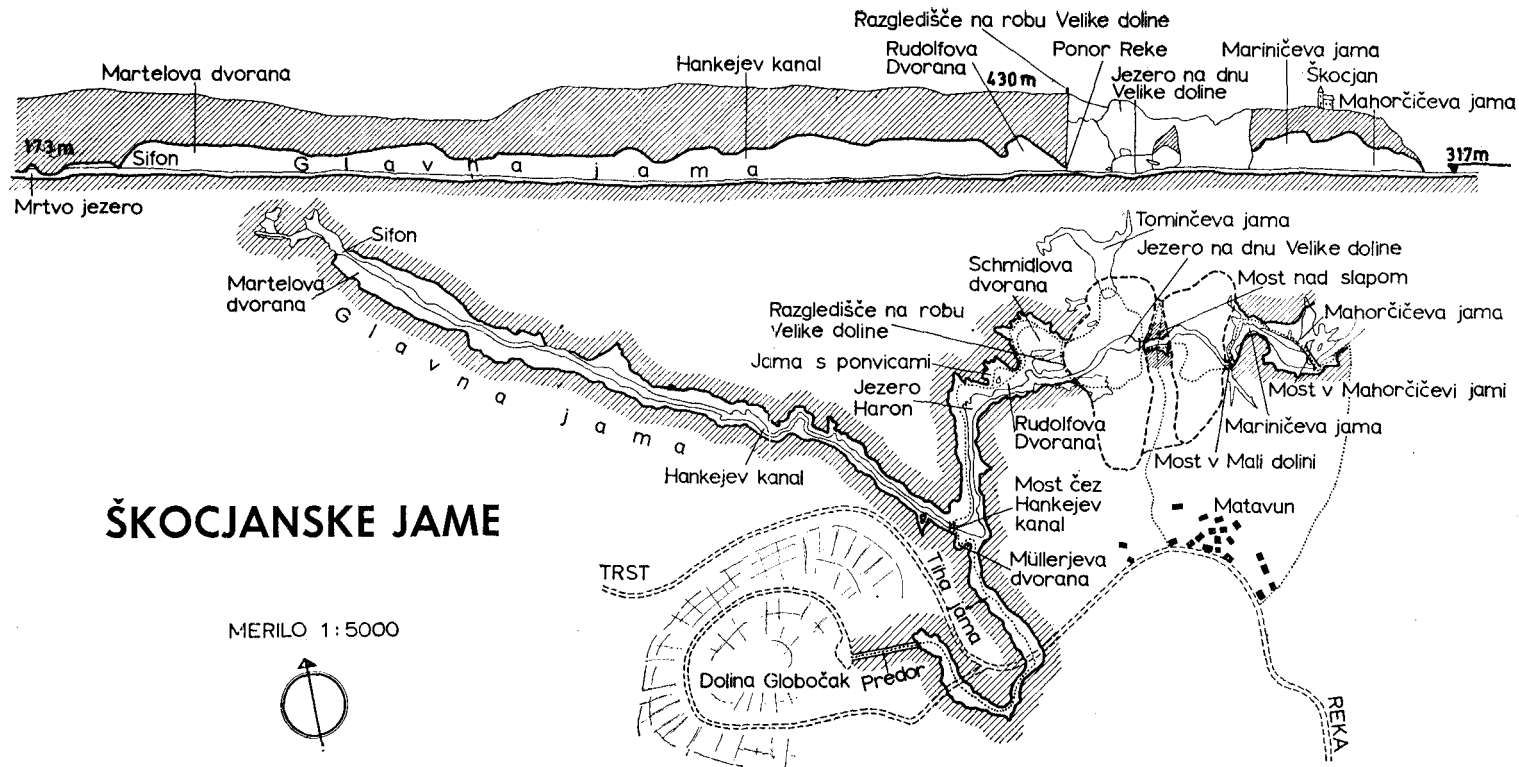
Unošenje većih količina trošnog materijala i taloženje spiljskih glina usporavaju poniranje voda. Spiljske gline, obilje vode i njena agresivnost pogoduju širenju šupljina, te je veća raširenost spiljskih sustava obilježje dodirnog krškog pojasa.

Vode i nanosi s klastičnih stijena modificiraju modeliranje površja i podzemnu evoluciju krša u dodirnom pojasu. Taj odnos je važan, ne samo za objašnjenje osobina krša u dodirnom pojasu već i rekonstrukcije nekadašnje razširenosti i međe između različitih stijena.

Složen litološki sastav modificira morfogenetske procese, što se ogleda u kombiniranom reljefu fluviokrša. Mehaničkim trošenjem klastičnih stijena i dolomita stvara se rastrošeni pokrov, kroz koji se procjeđuju padaline, a njegovim spiranjem modeliraju padine. Procesima površinske rastrožbe, spiranjem i linearnim transportom nastaju oblici dolinskog reljefa koji se kombiniraju s krškim formama, nastalim zbog poniranja vode i širenja pukotina u vapnenačkim djelovima. Trošenjem i spiranjem s istaknutih djelova te nanošenjem u krške udubine modeliraju se otvoreni ravnjaci; usporedno se vrše dva procesa modeliranja i nastaje složeni fluviokrš.

Diferencirani procesi modeliranja ovise o udjelu i razlikama među stijenama. Klastične stijene zadržavaju procjedjivanje koje hrani temeljnicu i izvore. Spiraju se padine i modeliraju doline i dolinska proširenja. Vodom i trošinama s klastičnih stijena tekućice usjecaju kanjone i sutjeske u vapnencima i drugim otpornim stijenama. Valoviti ravnjaci i složene doline karakteriziraju površje fluviokrša; izmjene ekoloških prilika modificiraju odnose dviju komponenti morfogenetskih procesa.

Morfogenetski procesi se kombiniraju zbog susjedstva stijena različitih osobina. Nanosom trošnog materijala preko vapnenačke osnove dolazi do specifičnog razvoja pokrivenog krša, čije je naslijeđe pejzaž ponikava »boginjavog krša«. Raširenost trošnog pokrova u mlađoj geološkoj prošlosti čeka objašnjenje. Izolirajući reljefni utjecaj vapnenaca i modeliranje u slijepim dolinama jače su



Sl. 3. Škocjanske jame (prema Šerku i Michleru). Tipičan spiljski sustav u plitkom kršu i fluviokršu
 Fig. 3. The caves of Škocjan (by Serko and Michler). Typical cave system in shallow karst and fluviokarst

zastupljeni u sjeverozapadnom dijelu fluviokrša, ali u cijelome pojasu imaju sekundarno značenje.

Vode koje poniru u vapnenačke dijelove odnose sa sobom dosta trošnog materijala, što modificira podzemno protjecanje i utječe na razvoj šupljina. Interkalacije stijena različite propusnosti utječu na razvoj podzemnih šupljina. Nepropusne stijene prekidaju, a naplavljeni materijal usporava, poniranje voda, što uvjetuje horizontalno ili suhorizontalno vodno cirkuliranje, odnosno modeliranje špiljskih sustava. U horizontalnom smjeru razgranati špiljski sistemi su posebnost fluviokrša (sl. 3). Urušavanja pokrova česta su pojava. Složena litološka osnova i kombinirani morfogogenetski procesi — uz povoljne ekološke prilike — pogoduju razvoju vegetacijskog pokrova, koji utječe na modeliranje prijelaznog i složenog fluviokrša.

Podzemno protjecanje kroz vapnenačke dijelove fluviokrša vrši se relativno sporo. Krški blokovi su često utonuli u nepropusnu podlogu, te su vodne retencije logična posljedica. Pritjecanje iz podzemnih krških retencija i temeljnica ima mnogo veći udio, te protok u tekućicama koleba manje nego u pojasu dubokog krša.

Terase u dolinama i naplavne ravnice u izoliranim zavalama su naslijedje iz hladnog pleistocena. U tektonski nestabilnom panonskom rubu morfogogenetski procesi i oblici su kombinirani. Složen površinski reljef i podzemni špiljski sustavi karakteriziraju pojas fluviokrša.

U površinskom labirintu primorskih krških planina posebno su značajne jame, koje vode do šupljina u dubokim dijelovima. Najveće šupljine su vjerovatno vezane za dodir s klastičnom podlogom koja zaustavlja pukotinsko protjecanje. Ponori gutaju velike količine vode i trošina koje pritječu iz klastičnog susjedstva. Duboko i raščlanjeno podzemlje je glavna osobina dubokog krša.

Zbog manjeg udjela vapnenca u sastavu i nanosa trošnog materijala, pukotinsko cirkuliranje voda u fluviokršu vrši se prvenstveno u horizontalnom smjeru, pri čemu se razvijaju složeni špiljski sustavi, otvoreni ravnjački pejzaži prevladavaju na površju.

U prijelaznim pojasima između klastičnih stijena i dubokog krša procesi se kombiniraju. U tom tektonsko-litološki dodirnom pojasu nastaju specifični oblici površja i podzemlja, na čiju evoluciju utječu klimamorfogenetske, odnosno ekološke izmjene.

Summary

THE RELATIONSHIP BETWEEN SURFACE AND UNDERGROUND IN THE DINARIC KARST

The most essential characteristics of karst are the subterranean cavities. In concert with them is water-circulation and corrosive widening of fissures. The vertical dimension is basic to karst and is reflected in surface shapes related to underground holes. The surface forms and the underground cavities should be investigated simultaneously.

The dimension of karst depends on the thickness of the dissolvable rocks. In the mesozoic-paleogene syncline of the Dinaric karst an up to 5000 metres thick series of carbonic rocks is deposited. The thickness of these rocks is greatest in the coastal zone, where the strata are younger and the limestone purer. On the internal continental side, is a zone in which alternate old mesozoic limestones and dolomites with occasional masses of younger and purer limestones, and in places through these shows the base of paleozoic clastic rocks.

In the thicker series of the pure limestone of coastal zone a deep karst developed. Water circulates to great depths and large pits («jamas») are characteristic of the surface. The enclosed areas of paleogenic flysh and of neogen lake-deposit cover stipulate modified form shaping process. Fluvial shaping is active on these clastic rocks. Water run-off is surficial and the worn material is transported through canyons incised into limestones or through karstic underground; in that manner complex valleys or isolated basins are formed. With the more intensive washing-out in the pleistocene, drain-sinks were stopped and basins were inundated for long periods; the polja-floodplains were then the results.

In the zones of contact between the clastic rocks and limestone a modification of the karstic process occurred. In these contact areas and under tectonically and ecologically suitable conditions plains developed through the corrosion of limestone rims; such we have inherited from the upper pliocen. In the contact zone are more frequent systems of caves, because of greater deposits of clays and more intensive corrosive processes.

On the complex lithological base of the interior zone a fluvio karst developed; besides surface wearing and wash-out, also subsurface circulation through limestone fissures. Deposition of worn material fills the holes and contributes to the forming of plateaux. Valleys are more numerous and consist of widenings in clastic rocks and of gaps in limestones. Limestone rocks of smaller dimensions and deposition of worn material into subterranean cracks stipulate the development of complex cave-systems.

Literatura

- Alfirević, Sl., 1969. Jadranske vrulje u vodnom režimu Dinarskog krša i njihova problematika. *Krš Jugoslavije* 6, 183—206.
- Herak, M., Stj. Bahun i A. Magdalenić, 1969. Pozitivni i negativni utjecaji na razvoj krša u Hrvatskoj. *Krš Jugoslavije* 6, 45—78.
- Herak, M., 1972. Karst of Yugoslavia. Herak, Strigfield, Karst. Pp. 25 — 224. Elsevier, Amsterdam.
- Papeš, J. i R. Srdić, 1969. Opći hidrogeološki odnosi na teritoriji BiH. *Krš Jugoslavije* 6, 95—104.
- Roglić, J., 1957. Zaravni na vapnencima. *Geografski glasnik* 19, 103—134.
- 1960. Das Verhältnis der Flusserosion zum Karstprozess. *Zeitschr. Geomorph.* 4 (2), 116—138.
- 1964. Les poljé du karst dinarique et les modifications climatiques du quaternaire. *Rev. Belge Géograph.* 88 (1/2), 105—135.
- 1965. The Delimitations and Morphological Types of the Dinaric Karst. *Naše jame* 7 (1/2), 12—20.
- 1972. Historical Review of Morphologic Concepts. Herak-Stringfield, Karst. Pp. 1—18. Elsevier, Amsterdam.
- Stepinac, A., 1969. Otjecanje u dinarskom kršu. *Krš Jugoslavije* 6, 207—236.

Diskusija

S. Božičević:

Prof. Roglić govori o debljini naslaga apnenaca od 5000 m, a pri tom vjerovatno misli i o tektonskom položaju tih naslaga.

Uzmemo li kao primjer spomenuto Popovo polje i ponor Doljašnicu tada očekujemo spuštanje u ponor do približne razine mora. No negdje 1000 m od ulaza u horizontalnom smislu ili oko 150 m u vertikalnom, dolazimo do listološke izmene naslaga i ponor se završava kao prolazan kanal za naše ljudske mogućnosti. Voda dalje nastavlja svoj put u sistemu pukotina. U isto vrijeme na površini na profilu od Sutove do Hutova registrirane jame imaju dubinu od svega 30 m.

Na Velebitu i u Crnoj Gori u vrlo velikoj dubljini vapnenačkih naslaga jame su duboke svega nekoliko stotinu metara.

Prema tome, pri istraživanju speleoloških objekata na nekom krškom terenu treba voditi računa kako o tektonici, tako i o stratigrafiji i litologiji s posebnom pažnjom na hidrogeološke karakteristike čitavog područja — a to sve zajedno daje ili izkazuje na veću ili manju razvijenost speleoloških pojava.

O svemu tome treba voditi računa i pri izradi tehnoloških i građevinskih zahvata (tunela i. dr.) na čitavom području našeg krša.

Odgovor (J. Roglić):

Istina, 5000 m debela serija je, zbog tektonskih gibanja prekidana neprepusnim stjenama. Ali vjerovatno negdje i povećana.

Važno je, da vode zadržane klastičnim stijenama ne neutraliziraju spiljske šupljine, tj, da ih ispune. Voda nalazi put prema nižim horizontima i tamo odnosi trošine. Dakle postoje niže šupljine i to sam želio podvući.

MATIČNI KRAS V LUČI ŠIRŠEGA RELIEFNEGA RAZVOJA

(z 1 risbo v besedilu)

LE KARST PROPUREMENT DIT À LA LUMIÈRE DE L'ÉVOLUTION PLUS LARGE DU RELIEF

(avec 1 dessin dans le texte)

D A R K O R A D I N J A

(Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, Ljubljana)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica 10.—15. oktober 1972)

Communication présentée au 6^e des spéléologues yugoslaves
(Sežana—Lipica, octobre 10—15, 1972)

V geomorfologiji čedalje bolj spoznavamo, da lahko razvoj kraškega reliefa globlje razumemo samo v povezavi z razvojem njegovega neprepustnega sosetstva oziroma v luči reliefnega razvoja širšega površja. Tudi matični Kras se je obravnaval doslej vse preveč ločeno od sosednjih flišnih pokrajin bržkone zato, ker je proti sosedstvu hipsografsko razločno omejen in zato tudi reliefno osamljen. Ker pa velja to pravzaprav za večino naših kraških pokrajin, posebno za kraške planote, so se pri obravnavanju kraškega reliefa preveč uveljavljali izolirani pogledi.

Matični Kras se dviga nad sosednjimi pokrajinami kot izrazita planota. Te pokrajine niso samo nižje, temveč tudi bistveno drugačne. To ne velja le za tržaško flišno vznožje, temveč tudi za flišno Vipavsko dolino na nasprotni, severni strani matičnega Krasa ter za kvartarno akumulacijsko Soško ravnino na zahodu. Drugače je le z vzhodnim obrobjem, ki je višje in bolj raznoliko. Njegova petrografska dvojnost (fliš — apnenec) ter reliefna izoblikovanost jasno kažeta, kako je bil matični Kras na to obrobje najdlje naslonjen in z njim najtesneje povezan. Odtod so se namreč uveljavljali hidrološki in drugi procesi, ki so v marsičem usmerjali morfogogenetski razvoj celotne pokrajine, saj se je ta stran uveljavljala vseskozi kot dolgotrajno hidrološko zaledje matičnega Krasa in je to lastnost obdržala še vse do danes, čeprav v močno spremenjeni obliki.

Z vzhodnega obrobja se na matični Kras nadaljujejo tudi poglobitvene reliefne poteze. Odtod se raztezajo glavne doline, ki se nato sklenjeno nadaljujejo v značilna podolja in še značilnejše uravnave matičnega Krasa. Podobno velja za višji svet, ki se s tega obrobja podaljšuje na Kras v značilnih hrbtih in osamelcih.

Svojevrstni prehod matičnega Krasa v sosedstvo se je torej ohranil samo na vzhodni, pritočni strani, kjer se med flišem vlečejo zakraseli apnenci sklenjeno v sosednje pokrajine. Zato je tudi pokrajinski obseg matičnega Krasa na tej strani manj jasen.

Zaradi značilne sklenjenosti in prepletenosti površinskih oblik se je na tej strani matičnega Krasa izoblikovalo več izrazito stičnih pokrajin, ki jih genetično moremo še šteti k matičnemu Krasu. To velja zlasti za Senožeško in Matarsko podolje, pa tudi za Podgorski kras. Vsem tem pokrajinam je skupna neposredna naslonjenost ob neprepustni flišni svet. Matični Kras sega tako neposredno do pivškega, brkinskega in koprškega fliša.

V tej luči je za razvoj matičnega Krasa odločnega pomena, da je bilo nekdaj v Slovenskem primorju vododržnih flišnih sedimentov znatno več. Na obsežnejše flišno površje kažejo ohranjeni flišni ostanki v najvišjem delu Krasa, Trnovskega gozda, Snežnika, Učke, Banjščic in Nanosa. Po denudacijskih ostankih eocenskega fliša se da sklepati, da so terciarni sedimenti prekrivali številne apnence današnjega Slovenskega primorja. V tej luči je matični Kras še posebno izrazit. Čeprav apniško planoto obdajajo flišne plasti, so jo imeli za nekdANJI

otok eocenskega morja, dasi je že po geološki zgradbi razvidno, da sestavlja matični Kras razkrito apniško jedro obsežnega antiklinorija z odstranjenim eocenskim krovom (2), in čeprav so flišne plasti na njegovem robu erozijsko odrezane, ne pa sedimentacijsko izklinjene.

V Slovenskem primorju naj bi bila torej v preteklosti drugačna petrografska sestava tal; drugačno naj bi bilo namreč razmerje med površinskim obsegom neprepustnih in prepustnih kamnin. Prevlada fliša pa naj bi bila odločilnega pomena za kasnejši razvoj apniškega oziroma kraškega reliefa.

Računati moremo tedaj s tem, da v Slovenskem primorju apniška tla v preteklosti sploh niso prevladovala in da sta bila normalni relief in površinska hidrografija sklenjena, ne pa razdrobljena in raztrgana na ozke proge, kakor je to danes.

V tej luči naj bi se bila hidrografska mreža na matičnem Krasu razvila že tedaj, ko apnenci še niso bili razkriti. Kdaj so se v posameznih pokrajinah uveljavili korozijski procesi, je bilo odvisno od razgaljevanja apnencev. Zato je treba to ugotoviti za vsako pokrajino posebej. Odtod izvirajo namreč številne razlike, ki se uveljavljajo med posameznimi kraškimi pokrajinami.

Po tektonski zgradbi sklepamo, da je bilo z matičnega Krasa najprej odstranjeno 200 do 300 m fliša in nato še dvakrat več apnenca. Če se je površje zniževalo v milijon letih vsaj za 50 m — kar pa je razmeroma nizka cenitev — je bil apnenec na Krasu razgaljen že pred pliocenom. Zaradi zaprtosti apnencev in sklenjene hidrografske mreže pa se korozija vse do konca pliocena ni uveljavila kot samostojen morfogenetski proces.

V topli in vlažni pliocenski klimi naj bi se bila uveljavila površinska, ploskovna korozija s tendenco uravnavanja. Ta proces je soroden lateralni eroziji. Ker sta oba procesa konvergentna, se morejo z njima uveljaviti na apniškem površju tudi povrhnji tokovi. Gre tedaj za pojmovanje o istočasnem delovanju erozijskih in korozijskih procesov.

V tej luči je zelo poučen Divaški Kras, kjer je v reliefu postopen prehod od današnje aktivne doline Notranjske Reke preko vmesnih teras do 100 m višje uravnave, ki je v bistvu široko zakraselo dolinsko dno predkraške reke (12). To dno pa je obenem tudi osnovno površje matičnega Krasa. Notranjska Reka je imela z Divaškega Krasa odprto pot prek vsega apniškega površja. Podobno velja za vode, ki so tekle na matični Kras z vipavskega in tržaškega fliša (8, 10).

Zato ne dvomimo več o tem, da so vode v pliocenski dobi (v t. im. predkraški fazi) prečkale matični Kras, kajti enosmernega reliefa in ustreznega strmega na Krasu — če odštejemo drobno kraško razjedenost — ni mogoče prezreti in s tem tudi ne takratne fluvialne faze (7, 11, 12).

Bistvo morfogenetske problematike matičnega Krasa je drugje. Namreč v vprašanju, kakšni so bili morfogenetski učinki površinskih voda, ki so tekle čez apniško površje. Zlasti je v ospredju vprašanje, koliko so bile te vode erozijsko in koliko korozijsko oziroma denudacijsko učinkovite. Na matičnem Krasu naj bi bila funkcija tekočih voda v predkraški dobi predvsem v tem, da so z razporeditvijo hidrografske mreže in s koncentracijo vode usmerjale celotni razvoj reliefa, torej tudi korozijskega. Vodno ožilje je namreč omogočalo ko-

ordinirano korozijo. Skratka, ko na matičnem Krasu govorimo o fluvialni fazi, ne mislimo pri tem avtomatično tudi na erozijski razvoj tega površja.

Podčrtati velja, kako je čedalje več dokazov za to, da je bila neprepustna terciarna odeja nekdanj obsežnejša tudi na panonski strani Slovenije in da je ta odeja na široko prekrivala apniška tla v Posavskem hribovju, na Dolenjskem krasu itd. Skratka, prikazani razvoj matičnega Krasa ni bil nekaj izjemnega.

Pomen nekdanje terciarne odeje, ki je prekrila mezozojska karbonatna tla, je zlasti v tem, da je z neprepustnimi plastmi omogočila povrhnje vode. Šele ob koncu terciarja, posebno v pliocenski dobi, ko so reke že na široko odstranjevale flišno in drugo terciarno prevleko, se je karbonatno površje začelo znova širiti. Tako naj bi bile na uravnanem srednje-pliocenskem površju ene in druge kamnine na široko zastopane. Morfogenetski procesi pa so spreminjali petrografsko sestavo tal še v pleistocenu, vendar pa so se tedaj bolj spreminjala višinska razmerja med obema vrstama kamnin. Ker so predpanonski orogenetski procesi zajeli karbonatne in nekarbonatne kamnine v različne tektonske enote, so bila ta tla potisnjena različno visoko. Na uravnanem srednjepliocenskem površju so reke petrografsko različna tla prečkale in uravnavale. Vode so ponekod otekale s terciarnih in drugih neprepustnih plasti na apnence, drugod z apnencev na neprepustna tla. Pri kasnejšem zakrasevanju je bilo to precejšnjega pomena, saj so tako nastali različni hidrološki, hipsografski in morfogenetski tipi kraškega sveta.

Na morfogenetski pomen, ki naj bi ga imel fliš za razvoj kraških pokrajin, je pri nas že zelo zgodaj opozoril J. Rus (1925), a smo njegove poglede, žal, prezrli (17). Rus je menil, da so bili apnenci na Notranjskem prekriti s flišem, kar naj bi omogočalo površinske vode. To mnenje se je potrdilo tudi za primorski kras. Za Notranjsko pa so ostanki fliša, ki so jih pred leti ugotovili na Kočevskem, nova potrditev Rusovih nazorov (20).

Razen po spremenjeni petrografski sestavi tal se je starejši razvoj Slovenskega primorja (glede na karbonatna in nekarbonatna tla) odlikoval tudi po drugačni hipsografski sestavi površja. Spreminjanja kamninske sestave tal v pliocenski in kasneje v pleistocenski dobi ni zasedala samo denudacija, okrepljena s splošnim dviganjem ozemlja, temveč je imelo pri tem odločilno vlogo tudi selektivno zniževanje površja, ki so ga usmerjale klimatske spremembe. Pri spreminjanju kamninske sestave tal so torej poleg tektonike in paleogeografije imeli zaznavno vlogo tudi diferencirani eksogeni procesi. S klimatskimi spremembami naj bi se namreč v posameznih dobah okrepili erozijski, v drugih korozijski procesi, zdaj kemično preperevanje, zdaj spet mehanično razpadanje. Zato naj bi se včasih hitreje razdirala karbonatna tla, drugič nekarbonatna.

V tej luči se potrjujejo naziranja nekaterih avtorjev, da se je namreč za časa tople in vlažne pliocenske klime ter pod debelo preperelinsko in bujno vegetacijsko odejo in pri veliki vodnatosti rečne mreže karbonatno površje hitreje zniževalo od nekarbonatnega. Poleg erozije oziroma denudacije naj bi tla izdatno razdirala zlasti ploskovna korozija, kakor sklepamo po ohranjenih oblikah našega krasa oziroma po ustreznih procesih v sedanjih tropskih kraških pokrajinah. Nasprotno pa naj bi se bile silikatne kamnine tedaj počasneje zniževale, čeprav so povečini mehansko manj odporne od apnencev. To velja v celoti tudi za fliš.

Zaradi selektivnega zniževanja tal so se višinske razlike med apniškim in silikatnim površjem večale zlasti v Slovenskem primorju, kjer se apniške pokrajine prepletajo s flišnimi. Procesi diferenciranega zniževanja tal so bili tako dolgotrajni in učinkoviti, da je marsikje prišlo do navidežno inverznega reliefa: mehkejši fliš je bil višji, trši apnenci pa nižji. Tako je bil v pliocenu matični Kras kljub antiklinalni zgradbi nižji od flišnega površja sosednjih dveh sinklinorijev: vipavskega in tržaškega.

Doslej so hipsografske razlike med posameznimi pokrajinami tolmačili predvsem z diferencirano tektoniko. Poslej pa bo treba bolj upoštevati klimatsko zasnovano selektivno zniževanje petrografske različnih tal, na kar opozarja za druge pokrajine čedalje več geomorfoloških študij.

V tej luči je apniške pokrajine najbolj smiselno razčleniti po hipsografskih in hidroloških razlikah, ki jih kažejo do neprepustnega sosedstva. V srednjem pliocenu so bile številne apniške pokrajine v enaki višini s sosednjim neprepustnim svetom. Reke so jih prečkale, kot dediščina pa so pri kasnejšem razčlenjevanju tal ostale uravnave in široke doline z ostanki naplavin. Tako je bilo tudi na matičnem Krasu.

Drugod, kjer so bile apniške pokrajine višje, npr. sosednji Visoki kras, so vode z apnencev tekale na neprepustno sosedstvo in v višini neprepustne obloge so se apnenci uravnavali (robne ravnate, obvisile in zatrepne doline itd.). Tam pa, kjer so bile apniške pokrajine nižje od neprepustnega sosedstva, so se vode na apnence na široko razlivala in jih prav tako uravnavale.

Številni pojavi potrjujejo to tudi za matični Kras, ko je bilo v pliocenu njegovo obrobje višje. Tako so se vode sekale nanj ne le z brkinskega, temveč tudi z vipavskega in tržaškega oziroma koprškega fliša. Zato matični Kras uvrščamo med transverzalne apniške pokrajine.

Votljenje apnencev se tedaj ni uveljavilo. Pa ne morda zaradi neprepustne prevleke, naplavljenega s sosedstva, temveč zaradi zaprtih (obloženih) apnencev in zajezenih skalnih voda. Oboje je zadrževalo globinsko vodno cirkulacijo. Površinskih vodnih tokov si torej ni treba tolmačiti z alohtonimi naplavinami z neprepustnega sosedstva, ki naj bi bile zamašile kraške razjede in prekrile votlikava tla, kajti apnenci v tedanji dobi še niso bili ustrezno izvotljeni, ker za globinsko korozijo ni bilo pravih osnov. Za takratne procese je poleg zaprtosti apnencev in zaježenosti skalnih voda bila enako pomembna tudi topla in vlažna klima z bogato vegetacijsko in pedološko odejo. Tedaj se je sicer uveljavljala intenzivna, a hkrati tudi nagla korozija. Agresivna padavinska voda naj bi se zato izčrpala že kar na površju. Notranje korodirani so bili kvečjemu tisti apnenci, ki so se dvigali nad takratnimi uravnavami, vendar ustrezna prevotljivost še ni dokazana. V tem pogledu so potrebne nadrobne speleološke proučitve.

V nasprotju s klasičnimi pojmovanji, ki tolmačijo genezo apniških uravnav izključno z erozijo, je treba poudariti, da štejemo tedanjo korozijo celo za izdatnejšo od one, ki je v pleistocenski dobi prevotlila apnence, prestavila površinske tokove v podzemlje in ustvarila zaprte kraške globeli. Do takih spoznanj nas vodijo številne reliefne poteze matičnega Krasa: tako suhe doline, ki se odpirajo z vipavskega roba, kakor ostanki slepih dolin na nasprotnem tržaškem robu Krasa (8), da ne govorimo o robnih uravnavah in podoljih na njegovi vzhodni strani, pivški oziroma brkinski.

V zvezi z morfogogenetsko vlogo, ki naj bi jo za apniški relief imelo neprepustno sosedstvo, je zelo značilna razprostranjenost apniških uravnav. Najobsežnejše in najizrazitejše apniške ravnote so namreč v bližini neprepustnega sveta oziroma ob nekdanjih neprepustnih kamninah. Tako je v Slovenskem primorju očitna morfogogenetska vloga pivškega fliša za uravnave na njegovem apniškem obrobju (Hrušica, Košanski kras itd.), na panonski strani pa so bile pomembne vododržne kamnine Posavskega hribovja za uravnavanje sosednjega Dolenjskega krasa. Pri tem tudi najznačilnejše planote Julijskih in Kamniških Alp niso izjema. Podobnih primerov je vse polno tudi v drobnem reliefu. Zelo značilna je npr. odprtost in izrazitost uravnanega sveta na matičnem Krasu tam, kjer je bila navezanost na sosednji flišni svet še posebno tesna: obrobni Senožeški, Tomajski in Doberdovski Kras.

Pri vsem tem ne gre samo za odnos kraškega reliefa navzven, do neprepustnega sosedstva, temveč prav tako tudi za petrografsko sestavo znotraj kraških pokrajin. V mislih imamo zlasti dolomite, ki prekinjajo apnence. Tudi ti so imeli podobno vlogo kakor neprepustni svet, kar velja še posebej za morfogogenetski razvoj v hladnih pleistocenskih obdobjih. Na to preradi pozabljam o že zaradi optične podobnosti enih in drugih kamnin. Dolomiti so še zlasti pomembni za notranjo diferenciacijo kraškega sveta. V tej zvezi naj znova omenimo J. Rusa, ki je skoraj pred petdesetimi leti omenjal odločilno vlogo, ki so jo za nastanek kraških polj imeli apniško-dolomitni stiki. Tudi na matičnem Krasu so dolomitne proge pomembne. To velja zlasti za osrednje podolje matičnega Krasa, za nekdanjo Brestoviško dolino, ki se je zlasti v zadnji razvojni fazi tesno oprla na apniško-dolomitni stik.

V zadnjem desetletju smo na matičnem Krasu ugotovili še druge sledove, ki opozarjajo na nekdanje hidrografske povezave med apnenci in sosednjim flišnim površjem ter na značilna višinska razmerja med enim in drugim površjem.

Na matičnem Krasu se je namreč še marsikje obdržalo fosilno fluvialno gradivo. Večinoma gre za kremenov prod in pesek, ki ju korozija ni mogla uničiti. Ti fluvialni ostanki ne pričajo le o nekdanjih vodnih tokovih, temveč tudi o morfogogenetskih procesih na apniških tleh, zlasti pa še o tem, kako je bilo apniško površje nižje od flišnega sosedstva, odkoder je to gradivo odtekalo. Toda flišni prod na matičnem Krasu ne izvira samo iz neprepustnega sosedstva — v tem primeru bi šlo le za alohtone vode in alohtone naplavine — temveč tudi z apniškega površja samega.

Prod je namreč nastal tudi iz silikatnih vložkov (limonitnih, roženčevih itd.), ki tičijo med apnenci, torej se je oblikoval znotraj apniškega reliefa. Gre tedaj za avtohtono gradivo in avtohtone procese na samem apniškem površju. Samoniklost gradiva dokazuje tudi značilna poroznost silikatnega konglomerata, iz katerega so bili kasneje izjedeni karbonatni prodniki, kakor dokazujejo sedimentni relikti pri Brjah sredi Krasa.

Ostanki fosilnega fluvialnega nanosa, kakršni so na matičnem Krasu, niso nekaj izjemnega, temveč so značilni tudi za druge kraške pokrajine, kakor dokazujejo raziskovanja zadnjih let na Visokem krasu, Postojnskem krasu, v Posavskem hribovju, na Dolenjskem krasu itd.

V hladni pleistocenski dobi naj bi se bilo težišče poglobljanja in razdiranja tal prestavilo od apnencev na vododržne flišne plasti. Glavne doline so se na

teh plasteh poglobile za sto, dvesto in več metrov, apniško površje matičnega Krasa, ki je bilo še v mlajšem pliocenu v višini flišnega sosodstva, pa se je že ob koncu te dobe izluščilo kot čedalje izrazitejša planota. Kraške pokrajine so tako rekoč rastle sredi mehkega fliša, podobno kakor rasto apniške »čeri« izpod kraške ilovice, kakor je na primeru Dolenjskega krasa nazorno osvetlil že Hrovat (6).

V pleistocenski dobi naj bi bil torej potekal hipsografski razvoj reliefa v nasprotno smer. Hitreje od apnencev so se razdirala, zniževala in razčlenjevala silikatna tla oziroma mehanično manj odporni sedimenti, zlasti flišne plasti.

Ko je zajela pleistocenska poledenitev osrčje slovenskega alpskega sveta, je bila večina Slovenije v periglacialnem območju (19). Pelodne analize kažejo, da je ob poledenitvenih viških prevladoval močno odprti svet s stepo oziroma tundro ter redkim drevjem (8). Posebno med pleistocensko snežno in gozdno mejo (v pasu med 400 in 1300 m) je prevladovalo intenzivno mehanično razpadanje s soliflukcijskimi in drugimi procesi, kakor je v številnih razpravah prikazal Šifrer (npr. 19). Teh procesov je bil deležen tudi matični Kras, kakor pričajo med drugim z grobim drobirjem zatrpána brezna in vrtače (grušči, breče). Posledica tega je bila drobna izostritev apniškega reliefa.

V tem času se je poleg krepkega mehaničnega razpadanja močno stopnjevala zlasti erozija, ki je nižala in razčlenjevala mehanično manj odporne kamnine, v prvi vrsti terciarne plasti, med njimi zlasti flišne, mehanično odpornejši apnenci, ki so sestavljali hrbte, planote in vrhove, pa so čedalje bolj izstopali. Relief naših pokrajin se je tako čedalje bolj skeletiziral. To je nedvomno osnovna fiziognomska preobrazba našega kraškega in sploh celotnega reliefa.

Zaradi klimatskih in drugih kolebanj pleistocenske dobe se je relief zniževal postopno. To dokazuje že stopnjasto površje s serijo živoskalnih in akumulacijskih teras pleistocenske starosti. Za obravnavano področje pa priča o tem gosta terasiranost vipavskega, brkinskega in koprškega fliša, zlasti pa živoskalne terase na robu Krasa in še posebej v Vremski dolini, največji slepi dolini matičnega Krasa.

V gosti terasiranosti tega reliefa, ki je najizrazitejša ravno v spodnjih nekaj sto metrih, čedalje bolj spoznavamo klimatske vplive in čedalje manj tektonske. To hkrati pomeni, da je terasirani relief zelo mlad. Tako naj bi se bile Vipavska dolina, Brkinska dolina ter Koprška (Šavrinska) brda izoblikovala tako rekoč šele v tem času. Tudi matični Kras je pravzaprav pleistocenske starosti, dasi na njem razločno odsevajo tudi starejše, podedovane oblike. V luči recentne morfogenetske dinamike se kaže, da najstarejši deli matičnega Krasa niso niti dvakrat starejši od pleistocenskega površja. Temeljne zasnove apniškega površja v Sloveniji naj bi se bile torej izoblikovale proti koncu tople in razmeroma vlažne pliocenske klime. Zato čedalje več domačih geomorfologov meni, da imajo apniške pokrajine v Sloveniji marsikatero potezo, ki je sicer značilna za tropski in subtropski kras. Te naj bi se ohranile zlasti na kraških planotah in vzpetinah nad njimi (5). Na matičnem Krasu je videti, da so te poteze močno modificirane, predvsem pa znižane in pomlajene. Poteze tropskega krasa naj bi se kazale zlasti v značilnih, stožcem oziroma kopam podobnih vzpetinah.

Zaradi spremenjenega morfogenetskega razvoja v kasnejši pleistocenski klimi je nastalo na matičnem Krasu četvero prevladujočih elementov: vzpetine, uravnave, zaprte kraške globeli in prevotljeno podzemlje. Medtem ko naj bi bile

uravnave in vzpetine — zlasti kopaste — poteze tropskega krasa, kamor sodita še terra rossa in silikatni prod, pa so, nasprotno, zaprte kraške globeli, prevotljenost krasa in terase značilnost pleistocenskega razvoja, predvsem glacialov. Sem se uvrščajo še apniški grušči in breče ter denudacija kraških ilovic. V interglacialih pa so se obnavljali procesi, sorodni pliocenskemu razvoju.

Zaprte kraške globeli so nastajale s pokrajinsko sicer razpršeno, a lokalno vendarle koncentrirano korozijo, ki je prehajala neposredno v globinsko korodiranje, kar se je na odprtih apnencih dogajalo med hladno pleistocensko klimo.

Če govorimo o našem krasu kot fosilnem tropskem krasu, smo še bolj upravičeni govoriti o fosilnem periglacialnem krasu. Saj se čedalje bolj kaže, da je kraški relief predvsem kvartarne starosti (I. G a m s, 4), kar velja v celoti tudi za matični Kras.

Hipsografske razlike med matičnim Krasom in flišnim sosedstvom so sprva razlagali s tektoniko, danes pa jih tolmačimo predvsem s klimatsko morfologijo. Podčrtati pa velja, da gre pri tem tudi za različne posledice samega erozijskega in korozijskega procesa. Medtem ko erozija s koncentracijo vodnega odtoka deluje na površje izrazito enosmerno, osredotočeno in diferencirano, pa učinkuje korozija enakomernejše, ker gre za neposredne učinke deževnice in snežnice. Korozija je zato v bistvu avtohtona, ker jo soustvarja neposredna padavinska voda, nasprotno pa je erozija alohtona, ker nastaja šele s kopičenjem vode, ki se zbere z večjih površin, torej od drugod. Zaradi tega je erozija tudi bolj osredotočena in zato morfogenetsko izrazitejša. Korozija tudi v fluvialnem reliefu, kjer je prav tako živa, kakor sklepamo po trdoti flišnih voda, ne pride do prave veljave ravno zaradi enakomernejšega učinkovanja. Ker se korozija krepi tudi z alohtonimi silikatnimi vodami, kar je bilo pomembno zlasti v pliocenski dobi, so apniška tla proti silikatnemu površju povečini najbolj zravnanata in odprta, kar se nazorno kaže tudi na matičnem Krasu.

Ker se erozija krepi s kopičenjem vode, je osredotočena v dolinskem dnu. Nasprotno pa je razpršena, lokalna in policentrična korozija enakomernejša. Ker je gre nekaj še za votljenja podzemlja, je korozijsko zniževanje na splošno skromnejše od erozijskega.

Naj poudarim, da so klimatski in drugi prirodnogeografski vplivi za korozijski proces še posebno pomembni. To velja že za drobne razlike v samem reliefu, v mikroklimi pa tudi glede pedološke in vegetacijske odeje. Tudi na karbonatnemrodu Ljubljanskega in Goriškega polja se uveljavlja korozija. Vendar je brez reliefnega učinka zaradi homogene podlage, namreč zaradi petrografske, filtracijske, pedološke homogene. Zato korozijska dinamika ni diferencirana. Gre tedaj za enakomerno zniževanje površja, kar se kaže zgolj v enakomernem nastajanju prepereline in v trdoti pronicajoče vode. Šele ko pride do razlik v sestavi tal, npr. do različne sprijetosti proda, se začne kazati vegavost in zametki vrtač, kar opazujemo npr. na Vodiškem polju sredi Ljubljanske kotline. Čim pa so prve razlike zasnovane, se čedalje bolj stopnjujejo. Odtod tudi razlike v intenzivnosti korozijskega procesa na različno pretrtih in različno čistih apnencih oziroma na krasu z različno preperelinsko odejo. Poleg različne čistosti in različne pretrtosti apnencev, kar so poudarjali že starejši proučevalci, so za diferencirano korozijsko izoblikovanost površja pomembne torej še druge prirodnogeografske razlike, kar v zadnjem času čedalje jasneje spoznavamo.

Tudi merjenja trdote padavinske vode v raznih delih matičnega Krasa ta spoznanja v celoti potrjujejo.

Nekdaj so pri tolmačenju kraškega reliefa zelo poudarjali geološke osnove. To je veljalo zlasti za petrografsko sestavo karbonatnih kamnin, za njihovo geološko zgradbo in tektonsko pretrtost pa tudi za tektonsko dinamiko, zlasti glede vertikalnih premikov. Tem osnovam sicer tudi danes ne odrekamo morfo-genetskega pomena, pač pa čedalje bolj upoštevamo druge morfo-genetske faktorje, posebno klimatske. Vendar celo geoloških faktorjev morfo-genetsko nismo do kraja osvetlili. V luči enotnega obravnavanja kraškega in normalnega reliefa se namreč kaže, kako že sama orogeneza spreminja petrografsko sestavo tal. Pri gubanju so sprva obsežnejše plasti stisnjene na manjši prostor. Ko gre za različno odporne plasti, npr. za mehkejši fliš in trše mezozojske apnence, že zaradi tega pride do spremenjene petrografske sestave tal. V sinklinalah stisnjene plasti so skrčene, v antiklinalah napete ali pretrgane. Ker so v sinklinalah največ terciarne plasti, v dinarskem svetu zlasti fliš, so bile te tudi tektonsko reducirane. Pri ozkih in globokih sinklinalah je sinklinalno površje tudi trikrat manjše od nenagubanih plasti. Nazoren primer za tako skrčene terciarne plasti so sinklinale Posavskega hribovja. Toda tovrstni pojavi so bili tudi na matičnem Krasu oziroma na njegovem obrobju.

Kakšna se potemtakem kaže apniška pokrajina, ki jo imamo za matico klasičnega krasa? Njene pglavitne poteze so sicer nedvomno v zvezi z geološko zgradbo. Zato bi matični Kras lahko označili kot morfostrukturni tip kraškega reliefa. Toda genetično nam delitev krasa na morfostrukturni oziroma morfo-skulpturni relief malo pove. Pri matičnem Krasu je namreč očitno, da je šel razvoj prek obeh omenjenih tipov. Zato je ustreznejše, da v tipologiji kraškega reliefa zajamemo še razvojni položaj kraških pokrajin, zlasti glede njihovega razmerja do neprepustnega sveta kakor glede prevladujočega vodnega pretoka, ki je s tem v zvezi. Vode so namreč v odločilnih morfo-genetskih fazah kraško površje bodisi prečkale, se na njem stekale z neprepustnega obrobja ali pa so se z njega raztekale, ko so se usmerjale proti neprepustnemu sosedstvu. Tako bi kazalo razlikovati kraški svet na pretočnih (transverzalnih) apnencih ali kratko-malo transverzalni kras, ki so ga vode predvsem prečkale, ko so ga ustvarjale; nadalje kras sotočnih apnencev ali sotočni kras, na katerem so se povrhnje vode stekale z neprepustnega obrobja ter kras povirnih apnencev ali povirni kras, ki so ga vode izoblikovale takrat, ko so se z njega površinsko raztekale. To je sicer posredno, genetično označevanje kraškega reliefa. Toda s položajem apniških pokrajin in njihovim hipsografskim ter hidrološkim odnosom do neprepustnega sosedstva so zasnovane bistvene poteze kraškega reliefa. To pa je tudi osnova za morfo-genetsko klasifikacijo in tipologijo kraškega reliefa.

Za matični Kras se kaže, da je šel razvoj po naslednjih razvojnih fazah (primerjaj risbo):

a) Normalni relief na pokritih apnencih (to je na apnencih, ki ga je zagrinjal fliš).

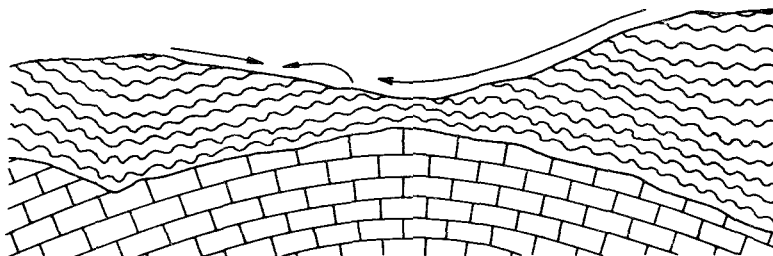
b) Fluviialni relief na sicer že razkritih, a hkrati še zaprtih (obloženih) apnencih. Ti so imeli sprva lastnosti sotočnih in kasneje transverzalnih apnencev. Za to razvojno fazo so posebno značilni koordinirani korozijski procesi.

MORFOGENETSKA SHEMA MATIČNEGA KRASA SCHEMA MORPHOGÉNÉTIQUE DU KARST PROPREMENT DIT

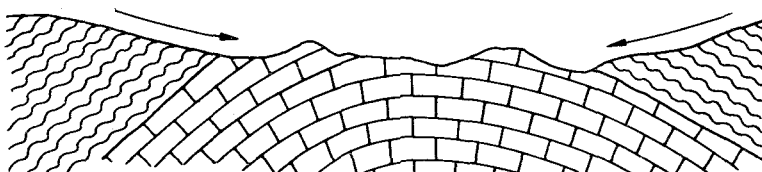
TRŽASKI ZALIV
GOLFE DE TRIESTE

MATIČNI KRAS
KARST PROPREMENT DIT

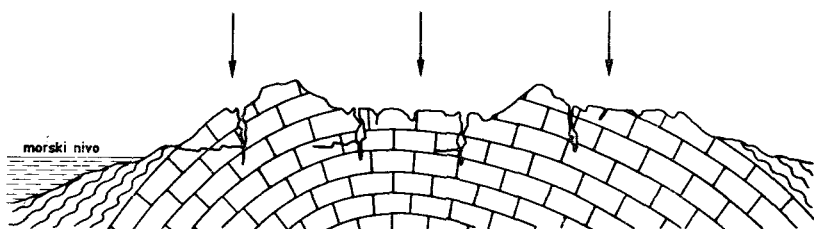
VIPAVSKA DOLINA
VALLÉE DE LA VIPAVA



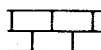
- I. EROZIJSKA FAZA — POKRITI APNENCI
I. PHASE D'ÉROSION — CALCAIRES COUVERTS



- II. EROZIJSKO-KOROZIJSKA FAZA — RAZKRITI A OBLOŽENI APNENCI
II. PHASE D'ÉROSION-CORROSION — CALCAIRES DÉCOUVERTS, MAIS CHARGÉS



- III. KOROZIJSKA FAZA — ODPRTI APNENCI
III. PHASE DE CORROSION — CALCAIRES DUVERTS



APNENCI
CALCAIRES



FLIŠ
FLYSCH

PREVLADUJOČA SMER VODNEGA ODTOKA
DIRECTION PRÉDOMINANTE DE
L'ÉCOULEMENT DES EAUX

a) Kraški relief — odprti in izolirani apnenci; zniževanje in razdiranje flišnega oboda, prevlada nekoordinirane korozije, globinska vodna cirkulacija in splošna prevotljenost tal.

V celoti se nam torej matični Kras kaže kot izrazita stična morfogenetska pokrajina in zato njegova zakraselost ni tako čista in avtohtona, kakor bi sklepali po sedANJI izoliranosti te pokrajine.

Na kratko bi lahko naše zgoraj podane poglede na razvoj matičnega Krasa povzeli takole. Matični Kras se je razvijal v tesni sozavisnosti s flišnim sosedstvom, odkoder so vode odtekale na apnence, ko je bil fliš višji, apniško jedro pa nižje in zaprto. To fluvialno fazo s koordinirano in ploskovno korozijo je prekinila pleistocenska morfogeneza, ki je flišni obod erozijsko razdrila in odprte apnence z globinsko korozijo prevotlila ter matični Kras osamila kot planoto. Spreminjanje hipsografskega razmerja med matičnim Krasom in flišnim sosedstvom tolmačimo s klimatsko diferenciranimi morfogenetskimi procesi med pliocensko in pleistocensko dobo. Matični Kras je genetični tip transversalne apniške pokrajine in primer skeletiziranja reliefa.

Résumé

LE KARST PROPREMENT DIT À LA LUMIÈRE DE L'ÉVOLUTION PLUS LARGE DU RELIEF

Le Karst proprement dit (la région appelée Karst, en slovène Kras, près de Trieste) s'est développé en étroite corrélation avec le voisinage de flysch, d'où les eaux s'écoulaient sur les calcaires, quand le flysch était plus haut et le noyau calcaire plus bas et chargé. Cette phase fluviale à corrosion coordonnée et plate a été interrompue par la morphogenèse pléistocène, qui a démolí par l'érosion la bordure de flysch, percé les calcaires ouverts par la corrosion en profondeur et isolé le Karst proprement dit en tant que plateau. Nous expliquons le changement du rapport hypsographique entre le Karst proprement dit et le voisinage de flysch par les processus morphogénétiques différenciés par le climat au cours des périodes pliocène et pléistocène. Le Karst proprement dit est le type génétique du paysage calcaire transversal et un exemple de la squelettisation du relief. Son évolution a connu les phases suivantes:

a) Relief normal sur les calcaires couverts.

b) Relief fluvial sur les calcaires certes déjà découverts et à la fois encore fermés (chargés). Ceux-ci avaient d'abord les propriétés des calcaires de confluent et plus tard transversaux. Les processus de corrosion coordonnés sont particulièrement caractéristiques pour cette phase de l'évolution.

c) Relief karstique — calcaires ouverts et isolés; abaissement et démolition de la bordure de flysch, prédominance de la corrosion non coordonnée, circulation de l'eau en profondeur et perforation générale du relief.

Literatura

1. Corbel, J., 1956/57. Le Karst proprement dit. Étude morphologique. Revue de Géographie de Lyon, Lyon.
2. D'Ambrosi, C., 1960. Sviluppo e caratteristiche geologiche della serie stratigrafiche del Carso di Trieste. Boll. Soc. Adr. Sc. Nat. 51, Trieste.
3. Gams, I., 1962. Slepe doline v Sloveniji. Geogr. zbornik 7, Ljubljana.
4. — 1969. H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkljanskim poljem. Geogr. vestnik 37, Ljubljana.
5. Habič, P., 1968. Kraški svet med Idrijco in Vipavo, Dela 4. raz. SAZU 21, Ljubljana.
6. Hrovat, A., 1953. Kraška ilovica. Ljubljana.
7. Marussi, A., 1941. Il Paleotimavo e l'antica idrografia subaerea del Carso triestino. Boll. Soc. Adr. Sc. Nat. 38, Trieste.
8. Maucci, W., 1960. Evoluzione geomorfologica del Carso Triestino successiva all'emersione definitiva. Boll. Soc. Adr. Sc. Nat. 51, Trieste.
9. Melik, A., 1960. Slovensko primorje. Ljubljana.
10. Radinja, D., 1964. Nova morfogenetska dognanja na matičnem Krasu. Ljubljana (tipkopis).
11. — 1966. Morfogenetska problematika matičnega Krasa. Geogr. obz. 3—4. Ljubljana.
12. — 1967. Vremenska dolina in Divaški Kras. Geogr. Zbornik 10, Ljubljana.
13. — 1969. Doberdobski Kras. Morfogenetska problematika robne kraške pokrajine. Geogr. zbornik 11, Ljubljana.
14. — 1972. Senožeško podolje. Pokrajina na stiku fluvialnega in kraškega reliefa, Geografski zbornik 13, Ljubljana.
15. — 1972. Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfogenetskega razvoja. Geogr. zbornik 13, Ljubljana.
16. Roglić, J., 1957. Zaravni na vapnencima. Geogr. vestnik 19, Zagreb.
17. Rus, J., 1925. Morfogenetske skice iz notranjskih strani. Geografski vestnik 1, Ljubljana.
18. Šercelj, A., 1963. Razvoj würmske in holocenske gozdne vegetacije v Sloveniji. Razprave 4. raz. SAZU 7, Ljubljana.
19. Šifrer, M., 1961. Porečje Kamniške Bistrice v pleistocenu. 4. raz. SAZU Dela 12, Ljubljana.
20. Šribar, L., 1967. O sedimentih na meji kreda-terciar v južni Sloveniji. Geologija 10, Ljubljana.

TESNENJE POŽIRALNIKOV IN PRESIHANJE CERKNIŠKEGA JEZERA

(s 17 risbami in fotografijami v besedilu)

BOUCHEMENT DES PONORS ET TARISSEMENT DU LAC DE CERKNICA

(avec 17 dessins et figures dans le texte)

P E T E R H A B I Č

(Inštitut za raziskovanje krasa SAZU, Postojna)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)

Comunication présentée au 6^e Congrès des spéléologues yougoslaves
(Sežana—Lipica, octobre 10—15, 1972)

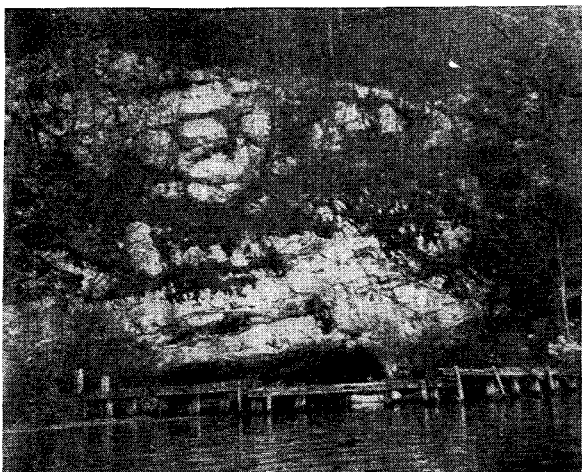
Uvod

Cerkniško jezero je že zelo zgodaj vzbudilo zanimanje naravoslovcev. O tem presihajočem kraškem jezeru je morda poleg Postojnske jame največ napisanega (B. Korošec, 1967). Preučevanje in opisovanje Cerkniškega jezera je bilo tesno povezano z melioracijami in odpravljanjem poplav. Zlasti proti koncu preteklega in v začetku sedanjega stoletja so skušali z odpiranjem požiralnikov zmanjšati obseg in trajanje poplav ter postopoma meliorirati jezersko površje. Z regulacijo strug in čiščenjem požiralnikov so nekoliko pospešili odtok iz jezera in skrajšali poplavno obdobje, kakšnih posebnih uspehov pa s tem niso dosegli.

V zadnjih dveh desetletjih je prevladala želja po podaljšanju poplav in celo po trajnem jezeru, ki bi ga bilo mogoče gospodarsko bolje izkoriščati, saj večji del leta poplavljeni travniki ne nudijo kmetijstvu veliko. Poleg tega pa poplav ni mogoče povsem in brez škode odpraviti. Med raznimi načrti za ugodnejšo izrabo presihajočega Cerkniškega jezera je doslej prevladal načrt F. Jenka (1968), ki predvideva zaježitev glavnih odtočnih kanalov, s čimer naj bi jezero v namočenih letih postalo stalno, v sušnih letih pa bi za krajši čas še presahnilo. S tesnenjem požiralnikov naj bi dosegli podobno stanje, kot je bilo pred začetkom melioracij in odpiranja požiralnikov, ko jezero tudi po več let zapovrstjo ni presahnilo. Trajnejše jezero naj bi omogočilo razvoj turizma, ribištva in drugih gospodarskih dejavnosti.

Mnogi strokovnjaki, hidrologi in krasoslovci, so dvomili v uspešno zatesnitev požiralnikov in v pomembnejše podaljšanje jezera, saj je znano, da se na kraških poljih radi odpirajo novi požiralniki, če stare mašimo. Vkljub pomislekom so se le odločili za poskusno zaježitev odtočnih kanalov, če ne za drugo, da vsaj vidijo, kaj se da napraviti. S poskusom naj bi obenem pridobili nove hidrološke podatke, saj dosedanje vrednosti niso dovolj natančno določene in ne omogočajo zanesljive vodne bilance. Pri vseh melioracijah in načrtih za akumulacijo vode so si strokovnjaki pomagali le s približnimi podatki, zato so ocene o pretokih na Cerkniškem jezeru zelo različne.

Zaježitev več kot 7 km dolgega raziskanega jamskega sistema Male in Velike Karlovice, ki predstavlja glavne odtočne rove v smeri proti Rakovemu Škocjanu, je bila vkljub zakasnitvi in precejšnji podražitvi gradbenih del izvedena do začetka novembra 1969 (sl. 1). Sprva zapornica, s katero lahko reguliramo odtok, še ni bila povsem dograjena, vendar se je kmalu pokazalo, da jezovi pri Mali in Veliki Karloviči uspešno zadržujejo odtekanje vode v podzemeljski jamski sistem (sl. 2). Zavod za turizem v Cerknici je organiziral opazovanje vodne gladine pri zapornici, za podrobnejši program hidroloških raziskav, ki ga je pripravil Hidrometeorološki zavod SRS v okviru naravoslovnih

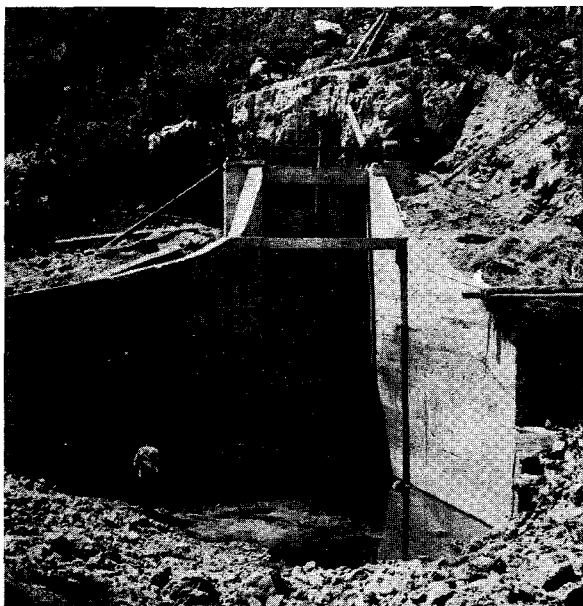


Sl. 1. Vhod v zajezeno Veliko Karlovico, jezero je sedaj mirno, medtem ko je pred zaježitvijo tu drla v podzemlje mogočna reka

Fig. 1. L'entrée dans Velika Karlovica bouchée, le lac est calme, bien qu'ici avant le barrage l'eau roulait à grands flots en souterrain

raziskav Cerkniškega jezera pri Slovenski akademiji znanosti in umetnosti, pa ni bilo dovolj sredstev.

Da ne bi ostali brez rezultatov, smo se v okviru Inštituta za raziskovanje krasa lotili nekaterih hidroloških meritev in opazovanj. Del njihovih rezultatov želimo v naslednjem predstaviti. Po treh letih se zaključuje poskusno obdobje tesnenja požiralnikov. Skupščina občine Cerknica kot glavni investitor posegov v naravne razmere Cerkniškega jezera bo morala sprejeti nadaljnje ukrepe,



Sl. 2. Spuščena zapornica pred umetnim rovom, po katerem odteka visoka voda iz Cerkniškega jezera v Veliko Karlovico. Betonski mostiček je na koti 552, pod njim na steni sled visoke vode

Fig. 2. Le barrage fermé avant le tunnel artificiel, par lequel l'eau du Lac de Cerknica s'écoule dans Velika Karlovica. Le pont du béton se trouve sur la cote 552, au-dessus on voit les traces de crue sur les rochers

ki pa niso odvisni samo od hidroloških posledic tesnenja požiralnikov, temveč od širšega kompleksa vprašanj, na katera skušajo najti odgovor tudi omenjene naravoslovne raziskave in druge študije. Glede samih hidroloških razmer pa se bo mogoče opreti na naslednje ugotovitve.

Razporeditev požiralnikov in ocena njihove požiralnosti

Na podlagi speleoloških in hidrogeoloških raziskav, ki so bile posebno intenzivne v zadnjih letih (R. Gospodarič, 1970, 1972), ločimo na Cerkniškem jezeru dve glavni skupini požiralnikov. Vrsta manjših ponikev v dnu jezera predstavlja hidravlično enoto. Ponikve so med seboj povezane z razmeroma majhnimi podzemeljskimi kanali, ki odvajajo vodo iz Cerkniškega jezera neposredno v izvire Ljubljani in Bistre. To so ugotovili z barvanjem posameznih požiralnikov v zadnjem desetletju (I. Gams, 1965).

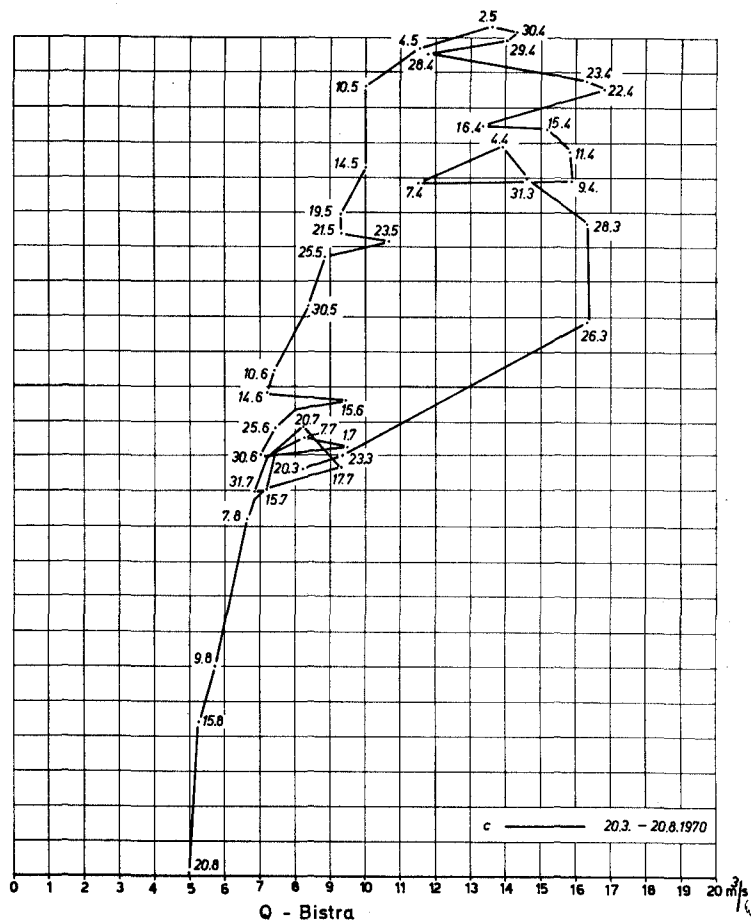
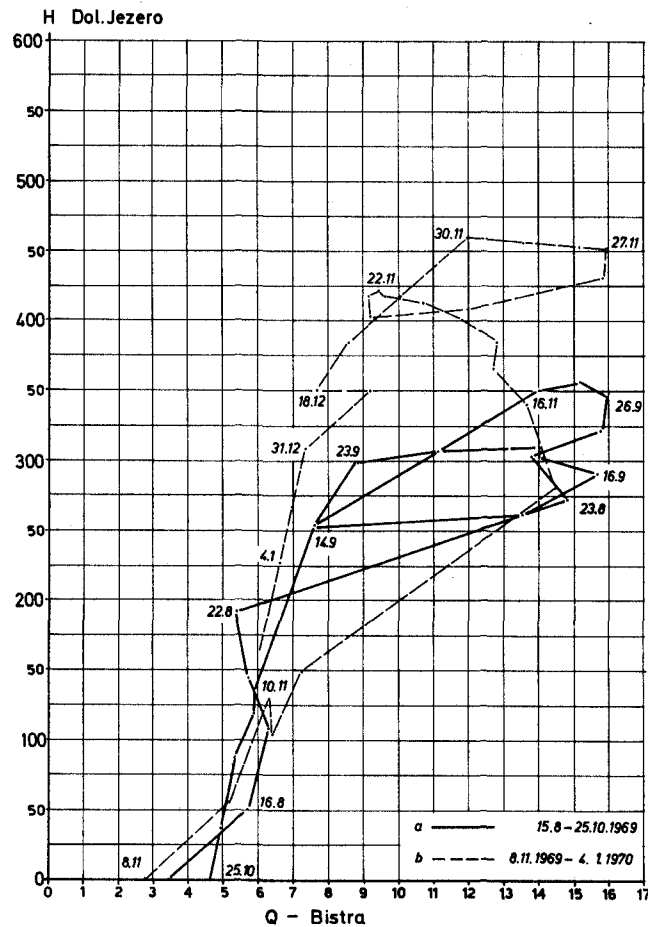
Druga skupina požiralnikov je razporejena v severozahodnem kotu Cerkniškega jezera v tako imenovanem Jamskem zalivu. Od tam odteka voda proti Rakovemu Škocjanu in na Planinsko polje. Tudi te podzemeljske zveze so bile že večkrat preverjene z barvanjem (I. Gams, 1970). Podrobneje so proučene tudi jame tega zanimivega odtočnega sistema (R. Gospodarič, 1970). Projekt podaljšane ojezeritve predvideva zajezitev požiralnikov v Jamskem zalivu, medtem ko tesnenje požiralnikov na jezerskem dnu skoraj ni izvedljivo.

Predvideno podaljšanje ojezeritve je oprto na približni račun dotoka in odtoka vode. Ker tega ni mogoče neposredno meriti, saj so ob poplavih izviri in požiralniki potopljeni, je pri računanju dotoka F. Jenko (1965) ločil tri različne hidrološke situacije: a) ko je jezero suho, b) ko je voda v strugi Stržena in c) ko voda preplavi polje in nastane jezero. Za vsako situacijo so upoštevane bistvene hidrološke posebnosti in določene pretočne vrednosti, čeprav pretoki niso neposredno merjeni, temveč so določeni posredno na podlagi nekaterih teoretičnih izhodišč.

V prvi (a) situaciji naj bi bil dotok približno enak pretokom na izviri Bistre, spodnje Lubije in spodnje Cerkniščice. V drugi (b) situaciji je enako kot v prvi, le da je treba prišteti še pretok Stržena pri Dolenjem Jezeru. V tretji (c) situaciji pa naj bi bil dotok enak odtoku v dnu jezera (okrog $13 \text{ m}^3/\text{s}$), v manjših požiralnikih Jamskega zaliva (ocenjeno na $5 \text{ m}^3/\text{s}$) in v Karlovici (po pretočni krivulji Stržena pri Dolenjem Jezeru), k temu pa je treba prišteti ali odšteti še razliko v akumulaciji vode v jezeru. Po tej metodi je ocenjen dotok na Cerkniško jezero od 2 do $240 \text{ m}^3/\text{s}$, za obravnavano hidrološko obdobje 1948–1952 pa naj bi znašal srednji pretok $16,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

O požiralnosti ponikev v dnu jezera

Natančnejše meritve pretokov so pokazale na nekatere pomanjkljivosti navedene metode računanja dotoka v jezero. Ko povsem presahne Cerkniško jezero, imata Bistra in del Lubije še okrog $4\text{--}5 \text{ m}^3/\text{s}$ pretoka. Del te vode sicer lahko še podzemeljsko priteka iz hidrografskega zaledja Cerkniškega jezera,



Sl. 3. Podzemne pretočnice Cerknjsko jezero — Bistra pred (a) in po zaježitvi (b, c)
Fig. 3. Les courbes du débit souterrain combinées Lac de Cerknica — Sources de Bistra avant (a) et après (b, c) le bouchement

večji del pa je iz vmesnega predela med Cerkniškim jezerom in Bistrom, pa tudi iz Unice na Planinskem polju odteka voda v Bistrom, kot so ugotovili z barvanjem leta 1964 (L. Kerin, 1965, 12). Odtok z Loškega polja neposredno v izvire Bistre ni dokazan (F. Bidovec, 1968), zato ni izključeno, da se del hidrografskega zaledja Cerkniškega jezera vendar le ne odteka neposredno na Ljubljansko Barje. Razumljivo je tedaj minimalni dotok na Cerkniško jezero bistveno manjši od skupnega minimalnega pretoka v Bistri in delu Lubije.

Naslednje pomembno vprašanje pri vrednotenju dotoka na Cerkniško jezero s primerjavo pretokov v Bistri in delu Lubije je razmerje teh pretokov s požiralno sposobnostjo ponikev v dnu jezera. Medsebojno odvisnost je F. Jenko (1959, 35) skušal dokazati s podzemeljsko pretočnico Cerkniško jezero—Bistra. Po tej metodi je ocenil požiralnost talnih ponikev pri polnem jezeru na okrog $13 \text{ m}^3/\text{s}$. Podzemeljsko pretočnico s primerjavo vodostajev na jezeru in pretokov v Bistri smo posebej analizirali za stanje pred in po zajezitvi. Vrednost navpičnice pri tej podzemeljski pretočnici je Jenko napačno pripisal samo omejeni požiralnosti ponikev na Cerkniškem jezeru. Omenili smo že, da izvire Bistre napajajo tudi požiralniki na Planinskem polju ter vmesno področje. Če odštejemo te vmesne pritoke, se požiralnost jezerskih ponikev zmanjša skoraj za polovico. Cenitev dotoka v jezero po pretokih v Bistri daje tedaj zagotovo previsoko vrednost.

Podzemeljske pretočnice Cerkniško jezero—Bistra kažejo pred zajezitvijo in po njej enake poteze (sl. 3). Po presahnitvi ali ob začetku poplav ima Bistra še vedno $4\text{--}5 \text{ m}^3/\text{s}$ vode. Toliko vode dobiva Bistra prav gotovo mimo Cerkniškega jezera ali pod njim. Sama poplava na jezeru bi skozi ponikve v dnu lahko odvajala v Bistrom, največ do $6 \text{ m}^3/\text{s}$ in to ne glede na zajezitev kanalov v smeri proti Rakovemu Škocjanu. S tem zajezevanjem se požiralna sposobnost talnih ponikev vsaj po dosedanjih opazovanjih ni povečala, večji je le celotni delež odtoka iz Cerkniškega jezera v smeri proti Bistri.

Kapaciteto ponikev v dnu jezera smo skušali neposredno meriti ob polnjenju in praznjenju jezera. Koristne so zlasti meritve pretokov na pritočni strani jezera ob začetku deževja po daljši presušitvi jezera. Ugotovili smo, da se začno polniti talne ponikve že pri $3 \text{ m}^3/\text{s}$ pretoka v Strženu pri Gornjem Jezeru. Bistveno pa se gladina jezera ne menja, ko znaša dotok na jezero okrog $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Po naših meritvah in cenitvah je približno tolikšna tudi maksimalna požiralna sposobnost talnih ponikev. Pri višjih vodostajih namreč požiralnost talnih ponikev bistveno ne narašča, je pa lahko nekoliko večja pri praznjenju kot pri polnjenju jezera, če nekateri požiralniki delujejo kot estavele. Spremembe v požiralnosti talnih ponikev pa še niso dovolj preučene, saj jih je izredno težko izmeriti.

Ribiški jezovi pred ponikvami v dnu jezera

Vse vode so ob suši na Cerkniškem polju zelo dragocene. Zlasti ribiči skušajo na vse načine zadržati vodo čimdalj na površju, da bi rešili ribji zarod ob presahnitvi jezera.

Vztrajna prizadevanja ribičev lahko spremljamo ob številnih jezovih, ki so jih zgradili iz blata in skal, vej in desk, da bi preprečili odtekanje vode v

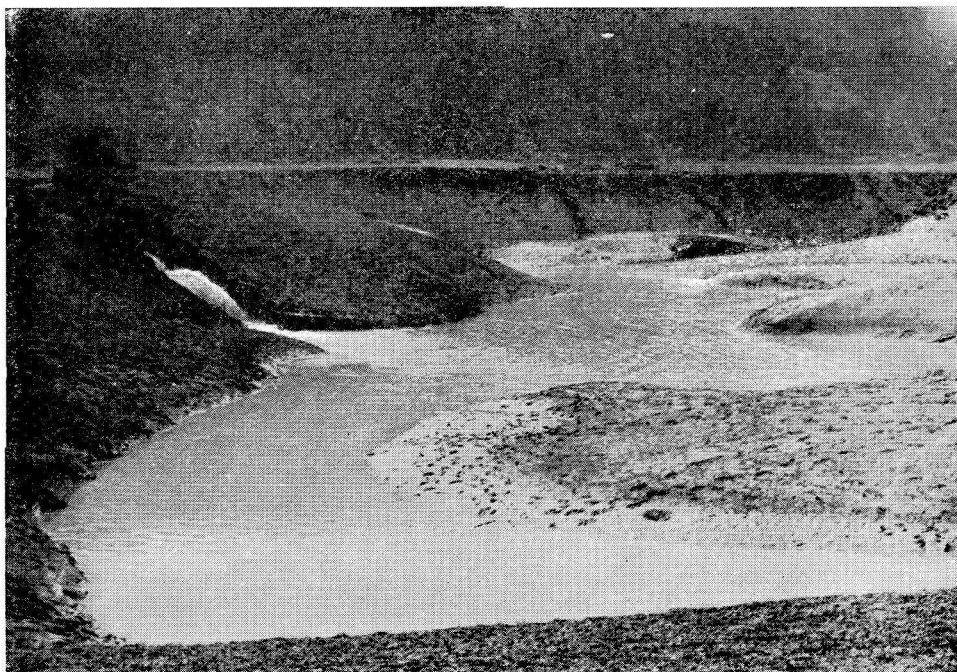


Sl. 4. Stari ribiški jez pred skupino požiralnikov v Rešetu je voda predrla

Fig. 4. L'eau a percé l'ancien barrage, construit par les pêcheurs, devant une série des ponors à Rešeto

požiralnike. Največji jez so še pred leti zgradili pred požiralniki v območju Rešeta (sl. 4). S skalami obložen nasip je voda kmalu razdrla, morda pa so ji pomagali tudi nekateri domačini, ki so želeli čim hitreje presihanje jezera. Leta 1969 so stari jez obnovili in povišali, ob strani pa so skopali prelivne varovalne jarke, ki naj bi ob naraščanju ali upadanju vode v požiralni kotanji onemogočili razdiralno prelivanje vode preko nezavarovanega ilovnatga nasipa. Opazovanja hidroloških razmer in meritve pretokov pri Rešetu so dala zanimive rezultate o požiralnosti teh ponikev. Tu smo tudi najlaže spremljali postopno praznjenje in polnjenje ponikev ter prelivanje posameznih požiralnikov. Obenem pa smo v izkopenem jarku zasledili zanimivo sestavo nekdanjih naplavin in sprememb v njih, ki so nastale pod vplivom grezanj in spiranja v zakraselo podlago (R. G o s p o d a r i č, 1972; A. Š e r c e l j, 1972).

Obnovljeni ribiški jez pri Rešetu, ki so ga zgradili poleti 1969, je ob prvi poplavi uspešno zadrževal vode pred požiralniki. Ko se je gladina jezera znižala do nadmorske višine okrog 548 in je jez pogledal iz vode, se je začelo Rešeto polagoma prazniti (sl. 5). Tedaj smo izmerili v umetnem jarku, ki je speljan ob jezu okrog 800 l/s pretoka. Čim se je pretok zmanjšal, je začela voda upadati v požiralnikih Rešeta. Pred jezom je vodna gladina ostala dobrih 14 dni skoraj nespremenjena. Dne 28. 9. pa je voda iz zajezone struge pred Rešetom nena-

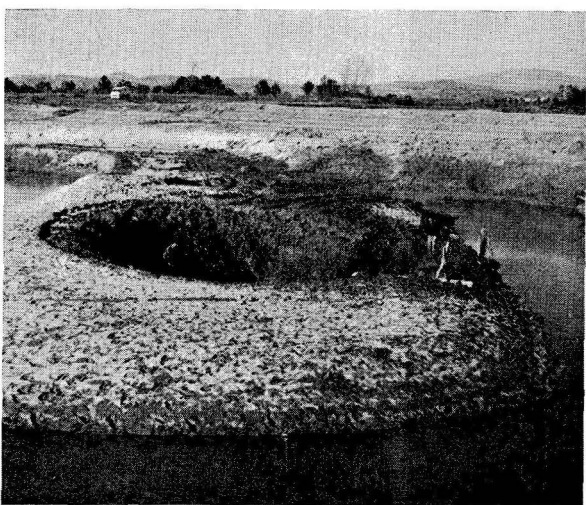


Sl. 5. Obnovljeni jez pred Rešeto je le nekaj dni zadrževal vodo. Ta se preliva po varovalnem jarku v požiralne kotanje, ki se pri pretoku pod 800 l/s izpraznijo
 Fig. 5. Le barrage devant Rešeto reconstruit a retenu l'eau quelques jours seulement. L'eau s'écoule à travers le déversoire dans les vasques devant les pertes, lesquelles se vident à débit au-dessous 800 l/s

doma odtekla. V dnu se je namreč pojavil mlad požiralnik, ki je nastal z ugrezanjem naplavin v podzemeljsko votlino, povezano z glavnimi požiralniki v območju Rešeta. Ves trud ribičev, da bi zadržali vodo v obsežni strugi Stržena med Goričico, Suhadolico in Rešeto, je bil zaman. Voda si je poiskala novo pot v navidez nepropustnem dnu polja.

V naslednjih letih smo ob ponovnih presahnitvah lahko spremljali preoblikovanje omenjenega požiralnika. Ta se je širil in poglabljal, čeprav so ga ponovno skušali zasuti. Na priloženi fotografiji so vidne spremembe, nastale, v letih 1970 in 1971 (sl. 6). Manjši požiralnik se je odprl tudi tik ob vznožju jeza. Ribiči so ga pokrili s polivinilom in ga zasuli, toda naslednje leto se je grezanje in požiranje ponovilo. S strojem so zasuli prvotni grez, naslednje leto se je udril ves novi nasip, obenem pa se je območje greza še razširilo. V dnu se je pokazala skalna podlaga, ki je prevotljena kot v požiralnikih pri Rešetu onstran jezu.

Po razporeditvi grezov in požiralnikov pri Rešeto in tudi pri Vodonosu lahko ugotovimo, da spiranje in grezanje naplavin v stare zakrite požiralnike postopoma napreduje v smeri proti Cerkniškemu vršaju. Tam se odpirajo mlajši



Sl. 6. Pred jezo pri Rešetu se je odprl star, z ilovico prekrit požiralnik in po njem je vsa zajezena voda čez noč odtekla
Fig. 6. Devant le barrage à Rešetu un ancien ponor, couvert de limon s'était ouvert et pendant la nuit toute l'eau captée s'écoulait

grezi in ko jih doseže, voda v njih najlaže odteka. Stari požiralniki in grezi pa se počasi spet mašijo in voda teče preko starih ponikev. Takšen razvoj smo lahko sledili v vsem predelu med Sitarico in Vodonosom, kjer je več sto manjših požiralnikov. Na takem površju ni mogoče zadržati vode s površinskimi jezovi, prej ali slej se obnovijo nekdanji požiralniki. V normalnih razmerah so požiralniki nekako v ravnotežju. Vkljub dolgotrajnim poplavam se večina požiralnikov morfološko le malo spreminja, kar je predvsem odvisno od hidravličnega ravnotežja. Manjši požiralniki sredi polja so aktivni le ob praznjenju in polnjenju jezera, ko pa jih voda v celoti zalije, prevzamejo njihovo požiralno funkcijo sosednji požiralniki bolj na obrobju jezera. Ob polnem jezeru so potemtakem aktivni predvsem obrobni zunanji požiralniki pri Rešetu, Vodonosu, Retju. Prav v teh predelih pa lahko v zadnjih letih ob umetnem vodnem režimu na jezeru opazujemo pospešeno spiranje naplavin v zakraselo podlago in odpiranje svežih grezov ter obnavljanje že zasutih požiralnikov. Pred leti pa so se zaradi melioracij širili zlasti požiralniki ob Strženu, ker je poplavna voda hitreje odtekla.

Vkljub slabim izkušnjam z zajezevanjem vode pred talnimi požiralniki pa so ribiči na Cerkniškem jezeru ob poletni suši leta 1971 zgradili še več manjših jezov z namenom, da bi vsaj nekaj vode zadržali v navidez nepropustnih strugah. Pregradili so strugo Stržena nedaleč od Suhadolice. Toda pritoki iz kraškega podzemlja v tem delu so bili prešibki, da bi ohranili vodo v strugi. Po dobrem tednu se je vsa izgubila v tleh.

Poglobljeno strugo Stržena pred Suhadolico in Rešetom so skušali napolniti z vodo Žerovniščice, ki sicer ponika v Retju. Od tam so izkopali in deloma obnovili jarek ter z nasipi ob Sitarici skušali napeljati vodo do jezua pred Suhadolico. Čeprav so požiralno območje pri Sitarici (sl. 7) obdali od vseh strani z nasipi, je majhen potoček z nekaj litri pretoka na sekundo presahnil

Sl. 7. Sitarica, požiralnik Stržena pri Goričici je eden od mnogih s podzemeljskimi kanali med seboj povezanih ponikev v dnu jezera, ki se ob presihanju poslednji izprazni in po dežju prvi napolni

Fig. 7. Perte dans le lit de Stržen près de Goričica, nommée Sitarica, est une des plusieurs pertes avec les conduites souterraines liées au fond du lac; au tarissement elle se vide la dernière, à la pluie elle s'accumule la première



v naplavinah in ni dosegel niti struge onkraj Sitarice. Tudi betoniranje manjših požiralnikov v strugi Stržena pred Sitarico ni koristilo (sl. 8).

Manjše jezove so ribiči zgradili že pred leti skoraj pred vsako skupino talnih ponikev. Dosegli pa so le delne in kratkotrajne učinke. Tako je jez ob Strženu sicer zadržal vodo pred Veliko Ponikvijo, toda Stržen je našel novo pot v podzemlje komaj nekaj sto metrov dalje. V Srednji Ponikvi, ki je po pripovedovanju ribičev stara le dobrih 10 let, je naglo izpral veliko požiralno kotanjo. Njeno požiralnost smo lahko ocenili na okrog 500 l/s. Ob tej ponikvi, smo lahko sledili tudi zanimivemu razvoju talnih požiralnikov, ki so bili ob prevladujočem nasipanju na Cerkniškem polju večkrat zatrpani z naplavinami,

Sl. 8. V strugi Stržena pred Sitarico je več manjših požiralnikov, ki so jih zaman zabetonirali

Fig. 8. Dans le lit de Stržen devant Sitarica il y a plusieurs ponors plus petits qui ont été bétonner en vain



ob prevladujočem spiranju naplavin pa spet izpraznjeni. Vsi znaki kažejo, da v sedanjih razmerah prevladuje spiranje sedimentov z zakraselega dna Cerkniškega polja in težko bo z umetnim zajezevanjem ta proces za daljše obdobje zaustaviti.

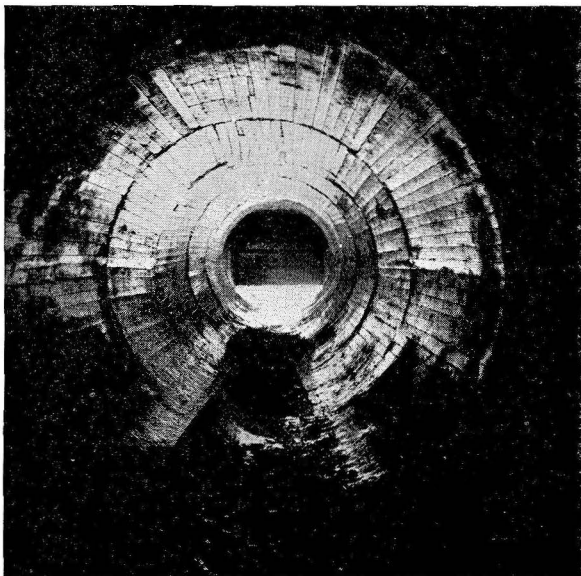
Zajezitev Karlovic in požiralnost jamskega zaliva

Hidrološke razmere v Jamskem zalivu

Hidrološke razmere so bile v glavnih potezah znane že pred zajezitvijo največjih ponorov kot sta Velika in Mala Karlovica. Meritve in opazovanja v poskusnem obdobju zajezevanja pa so omogočila nekaj novih spoznanj o hidrološki funkciji in požiralni sposobnosti krasa med Cerkniškim jezerom in Rakovim Škocjanom. Obenem smo mogli oceniti tudi uspešnost zajezevanja robnih ponikov in požiralnikov.

Trenutni učinek zajezitve Karlovic se je pokazal v različnih gladinah vode v jezeru in v jami za jezom. To razliko smo večkrat izmerili pri Veliki Karlovici in na obeh straneh zapornice pri Rakovskem mostku. Učinek zajezitve Karlovic smo lahko opazovali tudi v zmanjšanem pretoku v Zelških jamah. Žal pa tam doslej ni bilo vodomerne postaje, zato posledic zajezitve nismo mogli neposredno ugotoviti. Postopoma smo jih skušali spoznati in izmeriti pri različnih vodostajih, z dviganjem in zapiranjem zapornice (sl. 9).

Meritve pretokov pri odprti zapornici še niso toliko natančne, da bi lahko iz razlik vtoka v Karlovico pri zapornici in iztoka iz Zelških jam v celoti spoznali hidrološko funkcijo zapletenega jamskega sistema Velike in Male Karlovice. Vanj namreč pronicajo pri različnih gladinah jezera različne količine vode. Ker pa se voda iz Karlovic ne odteka samo v Zelške jame, temveč se že



Sl. 9. Kratek umetni rov s premerom 3,7 m in z zapornico je bil zgrajen za hitrejšo odvajanje katastrofalnih voda v Veliko Karlovico, toda njegova požiralnost je omejena s sifoni in podori v podzemeljskem sistemu

Fig. 9. Le court tunnel artificiel, 3,7 m de diamètre avec le barrage a été construit pour vite écoulement des eaux catastrophales dans Velika Karlovica, mais sa capacité est limitée par les siphons et éboulis dans le système souterrain

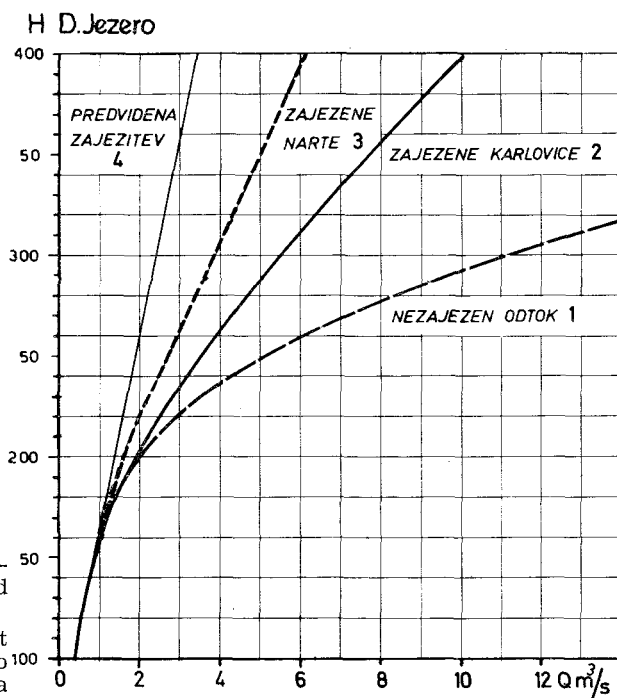
pred krajem Velike Karlovice vodni tok razdeli, napaja še druge izvire v Rakovem Škocjanu, med njimi tudi Kotličce, ki sicer dobivajo vodo iz Nart in drugih požiralnikov v Jamskem zalivu pa tudi neposredno iz Javornikov.

V Zelških jamah izvira pri različnih gladinah jezera od 0,4 do 10 m³/s vode pri zaprti Karlovi. To kaže na znatno ponikanje vode v podzemeljski jamski sistem mimo zajezenega vhoda. Zajezitev Karlovice je najuspešnejša pri nižjih vodostajih, medtem ko pri višjih in visokih vodah ponika več vode skozi stare zasute ponore in druge neprehodne požiralnike med Veliko Karlovico in Zelšami. V glavnem kanalu Velike Karlovice se vedno očitneje kažejo sledovi teh stranskih pritokov, saj pospešeno spirajo glino in drobir iz starih mrtvih stranskih rovov. Ta proces utegne sčasoma še zmanjšati učinek zajezitve omenjenega odtočnega sistema.

Uspeh tesnjenja Jamskega zaliva z zazidavo glavnih vhodov v Malo in Veliko Karlovico smo skušali oceniti še na dva načina: 1. s primerjavo pretokov Stržena pod mostom pri Goričici pred in po zaježitvi Karlovic, 2. s primerjavo podzemeljskih pretočnic med Cerkniškim jezerom in Rakovim Škocjanom po že omenjeni metodi F. J e n k a (1959, 35).

Sprememba pretočne krivulje Stržena z zaježitvijo Karlovic in Nart

Pretočno krivuljo Stržena za v. p. Dolenje Jezero za razmere pred zaježitvijo je sestavil HMZ SRS in jo uporablja tudi F. J e n k o (1965). Pri vodostajih med $H = 200$ in $H = 400$ so pretoki pod mostom skoraj v skladu z

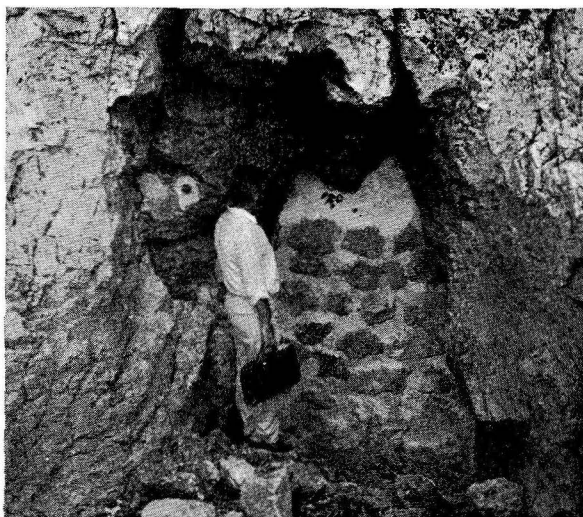


Sl. 10. Pretočne krivulje Stržena pri Dolenjem Jezeru pod mostom pri Goričici

Fig. 10. Les courbes du débit de Stržén près Dolenje Jezero¹⁰⁰ au-dessous le pont de Goričica

odtokom iz Jamskega zaliva in požiralnikov v območju Rešeta, upoštevati je treba le še dotok Cerkniščice. Večje razlike so pri visokih vodah Cerkniščice in pri naglem polnjenju jezera, ko je treba posebej upoštevati tudi vmesno akumulacijo. Pri višjih vodostajih (nad $H = 400$) se jezero razlije čez cestni nasip, pri nižjih (pod $H = 200$) pa ves Stržen ponika v Rešetu.

Z zaježitvijo Karlovic so se pretoki pri navedenih vodostajih znatno zmanjšali. Pri $H = 300$ od $11 \text{ m}^3/\text{s}$ na $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ali za polovico. Nova pretočna krivulja prikazuje odtok iz Jamskega zaliva pri zaježenih Karlovicah in nespremenjenih razmerah v Rešetu (sl. 10). Ta odtok pa je precej večji od tistega, ki ga je predvideval projektant stalnejše ojezeritve. Po F. Jenku (1965) bi za po-



Sl. 11. Eden od petih zazidanih požiralnikov v Nartih ob Jamskem zalivu

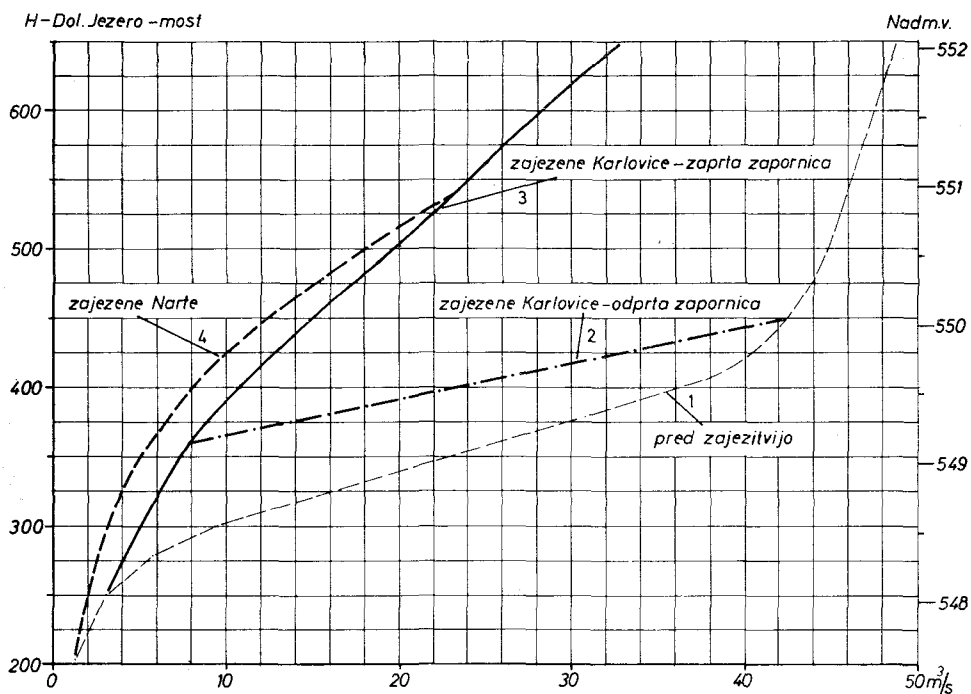
Fig. 11. Un des cinq ponors fermés à Narte dans Jamski zaliv

daljšanje jezera po sprejeti varianti morali pridušiti Karlovice v celoti in še druge požiralnike v Jamskem zalivu od 5 na $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Po meritvah Stržena pri mostu pred Goričico pa je očitno, da se skozi požiralnike v Jamskem zalivu odteka več, kot bi se po projektu smelo. To razliko smo skušali preveriti še z metodo podzemeljskih pretočnic med Cerkniškim jezerom in Rakovim Škocjanom. Rezultati so prikazani v naslednjem poglavju. Tu pa si oglejmo še tretjo pretočno krivuljo Stržena pri mostu, ki smo jo dobili po naknadni zaježitvi Nart. Zaježitev petih manjših požiralnikov v Nartih je bila izvedena jeseni 1971. Zazidali so nekdanj očiščene vhode v kratke podzemeljske rove, ki so jih odkrili pri osuševalnih delih pred drugo svetovno vojno (sl. 11). Tesnitev ni bila najboljše izvedena, saj je voda pronicala celo skozi redke kamnite zid. V podzemlje pa je odtekala tudi skozi manjše špranje ob robovih in v podlagi jezov. Vkljub temu se je požiralnost Jamskega zaliva zmanjšala pri $H = 350$ od $7,5$ na $5 \text{ m}^3/\text{s}$, v celoti torej za 20 do 40 %. Za uspešno zadrževanje nizkih voda bi bilo treba doseči vsaj 90 % zmanjšanje odtoka iz Jamskega zaliva.

Podzemeljske pretočnice med Cerkniškim jezerom in Rakovim Škocjanom

Uporabljena metoda (F. Jenko, 1959, 35) je razmeroma natančna pri enostavnih in neposrednih podzemeljskih zvezah med poplavnimi območji oziroma ponori in pripadajočimi izviri. Na podlagi dosedanjih spoznanj o podzemeljskem pretakanju med Cerkniškim jezerom in Rakovim Škocjanom sodimo, da se vse vode, ki pritekajo iz Jamskega zaliva pojavijo v Raku. Možno so sicer tudi manjše izgube, toda količinsko jih je težko ugotoviti. Grafična primerjava pretokov Raka in vodostajev na jezeru kaže, da dobiva po dežju Rak, zlasti izviri Kotlički, še nekaj podzemeljskih voda neposredno iz Javornikov. Ta dotok pa po daljši suši skoraj povsem usahne in Rak dobiva tedaj le vodo iz Cerkniškega jezera.

Na sliki 12. so prikazane pretočne krivulje odtoka iz Jamskega zaliva pred zaježitvijo, pri zaježenih Karlovcih z odprto in zaprto zapornico ter slednjič tudi pri zaježenih Nartih. V bistvu so to tako imenovane »navpičnice« po Jenku. V nasprotju s pravimi navpičnicami, ki so značilne le v posebnih popolnoma



Sl. 12. Požiralnost Jamskega zaliva pri različnih zaježitvah po podzemeljskih pretočnicah Cerkniško jezero — Rak

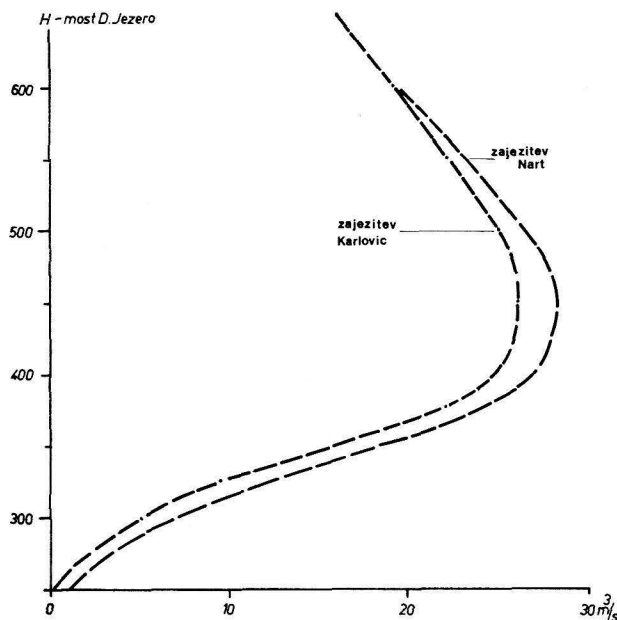
Fig. 12. La capacité des pertes à Jamski zaliv aux bouchements différents après les courbes du débit souterrain combinées Lac de Cerknica — Rak

1. avant le bouchement, 2. Les Karlovcas bouchées et le barrage ouvert, 3. les Karlovcas bouchées et le barrage fermé, 4. Narte bouchées

zalitih vodnih rovih, imamo v predelu med Cerknškim jezerom in Rakovim Škocjanom bolj poševne krivulje. Iz teh lahko sklepamo na večjo prepustnost krasa pri višjih vodostajih jezera, vsaj med 549 in 552 m nadmorske višine in na zmanjšano požiralno sposobnost pri vodostajih med 547 in 549 m.

V nezajezenih Karlovcih se je pretok z naraščanjem jezerske gladine od 548 do 550 m naglo večal, pri nadaljnjem dviganju gladine pa je požiralnost počasneje naraščala. Podobno narašča tudi sedaj odtok iz jezera pri odprti zapornici. Po novjših meritvah pa sklepamo, da odtok celo nekoliko počasneje narašča, ker je Mala Karlovica do stropa zazidana in se vanjo iz Velike Karlovice voda ne preliva.

Požiralnost Jamskega zaliva se je z zaježitvijo Karlovic znatno zmanjšala, pri $H = 400$ približno od 36 na okrog $11 \text{ m}^3/\text{s}$, pri višjih in nižjih vodostajih pa je učinek manjši, kar je prikazano na sliki 13. Pri vodostajih med 549 in 550 m se je požiralnost Jamskega zaliva zmanjšala za okrog 70 %. Navzdol pa učinek zaježitve hitro pojema, saj je že pri 548,5 m komaj 50 %, podobno tudi na koti 551. Ker pred zaježitvijo in po njej še ni bilo mogoče ugotoviti požiralnosti Jamskega zaliva brez Karlovic, ne vemo, koliko se je sedaj povečal odtok skozi požiralnike Narte, Kamnje, Svinjska jama in druge, ki niso neposredno povezani z jamskim sistemom Karlovic (sl. 14). Toda z barvanjem je dokazana zveza Velike Karlovice s Kotličiči, ki jih sicer napajajo drugi požiralniki Jamskega zaliva. Z barvanjem Nart, dne 19. 4. 1971, pri visoki vodi na koti 550,56 in zaprti Karlovcici pa smo ugotovili zvezo le s Kotličiči in sosednjimi izviri, ne pa tudi z Rakom v Zelških jamah. V Kotličih se je pojavila barva po 11 in pol urah, v sosednjih izviri pa po 14 urah s povprečno hitrostjo 9–10 cm/s. Obstaja tedaj možnost, da pri zaprtih Karlovcih požirajo drugi požiralniki v



Sl. 13. Učinek zaježenosti Jamskega zaliva pri različnih vodostajih

Fig. 13. L'effet du barrage à Jamski zaliv aux différents niveaux d'eaux

Sl. 14. Regulirana struga Stržena v Jamskem zalivu je polna manjših požiralnikov

Fig. 14. Dans le lit regularisé de Stržen à Jamski zaliv il y a beaucoup de petits ponors

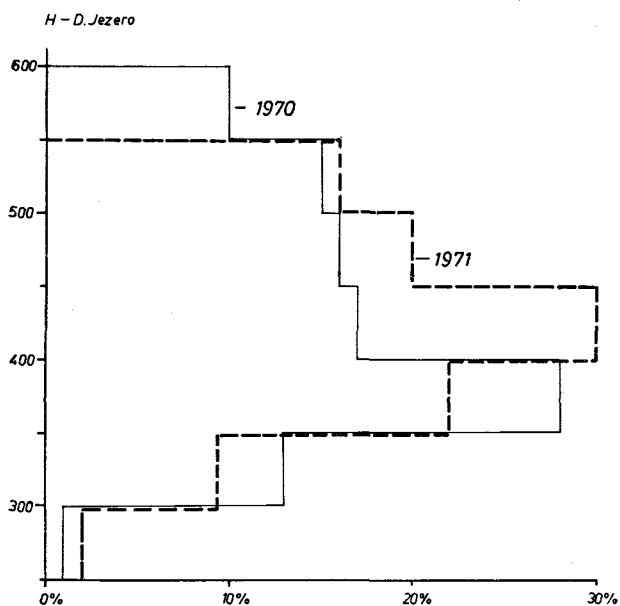


Jamskem zalivu več vode, kot so je prej, ko Karlovice še niso bile zazidane in se je po njih pretakal glavni podzemeljski tok. S tem si tudi lahko razložimo le navidezni uspeh zaježitve Karlovic, ko jezero hitreje presiha, kot bi po projektu pričakovali.

Skromna zatesnitev Nart je sicer dala nekaj rezultatov, saj se je pretok zmanjšal še za okrog 20 do 40 %. Za uspešno podaljšanje Cerkniškega jezera pa bi bilo potrebno doseči vsaj 90 % zmanjšanje požiralnosti pri gladinah med 548 in 550, hkrati pa ne bi smeli odtoka visokih voda pri praktičnih situacijah kakorkoli ovirati. To pa pomeni, da požiralnikov ne smemo enostavno zabetonirati.

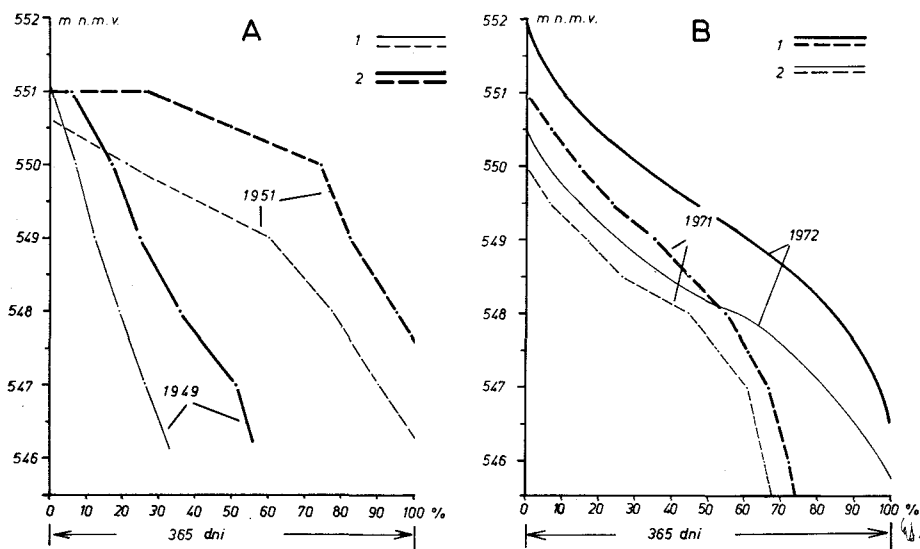
Učinki tesnjenja požiralnikov v režimu presihanja Cerkniškega jezera

Z zaježitvijo nekaterih požiralnikov v Jamskem zalivu Cerkniškega jezera so se spremenile odtočne razmere. Te spremembe smo si lahko ogledali v prejšnjih poglavjih. Poskusimo oceniti še celokupne hidrološke spremembe, ki so jih navedeni umetni posegi zapustili v režimu presihanja Cerkniškega jezera. Ker zaježitev ni pri vseh vodostajih enako učinkovita, je celotni učinek tesnjenja in s tem zvezanega podaljšanja jezera odvisen od razporeditve padavin in nihanja gladine Cerkniškega jezera. Na podlagi navedenih sprememb v odtoku, ki so nastale z zaježitvijo Karlovic in Nart, smo izračunali vodne količine, ki zaradi teh zaježitev niso normalno odtekle. Celotno jezerno vodno maso pa smo hkrati preračunali na posamezne vodostaje. Na sliki 15 je prikazana zaježena vodna masa za leto 1970 in 1972 v medsebojnem razmerju pri različnih višinah. Največji del zaježene vode je v območju najuspešnejše zaježitve, vendar to ni hkrati v območju najpogostejših vodostajev. Vpliv vodostajev se lepo pokaže v primerjavi med letoma 1970 in 1971. Značaj hidroloških sprememb na Cerkniškem jezeru se odraža tudi na enostavnem hidrogramu, kjer so nanizani vodostaji za dveletno obdobje pred zaježitvijo in triletno dobo poskusne zaježitve (sl. 17).



Sl. 15. Delež zajezone vode pri različnih gladinah jezera v letih 1970—71

Fig. 15. La rélation des quantités d'eau retenue aux différents niveaux du lac dans les années 1970—71



Sl. 17. Kumulativna krivulja dejanskih (1) in izračunanih (2) dnevnih vodostajev v izbranih letih pred (A) in po (B) zaježitvi

Fig. 17. Les courbes cumulatives des niveaux d'eau journalières réelles (1) et calculées (2) pour les années choisies avant (A) et après (B) le bouchement

Glede na količino padavin, ki je seveda vsako leto različna, razlikuje pa se tudi v posameznem obdobju polnjenja in presihanja jezera, lahko iz hidrograma razberemo osnovne spremembe v režimu zajezenega jezera. Znatno se je izravnavalo nihanje vodne gladine, saj so konice redkejša in zajede med njimi manj izrazite, kar pomeni, da se jezero počasneje prazni, pri višji gladini pa zaradi večje površine šele znatnejši dotok lahko vpliva na večje spremembe. V nasprotju torej z obdobjem pred zaježitvijo so vodostaji precej višji, kar se odraža v prostranejšem jezeru. Vkljub predvidenemu in doseženemu znatnemu izravnavanju vodostajev ter na videz počasnejšemu praznjenju pa sedanja zaježitev omogoča ali pa celo pospešuje praznjenje jezera pri nižjih vodostajih in po določeni sušni dobi. Razmeroma uspešna zatesnitev pri srednjih vodostajih med 549—550 izgubi veljavo pri pospešenem praznjenju med 549—547 m. Ta učinek smo prikazali na sliki 16 (priloga med str. 48/49), kjer smo primerjali s projektom predvideno podaljšanje jezera za dve hidrološko različni leti 1949 in 1951 z dejanskim podaljšanjem, kot je bilo doseženo v letu 1971. Za primerjavo je zlasti primerno suho leto 1949, za katerega predvideva projekt predvsem izdatno podaljšanje nizkih voda, medtem ko stanje leta 1971 prikazuje sorazmerno večje podaljšanje srednjih vodostajev in naglo zmanjšanje učinka zaježitve pri praznjenju jezera, torej pri nizkih vodostajih, pod 549 m.

Sklep

Umetno zadrževanje poplav na Cerkniškem jezeru je v razmerah, ko ne moremo vplivati na naravni dotok odvisno predvsem od zajezevanja požiralnikov in s tem zmanjševanja odtoka, kar moremo le delno doseči. V obdobju 1969 do 1972 je bil izveden poskus z zaježitvijo nekaterih glavnih požiralnikov. Zmanjšala se je njihova požiralnost in tako je bil delno zajezen odtok zlasti pri srednjih in visokih vodah. Za uspešno uravnavanje umetnega režima jezera bi morali čim bolj omejiti odtok v dobi praznjenja z zaježitvijo najnižje ležečih požiralnikov, hkrati pa ne bi smeli zmanjšati celotne požiralne sposobnosti jezera ob visokih vodah.

Zaježitev ponikev v dnu jezera in s tem odtoka v smeri proti Bistri in Lubiji bi bila izvedljiva le z drago injekcijsko zaveso. Njen položaj bi mogli določiti šele na podlagi obsežnih hidrogeoloških raziskav prepustnosti določitne bariere pri Cerknici.

Z nadaljnjim tesnjenjem požiralnikov v Jamskem zalivu bi sicer zmanjšali njihovo požiralnost in s tem zaježili odtekanje nizkih voda v Rakov Škocjan. Zmanjšana požiralna sposobnost Jamskega zaliva pa bi hkrati onemogočila hitrejše odtekanje katastrofalno visokih voda z jezera, kar bi ogrožalo obdelovalne površine in naselja ob jezeru. Zaježitev nizkih voda v Jamskem zalivu bi tedaj morali doseči s prelivnim jezom, ki bi v celoti preprečil odtok iz jezera proti Rakovemu Škocjanu pod določeno koto, na primer 549,5 m. Rak bi tedaj dobival le vodo iz Javornikov in iz porečja Cerkniščiце. Odtekanje višjega jezera pa bi še nadalje uravnavali s sedanjim sistemom jezov in zapornico pri Karlovici. S predlaganim ukrepom bi se normalno jezero praznilo veliko počasneje, visoke vode pa bi lahko sproti odtekale in ne bi večale poplav na Planinskem polju. Presihanja s tem še ne bi v celoti odpravili, dosegli bi le zaželeno podalj-

šanje jezera, nekako v mejah, kot ga je predvidel prvotni načrt. Hidrološka dogajanja na Cerknškem jezeru pa je treba še naprej sistematično spremljati z meritvami pretokov in vodostajev, z ugotavljanjem podzemeljskih zvez, prispevnih in požiralnih območij itd., kar bo omogočilo smotno urejanje režima jezera.

Résumé

BOUCHEMENT DES PONORS ET TARISSEMENT DU LAC DE CERKNICA

Lac périodique de Cerknica est considéré comme le phénomène karstique le plus intéressant de la Slovénie. Ily'a des siècles déjà il a provoqué l'intérêt de spécialistes qui aimaient à le durie aussi plus tard (B. Korošec, 1967). Dans le siècle passé et au commencement du 20^{ème} siècle on a essayé de réduire les périodes des inondations qui duraient 6 au 8 mois en moyenne par an, par ouverture des ponors. Cettes méliorations n'avaient pas des succès remarquables. Parmi projets différents pour rendre meilleure l'exploitation du lac se distingue la conception de F. Jenko (1968) qui prévoit le bouchement des conduites d'eau principales d'écoulement. Ainsi on pourrait empêcher le tarissement du lac dans les années pluvieuses, pendant que dans les années sèches le lac tarisserait encore pour une courte période. Parce qu' il est impossible de mesurer affluences et écoulements réels, les spécialistes se sont décidés pour le bouchement expérimental de trois ans des ponors principaux du lac.

Selon les observations et mesures hydrologiques effectuées durant ces trois ans les conséquences du bouchement des ponors sont les suivantes. On distingue, d'après les explorations spéléologiques et hydrologiques, intensives des dernières années (R. Gospodarič, 1970, 1972) sur le Lac de Cerknica deux groupes principaux des ponors. Il y a quelques centaines des pertes au fond du lac, liées entre eux par conduites souterraines d'une capacité limitée qui s'écoulent directement vers les sources de Bistra et Lubija au bord occidental de Ljubljansko Barje (Le Marais de Ljubljana). L'autre groupe des pertes se trouve dans la partie nord-ouest du Lac de Cerknica, d'où les eaux s'écoulent souterrainement vers le Rakov Škocjan et à travers le Polje de Planina vers Ljubljansko Barje.

Les mesures nouvelles de capacité des pertes au fond du lac se distinguent assez des évaluations précédentes, sur lesquelles était fondé l'expériment mentionné. Dans les nombreuses pertes du fond, au lac rempli seulement 6 m³/s et pas 13 m³/s d'eaux se perdent.

Selon la méthode de courbe du débit souterrain combinée (F. Jenko, 1959, 35)* on a comparé les débits avant et après le barrage du Lac de Cerknica dans les sources de Bistra et Lubija. Pendant que sur le lac, à cause du barrage, les eaux étaient en crues, les débits dans les sources de Bistra n'ont pas essentiellement changé. Pendant la crue la capacité des pertes au fond du lac n'augement pas essen-

*C'est le Q/H diagramme des niveaux hydrauliquement dépendents mais localement disjoints et des quantités d'eaux. La hauteur journalière d'inondation sur le lac karstique se rapporte en ordonnée, ependant que l'abscisse determine le débit des sources karstiques appartenantes. Le courbe obtenue à la forme de maille, dont la partie antérieure, verticale pour la plupart, représente l'écoulement souterrain d'inondation, tandis que la declination de perpendiculaire représentent l'affluence intermédiaire de surface et de souterrain.

tiellement. La capacité peut acroître pendant la vidange, parce que quelques pertes pendant l'augmentation du niveau apportent l'eau et agissent comme perte-émergences (l'inversac).

Au tarissement du lac nombreuses poissons crevent, c'est pourquoi pendant la sècheresse les pêcheurs essayent de toutes les façons possibles de retenir les derniers ruisseaux à la surface. On construit devant les pertes les barrages, mais quand même toutes les eaux se perdent dans le sol karstifié. Le plus grand barrage au fond du poljé a été construit en 1969, devant une série des ponors nommée Rešeto (Le Crible). L'eau n'a été retenu devant le barrage que pour deux semaines, après elle s'enfuit dans le ponor neuf qui s'était ouvert au fond rocheux du poljé, semblant impénétrable, couvert de limon et sable. Bien qu'on a essayé de le combler, la perte s'élargit et s'approfondit après les inondations nouvelles. Les barrages plus petits ont été construits par les pêcheurs devant les autres pertes aussi, mais partout l'eau a trouvé des nouvelles conduites d'écoulement dans le sol karstifié. On constate selon les sédiments au fond du poljé qu'à présent c'est le processus d'emporter la couverture alluviale du fond du poljé vers le sous-sol rocheux karstifié qui prédomine semblable à colmatage des pertes pendant le période glaciaire de würm (R. Gospodarič, 1972; A. Šercelj, 1972). La période des inondations du lac se raccourcit alors par voie naturelle; par le bouchement des ponors particuliers on ne peut pas arrêter pour longtemps ce processus.

Les effets du bouchement des ponors principaux au bord du Lac de Cerknica se sont montres d'abord sur le niveau d'eau du lac et dans les grottes-ponors fermées Velika et Mala Karlovica (La Grande et la Petite Karlovica). Aussi le débit des sources à Rakov Škocjan diminuait fortement. La courbe du débit de ruisseau Stržen (Le Vif) près du pont de Goričica changeait (fig. 10). On a essayé de déterminer l'efficacité du bouchement par utilisation des courbes du débit souterrain combinée entre Lac de Cerknica et Rakov Škocjan (fig. 12). On a observé que le bouchement est le plus efficace aux eaux moyennes, bien que pendant la crue plus d'eaux se perdent dans le système souterrain de Karlovica par les anciens ponors, partiellement comblés (fig. 13). Beaucoup plus d'eau qu'on a prévu s'écoule par les ponors non bouchés dans Jamski zaliv (La Baie des Grottes). Malgré le barrage apparemment efficace le lac se vide plus tôt qu'on a prévu. Pour retenir les eaux basses on a bouché quelques pertes en plus, à Narte, mais quand même cela n'a pas contribué à la prolongation de l'inondation.

Pour le contrôle efficace du régime artificiel du Lac de Cerknica il faut limiter le débit dans la période de vidange avec le bouchement supplémentaire des pertes les plus basses, et en même temps il ne faut pas diminuer la capacité totale des ponors du lac, ainsi que les hautes eaux puissent s'écouler. Il faut retenir les eaux basses devant Jamski zaliv avec le barrage long de 500 m, lequel peut empêcher la perte d'eau dans les ponors du bord, par exemple au-dessous la cote 549,5.

Les crues seraient réglées désormais par le système actuel des digues et barrages près de Velika Karlovica. Ainsi on pourra retenir l'eau dans le Lac de Cerknica pour un mois additionel, pendant que les hautes eaux pourront s'écouler et ne menaceront pas des villages et des champs sur le poljé de Cerknica. Aussi, en aval, sur le poljé de Planina, les inondations n'augmenteront pas. Dans les années pluvieuses le lac ne tarirait plus, pendant que dans les années sèches le lac pourrait se prolonger pour deux mois au moins.

Literatura

- Bidovec, F., 1968. The Investigations of the Karst Underground Water System and Hydrology. Actes du IV^e CIS en Yougoslavie 8, 279—285, Ljubljana.
- Gams, I., 1965. Aperçu sur l'hydrologie du Karst slovène et sur ses communications souterraines. Naše jame 7, 51—60, Ljubljana.
- 1970. Maksimiranost kraških podzemeljskih pretokov na primeru ozemlja med Cerknjskim in Planinskim poljem. Acta Carsologica 5, 171—187, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1970. Speleološke raziskave Cerknjskega jamskega sistema. Acta carsologica 5, 109—169, Ljubljana.
- 1972. Speleološke raziskave Cerknjskega jezera in okolice, 2. del. Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, rokopis, Postojna.
- Jenko, F., 1965. Idejni projekt stalne ojezeritve Cerknjskega jezera. Zavod za vodno gospodarstvo SRS, rokopis, Ljubljana.
- 1968. Umbildung des periodischen Sees von Cerknica (Slowenien, Jugoslawien) in einen ständigeren See. Actes du IV^e CIS en Yougoslavie 3, 303—307, Ljubljana.
- Kerin, L., 1965. Das Hydrosystem des Karstflusses Ljublanica. IV^e CIS, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa SAZU, rokopis, Postojna.
- Korošec, B., 1967. Beseda, dve o Steinbergovem in drugih opisih Cerknjskega jezera. Kronika (Časopis za slovensko krajevno zgodovino) 15/1, 11—22, Ljubljana.

Diskusija

I. Gams

Prestavljanje aluvialnih ponorov in precejšen padec vzdolž struge do njih, kar je prikazal referent, kažejo na smer nadaljnjih zatesnitev, ki naj preprečijo najbolj bolešno — popolno presahnitev jezera. Potrjuje domnevo o nizki maksimiranosti pretoka in redkosti kanalov v dolomitu v smeri Bistre. Le-te bi lahko moderne geoelektrične in gravimetrične meritve ugotovile in bi jih bilo mogoče z zaveso blokirati ter zadržati najnižje stanje jezera. Predlagam simpozij o hidroloških razmerah Cerknjskega jezera, ki bi bil umesten tudi pred pristopom h ključnim delom, ki naj bi imela namen podaljšati jezero.

I. Avdagić

Za promjenljive nagibe opadajućih dijelova nivograma Cerknjskog polja dato je obrazloženje da su oni posljedica stanja podzemne vode, čime je uvažen njen upliv na poniranje. Sa druge strane proračun poniranja izvršen je jednoobrazno metodom Dr. Jenka, u kojoj je količina vode koja prolazi kroz ponore funkcija samo vodostaja nad ponorima.

Ova nelogičnost je potvrđena i uporednim rezultatima projektovanog (računskog) i stvarnog nivograma poslije izvršenih hidrotehničkih radova.

Nivo podzemne vode i mehanizam rada ponora bitan je i za rješavanje najavljenog zatvaranja ponora u Cerknjskom polju.

J. Roglič

Ribiči stvaraju jazove da bi mogli loviti i ljeti. Ljeti polje presuši — a gdje je riba? U Popovom polju je analogna pojava; iz golemog jezera, koje je plavilo polje i imalo je toliko riblju populaciju da su seljaci ribe lovili, riba se povlačila u podzemlje tokom duge ljetne suše. Da li je slična pojava u Cerknjskom jezeru? U svakom slučaju pojava je odraz velikog kapaciteta podzemnih šupljina.

OSAMELI KRAS V PODRAVSKEM DELU SR SLOVENIJE

(z 8 risbami in 6 fotografijami v besedilu)

THE ISOLATED KARST AREAS OF DRAVA RIVER BASIN
IN THE NORTHEASTERN SLOVENIA

(with 8 Maps and 6 Figures in Text)

DUŠAN NOVAK

(Geološki zavod, Ljubljana)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)
Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

Pregled kraških ozemelj v podravskem delu Slovenije

V porečju Drave v severovzhodni Sloveniji so kraški pojavi razviti v triadnih oziroma permskih apnencih in dolomitih ter v terciarnem litotamniskem apnencu. Največje kraške površine so v porečju Meže, v območju Olševe, Pece in Uršlje gore. Nekaj kraških krp je tudi na Pohorju in Kozjaku, kras pa je še na Boču in na litotamniskem apnencu v Slovenskih goricah (sl. 1). Kraški pojavi so bodisi površinski (vrtače, žlebiči) ali podzemeljski (jame, izviri in ponikalnice). Kraške površine so neizrazite, prevladuje fluvialni relief.

Pregled dosedanjih raziskav

V območju rudišča v Mežici je v letih 1960—61 Geološki zavod preiskoval vodne razmere in režim dotoka vode v rudarska dela ter ugotovil obsežne spremembe prvotnega stanja. Ugotovljeni so bili trije tipi podzemeljske vode in območja napajanja rudarskih del, kar je bilo dokazano tudi z nekaj barvanji. Zaradi kraškega režima pretakanja podzemeljske vode bi bila prizadevanja za zmanjšanje pritoka razmeroma malo uspešna. Rudnik nadaljuje sistematično opazovanje hidrogeoloških objektov vzporedno s širjenjem odkopnih polj.

Kasneje je manjši kraški objekt v donački dislokacijski coni opisal A. Ramovš (1962), o jami Belojači v Halozah pa je poročal R. Gospodarič (1960, 1961)). Na zborovanju v Domžalah je podal pregled osamelega krasa v Sloveniji tudi F. H a b e (1972).

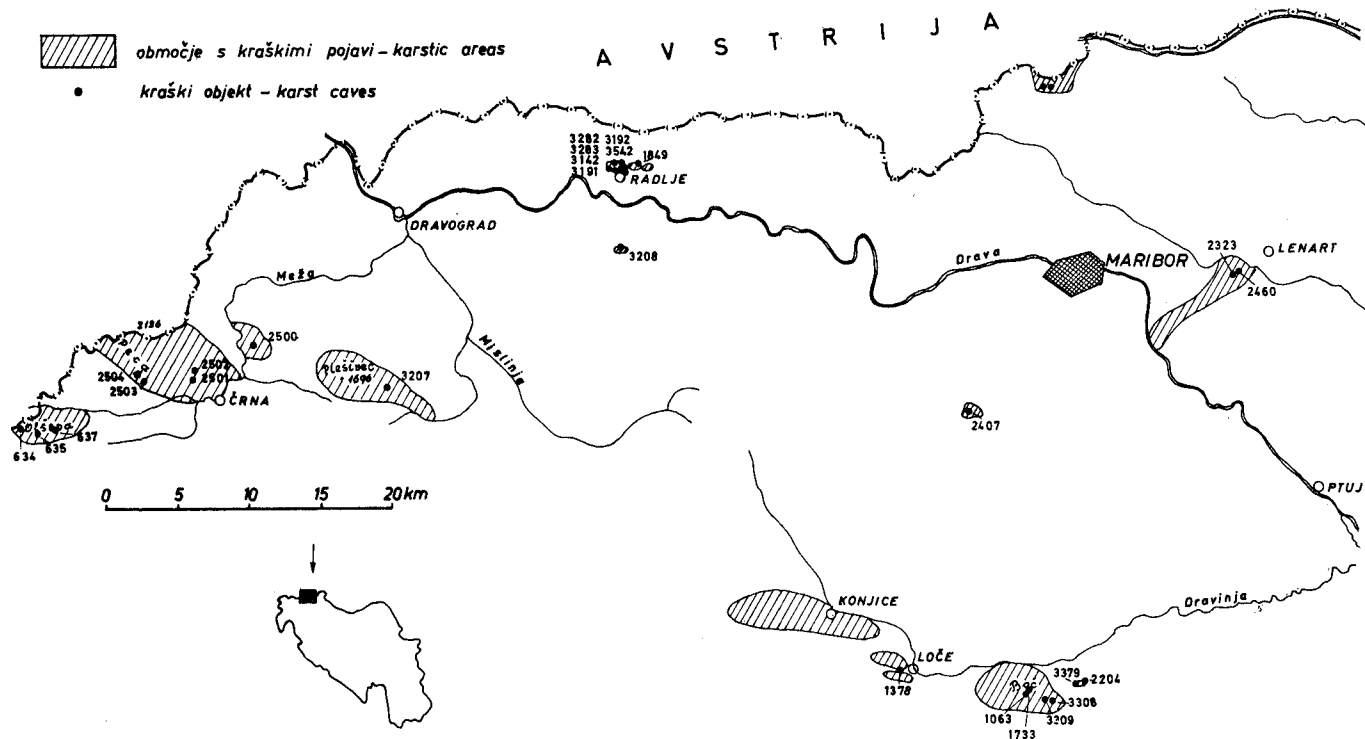
V letih 1966 do 1969 je bila izdelana regionalna hidrogeološka študija porečja Drave in Mure. Študija je dala splošno sliko o vodnih razmerah, za podrobnejša in projektantska dela pa je potrebno sliko še dopolniti z dodatnimi raziskavami.

Kot območja s potencialnimi zalogami podzemeljske vode so izdvojena tudi območja zakraselih karbonatnih kamnin na Peci, na Olševi, na Uršlji gori in na Boču. Nekatera hidrogeološko manj pomembna območja so še na zakraselih kameninah na Pohorju, Kozjaku in v Slovenskih goricah.

V nadaljevanju se bomo omejili le na prikaz obsega in značilnosti zakraselih območij. Kraške objekte v teh območjih je poleg avtorja raziskovala še jamarska skupina iz Slovenj Gradca. Za podatke se njenim zastopnikom zahvaljujem.

Litološke in tektonske značilnosti podravskega dela Slovenije

V Podravju, ki leži na stiku med Osrednjimi Alpami, Južnimi apneniškimi Alpami s Karavankami in Panonsko kotlino nahajamo magmatske kamnine ter kamnine paleozojske, triadne, kredne, jurske in terciarne starosti. Bogato so zastopani tudi kvartarni sedimenti.



Sl. 1. Območja kraškega sveta v podravski severovzhodni Sloveniji

Metamorfne in magmatske kamnine zavzemajo predvsem široko območje med Dravogradom, Ravnami, Mariborom in Slovensko Bistrico. Mladopaleozojski sedimenti so sestavljeni iz raznobarvnih skrilavcev, peščenjakov, breč, konglomerata in apnencev. Manjša območja teh kamnin nahajamo v območju Karavank v Vitanjskem nizu, Konjiški gori, na Boču, Pohorju in na Kozjaku.

Triadni sedimenti so v glavnem razviti v severnoalpskem faciesu. To so raznobarvni sljudnati kremenovi peščenjaki in skrilavci, lapornati skrilavci, apneni peščenjaki, dolomit, apnenec ipd. Srednjetriadne plasti zastopa v območju Karavank sivkasto rjavi dolomit, ki prehaja v temnosivi ploščasti apnenec z redkimi gomolji rožencev in tvori talnino debelemu kompleksu wettersteinskega apnenca in dolomita. Apnenec se menjava z argiliti tudi v naslednji, karnijski stopnji, nakar sledi noriški dolomit.

Videz apnencev se zaradi sekundarnih sprememb (dolomitizacija, oksidacijski procesi, itd.) močno spreminja. Dolomiti so navadno sivi in beli ter močno zdrobljeni. Skupna debelina triadnih karbonatnih kamnin znaša po I. Š t r u c l u (1965) 1500 do 1800 m.

Triadne apnence in dolomite nahajamo pri Vitanju, pri Zrečah, na Pohorju, na Kozjaku in na Boču.

Jurske plasti so razvite le okoli Pece in Uršlje gore kot krinoidni apnenci in lisasti laporji.

Erozijske ostanke krednih plasti nahajamo v Slovenjgraški kotlini, na Pohorju in v okolici Zreč. To so sivi lapornati apnenci, glinast lapor s premogom, lapor, peščenjaki in svetel grebenski apnenec.

Vzhodni in jugovzhodni del Podravja pa je zgrajen iz klastičnih sedimentov paleogena, neogena in kvartarja.

Značilni za to mejno ozemlje so nekateri močnejši prelomi, ki sekajo območje in dajejo ozemlju značilno zgradbo. Karavanke so razdeljene v dolge in ozke strukturne pasove s pretežno tektonskimi stiki. Severno predgorje Karavank spremljajo prelomnice na stiku triade in terciarnih plasti. Tako se stikata triada in neogen na severnem robu Uršlje gore ob prelomu, ki poteka od zgornjega Razborja proti Sv. Roku in ob Sečnici do Šmiklavža.

Številni so tudi prelomi prečno na te smeri. Najbolj je značilen Laboški prelom, ki poteka po spodnji Mislinjski dolini mimo Legna, ob Srečkovem potoku in po Doličkem podolju proti jugovzhodu, kjer preide v vitanjski prelom. Ob njem meji Pohorje na paleozojske kamnine in mezozojske sklade, ki grade Vitanjski niz. Prelomnica poteka nadalje od Lipe proti Stranicam ter med Žičko gorico in Golo rebrijo mimo Loč proti Poljčanam, severno od Boča in vzdolž južnega roba Dravskega polja. Prekrita je s kvartarnimi in terciarnimi plastmi. Ob prelomnici je dvignjeno jugovzhodno krilo, območje Haloz, terciarne plasti so bile premaknjene ali celo prevrnjene. Na južni strani Konjiške gore in Boča poteka tej vzporeden donački prelom.

Posamezne kraške enote

Porečje Meže

To porečje je bilo preiskano s posebnim poudarkom na vodne razmere v območju rudarskih del in sicer podrobneje v letih 1960—61. Del podatkov je že objavljen (D. N o v a k , 1962).

Zaradi položaja na stiku med apnenišskimi Alpami in Dinaridi na eni strani ter Osrednjimi Alpami na drugi strani in zaradi vulkanske dejavnosti je to ozemlje geološko in hidrogeološko zelo raznolično. Tu nahajamo kamnine s tipično razvitim krasom in ozemlja s popolnoma neprepustnimi kamninami.

Zakrasevanju so podvrženi predvsem ladinski in anizični apnenci. Za taka tla je značilno pomanjkanje površinske vode ter deloma plano in golo površje (npr. Peca in Mala Peca, Olševa, krpa apnenca nad Heleno in apnenci v zaledju Mučeva in Jankovca). Dolomiti v tem območju niso zakraseli.

Krovnino prepustnim srednjetriadnim skladom tvorijo karnijske plasti, ki so po svojih litoloških značilnostih za vodo neprepustne in so važna bariera za vodo v mežiškem rudniku. V zakraselem ladinskem apnencu nahajamo vrtače, kotličke, zaobljene in za gozdni pas značilne škraplje z žlebiči in celo kraške jame. Na območju, kjer prihaja apnenec na površje, je pritok v jamska dela povečan; količina pritekajoče vode se spreminja z ozirom na letni razpored padavin.

Z geološkega stališča so prav tako zanimive razmere v notranjosti apnenčevih masivov, ki so bile odkrite z rudarskimi deli. Značilne so široke in razširjene razpoke, ki jih je bilo opaziti v jamskih delih, najpogosteje v višini 7. in 8. obzorja, to je v višini nekdanje erozijske baze. V globljih delih, pod 8. obzorjem, je razpok vedno manj, vendar so še vedno do globine okoli 150 m pod nekdanjo erozijsko osnovo. To dokazuje, da kraški proces napreduje vzporedno z rudarjenjem in da se voda v pasu globinskega pretakanja kraške podzemeljske vode pretaka sifonsko.

Zaradi rudarskih del, ki so segla že globoko pod erozijsko bazo, so se prvotne razmere znatno spremenile, tako, da površinski potoki sedaj zatekajo v globino, pod erozijsko bazo Meže. Voda priteka v rudarska dela še iz Helenskega potoka in iz struge Tople v območju Pece; to so dokazala barvanja.

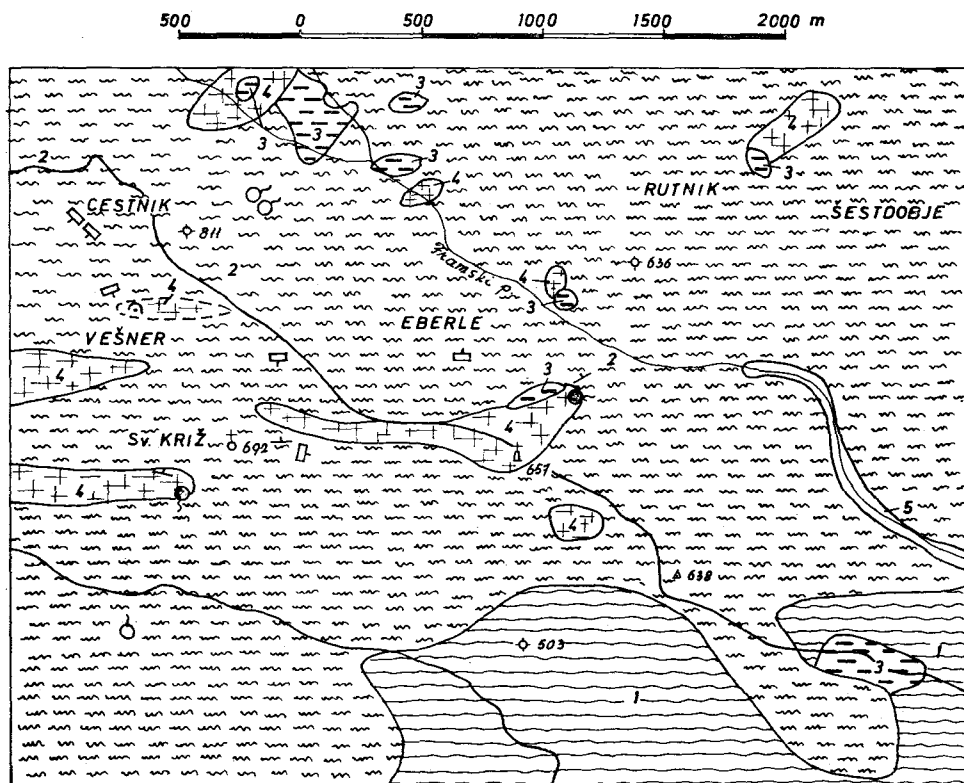
Kraški objekti ob Topli in Helenskem potoku so manjši in so bili že opisani (D. Novak, 1962) npr. Votlina nad Jankovcem (kat. št. 2500), udorina v Heleni (kat. št. 2501), jama nad jezom (kat. št. 2502), spodmol pri Vranici (kat. št. 2504) in največji objekt tega območja, 40 m dolga Korančevka (kat. št. 2503), ki leži na južnem pobočju Pece. Jama je značilna po velikih količinah gorskega mleka.

Olševa (1929 m) je apnenčev masiv na razvodnici med Savinjo in Mežo. Čok triadnega apnenca obdajajo drobljivi triadni dolomiti, paleozojski in triadni laporji in skrilavci s peščenjaki in metamorfni skrilavci. V smeri od vzhoda proti zahodu je podaljšana tudi os masiva Olševe. Neprepustne kamnine tvorijo na južni strani globoko bariero. Na severni strani je ta bariera načeta z erozijsko dolino Meže. Apnenec seže tod globoko v dolino, do višine okoli 1200 m, kjer se pojavlja glavni del vode v izviru pri Kosu. Površje Olševe je zakraselo. Poleg že znane paleolitske postaje Potočke zijalke (kat. št. 634) je znanih na Olševi še nekaj manjših kraških objektov, ki so na samem vrhu in na vzhodnem pobočju v bližini stika z dolomitom, npr. Kapežnica (kat. št. 637) in Mecesnikova zijalka (kat. št. 635).

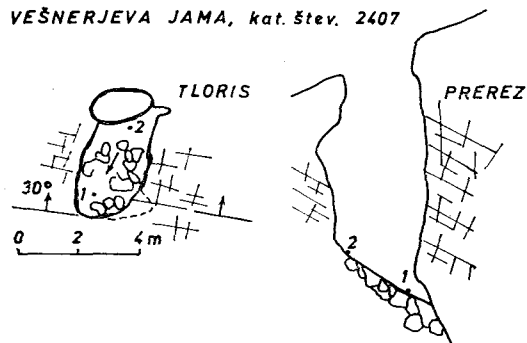
Apnenci, deloma dolomiti Uršlje gore (1696 m) so z vseh strani obdani z manj prepustnimi dolomiti, laporji in peščenjaki v glavnem karnijske starosti. Proti zahodu je to območje s prelomom odrezano proti dolomitom Jazbine in Javorskega potoka. Proti severu je Uršlja gora narinjena na terciarne plasti pri Kotljah. Na stikih z manj prepustnimi kamninami se pojavlja voda v manj-

Sl. 2.

LEGA VEŠNERJEVE JAME IN GEOLOŠKA ZGRADBA OKOLICE PLANICE NAD FRAMOM po Germovšku 1952



VEŠNERJEVA JAMA, kat. štev. 2407



LEGENDA

	1		6
	2		7
	3		8
	4		9
	5		

1 — gnajs
2 — filitasti blestnikovi diaforriti, blest. skrilavci

3 — amfibolit
4 — marmor
5 — naplavine rek in potokov

ših izvirih, večje vodne količine pa izvirajo v dolinah, ki so ob prelomih globlje zarežane v apnenec, npr. Suhadolca, Sečnica in Hotuljka. Na zakraselem površju Uršlje gore nahajamo v glavnem škraplje in žlebiče, vrtače in kotlički so redki. Na vzhodnem pobočju je poznano 15 m globoko Plešivičko brezno (kat. št. 3207).

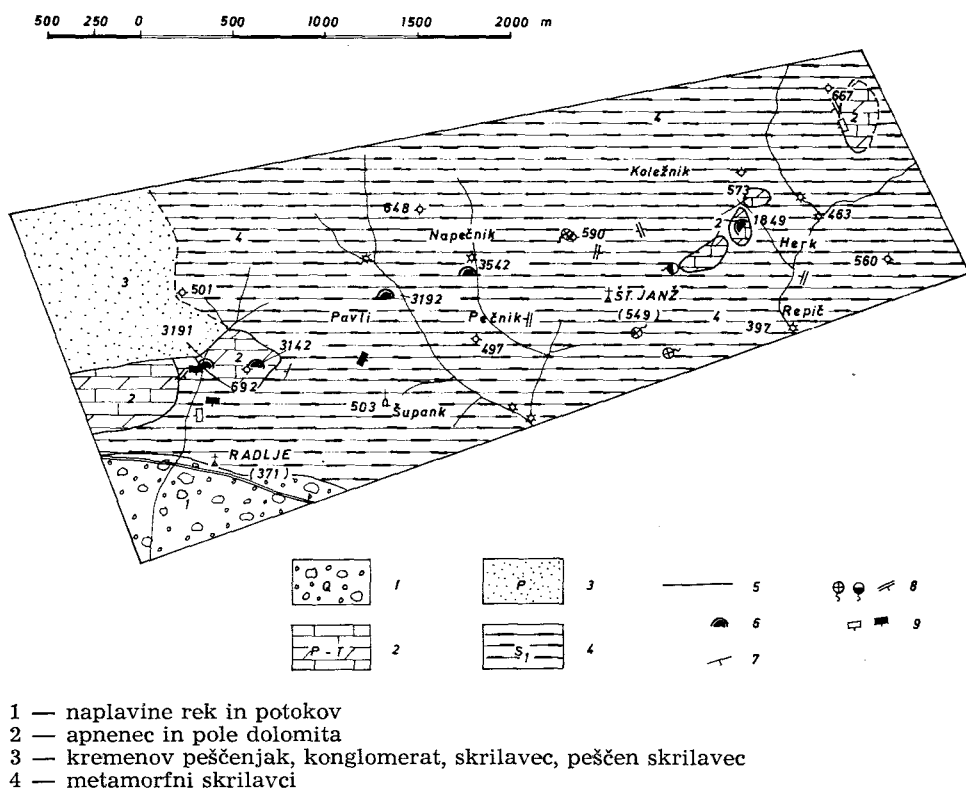
Pohorje in Kozjak

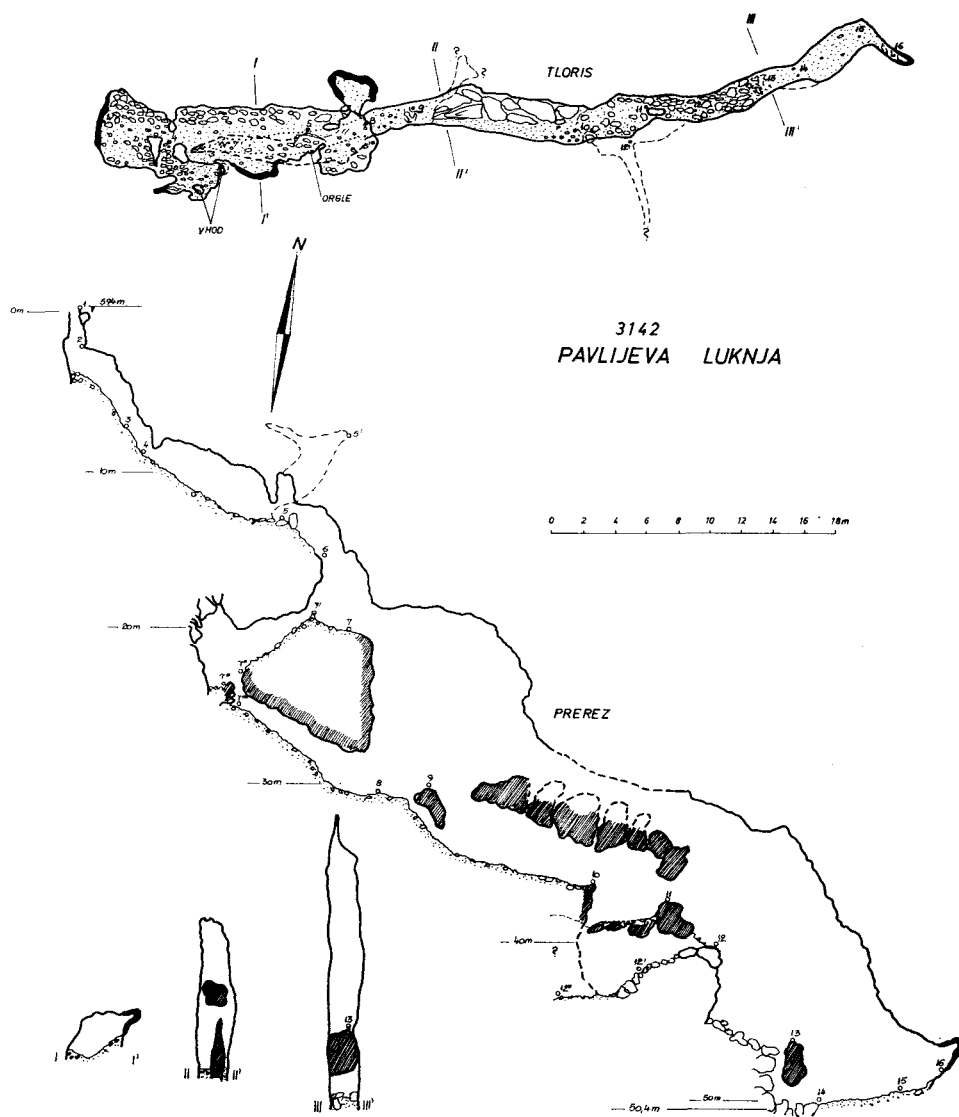
Osrednji del Pohorja je zgrajen iz magmatskih kamnin, predvsem tonalita in obdan s pasom metamorfnih skrilavcev, med katere so vklesčeni tudi večji bloki marmorja. V eni od leč marmorja je nad Framom manjši kraški objekt (sl. 2). Vešnerjeva jama (kat. št. 2407) ali Luknja pri Nacetu (F. H a b e, 1972). Razpokani marmor odvaža iz preperinskega pokrova vodo, ki se pojavlja v izdatnem izviru v najnižjem delu leče.

V območju Kozjaka nahajamo nad Radljami (sl. 3) v plasteh slabo metamorfoziranih peščenih paleozojskih skrilavcev in peščenjakov nekaj krp sivega apnenca, ki leži na skrilavcih in gradi vrhove in višje lege v zelo razgibanem

Sl. 3.

HIDROGEOLOŠKA SKICA OKOLICE RADELJ OB DRAVI





Sl. 4. Pavlijeva luknja; tloris in prerez

reliefu. Največji sta v Starem gradu (581 m) in v Perkolici (602 m) nad Radljami. Na severozahod od tod je še troje manjših krp apnenca pri Herku. Severno obrobje Starega gradu in Perkolice je v tektonskem stiku s peščenimi skrilavci, ki vpadajo na južnem stiku pod apnenec. Na južnem robu je v debri med obema vrhovoma manjša podzemeljska jama — Huda jama (kat. št. 3191), vrh Perkolice pa je (v nadmorski višini 594 m) eden od najglobljih kraških objektov tega območja — Pavlijeva luknja (kat. št. 3142), 50,4 m globoko brezno (sl. 4). V tem območju je še nekaj, do 20 m dolgih objektov kot npr. Pečnikov rov (kat. št. 3282). Pečnikova luknja (kat. št. 3283). Ovčje peklo (kat. št. 3192). Razpoka (kat. št. 3542) itd.

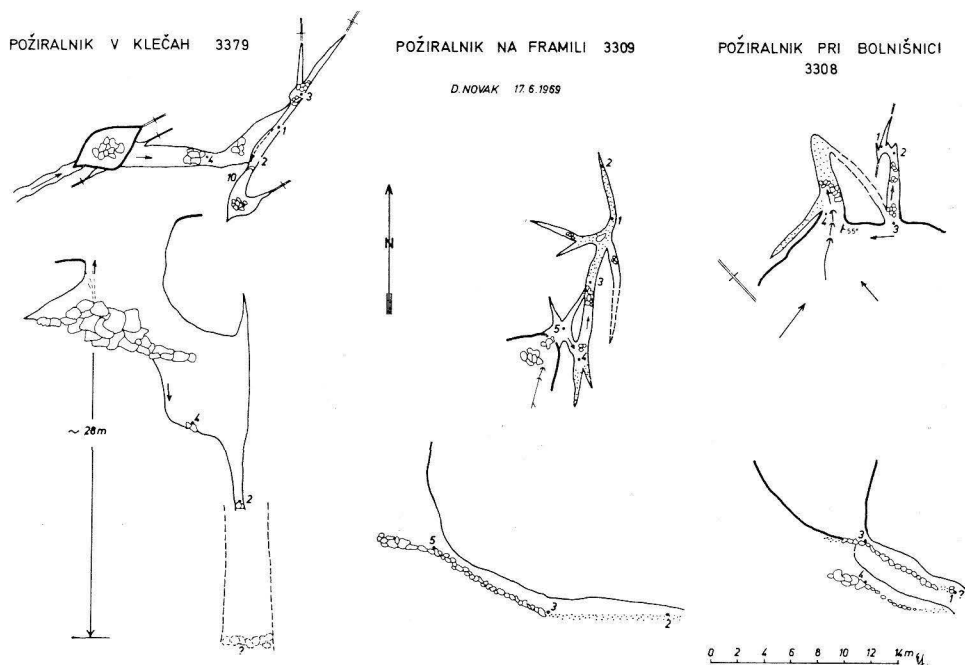
V srednji krpi apnenca pri Herku je visoko v pobočju razmeroma nizka, 114 m dolga Jama pod Herkovimi pečmi (kat. št. 1849). V njej so pred več leti pri poizkusnem izkopavanju našli sledove paleolitskega človeka. Vsaka teh krp sprejema nekaj padavinske vode, ki jo v najnižjih delih podnožja oddaja v izvire, npr. Mrzli studenec pod Pušenkom.

Podobne so razmere tudi na Pohorju, v Planini južno od Radelj. Le-tu je manjša krpa brečastega apnenca, ki obsega nekaj desetlin m². Po najbližjem zaselku Zapečniku jo imenujejo Zapečke peči. V teh pečeh sta dva nekaj metrov dolga spodmola (Jami v Zapečkih pečeh, kat. št. 3208).



Fot. 1. Boč s Klokočovnika

(fot. D. Novak)



Sl. 5. Požiralniki in jame na območju Boča

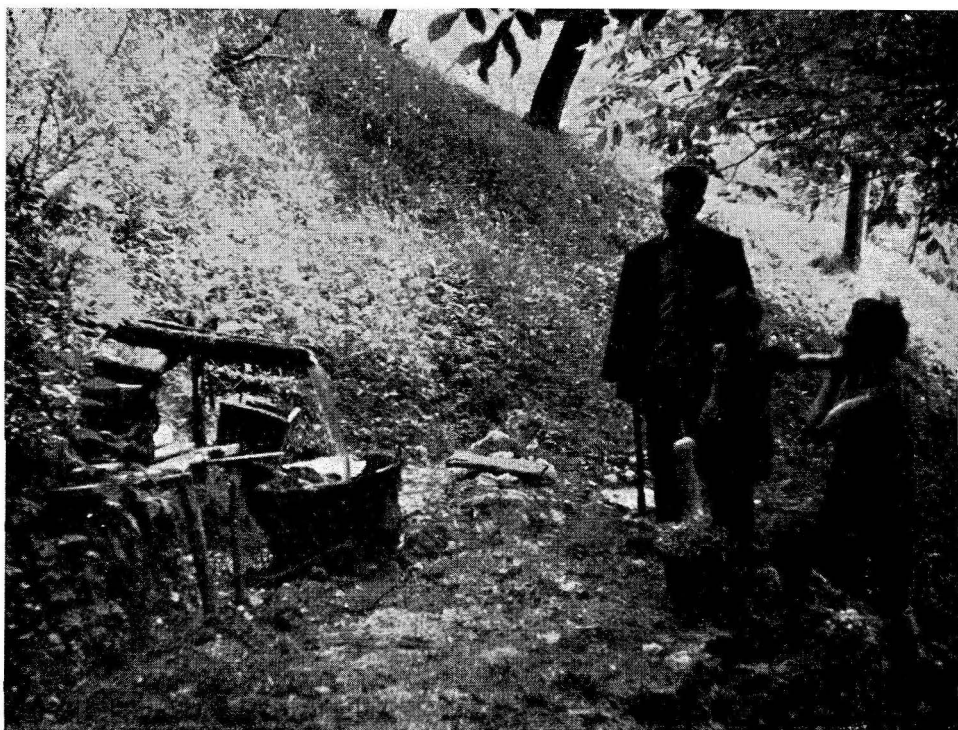
Območje Boča in Haloz

Boč s svojim nadaljevanjem proti vzhodu je eden od členov vzhodnih Karavank (fot. 1). Med donačkim in konjiškim prelomom se bloki karbonatnih kamnin dvignejo visoko nad okolico in dosežejo višino 980 m. To so grude triadnega in permskega apnenca in dolomita, razpokane in razkosane ter obdane s paleozojskimi in terciarnimi neprepustnimi plastmi, skrilavci, konglomerati, laporji in peščenjaki.

Zakrasele kamnine Boča so na severni strani obdane z anizičnimi in skitskimi ploščastimi apnenci z roženci, apnenci s polami laporastega skrilavca ter kamninami miocenske laporno-peščene serije.

Na zahodu je apnenčev masiv zaprt z neprepustnim drobljivim dolomitom, prav tako tudi na jugu, kjer ga v višini planinskega doma, okoli 720 m, zapira še karbonski glinasti skrilavec in peščenjak. Z vzhodne strani nahajamo ob apnencu miocenske klastične kamnine. Z neprepustnih plasti se v višjih legah odteka padavinska voda površinsko; zbira se v manjše potoke, ki pa zaradi majhnega padavinskega območja nimajo kaj prida vode in so večji del leta suhi.

Na stiku z apnencem ali dolomitom ti potoki izginejo v požiralnike. Niz požiralnikov sega od planinskega doma proti vzhodu do pod Stavškega vrha. V zadnjega, najbolj vzhodnega, ponikne največji in najbolj stalen potok. Nekateri od požiralnikov so tudi nekaj metrov prehodni. Vsi požiralniki so le



Fot. 2. Izvir Pod Pečjo pri Kostrivnici

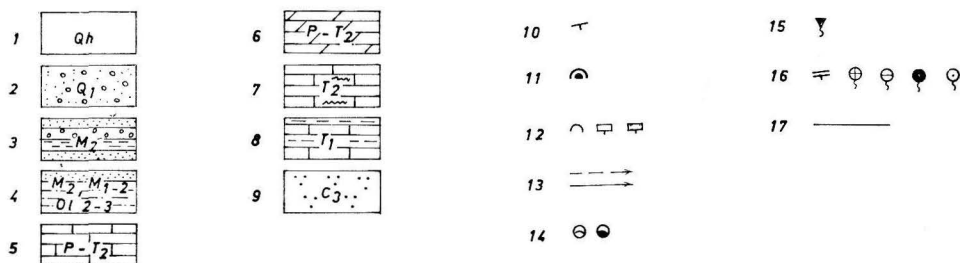
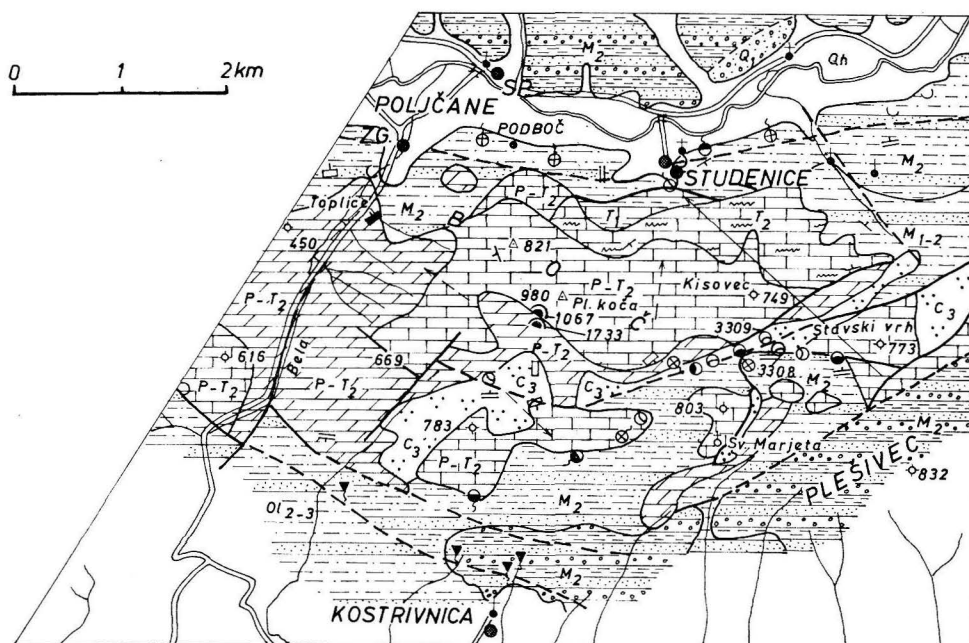
(fot. D. Novak)

kratek splet ozkih, proti severu strmo segajočih špranj (Požiralnik na Frmili, kat. št. 3309; požiralnik pri bolnišnici, kat. št. 3308, sl. 5). Poleg teh sta ob stezi od planinskega doma proti vrhu Boča še Balunjača (kat. št. 1067) in Mala jama (kat. št. 1733), le po nekaj metrov dolgi podzemeljski votlini.

V obrobju masiva je nekaj pomembnejših izvirov. V Dreveniku, na južnem pobočju, je izvir Pod pečjo (fot. 2), z zelo spreminjajočo se vodno količino (med 10 in 1 l/sek). V grapi za cerkvijo Sv. Lenarta je prav tako nekaj izvirov z do nekaj l/sek vode.

Ob Beli nad Poljčanami je zajet izvir Toplica. To ime se ga je prijelo zato, ker pozimi okrog njega sneg hitro izgine. Relativno višja temperatura izvirne vode sneg sproti taja. Najvažnejši pa je izvir potoka v Studenicah.

Voda se v Studenicah pojavlja v zatrepni dolini, ki je globoko zarezana v pobočje; tam sega apnenec nizko v dolino (sl. 6). Najnižji od izvirov (262,03 m) je izvir Bajer na dvorišču nekdanjega samostana (fot. 3). Z višjih izvirov v opuščenem kamnolomu pa priteka voda iz vrste razpok. Na vzhodni strani priteka skoraj stalno iz špranje v višini 290,36 m, na zahodni strani pa v višini 286,41 m. Piezometrični nivo je torej na vzhodni strani kamnoloma višji, kar si razlagamo z različno prepustnostjo kamnin. Da bi določili padavinsko zaledje



- 1 — glinaste naplavine rek in potokov
- 2 — prod in prod s peskom
- 3 — lapor, peščenjak in konglomerat
- 4 — plastoviti laporji in laporni peščenjaki
- 5 — apnenec

- 6 — dolomit
- 7 — plastovit apnenec z roženci
- 8 — apnenec v polah med skrilavcem in peščenjakom
- 9 — kremenov peščenjak in konglomerat, temnosiv skrilavec

Sl. 6. Litološka skica zaledja Studeniškega potoka



Fot. 3. Izvir Bajer v Studenicah

(fot. D. Novak)

izvira, smo leta 1969 obarvali potok pod Stavškim vrhom, pri požiralniku v višini 680 m, ko je teklo vanj 8–10 l/s vode. Barva se je po 104 do 144 urah pojavila v izviri v Studenicah. Obarvan je bil najprej »desni« (vzhodni) izvir v kamnolomu, zatem izvir Bajer in najkasneje »levi« (zahodni) izvir v kamnolomu (fot. 4). Po krajšem dežju se je pojavila voda še v skrajnem »levem« izviru, ni pa bila obarvana, kar priča, da ta izvir napajajo občasni potoki, ki ponikujejo na zahodu od Stavškega vrha (fot. 5). Voda, obarvana z nižjo koncentracijo barvila, pa se je pojavila tudi v občasnem izviru med »desnim« in »levim« izviro v kamnolomu.

Višinska razlika med požiralnikom in izviri znaša 390 do 418 m, zračna razdalja pa je okoli 2300 m. Navidezna hitrost podzemeljskega toka je 19,2 do 22,2 m/h.

Razmeroma slabo razčlenjena krivulja koncentracije barve (sl. 7) kaže na sklenjen podzemeljski odtok, ki pa je v zadnjem delu zaradi tektonskih razmer počasnejši in razcepljen; zaradi tega se je pojavila barva v različnih izviri v različnih časih. Požiralniki na vzhodu napajajo vzhodne izvire, izviri na zahodni strani pa dobivajo vodo iz potokov, ki postanejo aktivni šele po deževju. V izvir Bajer priteka voda iz globljih vodnih horizontov, deloma sifonsko. Na to

kažejo nižje koncentracije barvila in zakasnitev v pojavu barve. Val barve je trajal skoraj tri tedne, v zadnji tretjini se je koncentracija barve za krajši čas dvignila zaradi kratkega naliva, ki je pospešil podzemeljski dotok do zahodne strani.

Iz geološke zgradbe in opazovanja vodnega režima lahko zaključim, da se območje v okolici planinskega doma na Boču in cerkve Sv. Marije vzhodneje odmaka proti jugu v izvir Pod pečino. Svet od Frmil proti vzhodu in osrednji del Boča pa dajeta vodo Studeniškemu potoku. Enakomeren režim odtoka in gibanje temperatur izvira Toplica ob Beli, ki smo ga tudi opazovali, pa priča, da ima ta izvir s kraškimi vodami manj povezave. Napajajo ga vode z dolomitnega sveta v območju Bele.

Naslednja kraška znamenitost je čok debeloskladovitega permskega apnenca, ki zavzema vrh okoli kote 445 m nad rudnikom Šega pri Makolah. Čok sivega apnenca je obdan z oligocenskimi laporji in na ta način osamljen. Na najnižji točki tega masiva je vhod v okoli 470 m dolgo jamo Belojačo (kat. št. 2204, fot. 6), iz katere v višini okoli 330 m priteka manjši potok. V jami je dvoje glavnih in nekaj stranskih rogov (R. G o s p o d a r i č, 1960). Na stiku apnenca in laporja ponikujejo trije manjši potoki, površje apnenca pa je zakraselo in vrtačasto.



Fot. 4. Levi izvir v kamnolomu v Studenicah
(fot. D. Novak)



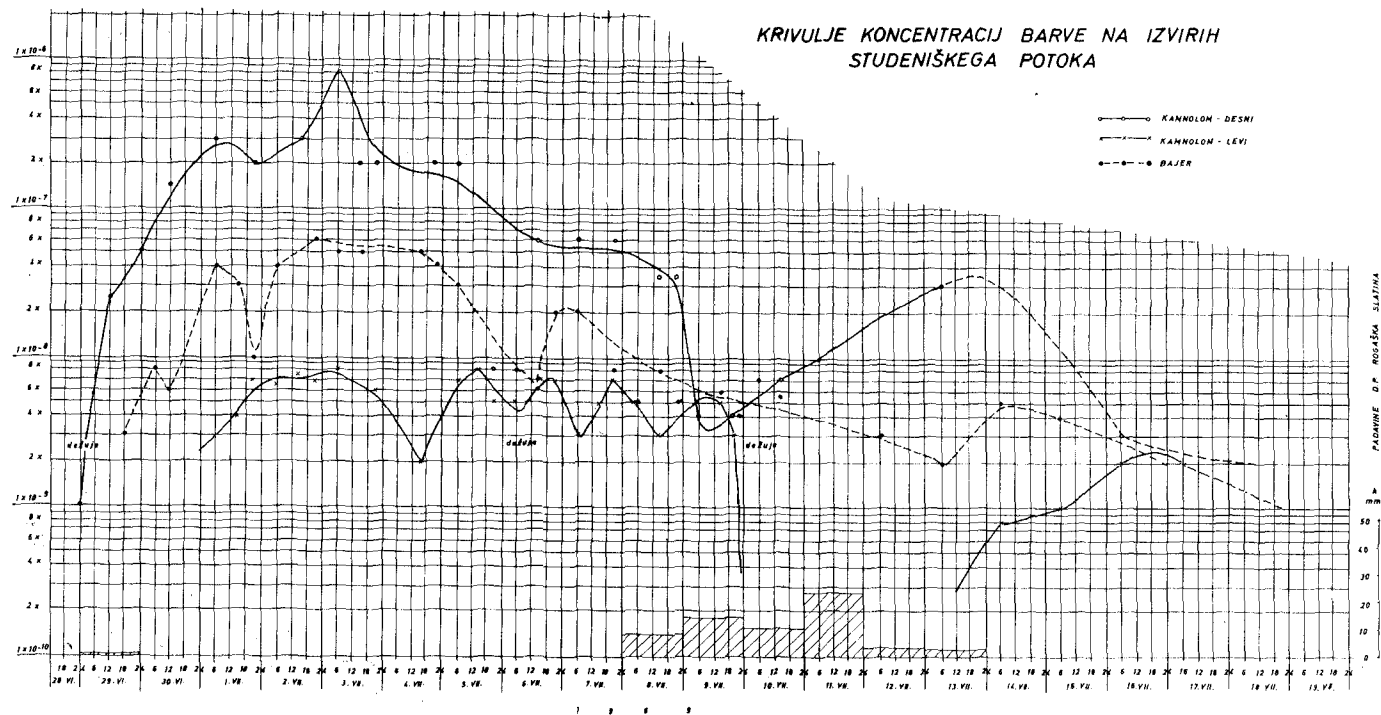
Fot. 5. Pri barvanju za Stav-
škim vrhom
(fot. D. Novak)

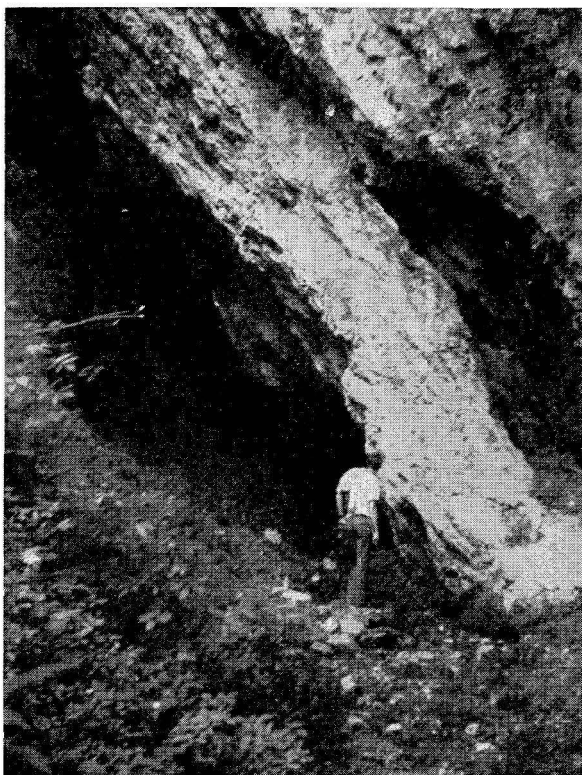
Del jame Belojače je voda izoblikovala ob leziki, ki poteka od severovzhoda proti jugozahodu, drugi del pa obsega rova, ki dovajata vodo iz ponorov. Različni prerezi kažejo, da jih je ustvarila skozi razpoke in lezike kapljajoča voda in vodni tok. R. Gospodarič, (1960, 1961) sklepa na podlagi trdot in temperature vode v nekaj izviri v obrobju apnenčeve krpe, da razen izvira izpod jame nima nobeden od izvirov zveze s kraško vodo. Sklepa, da je možen primer, da tod dosežejo površje celo juvenilne vode. Voda, ki priteka iz jame, je bila zajeta za potrebe bivšega premogovnika.

Eden od požiralnikov na jugozahodni strani, požiralnik pri Klečah (kat. št. 3379, sl. 5), je okoli 30 m globoko brezno; ustje brezna je v višini okoli 370 m. Obarvali smo potok, ki izginja vanj. Po okoli 34 urah se je obarvana voda pojavila na ustju jame Belojače in je obarvana tekla še okoli teden dni. To priča o počasnem podzemeljskem odtoku po domala vodoravnem rovu. Na razdalji 400 m in pri navideznem padcu med dnem brezna in izvirom, okoli 10 m, je navidezna hitrost 11,1 m/h.

Zanimiv primerek »mini krasa« opisuje A. Ramovš (1962) na območju Klokočevnika pri Ločah kjer so ob tektonskih črtah med terciarne plasti vgneten permski in triadni apnenci in dolomiti. V enem od takšnih ostankov sta tudi Mokra in Suha Votla peč (kat. št. 1378), ena še aktivna, druga pa že suha.

Sl. 7.





Fot. 6. Vhod v Belojačo
(fot. D. Novak)

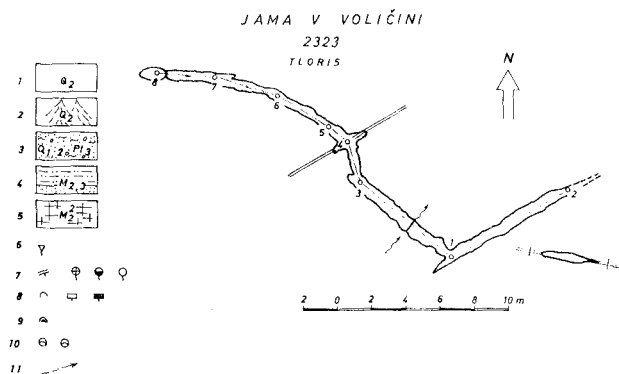
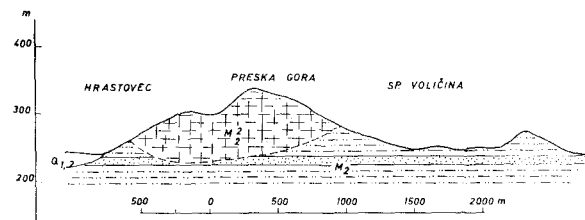
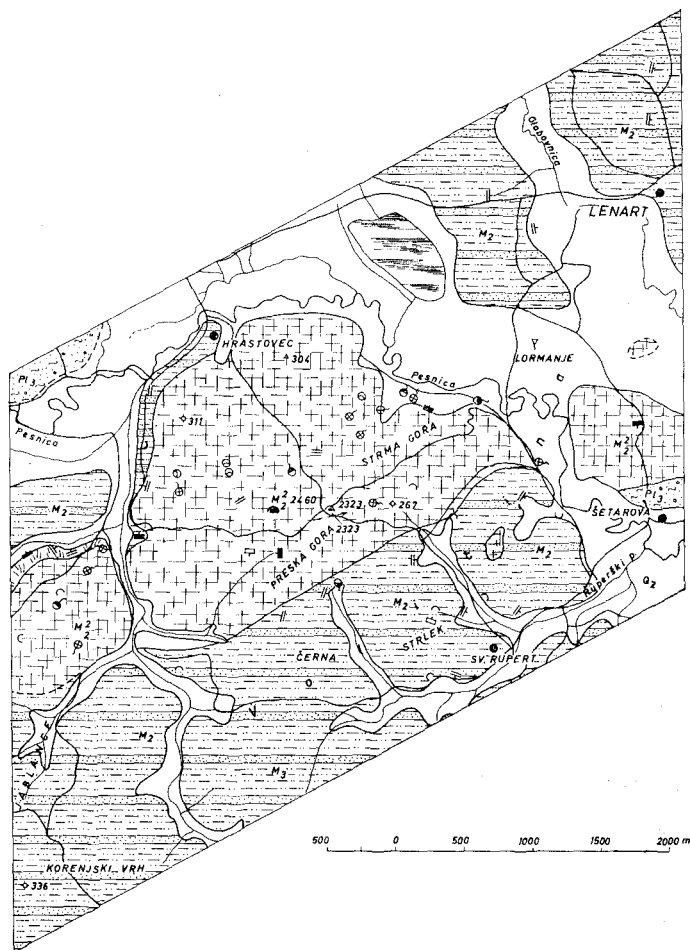
Jami sta okoli 80 m vsaksebi, v zgornji, Mokri Votli peči, je danes zajeta voda za lokalni vodovod. Jami sta nekaj nad 10 m dolgi. Voda, ki napaja potok priteka z nezakraselih kamnin in prenika skozi apnenec.

Slovenske gorice

Te gorice pripadajo po svoji tektonski zgradbi Alpidom oziroma njihovim najbolj vzhodnim odrastkom. V geološkem in morfološkem pogledu so samostojna enota v porečju Drave.

V njih se med dolinama Pesnice na severu in Drave pri Zg. Dupleku na jugu razteza od Lormanja proti jugozahodu gričevje, ki doseže najvišje vrhove v Kumu (424 m) pri Grušovi vasi in v Preski gori (334 m). Pobočja gričevja niso strma, so pa zelo razčlenjena. Od glavnega hrbta je Jablaniški potok odrezal njegov severovzhodni del, Presko oziroma Strmo goro (sl. 8). Tu je med miocenske laporje in peščenjake vložena okoli 100 m debela plast litotamnijskega apnenca in peščenjaka, ki je zelo porozen in prav lahko prepereva. Na njem leže peski in peščenjaki ter peščeni laporji. Vse te kamnine prekriva debela plast preperine, v dolinah nahajamo v glavnem peščeno-glinasto naplavino.

Litotamnijski apnenec je v tem območju zbiralec podzemeljske vode. Tvori manjšo kadunjo, ki je od vseh strani zaprta z neprepustnimi plastmi. Izvire



Sl. 8. Litološka zgradba Preske gore

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1 — naplavine rek in potokov | 6 — močila in izviri |
| 2 — pobočni grušč | 7 — manjša in večja zajetja |
| 3 — prod s peskom in glino | 8 — jama |
| 4 — lapor, peščen lapor, peščenjak in pese | 9 — občasen in aktiven požiralnik |
| 5 — litotamnijski peščenjak in apnenec | 10 — prelom |

nahajamo predvsem na severovzhodni in vzhodni strani masiva. Najizdatnejši pri mostu pod Viničko vasjo je zajet. Površje Preske oziroma Strme gore je razmeroma precej zakraselo. Nahajamo vrtače in dve podzemeljski jami, požiralnike in izvire. Pod Strmo goro izvira na jugozahod od kote 304 m v manjši dolini potok, ki le malo severneje ponikne, podzemeljski tok pa lahko sledimo v nizu grezov. V Hrastovskih gozdovih je še nekaj takih ponikalnic.

Vrh Preske gore sta poznani 8 m globoka Voličinska jama (kat. št. 2323) in 11 m globoko Voličinsko brezno (kat. št. 2460). Območje litotamnijskega apnenca zajema v vzhodnem delu, kjer so kraški pojavi, okoli 4 km².

Ozemlje, ki smo ga opisali je naseljeno, na njem pa je odvajanje odpadnih voda zelo neurejeno. Padavine odnašajo nesnago v plitvo podzemeljsko vodo; s tem se okužuje voda na vseh izvirih, ki so zajeti za lokalne vodovode. V opazovanih izbirih je bilo vsakokrat po deževju opaziti, da se je povečala količina gnilobnih in koliformnih bakterij.

Manjše in tanjše (do 20 m) so še plasti litotamnijskega apnenca v Strmi gori pri Sv. Juriju pri Bišečki vasi, pri Šentilju itd. Ta apnenec ni znatneje zakrasel (F. H a b e, 1972). V območju Plačkega vrha pri Juriju, na avstrijski meji, sta poznani dve manjši votlini, Jami v Repoluskovih pečinah. Na stiku z neprepustnimi laporji so številni manjši izviri, ki pa skoraj ne presegajo količine 1 l/s.

Kraške vode

Kraške vode v tem območju so kalcijevo do magnezijevo kalcijeve-hidro-karbonatne (Ca-HCO_3 , MgCa-HCO_3), le v zgornjem toku Meže je v vodi več SO_4 iona in to zaradi orudenjenja. V alpskem območju je v vodah zelo malo Na, K in SO_4 . Enake vode so tudi v litotamnijskem apnencu, s to razliko, da imajo višjo trdoto in višjo mineralizacijo od onih v alpskem območju (D. N o v a k, 1971).

Povzetek in zaključki

V slovenskem delu porečja Drave, (kolikor pripada SR Sloveniji) so kraški pojavi razviti v triadnih in permskih apnencih in dolomitih ter v terciarnem litotamnijskem apnencu. Kras je razvit na manjših površinah in predvsem v odvisnosti od blokaste geotektonske strukture ozemlja. Označujejo ga vsi površinski kraški pojavi, ponikalnice in izviri, v posameznih območjih ni jam in brezen večjih razmerij.

Največje kraške površine so v porečju Meže: v območju Pece, na Olševi, na Plešivcu. Rudarska dela v območju mežiškega rudišča so prvotne razmere odtekanja vode že dokaj spremenila in odkrila kras tudi v globljih conah karbonatnih masivov. Zaradi rudarskih del so pričele zatekati v karbonatne masive tudi že površinske vode.

V območju metamorfnih in magmatskih kamnin, iz katerih sta zgrajena Kozjak in Pohorje, izstopajo manjši čoki apnencev in marmorja, kjer so manjše jame, površinski kras pa ni jasno razvit. Take pojave nahajamo nad Radljami, pri Zapečniku južno od Radelj in v Planici nad Framom.

Med večjimi kraškimi masivi je tudi Boč v nizu podaljškov Karavank, na južni razvodnici porečja Drave. V zaledju izdatnega izvira pri Studenicah je

med donačkim in konjiškim prelomom čok karbonatnih kamnin. Od vseh strani je masiv obdan s neprepustnimi paleozojskimi in terciarnimi kamninami, skrilavci, peščenjaki in laporji. Na severni strani je bariera najnižja in tam je pri Studenicah izdaten izvir. Z neprepustnega sveta pritekajo manjši potoki, ki na stiku z apnencem poniknejo v vrsti požiralnikov. Najbolj zahodni v tem nizu je bil obarvan, barva se je pojavila v izviru pri Studenicah po 104 do 144 urah. Iz dobljenih podatkov sklepamo, da je podzemeljski odtok zaradi tektonske zgradbe počasnejši in razdrobljen.

Dotok v najnižjega od aktivnih izvirov je, sodeč po vodnem režimu, globinski in deloma sifonski.

V Halozah je v območju premogovnika v Šegi pri Makolah krpa permskega apnenca z nekaj požiralniki in večjo vodno jamo. Pri Ločah sta v čoku permskega apnenca dve manjši jami. Površinskih znakov zakrasevanja ni. Obe ti območji ležita ob konjiškem prelomu v podaljšku Karavank.

V Slovenskih goricah, ki so sicer zgrajene iz terciarnih klastičnih kamnin, je med Duplekom in Lenartom hrbet litotamnijskega apnenca, ki je izdatno zakrasel. Tod je vrsta požiralnikov in izvirov in znani dve manjši podzemeljski jami. V tem območju je še več površin litotamnijskega apnenca, ki pa niso izdatneje in izraziteje zakrasele npr. med Plačem in Šentiljem.

Skupna značilnost zakraselih triasnih območij je grudasta geotektonska zgradba, v terciarnem območju pa horizontalna ali subhorizontalna lega karbonatnih plasti. Način pretakanja podzemeljske vode in stopnjo zakraselosti narekuje debelina zakrasovanju podvržene mase, njena struktura, lega neprepustne podlage oz. bariere, erozijske baze in seveda količine padavin.

Summary

THE ISOLATED KARST AREAS OF DRAVA RIVER BASIN IN THE NORTHEASTERN SLOVENIA

In the slovene part of the river Drava water basin (NE Slovenia) the karstic phenomena are found in Triassic and Permian limestones and dolomites and in Tertiary lithothamnian limestone. The karst is developed in smaller areas and mostly dependant from blocked tectonics of the region. It is characterised by all surface karstic phenomena, sinking rivers and karstic sources, but in particular regions there are no caves or potholes of greater dimensions.

The greatest karstic regions are found in the river basin of Meža: on Peca Mt, Olševa Mt. and Uršlja gora Mt. By the mining works in the region of Mežica mine the former conditions of water drain have been completely changed and the karst in deeper zones of carboniferous massifs has been disclosed. Because of mining works the surface waters started to drain into carboniferous massifs.

In the region of metamorphic and magmatic rocks, from which the Kozjak and Pohorje Mts. are built, smaller mounds of limestone and marble are distinguished, smaller caves occur, while the surface karst is not distinctly developed. Above Radlje, near Zapečnik south from Radlje, and in Planica above Fram such phenomena occur.

The Mt. Boč, lying in the lengthening of the ridge of Karavanke Mts. on the south watershed of Drava river basin is considered as a greater karstic massif. In the hinterland of abundant source near Studenice between Donačka Mt. and Konji-

ška Mt. fault a great mound of carboniferous rocks is lying. The massif is encircled from all parts by impermeable Paleozoic and Tertiary rocks, schists, sandstones and marls. At the north part the barrier is the lowest and there the abundant source near Studenice is lying. Smaller streams are flowing from the impermeable region and they are sinking at the limestone contact in the series of sinking-holes. The most western in this serie has been water traced, the colour appeared in the source near Studenice after 104 till 144 hours. It can be concluded from stated data, that the underground drain is slower and crumbled because of tectonics. Regrading the water regime the inflow to the lowest of the active sources flows in the deep beds and partially in syphons.

In Haloze, in the region of coal-mine in Šega near Makole a patch of Permian limestone with some swallow-holes and greter watercave is found. Two smaller caves are found in the mound of Permian limestone near Loče. There are no signs of surface karstification. These two regions are lying in the area of Konjice fault in the continuation of Karavanke Mts.

In Slovenske gorice, built mostly from Tertiary clastic rocks a ridge of abundantly karstified lithothamnian limestone is found. Numerous swallow-holes and sources and two smaller caves are known from that region. There are still more areas of lithothamnian limestone, but their karstification is not remarkable, as for instance between Plače and Šentilj.

The block-tectonics represents the common characteristics for the karstified Triassic regions while in Tertiary region horizontal or subhorizontal position of carboniferous rocks predomines. The way of underground water drainage and the degree of karstification are conditioned by the thickness of karstifying material, its structure, the situation of impermeable basement or barrier, the erosional basement and evidently by the quantity of precipitations.

Literatura

Bilten, JS PDŽ, 1969.

Djurović, R., 1963. Hidrogeološka sistemizacija termomineralnih voda. Vesnik, III., B., Zavod za geološko-geof. istraživanja, Beograd.

Gospodarič, R., 1960. Belojača, kraška jama v Halozah. Naše jame 2, 39—42, Ljubljana.

— 1961. Kraška jama v Halozah. Proteus 24, 15—17, Ljubljana.

Germovšek C., 1954. Petrografske preiskave na Pohorju v letu 1952. Geologija 2, Ljubljana.

Habe F., 1972. Nekatere speleološke značilnosti osamljenega krasa Slovenije. Naše jame 13 (1971) 45—52, Ljubljana.

Melik A., 1957. Slovenija, II/2. Štajerska s Prekmurjem in Mežiško dolino, Ljubljana.

Novak D., 1962. Kraške pojave u porečju Meže. Geogr. glasnik 21, 39—50, Zagreb.

— 1971. Hidrofacija kraških voda v Sloveniji. Naše jame, 12 (1970) 52—56, Ljubljana.

Novak D. in Drobne F., 1970. Regionalna hidrogeološka študija porečja zgornje Drave in Mure. Arhiv GZ.

Rakovec I., 1954. Pregled tektonske zgradbe Slovenije. I. Jugosl. geol. kongres, Ljubljana.

Ramovš A., 1962. Mokra Votla peč in Suha Votla peč v Klokočovniku pri Ločah. Proteus 24, 159—161, Ljubljana.

Štručl I., 1965. Geološke značilnosti mežiških rudišč in njih okolice. 300 let mežiški rudniki, 115—139, Mežica.

— 1971. Statografske in tektonske razmere v vzhodnem delu severnih Karavank. Geologija 13 (1970) 5—20, Ljubljana.

PROBLEM PODZEMELJSKE RAZVODNICE TRNOVSKEGA
GOZDA, KRIŽNE GORE IN ČRNOVRŠKE PLANOTE

(s 4 slikami v besedilu)

THE HYDROLOGICAL PROBLEMATICS OF THE HIGH KARST BETWEEN
IDRIJCA AND VIPAVA RIVERS (TRNOVSKI GOZD, KRIŽNA GORA
AND THE PLATEAU OF ČRNI VRH)

(with 4 Figures in Text)

LADISLAV PLACER

(Rudnik živega srebra, Idrija)

JOŽE ČAR

(Rudnik živega srebra, Idrija, Jamski klub, Idrija)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)
Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

Zapletenost hidroloških razmer visokega krasa med Idrijco in Vipavo je že večkrat obravnaval P. Habič (1968, 1969, 1970, 1972 a, 1972 b). Njegovi zaključki slonijo predvsem na številnih podatkih o padavinah, izdatnosti kraških izvirov, režimu, fizikalno-kemičnih lastnostih vode, barvanju vode, geomorfoloških raziskavah, speleoloških in stratigrafskih ter le deloma tudi na tektonskih podatkih. Ker so novejša terenske raziskave (S. Buser, 1965; I. Mlakar, 1969) omogočile novo tektonsko interpretacijo obravnavanega ozemlja (I. Mlakar, 1969; L. Placer, 1973) bomo poskušali v naslednjem prispevku hidrološko problematiko Trnovskega gozda, Križne gore in Črnovrške planote osvetliti predvsem s te plati.

Stratigrafsko litološki opis obravnavanega ozemlja

Obravnavano območje je v primerjavi z idrijsko žirovskim ozemljem severno od tod stratigrafsko enostavno zgrajeno. Razvit je zgornji trias, vsi jurski in kredni stratigrafski členi, na severnem, vzhodnem in južnem obrobju pa še kamnine eocenske starosti (S. Buser, 1965; I. Mlakar, 1969). Plasti imajo normalno zaporedje in vpadajo večinoma proti jugozahodu (sl. 1).

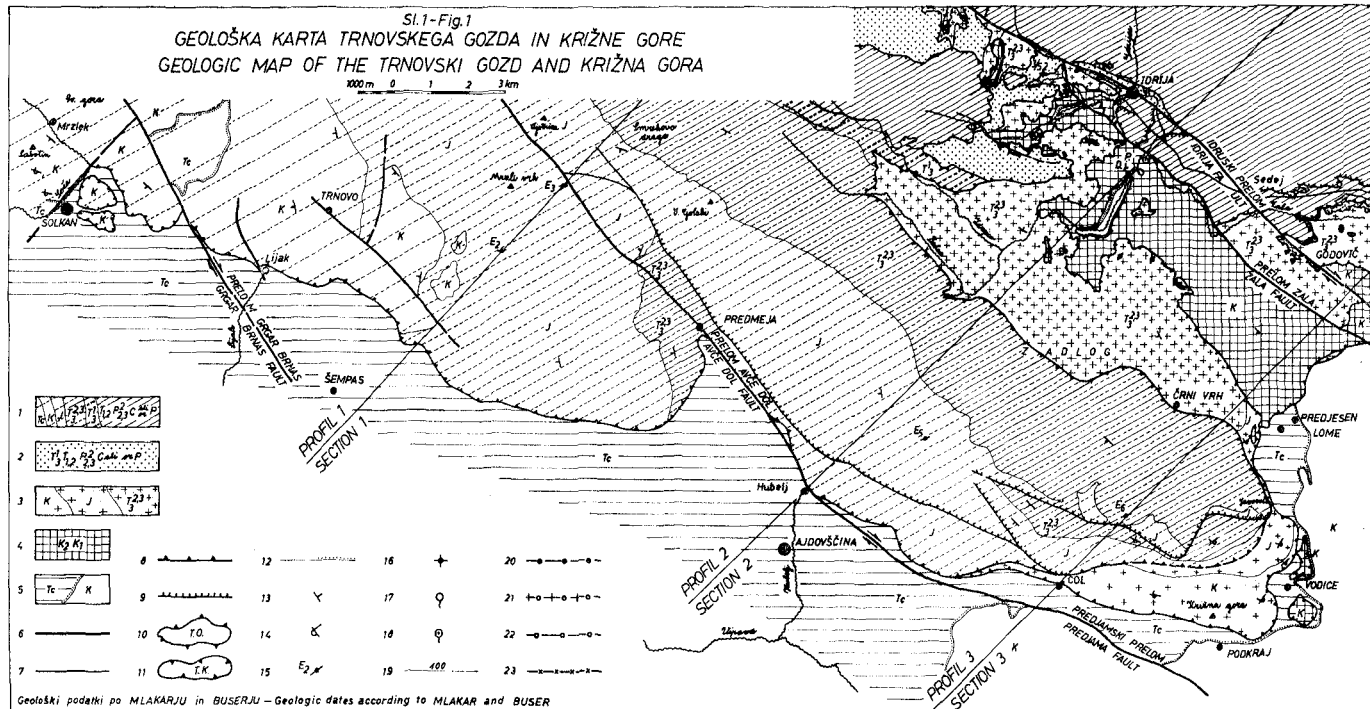
Trias je zastopan le s tipičnim zgornjetriasnim glavnim dolomitom, ki gradi severno obrobje Trnovskega gozda, skoraj celo Križno goro ter del Črnovrške planote (S. Buser, 1965; I. Mlakar, 1969). Po S. Buserju (1965) sestavljajo velik del Trnovskega gozda jurski sedimenti, ki so razviti v spodnjem in srednjem delu kot bel in rjav apnenec ter bel ali siv oolitni apnenec z vložki zrnatega dolomita. Prav podobno je razvit tudi malm.

Kredne plasti, ki sledijo jurskim v vzhodnem in zahodnem delu Trnovskega gozda, so razvite v glavnem kot apnenci. Spodaj leži temno siv, bituminozen, zgoraj pa bel zrnat apnenec z rudisti.

V osrednjem delu Trnovskega gozda se ob narivni ploskvi ponovno pojavi zgornjetriasni dolomit, ki mu sledijo že opisane spodnje, srednje in zgornje jurske kamnine. Jurski sedimenti se zaključujejo vzhodno od Trnovega z močnim horizontom belega, deloma oolitnega apnenca. Spodnja in zgornja kreda v apnenem faciesu gradi tudi ozemlje severnega obrobja Črnovrške planote med dolino Idrijce ter Predgrizami (sl. 1).

Eocenske kamnine, ki leže diskordantno na zgornji kredi, sestavljajo bazalne breče, apnenci, laporji in peščenjaki, ki se pojavljajo v zahodnem delu obravnavanega ozemlja v okolici Zagorja ter Ravnice. Eocenske kamnine izdajajo tudi v dolini Kanomlje, Nikave, Idrijce in v okolici Lom pri Črnem vrhu, od koder se v zveznem pasu potegnejo okrog Streliškega vrha v dolino Bele ter dalje v Vipavsko dolino (sl. 1).

Sl.1-Fig.1
GEOLOŠKA KARTA TRNOVSKEGA GOZDA IN KRIŽNE GORE
GEOLOGIC MAP OF THE TRNOVSKI GOZD AND KRIŽNA GORA



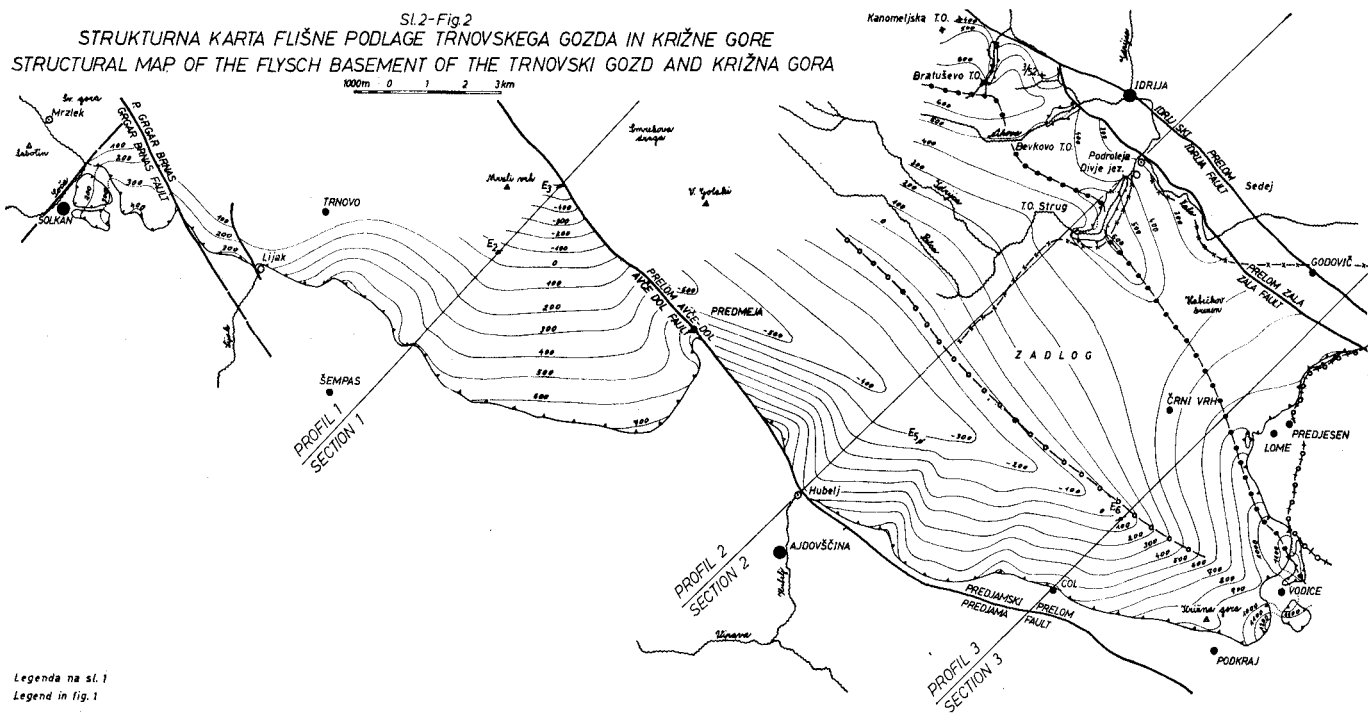
Tektonski opis

V ožjem smislu so Trnovski gozd, Križna gora, Javornik in Črnovrška planota enostavno zgrajeni. Če pa jih obravnavamo v okviru idrijsko-žirovskega ozemlja, se izkaže, da imajo zapleteno krovno zgradbo, sestavljeno iz štirih pokrovov in avtohtone podlage. Obsežni pokrovi so nastali v »staroterciarni« fazi narivanja (I. M l a k a r, 1969). V bratuševem tektonskem oknu v dolini Kanomljice, v bevkovem v dolini Nikave ter tektonskem oknu Strug v dolini Idrijce je razgaljena *avtohtona podlaga*, ki je zastopana z eocenskimi kamninami in zgornjo kredno. K avtohtoni podlagi prištevamo tudi Hrušico ter eocenske kamnine Vipavske doline. Na flišne in zgornjekredne kamnine je narinjen spodnjekredni in zgornjekredni apnenec *koševniškega pokrova* v normalni legi; najlepše je

Tekst k sliki 1 (str. 82):

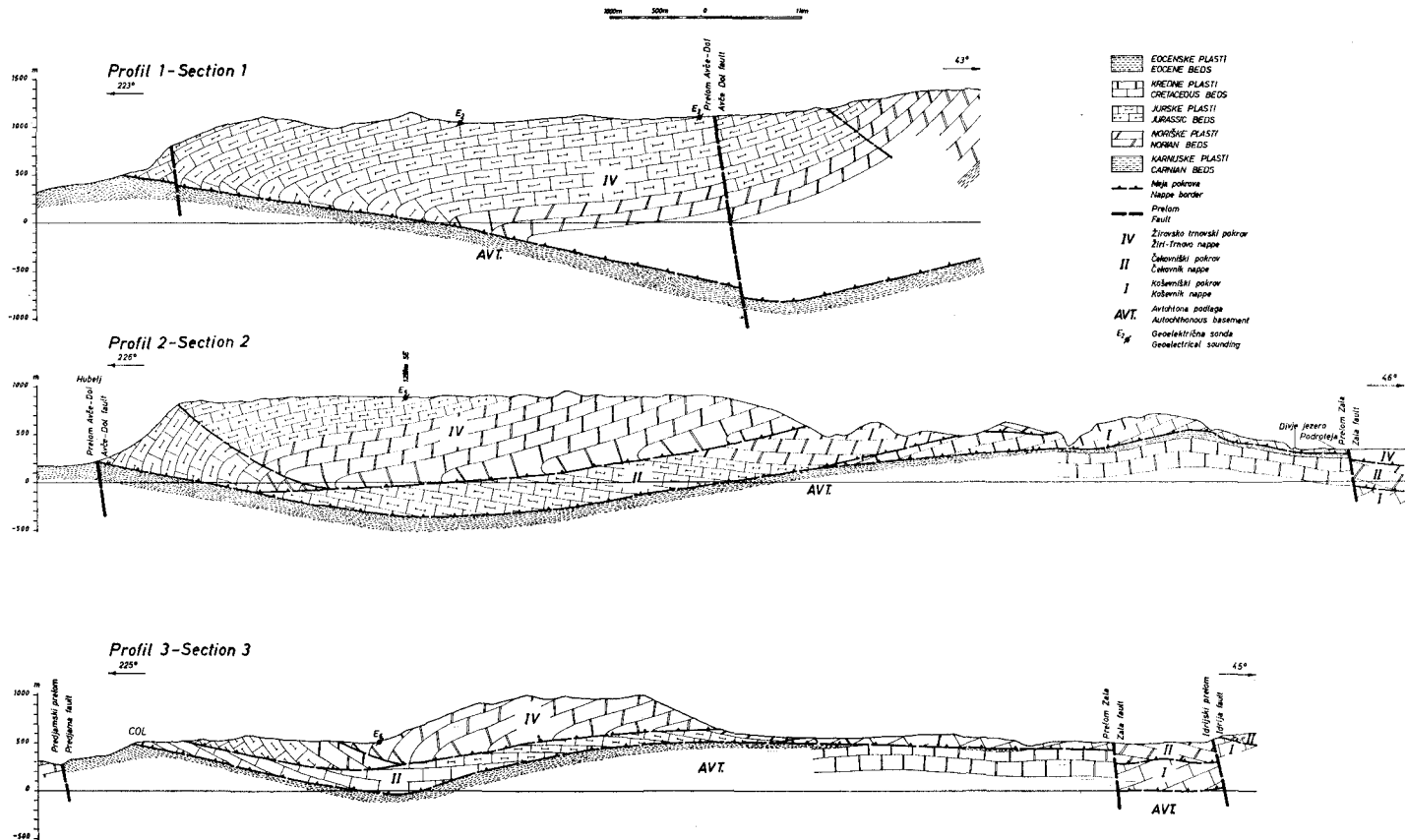
- 1 Žirovsko trnovski pokrov (IV) — Žiri — Trnovo nappe
 - 2 Kanomeljski pokrov (III) — Kanomlja nappe
 - 3 Čekovniški pokrov (II) — Čekovnik nappe
 - 4 Koševniški pokrov (I) — Koševnik nappe
 - 5 Avtohtona podlaga — Autochthonous basement
 - 6 »Mladoterciarni« zmik — »Young Tertiary« wrench fault
 - 7 Srednjetriadni prelom — »Middle Triassic« fault
 - 8 Meja »staroterciarnega« pokrova — »Old Tertiary« nappe border
 - 9 »Staroterciarna« narična ploskev — »Old Tertiary« thrust plane
 - 10 Tektonsko okno — Tectonic window
 - 11 Tektonska krpa — Tectonic klippe
 - 12 Konkordantna, diskordantna geološka meja — *Conformity, unconformity geologic boundary*
 - 13 Normalno zaporedje plasti — Normal sequence
 - 14 Inveržno zaporedje plasti — Inverted sequence
 - 15 Geoelektrična sonda — Geoelectrical sounding
 - 16 Vrtina — Bore hole
 - 17 Občasni izvir — occasional source
 - 18 Izvir z nad 1000 l/s — Source with above 1000 l/s
 - 19 Isostrata krovne reza avtohtone podlage (flišne podlage) — Isostrats of Flysch basement
 - 20 Greben v flišni podlagi — Convexity in Flysch basement
 - 21 Podzemeljska razvodnica I (Jadransko morje—Črno morje) — Underground watershed I (Adriatic Sea—Black Sea)
 - 22 Podzemeljska razvodnica II (Vipava—Idrijca) — Underground watershed II (Vipava river—Idrijca river)
 - 23 Podzemeljska razvodnica III (Divje jezero, Podroteja—Zala—Idrijca) — Underground watershed III (Divje jezero, Podroteja—Zala river—Idrijca river)
- C ali P Karbonske ali permske plasti — Carboniferous or Permian beds
- P₂ Grödenske plasti — Gröden beds
- P₃ Zgornjepermske plasti — Upper Permian beds
- T_{1,2} Spodnjetriasne in srednjetriasne plasti — Lower Triassic and Middle Triassic beds
- T₂¹ Karnijske plasti — Carnian beds
- T₃³ Noriške plasti — Norian beds
- J Jurske plasti — Jurassic beds
- K Kredne plasti — Cretaceous beds
- Tc Terciarnе plasti — Tertiary beds

Sl.2-Fig.2
 STRUKTURNA KARTA FLIŠNE PODLAGE TRNOVSKEGA GOZDA IN KRIŽNE GORE
 STRUCTURAL MAP OF THE FLYSCH BASEMENT OF THE TRNOVSKI GOZD AND KRIŽNA GORA



Legenda na sl.1
 Legend in fig.1

Sl. 3 - Fig. 3
REGIONALNI GEOLOŠKI PROFILI SKOZI TRNOVSKI GOZD IN KRIŽNO GORO
REGIONAL GEOLOGICAL SECTIONS THROUGH THE TRNOVSKI GOZD AND KRIŽNA GORA



razgaljen na območju Koševnika. V dolini Idrijce, v Idrijskem Logu, na Koševniku, južnem obrobju Črnovrške planote ter v okolici Godoviča je ohranjen zgornjetriasni dolomit *čekovniškega pokrova* v inverzni legi, ki je tipična za to krovno enoto. V enaki superpoziciji so pri Lomeh ohranjeni jurski, pri Colu pa še kredni apnenci. Členi naslednje tektonske enote *kanomeljskega pokrova* (L. P l a c e r, 1973), na obravnavanem ozemlju niso ohranjeni. Celoten Trnovski gozd — razen ozkega pasu med Lomi in Colom — Križna gora, Javornik ter južno obrobje Črnovrške planote, spada v okvir *žirovsko-trnovskega pokrova*, za katerega je značilna normalna superpozicija plasti (I. M l a k a r, 1969), (sl. 1, sl. 3).

Fazi »staroterciarnega« narivanja je sledila mlajša in še aktivna »mladoterciarna« faza zmikov. Ozemlje je bilo razkosano s sistemom prelomov v smeri severozahod—jugovzhod in severovzhod—jugozahod, pri čemer so pomembnejši tisti v smeri severozahod—jugovzhod kot *idrijski prelom*, *prelom Avče—Dol* (predjamski prelom) in *prelom Grgar—Brnas*. Prelomi prečno na te so dokaj pogosti, vendar manj izraziti. Premiki ob zmikih obeh glavnih smeri so subhorizontalni. Vpad tektonskih drs ob idrijskem prelomu znaša 5—15° proti jugovzhodu (I. M l a k a r, 1964), zaradi česar je severovzhodno krilo nekoliko pogreznjeno. Manj raziskane so razmere ob prelomih Avče—Dol in Grgar—Brnas, vendar gre verjetno tudi tu za desni zmik, kar potrjujejo razmere na terenu. Prelomi obeh sistemov sekajo narivne strukture idrijsko-žirovskega ozemlja in Trnovskega gozda.

Strukturna karta flišne podlage

Strukturna karta flišne podlage Trnovskega gozda, Križne gore, Javornika, Črnovrške planote in ozemlja med Nikavo ter Kanomljico (sl. 2) je izdelana na podlagi M l a k a r j e v e (1969) interpretacije krovne zgradbe idrijsko-žirovskega ozemlja in predstavlja strukturo krovnega reza avtohtone podlage. Geološke podatke za območje Črnovrške planote in severno od tod smo povzeli po M l a k a r j e v i manuskriptni karti 1 : 10 000, za predel vzhodnega in južnega obrobja Križne gore in Trnovskega gozda pa po B u s e r j e v i (1965) manuskriptni karti 1 : 25 000. S pridom smo uporabili tudi podatke geofizikalnih meritev z geoelektričnim sondiranjem po metodi navidezne specifične upornosti, ki jih je opravil R a v n i k (1962). Nizkoupornostne flišne plasti so bile ugotovljene s sondami E₂, E₃, E₅ in E₆. Rezultate meritev podajamo v naslednji tabeli:

Sonda	Lokacija	Nadmorska višina sonde	Globina flišne podlage	Absolutna kota flišne podlage
E ₂	Smrečje	1020 m	1070 m	— 50 m
E ₃	Mala Lazna	1100 m	1700 m	— 600 m
E ₅	Ožgani grič	854 m	1125 m	— 271 m
E ₆	Col—Črni vrh	635 m	625 m	10 m

Na območju Kanomlje, Nikave in Zgornje Idrije izdanja fliš avtohtone podlage v že omenjenih tektonskih oknih. Manjša izdanka eocenskega fliša sta tudi v Srednji Kanomlji, ki skupaj z vrtino 3/52 na Sivki omogočata dokaj natančno konstrukcijo izostrat flišne podlage. Zanesljivi so tudi podatki s čela nariva Križne gore, Javornika in Trnovskega gozda. Interpretacija obsežnega območja med Idrijo, Colom in Trnovim je manj zanesljiva; izdelana je na podlagi podatkov elektrosond ter hipotetičnih predpostavk o verjetni legi strukturnih hrbtov in dolov v flišni podlagi. Smer le-teh je odvisna od smeri narivanja v času nastajanja »staroterciarne« krovne zgradbe (L. Placer, 1973).

Hidrološka karakteristika različnih litoloških členov ter tektonskih elementov

Dobre tri četrtine obravnavanega ozemlja sestavljajo jurski in kredni apnenci, ki so dobro prepustni in jih s hidrološke plati obravnavamo enotno. Njihova prepustnost je $K > 1 \cdot 10^{-3}$ cm/sek. Zaradi tektonskih procesov (narivanja) imajo veliko razpoklinsko poroznost, ki je zaradi intenzivnega fizikalno-kemičnega delovanja vode skoraj na celotnem območju prešla v globoki kras (P. Habič, 1968). Na izredno zakraselost kaže tudi veliko število kraških jam in brezen. Dolomiti, laporji ter skrilavci enakih starosti, ki so razviti v nepravilnih krpah sredi apnencev, ne vplivajo bistveno na generalne hidrološke karakteristike ozemlja.

Zgornjetriasni dolomit s skrilavimi vložki smo doslej prištevali med neprepustne kamnine. Izkušnje iz idrijskega rudišča kažejo, da so to kamnine s srednjo prepustnostjo.

V splošnem obravnavamo eocenske flišne kamnine kot neprepustne. Vendar je za hidrološko karakteristiko fliša še posebno pomembno kakšen je njihov litološki razvoj ter v kakšni debelini so ohranjene na terenu. V tektonskem oknu Strug v neposredni bližini Divjega jezera je razvit eocen predvsem kot zelen in rjavkast flišni lapor ter peščenjak z vložki nekaj metrov debelih pol apnencev. Hidrološke razmere zanesljivo kažejo, da moramo imeti v tem delu fliš za neprepusten horizont, kar je za razlago hidrologije Divjega jezera zelo pomembno (J. Čar, 1972).

V Lomeh pri Črnem vrhu, kjer se flišne kamnine ponovno pokažejo izpod nariva koševniškega oziroma čekovniškega pokrova, so ohranjeni predvsem apneni litološki členi: apnenec, apnena breča in apnen peščenjak. V naštetih dobrotopnih litoloških členih so kraški pojavi zelo lepo razviti. Poleg jam in brezen daje ozemlju karakteristiko tudi vrsta aktivnih požiralnikov. Voda se torej nemoteno pretaka skozi flišne sedimente v dobro zakrasele zgornjekredne apnence pod diskordanco, kjer je že doslej raziskanih več globokih brezen.

Prav podobne razmere pričakujemo tudi v flišnih sedimentih okrog Streliškega vrha ter Vodice.

Proti Novemu svetu je fliš ob narivni ploskvi koševniškega pokrova na avtohtono podlago skoraj v celoti izklinjen. Manjša leča apnenih numulitnih breč se pokaže le ob cesti Godovič—Novi svet. Sam fliš, vsaj blizu površine, v tem delu ne igra pomembne hidrološke vloge. Dalje proti severozahodu se morajo ob narivni ploskvi ponovno odpirati eocenski litološki členi saj je v tektonskem oknu Strug fliš razvit vzdolž celotne dolžine narivne ploskve.

Podatki zbrani v idrijskem rudišču ter pri obsežnem kartiranju idrijskega ozemlja povedo, da ob narivnih ploskvah ali prelomih, kjer se stikata dve apneni kamnini neprepusten milonit ni razvit in je porušena cona izredno ugodna za nastanek tudi večjih erozijskih kanalov. Zato moramo imeti narivno cono med koševniškim pokrovom in avtohtono podlago v tistem delu, kjer neprepustni flišni členi niso ohranjeni v območju med Lomi in Novim svetom, za prepustno (sl. 1, sl. 3 — profil 3). Pretakanje vode ob narivni ploskvi je seveda možno pravokotno na drsno ploskev ali pa v smeri narivne ploskve. Izkušnje kažejo, da je v porušenih conah narivov v apnencih posebno ugodna smer pretakanja po narivni ploskvi, zato menimo, da predstavlja kontakt avtohtone podlage in koševniškega pokrova s smerjo vpada proti severozahodu odlično predispozicijo za odtekanje vode iz tega območja proti Divjemu jezeru.

Narivne ploskve, kjer se stikata dve dolomitni kamnini so navadno močno milonitizirane in neprepustne (narivna ploskev med glavnim dolomitom čekovniškega in žirovsko trnovskega pokrova). Ob teh ploskvah se nahaja vrsta studencev in močil.

Posebno zanimive so hidrološke razmere ob narivnih ploskvah dolomita in apnenca. Tak je na primer kontakt med krednim apnencem koševniškega ter zgornjetriasnim dolomitom čekovniškega pokrova, ki se vleče čez celo Črnovrško in Zadloško planoto. Milonitna cona je lahko popolnoma neprepustna ali pa dobro prepustna.

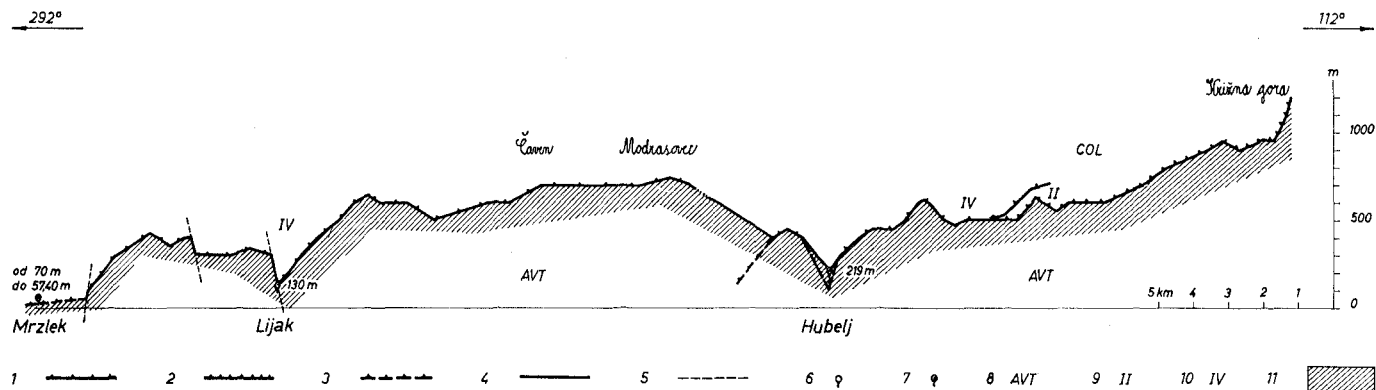
Podobne ugotovitve veljajo tudi za velike »mladoterciarnе« regionalne prelome, ki sekajo idrijsko ozemlje in Trnovski gozd. Cono idrijskega preloma moramo obravnavati v območju od doline Zale proti Godoviču in Hotedršici, kjer se ob njem stikajo kredni apnenci že na površini ali pa le plitvo pod površino, kot prepustno. Prav podobno velja tudi za prelom »Zala«. Tu sicer sega kontakt krednega apnenca in glavnega dolomita, ki je lahko prepusten ali neprepusten, nekoliko globlje pod površino, vendar so pod čekovniškim pokrovom v kontaktu kredni apnenci. Podobne razmere bi ugotovili ob ostalih regionalnih prelomih. Te velike prelome spremlja vrsta manjših, ki so bistveno vplivali na prepustnost ter razvoj kraških pojavov na Idrijskem (L. P l a c e r , 1972).

Problem določitve podzemeljske razvodnice in razlaga nekaterih značilnosti pomembnejših kraških izvirov

Točna določitev podzemeljske razvodnice na področju visokega krasa med Idrijco in Vipavo je zaradi izredne zakraselosti ter zapletenega globinskega pretakanja vode nemogoča. Iz obsežnega seznama nerešenih hidroloških vprašanj, ki jih je še posebno skrbno in argumentirano nakazal P. H a b i č (1970, 1972 a), bomo omenili le tiste, katere smo lahko osvetlili s pomočjo geoloških podatkov.

Zapleten problem razvodnice med Jadranskim in Črnim morjem ter Idrijco in Vipavo moremo reducirati na določitev hidroloških zaledij posameznih kraških izvirov, predvsem Divjega jezera s Podrotejo, Hublja, Lijaka in Mrzleka. Pri tem smo prišli do sklepa, da so za to najprimernejši podatki o

a) izdatnosti izvirov pri nizkih vodah z upoštevanjem minimalnega specifičnega odtoka za visoki kras,



Sl. 4. Projekcija čela nariva Trnovskega gozda na flišne plasti Vipavske doline

Projekcija čela nariva Trnovskega gozda na flišne plasti Vipavske doline — Projection of the thrust front of Trnovski gozd on the Flusch feds of Vipava valley

- 1 Narivna ploskev žirovsko — trnovskega pokrova — Thrust plane of Žiri — Trnovo nappe
- 2 Narivna ploskev čekovniškega pokrova — Thrust plane of Čekovnik nappe
- 3 Presečnica narivne ploskve in »mladoterciarnega« znika — The line of intersection of the thrust plane and »young Tertiary« wrench fault
- 4 Kontakt fliša s prelomno ploskvijo — Contact of the flusch with the fault plain
- 5 »Mladoterciarni« znik — »Young Tertiary« wrench fault
- 6 Občasni izvir — occasional source
- 7 Izvir z nad 1000 l/s — Source with above 1000 l/s
- 8 Avtohtona podlaga — Autochthonous basement
- 9 Čekovniški pokrov (II) — Čekovnik nappe
- 10 Žirovsko — trnovski pokrov (IV) — Žiri—Trnovo nappe
- 11 Fliš — Flysch

- b) smeri odtoka posameznih ponikalnic,
- c) hidrogeoloških razmerah.

Geomorfološke in speleološke značilnosti, fizikalno-kemične lastnosti vode itd. so manjšega pomena za generalno sliko načina odmakanja, lahko pa bistveno osvetlijo posamezne probleme.

Če upoštevamo že navedene posebnosti kraškega terena v flišnih kamninah okrog Lom pri Črnem vrhu, hidrološke značilnosti prepustne narivne ploskve koševniškega pokrova na avtohtono podlago med Lomi in Novim svetom ter ugotovitve, da je idrijski prelom s spremljajočim prelomom Zala jugovzhodno od Sedeja prepusten, obsega hidrološko zaledje Divjega jezera in Podroteje okrog 70 km² (sl. 2). Ta podatek se zelo dobro ujema s podatkom 65 m², ki ga navaja P. Habič (1972 b). Pri tem nismo upoštevali dejstva, da 48 % vode iz Zale med Barako in izlivom v Idrijco ponikne in po vsej verjetnosti napaja izvire pri Podroteji (Z. Mencej, 1972; P. Habič, 1972 a). Z upoštevanjem tega dotoka bi se zaledje Divjega jezera in Podroteje povečalo še za nekaj km².

Proti Divjemu jezeru in Podroteji torej gravitirajo poleg nespornih območij Črnovrške in Zadloške planote (F. Habe, F. Hribar, P. Štefančič 1955) še območja Lom, Godoviča ter predel severovzhodno od idrijskega preloma (sl. 2).

Vprašanje odtokanja vode iz ponikalnice pri Vodicah in razvodja med Idrijco in Vipavo na Javorniku, ostaja še nadalje odprto. Kam se odteka voda od tod, bo mogoče dokazati le z barvanjem.

Izvir Hublja se loči od ostalih kraških izvirov po izredno velikem nihanju vodnega nivoja. Po nalivih prihaja voda na dan kakih 40 m više kot ob suši (P. Habič, 1970). Vzroke za tako nihanje je iskal Habič (1970) predvsem v slabo prepustnih, neplastnatih jurskih apnencih, ki grade neposredno zaledje izvira. Temu dejstvu je treba dodati še pomembno ugotovitev o obliki flišne podlage v okolici Hublja, ki leži (sl. 2 in 4) v izraziti strukturni depresiji. Flišne stene se na obeh straneh dvigajo okoli 250 m nad nivo izvira, tako da nas dvig vode za 40 m ob večjih nalivih ne preseneča.

Tudi obnašanje izvira Lijaka pri Ajševici se da lepo razložiti s pomočjo strukture flišne podlage (sl. 2 in 4). Izvir nastopa v relativno plitvi zajedi v flišu, ki je nastala ob prelomu s smerjo severozahod—jugovzhod. Glede na to, da narivna ploskev žirovsko-trnovskega pokrova v tem delu konstantno vpada proti severoseverovzhodu, gravitirajo vode zahodno od Predmeje proti Mrzleku (sl. 2 in 4), ki predstavlja absolutno najnižji izvir ob robu nariva četrtega pokrova. Po močnih nalivih privre v Lijaku na dan le višek vode, medtem ko se ostali del odteka dalje proti severozahodu. Lijak je torej izrazit prelivni izvir in ima po našem mnenju skupno zaledje z Mrzlekom. Močan argument proti taki razlagi je razlika v temperaturi in trdoti vode med obema izviroma (P. Habič, 1970). Pri tem je treba poudariti, da odvaja Lijak samo zelo visoke vode, ki zaradi zakrasedlosti hitro zapolnijo kanale v zaledju izvira in tudi hitro odtečejo. Take vode imajo seveda višjo temperaturo ter nujno manjšo trdoto kot pa vode Mrzleka, ki ima, če sodimo po izdatnosti in režimu, obsežno in zapleteno zaledje. Povečana trdota in nižja temperatura vode v Mrzleku sta posledici takega pretakanja.

Preloma Avče—Dol in Grgar—Brnas sta po našem mnenju, vsaj tam kjer se stikajo apnenci prepustna. Ker so bili premiki ob njiju po analogiji z idrij-

skim prelomom verjetno subhorizontalni, je stopnica v flišni podlagi neznatna. Zato menimo, da oba preloma na generalno hidrološko sliko Trnovskega gozda ne vplivata bistveno.

Čeprav puščamo problem podzemeljske razvodnice na območju Javornika odprt, se ugotovljeno hidrološko zaledje Divjega jezera s Podrotejo, določeno na podlagi hidrogeoloških podatkov, bistveno ne loči od tistega, ki ga je določil P. Habič (1972 b). Podzemeljska razvodnica na območju Križne gore in jugovzhodnih predelov Zadloške ter Črnovrške planote sledi v neki konstantni razdalji narivni ploskvi med čekovniškim in žirovsko-trnovskim pokrovom (sl. 2), ki predstavlja v tem delu neprepusten horizont. Ker vpada proti jugozahodu, se podzemeljske vode odtekaajo proti Vipavski dolini. Enak, le nekoliko bolj strm vpad ima tudi zgornjetriasni dolomit žirovsko-trnovskega pokrova, kar usmerjeno pretakanje le pospešuje (sl. 1 in 3). Potek razvodnice na območju Lom in Novega sveta smo že omenili, enako tudi na območju Godoviča in severovzhodno od idrijskega preloma.

Strukturni hrbet v flišni podlagi Črnovrške planote med Vodiciami in tektonskim oknom Strug predstavlja le strukturno posebnost, s hidrološkega stališča pa ima le manjši pomen in nima posebnega vpliva na potek podzemeljske razvodnice med Idrijco in Vipavo. Večina podpovršinskih voda odteka na tem območju proti severu in severozahodu proti Divjemu jezeru in Podroteji, le manjši del pa priteka z Zadloške planote. Vpliv strukturnega hrba, bi se poznal le pri izjemno nizkih vodah, ki ga pa v naravi nikoli ne dosežejo.

Summary

HYDROLOGICAL PROBLEMATICS OF THE HIGH KARST BETWEEN IDRIJCA AND VIPAVA RIVERS (TRNOVSKI GOZD, KRIŽNA GORA AND THE PLATEAU OF ČRNI VRH)

The complicated hydrological conditions of the High karst between Idrijca and Vipava rivers have been for several times treated by P. Habič (1968, 1969, 1970, 1972 a, 1972 b). His conclusions are mostly referring to numerous data about precipitations, abundance of karstic sources, régime, physical-chemical water characteristics, geomorphological explorations, speleological, stratigraphical and partially also tectonical particulars. As the recent terrain explorations (S. Buser, 1965; I. Mlakar, 1969) rendered the new tectonical interpretation of treated region possible (I. Mlakar, 1969; L. Placer, 1973) we tried to elucidate the hydrological problematics of Trnovski gozd, Križna gora and Črnovrška planota (the plateau of Črni vrh) mostly from that side of view.

Trnovski gozd, Križna gora, Črnovrška planota and Javornik are built by Mesozoic and Tertiary beds. As the oldest stratigraphical link the Uppertriassic principal dolomite is considered, followed by Jurassic, mostly limestone rocks, and Lowercretaceous and Uppercretaceous limestones. The Eocene flysch beds (Fig. 1.) are disposed on that erosional-tectonical discordance.

For the entire region the complicated nappe structure is characteristic. The following tectonical units are distinguished by Mlakar (1969): *autochthonous base-*

ment followed by *Koševnik*, *Čekovnik*, *Kanomlja* (L. Placer, 1973) and finally *Žiri—Trnovo* nappe (Fig. 1. and 3.).

For the good understanding of the hydrological conditions of the treated region the right definition of the hydrological functions of particular lithological links and breakdown zones among nappes and faults are important. Breakdown zones could be permeable (two limestones contact), whether impermeable (two dolomites contact). The structure of the autochthonous basement and its nappe's plane is very important too (Fig. 2. and 3.).

The upper part of the autochthonous basement of Trnovski gozd, Križna gora, Javornik and Črnovrška planota is composed by flysch beds.

It was stated, that the underground and surface watersheds between Black and Adriatic Sea as well as between Idrijca and Vipava rivers are dependent from hydrological hinterlands of great karstic sources Podroteja, Divje jezero, Hubelj, Lijak and Mrzlek. The hydrological hinterlands can be recognized by:

- a) abundance of the sources at low waters, considering the minimal specific outflow for the High karst,
- b) the direction of the outflow of particular sinking rivers,
- c) hydrogeological conditions.

The karstic sources Hubelj and Lijak are lying in the characteristic flysch identification (Fig. 2. and 4.), while Divje jezero and Podroteja are some 10 m. above the flysch basement (Profile 2 on the Figure 3) in the absolutely lowest part of the valley of Zgornja Idrijca before impervious Zala fault. The circumstances in the vicinity of Mrzlek source are not enough explored yet.

After P. Habič (1972 b) the hydrological hinterland of Divje jezero and Podroteja sources amounts to 65 km.², while it is after our reckons about 70 km.² After that extension the most possible watershed between Black and Adriatic Sea and the most possible underground watershed between Vipava and Idrijca rivers were defined (Fig. 2.).

Literatura

- Buser S., 1965. Geološke razmere v Trnovskem gozdu. Geogr. vestnik 37, 123—135, Ljubljana.
- Čar J., 1972. Nekaj osnovnih podatkov o osamljenem krasu na Idrijskem. Naše jame 13 (1971) 61—70, Ljubljana.
- Habe F., Hribar F., Štefančič P., 1955. Habečkov brezen, Acta carsologica 1, Ljubljana.
- Habič P., 1968. Kraški svet med Idrijco in Vipavo, Dela 4. raz. SAZU 21, Ljubljana.
- 1969. Hidrografska rajonizacija krasa v Sloveniji. Krš Jugoslavije 6, 79—91, Zagreb.
- 1970. Hidrografske značilnosti Visokega krasa v odvisnosti od geomorfološkega razvoja. Prvi kolokvij o geologiji Dinaridov, Geološki zavod in SGD, 125—133, Ljubljana.
- 1972. a) Pripombe k študiji »Padavinsko zaledje kraških izvirov pri Podroteji in Divjega jezera«. Rokopis. Inštitut za raziskovanje krasa, Postojna, arhiv RŽS Idrija.
- 1972. b) Divje jezero. Kulturni in naravni spomeniki Slovenije. Zbirka vodnikov 30, Ljubljana.
- Mencej Z., 1972. Padavinsko zaledje kraških izvirov pri Podroteji in Divjega jezera. Rokopis. Geološki zavod, Ljubljana.

- Mlakar I., 1964. Vloga postrudne tektonike pri iskanju novih orudenih con na območju Idrije. RZM 1, Ljubljana.
- 1969. Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja. Geologija 12, 5—72, Ljubljana.
- Placer L., 1972. Usmerjenost kraških jam na Idrijskem. Naše jame, 13 (1971) 71—76, Ljubljana.
- 1973. Rekonstrukcija krovne zgradbe idrijsko žirovskega ozemlja. Geologija 16, 317—334.
- Ravnik O., 1962. Geofizikalne raziskave na Krasu, električno sondiranje. Arhiv Geološkega zavoda, Ljubljana.

Diskusija

Gospodarič R.:

Ali je možno izvir Mrzleka povezati na podobno geološko situacijo kot jo imajo Lijak, Hubelj in Podroteja, če so že izviri hidrološko povezani?

Odgovor: L. Placer: Izvir Mrzlek je možno vezati na podobno geološko situacijo kot jo imajo Lijak, Hubelj in Podrotejo, le da so lokalni tektonski pogoji nekoliko bolj zamotani.

PODZEMNI KRŠKI FENOMENI PLANINE MEDVEDNICE
KRAJ ZAGREBA

(sa 4 karte i 4 fotografije u tekstu)

SUBTERRANEAN KARST PHENOMENA IN THE MEDVEDNICA
MOUNTAIN NEAR ZAGREB

(with 4 Maps and 4 Figures in Text)

SREČKO BOŽIČEVIĆ

(Institut za geološka istraživanja, Zagreb)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktobar 1972)

Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

Uvod

Planina Medvednica je kao rijetko koja naša planina morfološki zanimljiva u svim svojim dijelovima. Razlog za tu zanimljivost i raznolikost je njezina geološka gradnja kao i čitav položaj u sklopu planina prostranog Panonskog regiona. Planina se smjestila u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske kao cjelovit gorski masiv, dio »otočnih gora« ili kao »horstovski« elemenat u nekad prostranom Panonskom bazenu.

Gorsko jezgro Medvednice izgradjuju metamorfne stijene, a na njima se nastavljaju geološki mladje naslage (mezozojske i tercijarne starosti). Na komplekse zelenih škriljavaca i još neodređenih paleozojskih naslaga taloženi su mezozojski i tercijarni sedimenti dolomitično-vapnenjačkog facijesa. Pojava vapnenjačkih naslaga na ovoj planini uvjetovala je i razvoj krških formi i oblika. Osim karakterističnih površinskih formi (škrapa, vrtača, polja i ponornica) u znatnoj mjeri nalazimo razvijene i podzemne krške forme, koje nas ovdje često puta i iznenadjuju svojom pojavom.

Promatramo li ovu planinu s tektonskog stanovišta tada vidimo, da u njoj dominiraju rasjedi razne starosti, koji uglavnom i diktiraju njezin oblik i pravac protezanja. Uzdužni i poprečni rasjedi ujedno su omogućili vertikalno i horizontalno kretanje pojedinih planinskih blokova. Vezano za ove pokrete i geološku gradnju kroz razna vremenska razdoblja na pojedinim dijelovima planine erozija je bila različita rezultirajući sadašnjim rasporedom morfoloških detalja i pojava. Sve su se te promjene rezultirale u najvećoj mjeri svakako na krškom reljefu planine Medvednice ukazujući na jedan vrlo dug i složen proces razaranja i formiranja danas uočljivih krških pojava.

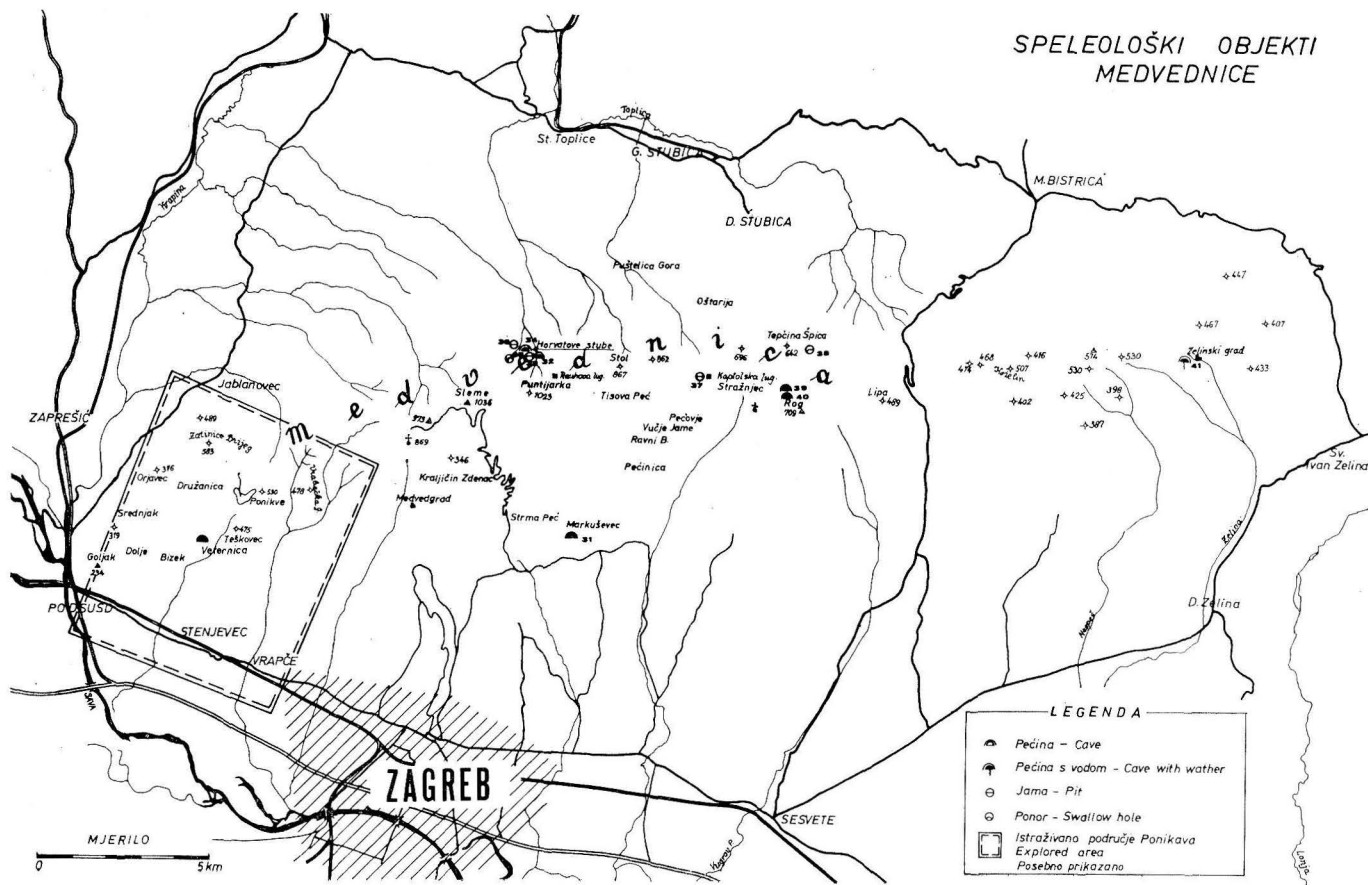
Pošto planina Medvednica nije do danas kompleksno speleološki istražena, iznosim rezultate svojih istraživanja i rezultate speleološkog rekognosciranja za potrebe izrade hidrogeološko-inženjerskih karata južnog pobočja planine, koje je vršio Institut za geološka istraživanja iz Zagreba. Prilikom ovih istraživanja korišteni su i podaci planinarskih-speleoloških grupa iz Zagreba na čemu im se i ovom prilikom zahvaljujem.

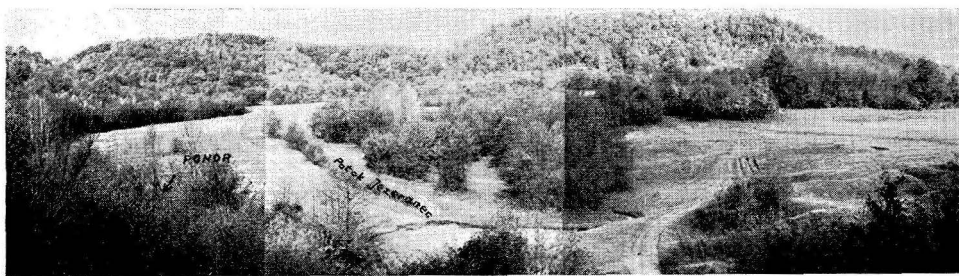
Krška područja planine Medvednice

Planinski masiv Medvednice dug je oko 40 km s prosječnom širinom od 7—10 km. Središnji dio planine zauzima najviše kote s visinom od 1035 m. Istočni dio se iza kašinskog rasjeda uzdigne do svega 574 m, dok je zapadni dio kao široka prostrana ploča s visinama od 400—500 metara.

Krške pojave na Medvednici uglavnom su fragmentarno rasporedjene i izgledaju nam kao ostatak ili relikt jednog većeg vapnenjačko-dolomitnog po-

*SPELEOLOŠKI OBJEKTI
MEDVEDNICE*





Fot. 1. Krško polje Ponikve u zapadnom dijelu Medvednice. Foto. S. Božičević

dručja erodiranog za vrijeme formiranja planinskog masiva. Jedino je danas zapadni dio planine manje — više suvislo krško prostranstvo s najvećim brojem speleoloških objekata (vidi kartu — sl. 1).

Zapadni dio Medvednice osim trijaskih i krednih naslaga izgradjen je u znatnom prostranstvu od miocenskih i litotamnijskih naslaga u kojima nalazimo razvijene krške pojave: pećine, jame i ponore. Na razvoj ovih formi bez sumnje je utjecalo i postojanje tipičnih krških polja — Ponikve (fot. 1), Družanice i Križevščaka, te potoka ponornica na njima (vidi kartu — sl. 2).

Prikazana karta je zanimljiva i kao kartografsko - morfološki raritet, jer je izradjena krajem II. svjetskog rata od savezničkih snaga na temelju avionskih snimaka. Karta je izdana kao poseban list *Zagreb Yugoslavia* godine 1945 u mjerilu 1 : 50 000 i na njoj se po prvi puta izdvaja područje krša. Na spomenutoj karti izdvojena su u zapadnom dijelu Medvednice tri odjeljena područja krša (sl. 2, str. 100).

U središnjem dijelu Medvednice s njezine južne strane nalazimo djelomično razorenu pećinu kod Markuševca, dok na sjevernim padinama na području t. zv. Horvatovih stuba nalazimo najizrazitije krško područje ove planine. Neki od ovih objekata zapravo su ostatak nekad većeg i prostranijeg podzemnog sistema.

U istočnom dijelu planine nalazimo svega nekoliko pojedinačno lociranih pojava od kojih je jedna jama s današnjom svojom dubinom za sada i najdublja jama na Medvednici.

Historijat speleoloških istraživanja Medvednice

Istraživanje krša na planini Medvednici počelo je već dosta davno, tj. godine 1882 od geologa Dragutina Gorjanovića-Krambergera. U svom radu »Kraške pojave u zapadnom dijelu Zagrebačkog gorja« posebno obradjuje Ponikve, Družanice i Križevščak s potocima koji protječu i poniru u spomenutim poljima. Pojave ponora u tom dijelu planine on povezuje s urušavanjem krovine u jednom špiljskom sistemu za koji pretpostavlja da se tu nalazi (tada on nije znao za postojanje pećine Veternice!). U svom slijedećem radu iz godine 1899. on obradjuje i krš istočnog dijela Medvednice. Tom prilikom on po prvi puta ukazuje na današnju pećinu Veternicu, nazivajući ju kao »neznatnu poput galerije u goru ulazeću špiljicu«. Za puhanje zraka iz njezinog otvora on

Sl. 2

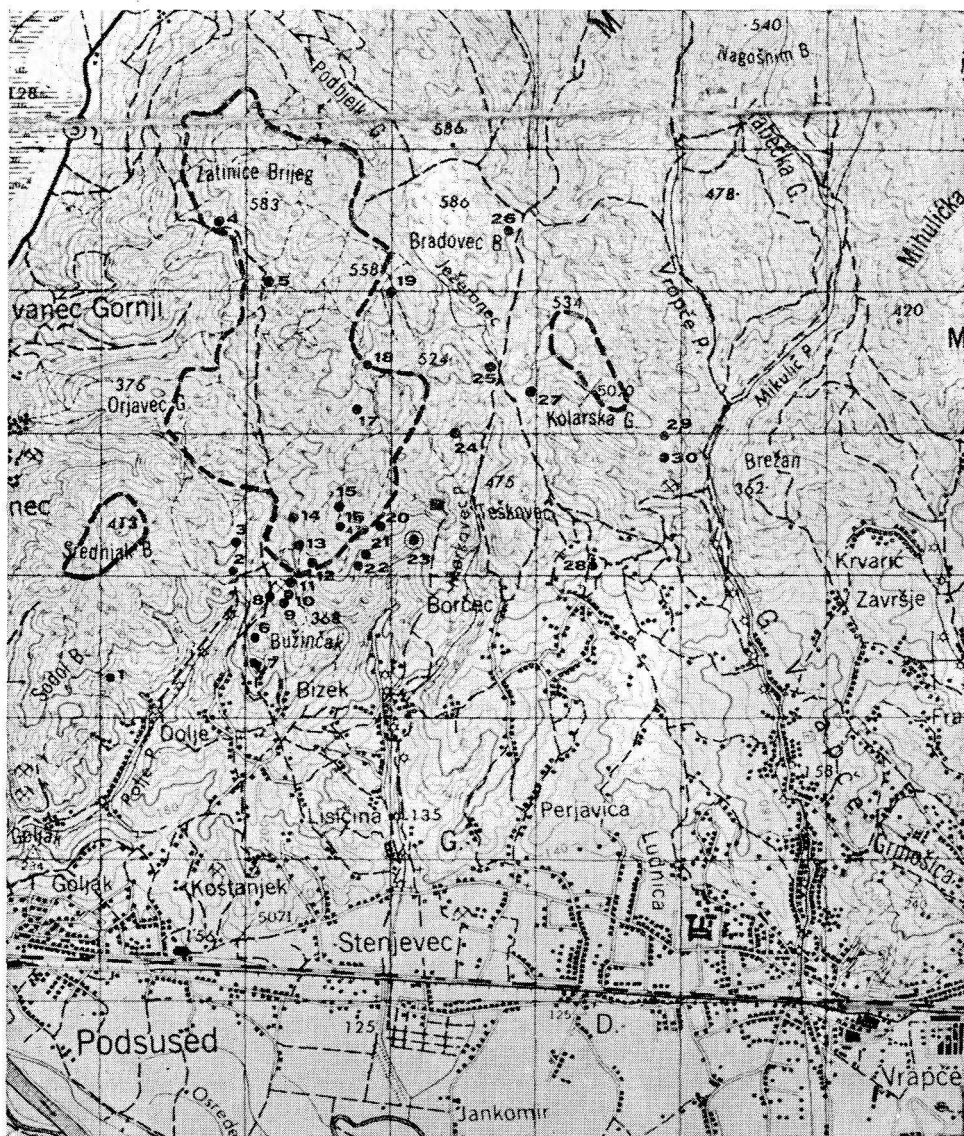
ZAGREB

YUGOSLAVIA 1:50,000

Area of numerous sinkholes
(Karst)

Yards 1000 500 0 1000
Meters 1000 500 0 1000

A.M.S. M702
First Edition (AMS 1), 1945.



zaključuje da »stoji očito u svezi sa poniranjem potoka Jezerane« na Ponikvama, što je imao i pravo iako nije nikada istraživao ovu pećinu.

U knjizi »Prirodni zemljopis Hrvatske« D. Hirc godine 1905. spominje među našim tada poznatim pećinama — Veternicu kraj Stenjevca, Žrvenu pećinu u njezinoj blizini, te pećinu kod sela Bizeka. Detaljniji podaci nisu mu poznati.

Geološka i speleološka istraživanja J. Poljaka donose i nove rezultate o kršu planine Medvednice. U svojim radovima iz 1933. i 1934. godine on nas upoznaje s pećinom Veternicom (istraživši ju u dužini od oko 1800 m), s Bizečkom pećinom, pećinom Medvednicom i Tisinom ponorom na sjevernoj strani planine, pećinom Markuševac, te Velikom pećinom iznad Čučerja u istočnom dijelu Medvednice. Skice i fotografije iz ovih njegovih radova bili su gotovo 30 godina jedini podaci o podzemnim krškim formama na planini Medvednici.

Poslijeratna planinarska društva započinju sa speleološkim istraživanjima i na ovoj planini, pa se tako dolazi do novih saznanja o rasprostranjenosti speleoloških pojava na ovom području. Međutim, podaci o tim istraživanjima ne objavljuju se kompleksno već samo kao pojedine manje vijesti ili ostaju pohranjeni u arhivima društva.

Godine 1955 obradjuje S. Božičević speleološke pojave na sjevernoj strani Medvednice, a 1961. i 1971. daje osvrt na sva dosadašnja speleološka i dotadašnja paleontološka ispitivanja u pećini Veternici.

Pojedine grupe planinara - speleologa istražuju oko Ponikava, Dolja, Bizeka, Čučerja i Zeline, ali rezultati rada nisu bili objavljeni.

Prilikom izrade hidrogeološke i inženjerskegeološke studije južnog pobočja planine Medvednice godine 1967 u sklopu detaljnih ispitivanja tektonskih odnosa, te litologije i hidrogeologije postojećih naslaga s inženjerskegeološkim karakteristikama, nastojalo se objediniti i svo. dotadašnje poznavanje speleoloških pojava na promatranom području planine. Na taj je način prikupljena sva postojeća dokumentacija izradjenih nacrti jama i pećina koje su istraživali i zagrebački planinari — speleolozi. Tom su prilikom prvi puta kompletirani postojeći nacrti pećine Veternice i dopunjeni s najnovijim podacima. U sklopu ispitivanja izvršeno je i ubacivanje boje na ponoru potoka Jezeranec na Ponikvama uz promatranje u pećini Veternici i na nizvodnim izvorima.

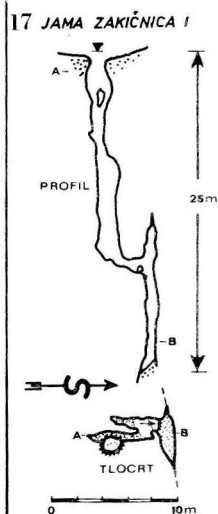
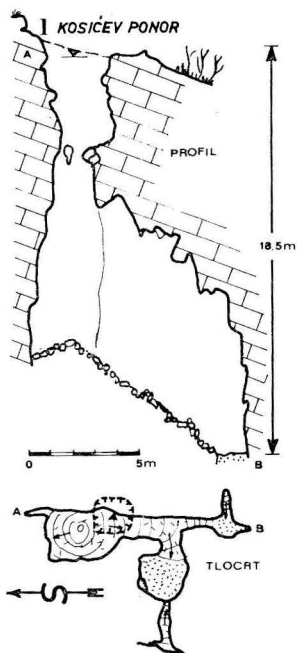
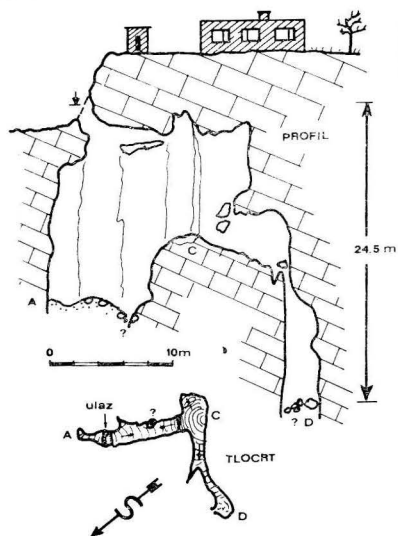
Paleontološka i antropološka istraživanja pećine Veternice vrši M. Malez ukazavši na velik naučni značaj i važnost nalaza u kvartarnim taložinama ove pećine.

Katastar istraženih speleoloških objekata Medvednice

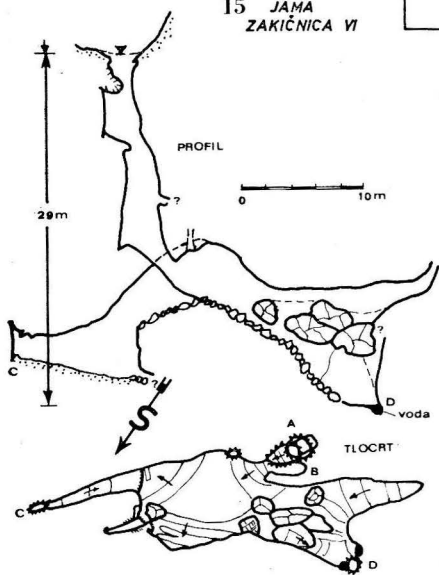
Radi laganije preglednosti istraženih speleoloških pojava ili podzemnih krških fenomena Medvednice, sve do sada uočene pojave obradio sam prema područjima u kojima se javljaju — zapadnom, središnjem i istočnom dijelu.

Broj ispred imena speleološkog objekta odgovara broju na karti (sl. 1 i 2) i grafičkom prilogu (sl. 3 i 4). Za svaki objekat dati su samo najosnovniji morfološki podaci. Grafički prilozi (nacrti) uzeti su samo za objekte, koji do sada nisu bili poznati, a za važnije i veće objekte stavljena je napomena s naznakom literature gdje se nalaze detaljniji podaci.

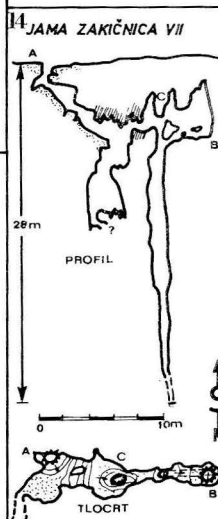
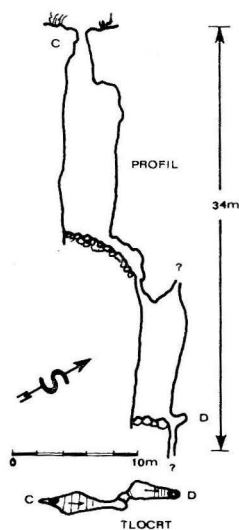
8 JAMA ISPOD PLANINARSKOG DOMA DOLJE



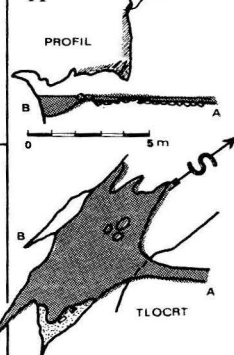
15 JAMA ZAKIČNICA VI



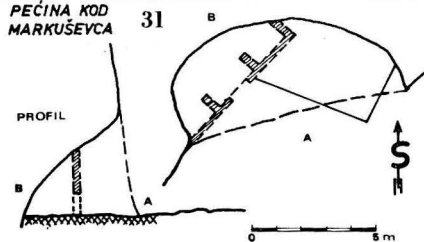
37 JAMA „VRAŽJE ŽDRIJELO“



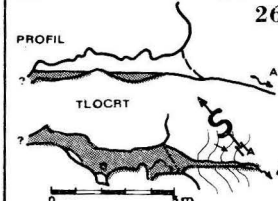
PEĆINA KOD ZELINE

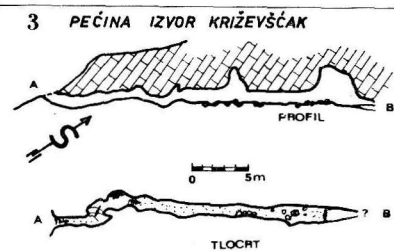
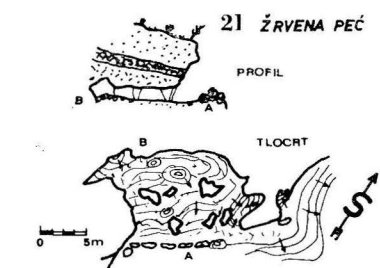
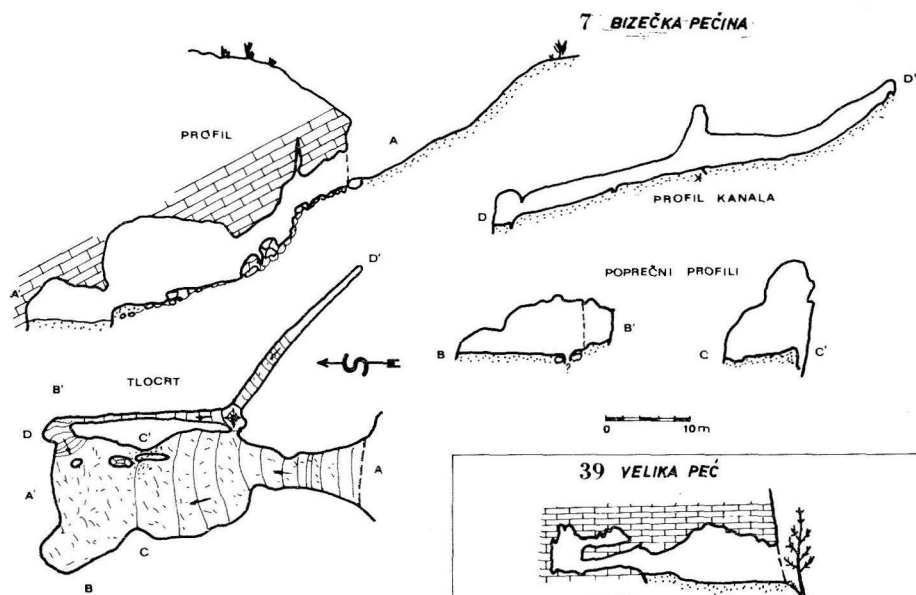


PEĆINA KOD MARKUŠEVCA

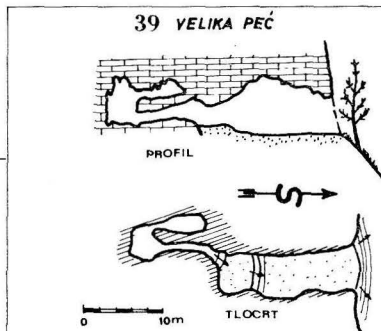
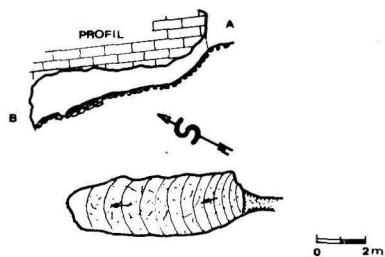


PEĆINA JAMBRISAKOVO VRELO

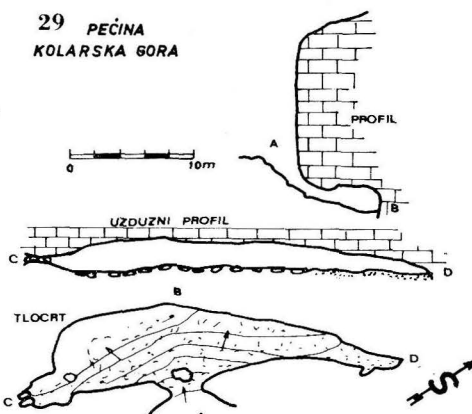




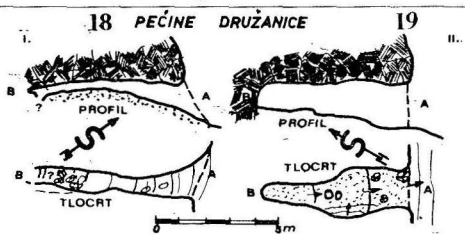
38 PONOR NA TEPČINOJ ŠPICI



29 PEČINA
KOLARSKA GORA



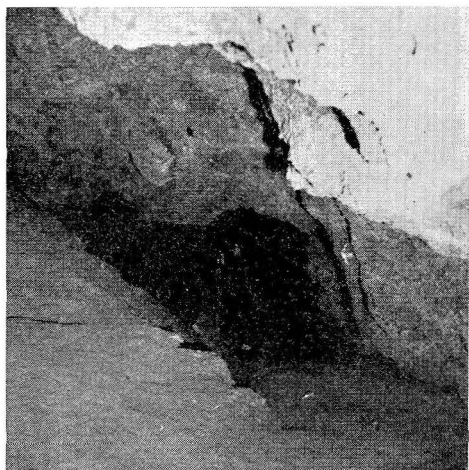
18 PEČINE DRUŽANICE



Osim opisanih pojava registrirano je i desetak stalnih ili povremenih ponora, ali pošto se u njih ne može ući, oni nisu stavljeni u katastar kao izdvojen speleološki objekat.

a) Zapadni krški dio Medvednice obuhvaća područje sjeverno od Stenjevca do Vrabečke gore i Zatinice brijega te odgovara krškom području Ponikava. Pošto na ovom dijelu nalazimo najviše speleoloških objekata njihovo je lociranje izvedeno na posebnom prilogu (sl. 2).

1. Kosičev ponor (vidi nacrt), selo Dolje. Dubina 18,5 m. Formiran u litotamnijskom vapnencu.
2. Pećina Javornica, kamenolom Dolje. Dužina 330 m, dubina 28 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu. Pećina danas razrušena radovima u kamenolomu. Literatura: Naše planine, 1963.
3. Pećina iznad Križevščaka (vidi nacrt), vrtača Križevščak, sjev. od Dolja. Dužina 30 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu. Na južnom rubu vrtače nalaze se dva ponora.
4. Jama, Zatinice brijeg. Dubina 10 m.
5. Zvoneća jama, Zatinice brijeg. Dubina 12 m.
6. Pećina Bizek V., selo Bizek. Dubina 4 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu.
7. Bizečka pećina (vidi nacrt), selo Bizek. Dužina svih kanala 85 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu. Napomena: naslage guana u pećini. Literatura: Hrvatski planinar, 1933.
8. Jama ispod planinarskog doma Dolje (vidi nacrt), kamenolom Dolje. Dubina 24 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu.
9. Jama na livadi, kamenolom Dolje. Dubina 11 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu.
10. Jama u stijeni, kamenolom Dolje. Dubina 11 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu.
11. Uska jama, kamenolom Dolje. Dubina 25 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu.
12. Jama Zakičnica V. Dubina 23 m. Formirana na kontaktu trijaskih dolomita i litotamnijskog vapnenca.
13. Jama Zakičnica III. Dubina 4,8 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu.
14. Jama Zakičnica VII. (vidi nacrt), dubina 28 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu.
15. Jama Zakičnica VI. (vidi nacrt), dubina 29 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu.
16. Jama Zakičnica VIII. Dubina 5 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu.
17. Jama Zakičnica I. (vidi nacrt). Dubina 25 m. Formirana na kontaktu trijaskih dolomita i litotamnijskih vapnenaca.
18. Pećina Družanice I. (vidi nacrt). Dužina 6,5 m. Formirana u trijaskom dolomitu.
19. Pećina Družanice II. (vidi nacrt). Dužina 6 m. Formirana u trijaskom dolomitu.
20. Jama Zakičnica IV. Dubina 6 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu.
21. Žrvena pećina (vidi nacrt), Dubrvice. Dužina 25 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu. Napomena: u pećini su se izradjivali žrvnjevi za mlinove.
22. Mala žrvena pećina. Dužina 18 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu.
23. Pećina Veternica, Dubrvice. Morfološki vrlo složen podzemni sistem s nekoliko vodenih tokova i međusobno isprepletanijh kanala u završnom dijelu. Ukupna dužina istraženih kanala za sada je preko 4000 m, ali su istraživanja još u toku. Pećina formirana na kontaktu trijaskih naslaga i litotamnijskog vapnenca (fot. 2 i 3). Literatura: Acta geologica, 1965; Geološki vjesnik, 1968; Speleolog, 1961; Hrvatski planinar, 1899; Priroda, 1934 i 1971.
24. Polušpilja pod slojem. Dužina 5 m. Formirana u litotamnijskom vapnencu.
25. Ponor potoka Jezeranec, Ponikve. Ubacivanjem boje ustanovljena veza sa pećinom Veternicom. Formiran u litotamnijskom vapnencu.
26. Pećina Jambrišakovo vrelo (vidi nacrt), Ponikve. Dužina pećine 6,5 m. Iz pećine izbija izvor. Pećina formirana u trijaskom dolomitu.



Fot. 2. in 3. Detalji kanala pećine Veternice. Foto. S. Božičević

27. Polušpilja pod Svinjačom, Kolarska gora. Dužina 6 m. Formirana u litotamnij-skom vapnencu.
28. Špilja u bunaru, Borčec. Dubina 6,5 m, dužina 18 m. U pećini kaptirano vrelo. Formirana u litotamnij-skom vapnencu. Literatura: Krš Jugoslavije 6.
29. Pećina Kolarska gora (vidi nacrt), Borčec. Dužina 7 m, širina 32 m. Formirana u litotamnij-skom vapnencu.
30. Jama Kolarska gora, Borčec. Dubina 9 m. Formirana u litotamn. vapnencu.

b) Središnji krški dio Medvednice najinteresantniji je na sjevernoj strani na području Horvatovih stuba, gdje se uz izrazite površinske forme nalaze i podzemni oblici. Potrebno je napomenuti, da su izgleda ove pojave ostatak jednog nekad većeg pečinskog sistema s horizontalnim i vertikalnim kanalima. U današnjoj fazi nalazimo samo ostatke tih sistema i zbog toga nisu znatnih dimenzija.

31. Pećina u Markuševcu (vidi nacrt). Dužina 5 m. Formirana u krednim naslagama. Literatura: Hrvatski planinar, 1933.
32. Pećina Medvednica, Horvatove stube. Dužina 25 m, dubina 8 m. Formirana u krednim naslagama. Literatura: Naše planine, 1955.
33. Tisin ponor. Dubina 12 m. Formiran u krednim naslagama. Literatura: Naše planine, 1955.
34. Mala pećina. Dužina 6 m. Formirana u krednim naslagam. Literatura: Naše planine, 1955.
35. Ponor u potoku Jelena voda. Dubina i dužina oko 2 m. Formiran u krednim naslagama.
36. Treći ponor iznad potoka. Dubina 10,5 m. Formiran u krednim naslagama. Literatura: Naše planine, 1955.

c) Istočni krški dio Medvednice obuhvaća područje od Kaptolske lugarnice do Zelinskog grada. U ovom dijelu registrirana je i najdublja jama planine od 34 m dubine.



Fot. 4. Otvor jame Vražje ždrijelo kod Kaptolske lugarnice. Foto. V. Horvat

37. Jama Vražje ždrijelo, Kaptolska lugarnica (vidi nacrt). Dubina 34 m. Formirana u krednim naslagama (fot. 4).
38. Ponor na Tepčinoj špici (vidi nacrt). Dužina 7 m, dubina 4 m. U šupljini povremeno ponire potok. Objekat formiran u krednim naslagama.
39. Velika peć na Rogu (vidi nacrt). Dužina 35 m. Formirana u krednim naslagama. Literatura: Hrvatski planinar, 1933.
40. Uska pećina na Rogu. Dužina 20 m. Izgrađena u krednim naslagama.
41. Pećina kod starog grada Zeline (vidi nacrt). Dužina 5 m. Iz pećine izvire potok. Formirana u krednim naslagama.

Zaključak

Na području planine Medvednice nalazimo u vapnenjačko-dolomitnim naslagama osim površinskih krških formi i podzemne pojave: pećine, jame i ponore.

Prema dosadašnjim istraživanjima na ovoj planini registriran je 41 objekat. Osim spomenutih postoji još niz manjih ponora u koje ulaz nije moguć, pa nisu niti registrirani kao speleološki objekat.

Najveća pećina na području Medvednice je Veternica s preko 4000 m do sada istraženih kanala, ali su istraživanja i dalje u toku.

Najdublja jama je Vražje ždrijelo kod Kaptolske lugarnice duboka 34 metara.

Najinteresantniji ponor je ponor potoka Jezeranec na Ponikvama na kom je bojanjem ustanovljena veza s jednim podzemnim potokom u pećini Veternici, te s izvorom iznad Dubravica u podnožju pećine Veternice.

U toku daljnjih istraživanja posvetit će se posebna pažnja pronalaženju veze između površinskih tokova i tokova u pećinskim kanalima Veternice, kako bi se što bolje upoznala hidrogeologija ovog dijela planine. Uz morfološka istraživanja u ovoj pećini nastojat će se utvrditi i debljina nadsloja iznad pećinske šupljine.

Speleološki objekti planine Medvednice zapravo su ostatak jednog većeg i prostranijeg područja mezozojskih vapnenjačko-dolomitnih naslaga. Objekti na zapadnom dijelu planine formirani su uglavnom u litotamnijskim naslagama i nalaze se još uvijek u fazi proširivanja podzemnih prostora. Najveći broj objekata nalazimo u tom dijelu planine, dok su speleološke pojave u ostalim dijelovima Medvednice manje više pojedinačno locirane.

Pošto su speleološka istraživanja na planini Medvednici još uvijek u toku, za očekivati je da će u narednom periodu biti otkriveno još više speleoloških objekata.

Summary

SUBTERRANEAN KARST PHENOMENA IN THE MEDVEDNICA MOUNTAIN NEAR ZAGREB

The Medvednica or Zagrebačka Gora Mountain is situated in the north-western part of Croatia as a complete mountain massif. Around the nuclei of this mountain, which is predominantly built of metamorphic rocks, there continue geologically younger (Mesozoic and Tertiary) deposits. The Medvednica Mountain makes part of »insular mountains«, i. e. it too had been a »horst« element in the once vast Pannonian Basin. Viewed from the tectonic aspect, we see that in this mountain there dominate faults of various different ages, which in the main dictate its shape and direction of extension. The longitudinal and transversal faults have at the same time made a vertical and horizontal displacement of individual mountain blocks possible.

Onto the complexes of green shales and the as yet unseparated Palaeozoic deposits there were deposited also Mesozoic and Tertiary strata of a dolomite-limestone facies. The occurrence of calcareous deposits in this mountain has also conditioned the development of karst shapes and forms. Besides the characteristic superficial forms (škrapi, sink-holes, fields, ponornice) we are able to find rather well developed subterranean karst forms, which oftentimes surprise us by their occurrence.

About the karst of the Zagrebačka Gora Mountain there wrote as far back as 1882 Gorjanović-Kramberger, stressing its typical karst features. On the basis of his observations this author separates the karst in the western from that in the eastern parts of the Mountain.

In the course of recent investigations, as the most marked karst phenomena in the Medvednica Mountain are in the western part Veternica Cave and Bizečka Cave below Ponikve, Medvednica Cave with the Tisin swallow-hole on the northern

central side of this mountain, as well as Velika Peć on the Rog, and the source of the cave near Zelina in the easternmost mountainous parts.

At the close of World War II the Allied air forces collected data among other things also on our areas. As the result of this interest there appeared in the press in 1945 a topographic list map of Zagreb, scale 1 : 50 000, on which for the first time was separated according to the air surveys the karst area. On the mentioned map in the western part of the Medvednica Mountain are separated three karst areas (fig. 2).

After the end of the War the interest for this mountain rose, which was situated so near a big city. Besides investigations of its natural resources as well as detailed geologic prospectings, numerous groups of amateur-speleologists visited the karst areas of the Medvednica Mountain and explored the caves, pits and swallow-holes. A few years ago there were performed within the framework of the Institute for geologic investigations in Zagreb hydrogeologic and engineering-geologic explorations of the whole southern side of the Medvednica Mountain, and in the part from which brooks run in the direction of the City of Zagreb and the River Sava. In the complex of these works there were also explored the existing speleologic occurrences.

In his work the author presents in abbreviated form the main results of these investigations.

The western part of the Medvednica Mountain is built — besides Triassic and some Cretaceous deposits — over a vast area of Miocene lithothamnitic deposits, in which we find a considerable number of caves, pits and swallow-holes. The development of these phenomena was certainly influenced also by the existence of typical karst fields — Ponikve, Družanice and Križevščak, as well as the subterranean brooks in them. In this part of the Mountain there have been recorded 30 speleologic phenomena, of which no doubt the following are the most significant: Veternica Cave (with a network of so far explored canals of about 4000 m). Bizek Cave, pits in the stone quarry Dolje, as well as the pits in the area of Zakičnica.

In the central part of the Medvednica Mountain on its southern side we find a partly destroyed cave near Markuševac, while along the norther slopes in the area of the so-called Horvat Stairs (Horvatove Stube), which is the most marked karst area of the Medvednica, there are 6 speleologic sites. Some of them are as a matter of fact the remains of a once larger and vaster subterranean system.

In the eastern part of the Mountain there are another 5 sites, of which the pit called Vražje Ždrijelo near the Kaptol forest ranger's cottage with its depth of 34 m, is for the time being the deepest pit in the Medvednica.

Most interesting hydrologic explorations have been carried out in the area of Ponikve, where by casting dyes into the swallow-hole of the Jezeranec Brook it was possible to establish a link between the swallow-hole and part of Veternica Cave as well as with the source at the foot of the Veternica. In progress are investigations for establishing connections from the area of the Družanica and the subterranean system of the Veternica.

Over the whole region of the Medvednica Mountain so far a total of 41 speleologic sites have been investigated (pits and caves), as well as about ten swallow-holes, into which it is not possible to go. In the course of further explorations it is assumed that also some more speleologic sites will be discovered.

Literatura

- Božičević, S., 1955. Pećine i ponori na zagorskoj strani Medvednice. Naše planine 4, Zagreb.
- 1961. Pećina Veternica nekada, sada i u budućnosti. Speleolog 7/8 (1959—60), Zagreb.
- 1968. Speleološka istraživanja u godini 1967. Geološki vjesnik 21, Zagreb.
- 1969. Izveštaj o bojanju ponora na Ponikvama. Arhiva Geološkog Instituta, Zagreb.
- 1969. Pećine, jame i ponori s vodom u području Dinarskog krša. Krš Jugoslavije 6, Zagreb.
- 1971. Pećina Veternica, najduža pećina Hrvatske. Priroda 7, Zagreb.
- Gorjanović-Kramberger, D., 1882. Die Karst-Erscheinungen im westlichen Theile des Agramer Gebirges, Kroatische revue, Agram.
- 1899. Krš Zagrebačke gore. Hrvatski planinar 11, Zagreb.
- Herak, M., D. Nedela-Devide, S. Bahun, 1969. Regionalna tektonska studija šire okolice Zagreba. Arhiv Geol. Institut., Zagreb.
- Hidrogeološki radovi na južnom pobočju Medvednice (1967). Studija Geološkog Instituta. Arhiva Geol. Instituta, Zagreb.
- Hirc, D., 1905. Prirodni zemljopis Hrvatske, knj. I., str. 698, Zagreb.
- Klein, V., 1968. Morfometrijska analiza horizontalne raščlanjenosti reljefa Medvednice. Geografski glasnik 30, Zagreb.
- Malez, M., 1965. Pećina Veternica u Medvednici. I. Opći speleološki pregled. II. Stratigrafija kvartarnih taložina. Acta geologica 5, Zagreb.
- Malez, H., 1963. Špilja Javornica kot Bizeka. Naše planine 1/2, Zagreb. Podaci o pećinama 1945. Svezak I., Zagreb.
- Poljak, J., 1933. Nekoje pećine Zagrebačke i Samoborske gore. Hrvatski planinar 8, 9, 10, Zagreb.
- 1934. Pećina »Veternica« u Zagrebačkoj gori. Priroda 5, Zagreb.

PONORI—JAME I PEĆINE KAO POKAZATELJI
NAPREDOVANJA KARSTIFIKACIJE DUŽ PROFILA
OD KOTORA DO CRNOJEVIĆA RIJEKE

(sa 3 skice u tekstu)

ABIMES-GOUFFRES ET GROTTES EN TANT QU'INDICATEURS
DE L'ÉVOLUTION DE LA KARSTIFICATION LE LONG DU PROFIL
KOTOR-RIJEKA CRNOJEVIĆA

(con 3 figures en texte)

VASILIJE RADULOVIĆ

(Viši naučni saradnik u Zavodu za geološka istraživanja SRCG, Titograd)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktobar 1972)

Communication présentée au 6^e Congrès des spéléologues yougoslaves
(Sežana—Lipica, octobre 10—15, 1972)

Uvod

Veći dio terena Crne Gore, a i znatan dio terena Jugoslavije, izgradjuju karbonatne i uopšte stjenske mase koje su podobne za karstifikaciju. Te stijene su najčešće i znatno skarsćene našto pored ostalog upućuju brojne i raznovrsne geomorfološke i hidrogeološke pojave. Među tim pojavama u kraškim terenima česti su ponori-jame bez i sa vodom i pećine takodje bez i sa vodom. Ove pojave su raznih oblika, promenljivih i nekad znatnih dimenzija. Njihov raspored i položaj u terenu, iako na prvi pogled izgleda haotičan, uslovljen je čitavim nizom činilaca. Njihov oblik i dimenzija su direktna posledica niza faktora koji su se smenjivali u geološkoj prošlosti od početka njihovog stvaranja do današnjih dana. Upoznavanje zakonitosti koje su uslovile današnji raspored, položaj, oblik, dimenzije itd. tih i ostalih geomorfoloških (a i hidrogeoloških) pojava uopšte pa i ponora — jama i pećina doprinosi bržem i efikasnijem poznavanju procesa karstifikacije u prostoru i vremenu, a samim tim i krasa uopšte kao posledice tog procesa.

Suvišno je isticati kakav značaj za privredu i nauku ima svestranije poznavanje karstifikacije, evolucije krasa uopšte u pojedinim regionima za čije poznavanje su najčešće potrebna dugotrajna istraživanja jednovremeno sa više metoda. Svakako jedna od tih metoda bazira na proučavanju geomorfoloških pojava. Među tim pojavama od posebne važnosti su ponori — jame i pećine. Do danas, sigurno se može reći, se za proučavanje karstifikacije i pojava koje su posledica tog procesa ni približno nijesu koristili podaci do kojih se može doći proučavanjem ponora — jama i pećina. Te pojave skoro da su ostale po strani od savremenih hidrogeoloških metoda istraživanja kraških terena. To je svakako propust i to ne mali, ne samo za speleologiju i njene discipline nego i za hidrogeologiju i to posebno hidrogeologiju kraških terena. Iz ovih razloga u ovom radu je na jednom konkretnom terenu, preko niza ponora — jama i pećina, dat prikaz napredovanja procesa karstifikacije u dubini čime je došlo do gubljenja površinskih tokova njihovim spuštanjem u podzemlje gdje je i nastavljeno dalje kretanje voda pa i sam proces karstifikacije. Taj proces — evolucija je dosta vidan preko više nivoa u terenu baš zahvaljujući tim ponorima — jamama i pećinama sa i bez vode, koje ćemo dalje navesti duž profila dugog preko 21 km, počev od Boke Kotorske na sjeverozapadu do Crnojevića Rijeke u slivu Skadarskog jezera na jugoistoku. Takvih primjera iz terena Crne Gore može se navesti čitav niz, naročito iz kanjona Morače, Pive, Tare, Čehotine, Lima i Ibra sa njihovim pritokama, kao i po profilima preko terena slivnih područja tih vodotoka. Može se ih puno navesti i iz drugih terena Jugoslavije.

Da bi se brže i lakše shvatile zakonomjernosti i povezanost postojećih ponora — jama i pećina sa i bez vode u terenu koji je odabran za ilustraciju evolucije procesa karstifikacije, neophodno je prethodno dati kratak pri-

kaz geološke gradje, geomorfoloških, klimatskih i hidrogeoloških odlika terena, što je i urađeno. U tu svrhu urađena je i hidrogeološka karta sa hidrogeološkim profilom što se daje u prilogu (sl. 1). Na toj karti i profilu vidi se položaj značajnijih jama — ponora i pećina sa i bez vode.

Stratigrafsko-litološki sastav terena

Tereni izmedju Kotorskog zaliva i Crnojevića Rijeke, gdje se nalazi i primorska planina Lovćen, su izgrađeni od sedimenata čija starost ide počev od srednjeg trijasa pa do današnjih dana.

Srednji trijas je pretstavljen kalkarenitima i mikritima sa proslojcima dolomita. Ovi sedimenti su tankopločasti do tankoslojeviti, a čine karakterističnu faciju srednjeg trijasa Crnogorskog primorja (»Cukali zone«), a javlja se i u neposrednom zaledju na više mjesta: terenima sliva Crmničkog polja, rijeke Orahovštice i Crnojevića Rijeke. Stjenske mase ove facije najčešće su izvedene i otkrivene na površini rasijedanjem terena a i erozijom. Tako su ovi sedimenti u jednoj uskoj zoni male površine duž jednog makazastog rasjeda samo južno od Cetinjskog polja izvedeni na površinu terena koji je zahvaćen priloženom hidrogeološkom kartom.

Na osnovu pojavljivanja srednjetrijskih krečnjaka sa rožnacima u susjednim terenima opravdano je pretpostaviti da se takvi sedimenti nalaze i u jezgru lovcenskog antiklinorijuma.

Gornji trijas u terenima koji su odabrani kao primjerni za tretiranu problematiku je predstavljen karbonatnom facijom. Tu faciju čine dolomiti, krečnjaci i prelazni varijeteti ovih litoloških članova. Ove stijene su najčešće stratifikovane u debele slojeve a redje su masivne. Iako su u terenu najčešći postepeni prelazi izmedju dolomita i krečnjaka izdvojeni su djelovi tih terena u kojima preovladjuju dolomiti odnosno krečnjaci. Rasprostranjenje ovih stijena je znatno kako se vidi na priloženoj karti i profilu.

Donja jura je predstavljena karbonatnom i lovcensko-ledeničkom facijom. Karbonatnu faciju čine stratifikovani krečnjaci i redje laporoviti krečnjaci, dolomitični krečnjaci ili čistiji dolomiti. Lovcensko-ledenička facija donje jure je karakteristična za terene Crnogorskih primorskih planina. Nju čine tankopločasti do tankoslojeviti laporoviti krečnjaci sa proslojcima i slojevima rožnaca i dolomita a nekad i skoro pravi laporci.

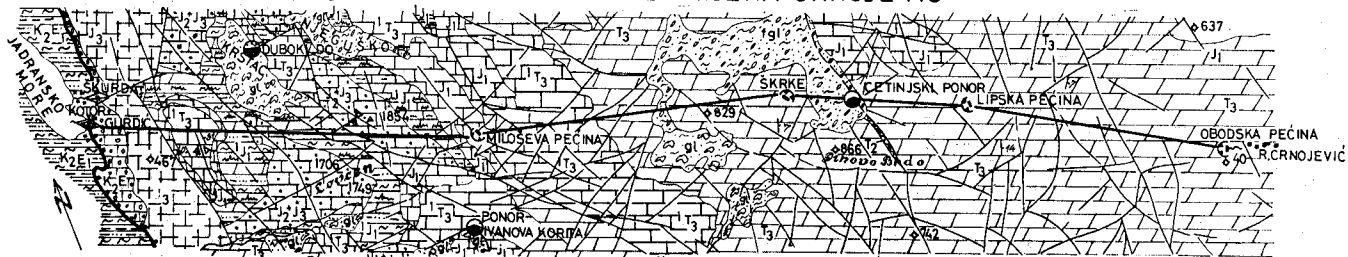
Srednja jura je predstavljena uglavnom krečnjacima, redje nešto dolomitičnim. Ove stijene su stratifikovane ili masivne a vrlo su slične gornjeksurskim krečnjacima susjednih terena zbog čega ih je teško po starosti međjusobno izdvojiti.

Gornja jura je predstavljena slojevitim a više masivnim sprudnim krečnjacima. Jurski sedimenti imaju znatno učešće u izgradnji planine Lovćena i njenih padina prema Kotorskom zalivu i uopšte Crnogorskog primorju.

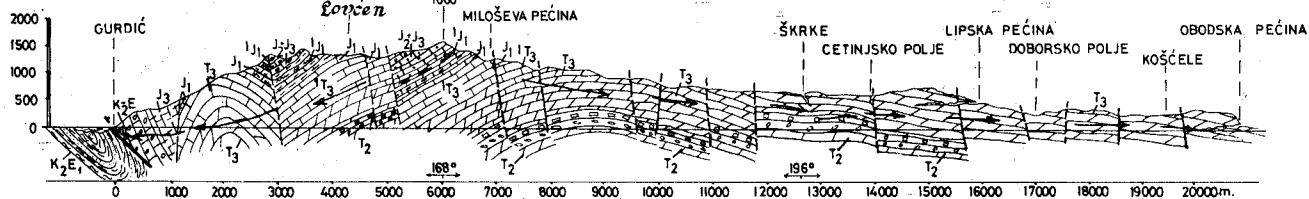
Gornjekredno-eocenske breče masivnog izgleda izgrađuju jednu usku i relativno dugu zonu istočnim obodom Kotorskog zaliva. Cementovanost tih breča je tako velika da se na prvi pogled stiče utisak da su to masivni krečnjaci a ne krečnjačke breče. Kako su u neposrednom susjedstvu sa jurskim

HIDROGEOLOŠKA KARTA TERENA U POJASU DUŽ PROFILA

Izradio: RADULOVIĆ VASILJE dipl.ing.geolog KOTOR-LOVCEN-CETINJE-RIJEKA CRNOJE VIĆ



HIDROGEOLOŠKI PROFIL GURDIĆ-OBODSKA PEĆINA



STRATIGRAFSKI I LITOLOŠKI OPIS STJENSKIH MASA	LITOLOŠKE OZNAKE I STRATIGRAFSKI SIMBOLI	HIDROGEOLOŠKE OBLIKE I STJENSKIH MASA	OSTALE OZNAKE
SREDNJE TRIJASKI KALKARENITI MIKTRITI I DOLOMITI	T ₂	HIDROGEOLOŠKI ISOLATORI	— GRANICA FORMACIJE
GORNJE TRIJASKI DOLOMITI I DOLOMITIČNI KREČNJACI STRATIFIKOVANI	T ₃	STENE SPECIFIČNIH HIDROGEOLOŠKIH OBLIKA	— PAD SLOJA
GORNJETRIJASKI KREČNJACI STRATIFIKOVANI	T ₃	HIDROGEOLOŠKI KOLEKTORI SA PUKOTIN I KAVER POR.	— RASJED BEZ OZNAKE KARAKTERA
DONJETRIJASKI KREČNJACI REDJE DOLOMITI I LAPOROVITI STRATIFIKOVANI	J ₁	HIDROGEOLOŠKI KOLEKTORI SA PUKOTIN I KAVER POR.	— RASJED SA RELATIVNO SPUŠT. BLOK.
DONJETRIJASKI LAPOROVITI KREČNJACI SA PROŠLOJČIMA DOLOMITA TANKOPLOČASTIH	J ₁	HIDROGEOLOŠKI ISOLATORI	— ANTIKLINALA
SREDNJE I GORNJE JURSKI KREČNJACI STRATIFIKOVANI	J ₂ J ₃	HIDROGEOLOŠKI KOLEKTORI SA PUKOTIN I KAVER POR.	— SINKLINALA
GORNJE JURSKI MASIVNI KREČNJACI	J ₃	HIDROGEOLOŠKI KOLEKTORI SA PUKOTIN I KAVER POR.	— ČELONAVLAKE-KRALJUŠTI
GORNJE KREČNO EOCENSKÉ KREČNJAČKE BREČE MASIVNOG IZGLEDA	K ₂ E	HIDROGEOLOŠKI KOLEKTORI SA PUKOTIN I KAVER POR.	● PONOR
GORNJE KREČNO-DONJE EOCENSKI GLINCI LAPORCI PJEŠČAR I PRELAZNI VARIJETETI	K ₂ E ₁	HIDROGEOLOŠKI KOLEKTORI SA PUKOTIN I KAVER POR.	○ JAMA
QUARTARNI POLUVAŽOBILNI SLJUNKOVITI VEĆI BLOKOVI SA I BEZ GLINA (MORENSKI MATERIJAL)	gl	HIDROGEOLOŠKI ISOLATORI	◇ PEĆINA
SLJUNKOVITI I PJEŠKOVI SA I BEZ GLINA (FLUVIO GLACIJALNI MATERIJAL)	fgl	KOMPLEKS HIDROGEOLOŠKIH KOLEKTORA I ISOLATA	◇ BOČATNI IZVOR
		KOMPLEKS HIDROGEOLOŠKIH KOLEKTORA I ISOLATA	◇ KATAVOTRA GURDIĆ
			◇ IZVOR
			— URAĐEN HIDROGEOLOŠKI PROFIL

GEOGRAFSKI POLOŽAJ ISTRAŽIVANOG TERENA



masivnim krečnjacima na koje na prvi pogled jako liče u terenu ih je moguće izdvojiti samo vrlo brižljivim posmatranjem.

Gornjekredno-donjeeocenski glinci, laporci, pješčari, prelazni varijeteti ovih litoloških članova znatno redje konglomerati i breče izgradjuju dno Kotorskog zaliva i terene njegovog oboda. Ovi sedimenti čine poznatu faciju fliša koja od Kotorskog zaliva ide prema jugoistoku, izgradjujući djelove terena sliva Crnogorskog primorja, krajnje jugozapadnim padinama planine Lovćena.

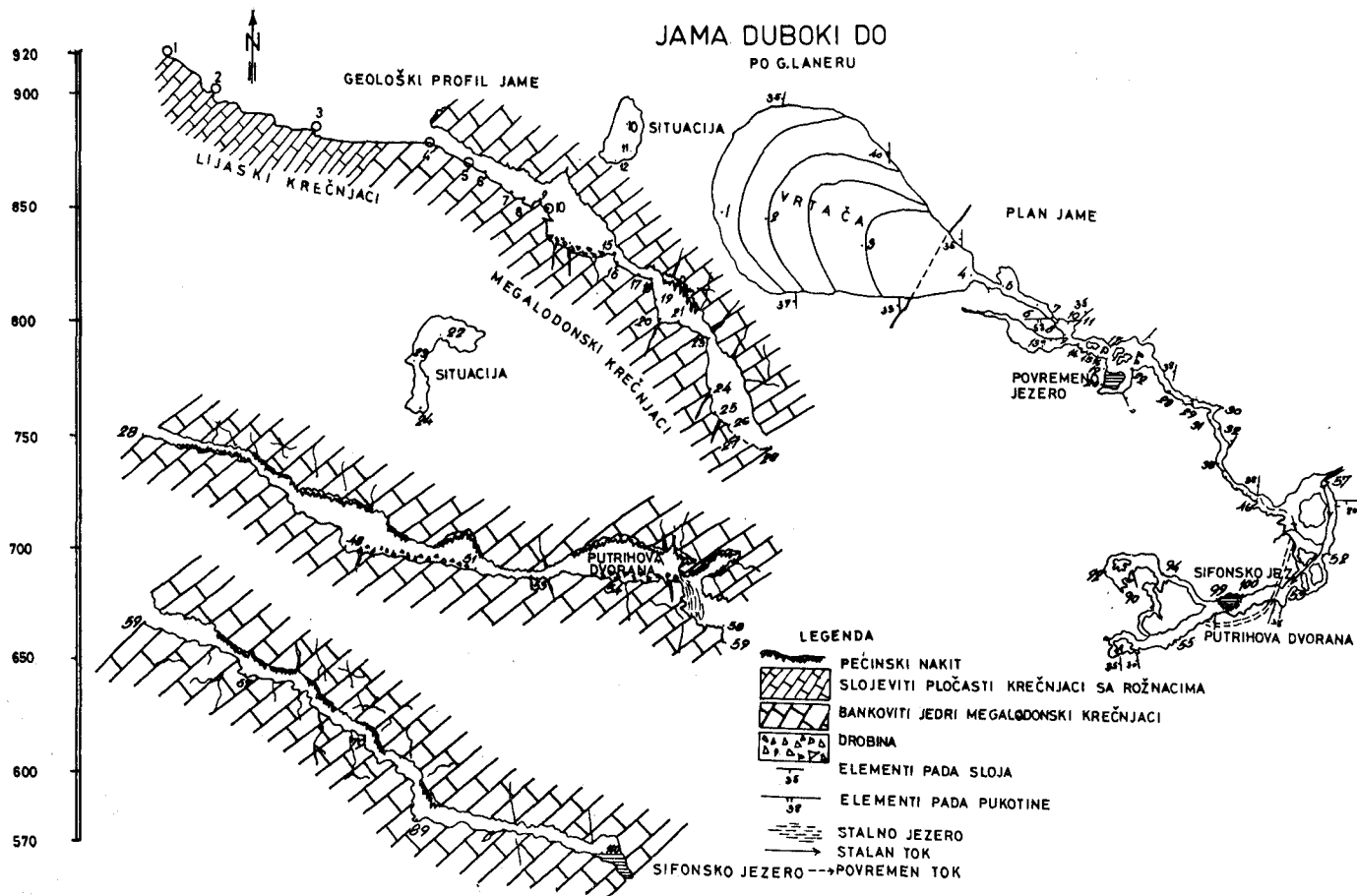
Kvartar je predstavljen morenskim, fluvioglacialnim i deluvijalnim materijalom. Morenski materijal čine poluzaobljeni pjeskovi, šljunkoviti pjeskoviti, šljunkovi i veći blokovi sa i bez glina, a srijeće se na padinama Lovćena. Fluvioglacialni materijal je predstavljen nešto zaobljenijim pjeskovima i šljunkovima takodje sa i bez raznovrstnih glina. Deluvijalni materijal čine drobinske mase na brdskim padinama i naslage crvenica u karstnim oblicima.

Tektonika terena

Terene koji su odabrani za promatranje zavisnosti ponora — jama i pećina sa i bez vode s jedne strane, i napredovanja procesa karstifikacije u geološkom vremenu, s druge strane, uglavnom pripadaju geotektonskoj jedinici koja je u literaturi odavno poznata pod nazivom »zona visokog krša«. Samo manji dio terena koji je izgradjen od gornjekredno-donjeeocenskih sedimenata fliša pripada geotektonskoj jedinici u literaturi poznatoj pod nazivom »Cukali zona«. Još uvijek je sporno kakvog su ranga ove geotektonske jedinice, a još više koliko se ispod zone visokog krasa u zaledju od Crnogorskog primorja podvlače stjenske mase Cukali zone. U vezi sa ovim je i pripadnost stijena srednjeg trijasa južno od Cetinjskog polja. Za slučaj da su to djelovi Cukali zone onda bi taj dio terena predstavljao tektonski prozor. Ovo ne ističemo zbog teorijskih postavki o geotektonskom sklopu Dinarida Crne Gore već zbog toga što je to od znatnog uticaja i značaja na tretiranu problematiku i uopšte hidrogeološke odnose tih i okolnih terena.

Geotektonski sklop terena preko kojih je razmatrana predmetna zavisnost je ilustrovan na priloženoj karti i profilu. Slojevi u tim terenima imaju generalno pružanje kao i važniji nabori i razlomi od severozapada ka jugoistoku. Pad slojeva je u većem dijelu terena (od Lovćena do Crnojevića Rijeke) prema sjeveroistoku. U manjem dijelu terena (od Lovćena do Kotorskog zaliva) srijeću se padovi slojeva u skoro svim pravcima mada dominiraju oni koji su orijentisani prema jugozapadu i sjeveroistoku. Predmetne terene generalno gledano od Crnojevića Rijeke prema Kotorskom zalivu sve do istočnih padina Lovćena čini jedna moćna karbonatna tabla koja je ispresijecana nizom razloma. U predjelu Lovćena ta karbonatna tabla je još više razlomljena i izborana povijajući generalno prema jugozapadu uz nenormalan odnos prema zoni gornjekredno-donjeeocenskog fliša Kotorskog zaliva.

Navedeni stratigrafsko-litološki sastav terena, a naročito naborne i razlomne strukture-tektonika terena, je uslovila specifične geomorfološke odlike, a sve to skupa i vrlo složene hidrogeološke odlike tih terena, razumije se uz odgovarajuće klimatske odlike regiona. Kako se vidi sa priložene karte i profila uglavnom ponori — jame i pećine, kao i ostali značajniji geomorfološki oblici su vezani za razlome.



Sl. 2

Geomorfološke i klimatske odlike

Predmetni tereni zahvataju pojas od Kotorskog zaliva na sjeverozapad gdje počinju od nivoa mora preko planine Lovćen čiji najveći vrh Štirovnik je sa kotom 1749 mnm. do Crnojevića Rijeke na sjeveroistok čiji je izvor na koti nešto preko 40 mnm.

Na krajnjem jugoistočnom obodu Kotorskog zaliva je bočatni izvor zvani Škurda i katavotra zvana Gurdić. Gurdić je bočatni izvor ispod nivoa mora i preko 15 m. U izuzetno sušnim godinama ova pojava ne daje vodu već guta morsku vodu — radi kao ponor.

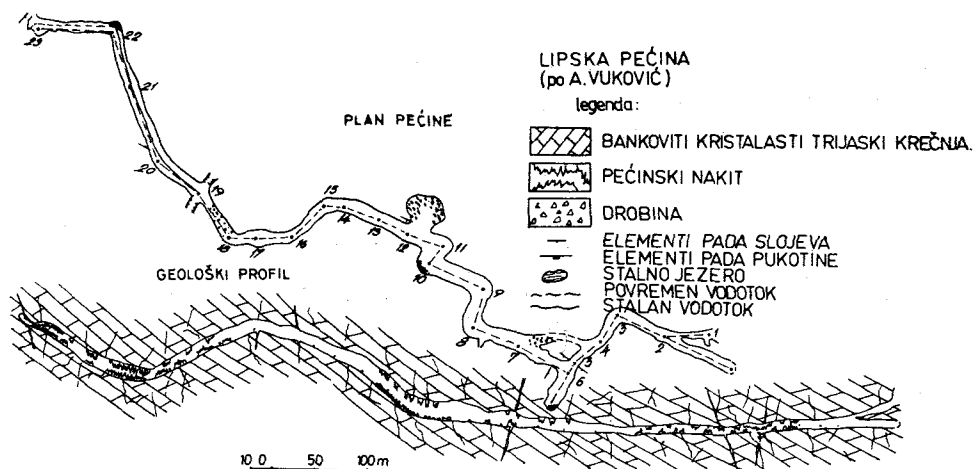
Od mora tj. Kotorskog zaliva se naglo dižu tereni do Krstaca koji je na kotama između 900 i 950 mnm. Krstac predstavlja kraški plato od niza vrtača medjusobom dosta spojenih i zapunjenih glacijalnim materijalom. U jednoj od tih vrtača je ulaz u jamu zvanu Duboki Do čiji profil dajemo u prilogu po G. Laneru (sl. 2). Sa tog priloga se vidi da je ulaz jame na kontaktu lijaskih laporovitih krečnjaka sa rožnacima i bankovitim megalodonskih krečnjaka. Isto tako se vidi da je čitava jama u tim megalodonskim bankovitim krečnjacima sa nizom suženja, proširenja, pećinskih nakita, drobina i na kraju sa vodom na kotama preko 500 mnm.

Istočno od Krstaca kote terena blago padaju ka Njeguškom polju čije su najniže kote ispod 850 m. U tom polju i njegovom neposrednom obodu, poznat je ponor Koritnik i Erakovića ponor. Sa sjevernih padina Lovćena i zapadnih padina Bukovika spuštali su se morenski i fluvijalni materijali koji su zaplavili Njeguško polje. Od ovog kraškog polja išao je nekad tok rijeke Škurde koji je davao vode u prostoru današnjeg Bokokotorskog zaliva.

Južno i jugoistočno od Krstaca i Njeguškog polja diže se primorska planina Lovćen sa najvećim vrhovima: Štirovnikom (k. 1749) i Jezerskim vrhom (k. 1660) na kojem je grob Njogoša. Odmah istočno od Jezerskog vrha je tzv. Miloševa Pećina, na koti oko 1250 m. Jugoistočno od Jezerskog vrha je uvala zvana Ivanova Korita sa kotama oko 1200 m. Na obodu te uvale je izvor a u samoj uvali su ponori koji gutaju vode tog izvora, i uopšte sliva te vrtače, koje dopiju do ponora.

Dalje ka jugoistoku kote terena postepeno opadaju do Cetinjskog polja. To je kraško polje predisponirano tektonikom terena. Njegovim istočnim obodom je vidan rasjed. Na zapadnom obodu Cetinjskog polja u karbonatnim sedimentima Škrka je pećina na koti oko 650 m. dok kote samog polja na njegovom jugoistočnom obodu gdje se nalaze poznati ponori padaju i ispod kote 640 mnm. Sa istočnih padina Lovćena morenski i fluvijalni materijal je zaplavio Cetinjsko polje.

Od Cetinjskog polja kote terena dalje prema jugoistoku u početku rastu za oko 100 m. da bi se brzo i dosta naglo spuštale u Dobrsko Selo i dalje postepeno opadale sve do Obodske pećine koja je na koti oko 70 m. Iznad Doborskog sela je poznata Lipska pećina sa ulazom na koti oko 525 m. čiji profil takodje dajemo u prilogu po A. Vukoviću (sl. 3). Sa tog priloga se vidi oblik i dimenzije ispitivanog dijela pećine, kao i vrsta stijena u kojoj je izgradjena, što nećemo ponavljati.



Sl. 3

Odmah ispred ulaza u Obodsku pećinu je stalan i znatne izdašnosti izvor Crnojevića rijeke koji u minimumu ne pada ispod 200 lit/sec. Korito Crnojevića Rijeke brzo gubi visinu da bi već poslije oko 500 m. bilo plavljeno maksimalnim vodama Skadarskog jezera koje su nešto ispod 10 mm.

Kratko rečeno tereni u tretiranom pojasu su bez površinskih tokova, tipični kraški tereni sa svim odlikama koje karakterišu holokarst.

U regionu između Kotorskog zaliva i Skadarskog jezera relativno gledano, su znatne višegodišnje prosječne padavine. Na bazi tih višegodišnjih prosjeka vidi se da količine padavina rastu idući od mora prema Lovćenu odakle postepeno opadaju dalje ka istoku i jugoistoku.

Višegodišnji prosjek padavina na važnijim kišomjernim stanicama

Red. br.	Naziv stanice	Višegodišnji prosek padavina u mm	Za period
1.	Škaljari	2057	1956—1971
2.	Njeguši	2848	1956—1971
3.	Cetinje	3427	1956—1971
4.	Crnojevića Rijeka	2535	1956—1971

Ovolike padavine uz ostale relativno povoljne klimatske odlike su pospješile proces karstifikacije u i onako podobnim terenima za taj proces.

Hidrogeološke odlike

Medju stijenskim masama tretiranih terena generalno gledano sa aspekta njihovog ponašanja prema slobodnim vodama, ima hidrogeoloških izolatora (vodonepropusnih stijena), hidrogeoloških kompleksa od izolatora i kolektora, stijena specifičnih hidrogeoloških odlika i hidrogeoloških kolektora (vodopropusnih stijena).

Kao hidrogeološki izolatori ponašaju se opisani:

- srednjetrijaski kalkareniti, mikriti i dolomiti;
- donjejurski sedimenti lovcensko-ledeničke facije koja je predstavljena laporovitim krečnjacima sa proslojcima i slojevima rožnaca i dolomita a nekad i čistijim laporcima i

- gornjekredno-donjeeocenski sedimenti flišne facije Kotorskog zaliva koju čine glinci, laporci, pješčari i prelazni varijeteti ovih litoloških članova, nekad sa konglomeratima i brečama.

Tereni izgradjeni od ovih stijena ne apsorbuju vode od padavina već se preko njih slivaju. Na kontaktu ovih stijena sa hidrogeološkim kolektorima tamo gdje su zadovoljeni ostali uslovi javljaju se povremeni i stalni izvori kao što su: izvori na Ivanovim koritima, Koritnik, Pištet, Bukovička Voda, Šavnik i dr. po obodu Krsca i Njeguškog polja i čitav niz u Crnogorskom primorju.

Kao kompleks hidrogeoloških izolatora i kolektora, iako su bliže kolektorima koje karakteriše intergranularna poroznost, se ponašaju šljunkovi i pjeskovi sa glinama (morenski i fluvioglacialni materijal). Od učešća glina, granulacije, sortiranosti, rasprostranjenosti, debljine, itd. tih sedimentata zavisi njihova vododržljivost odnosno bolje rečeno njihove retenzione sposobnosti.

Kao stijene specifičnih hidrogeoloških odlika ponašaju se gornjetrijaski dolomiti. To su stijene koje negdje izgradjuju vododržljive a negdje posve vodopropusne terene. U terenima izgradjenim od ovih stijena najčešće, za razliku od onih izgradjenih od krečnjaka, izostaje gust spelet pora (prslina, pukotine, kaverne) na račun prostranijih kaverni i podzemnih kanala koji su uglavnom predisponirani razlomima. Ka tim kavernama i podzemnim kanalima u terenima izgradjenim od dolomita dolazi do bržeg i većeg prikupljanja podzemnih voda, što skoro izostaju u terenima izgradjenim od zdravijih dolomita. Iz ovih razloga tereni izgradjeni od dolomita, regionalno posmatrani, apsorbuju vode. Dolomiti su specifičnih uloga u terenu što se manifestuje i u izgradnji pojedinih djelova terena sa kojih se vode slivaju i koji se ponašaju kao relativno vododržljivi. U tim slučajevima na kontaktu dolomita i pravih hidrogeoloških kolektora, gdje su zadovoljeni ostali uslovi, se pojavljuju povremeni i stalni izvori. Za oba ova slučaja imamo konkretnih primera baš u razmatranom terenu, što ovdje detaljnije nećemo prikazivati. Na osnovu ovoga smatramo da je u okviru ovdje usvojene hidrogeološke klasifikacije stijena, dolomite ne samo opravdano, nego i nužno svrstati u posebnu grupu sa specifičnim odlikama zbog specifičnih hidrogeoloških odlika terena koje izgradjuju.

Kao hidrogeološki kolektori, i to oni koje karakteriše pukotinska i naročito kavernozna poroznost, se ponašaju krečnjaci gornjeg trijasa, donje, srednje i gornje jure i krečnjačke breče gornjekredno-eocenske starosti. Tereni izgradjeni od ovih stijena praktično apsorbuju padavine tamo gdje padnu.

Ponori-jame i pećine kao pokazatelji napredovanja karstifikacije

Kako je najveći dio tretiranih terena izgrađen od vodopropusnih stijena, to su oni danas bez površinskih tokova, što nije bio slučaj u geološkoj prošlosti. U tim terenima su podzemne vode prisutne u vidu razbijenih-kraških izdani, a vrlo malim dijelom i u vidu zbijenih izdani u nevezanim i poluvezanim zrnastim sedimentima. Vode tih izdani se dreniraju na jugozapad prema Jadranskom moru — Kotorskom zalivu i prema sjeveroistoku ka Skadarskom jezeru. Hidrogeološko razvodje između ta dva sliva je u podzemlju planine Lovćen.

Od Lovćena prema zapadu i sjeverozapadu tj. Kotarskom zalivu, karstifikacija je postepeno napredovala ka nižim kotama u terenu. Nekada je Škurda bio površinski tok koji je ka zapadu dosezao i preko Njeguškog polja, a prehranjivao se vodama od niza izvora gdje danas imamo pećine bez vode. Onog trenutka kada je karstifikacija počela da pretiče eroziju vodotoka, počelo je njegovo gubljenje. Napredovanjem procesa karstifikacije sve više se spuštao nivo voda u podzemlje. Zahvaljujući ovom procesu po obodu plato Krstaca i Njeguškog polja imamo niz pećina na kotama iznad 950 m. To su mjesta kako smo već rekli na kojima je nekad izvirala podzemna voda, koja je oticala vodotokom Škurde. Napredovanjem karstifikacije izvori su izgubili vodu uz približno jednovremeno stvaranje ponora — jama po krajskoj zaravni Krstaca i Njeguškog polja. Taj horizont koji izdvaja terene sa pećinama na višim kotama od ponora-jama na nižim kotama je dovoljno jasno izražen u tim terenima. Karstifikacija se još dalje spuštala na nižim kotama i danas je na nivou ispod mora. Siguran dokaz za ovo su bočatni izvori u okolini Kotora i poniranje voda u Gurdiću. Vode iz dijela, ako ne iz čitavog prostora, nekadašnjeg sliva vodotoka Škurde se i danas dreniranju u istom pravcu što je dokazano bojenjima ponora u Njeguškom polju i jami Duboki Do (sl. 2). U ovoj jami je podzemna voda na koti iznad 500 m. a dalje zapadnije na ostojanju manje od 3 km. izviru bočatne vode a nekad dolazi i do poniranja morske vode, što znači da je na tom potezu neka podzemna barijera — kaskada. Zahvaljujući jami Duboki Do, mi to danas znamo. Ta jama može da služi kao istražni rad i to vrlo razumno i na karakteristično mjesto postavljen. Savremenim ispitivanjem, istraživanjem i osmatranjem ove jame dobili bi se dragocjeni podaci o hidrogeologiji okolnih terena, koji bi imali veliku praktičnu primenu za rešavanje niza problema među kojima je svakako najistaknutiji snadbijevanje vodom Crnogorskog primorja. Takva ispitivanja za sad su izostala, što je svakako šteta jer takav »istražni rad« teško da bi danas izveo čovjek bez dosta vremena i sredstava.

Gledano od Lovćena prema Kotorskom zalivu imamo vidne nivoe karstifikacije: ponori u Ivanovim Koritima na kotama oko 1200 m., zona pećina — nekadašnjih izvora oko kraškog platoa Njeguškog polja i Krstaca na kotama iznad 950 m., prostor poniranja — ponora Njeguškog polja i Krstaca na kotama između 840 i 950 m. nivo podzemnih voda u podzemlje Krstaca u jami Duboki Do na preko 500 m. i dalje na zapad nivo ispod mora u predjelu Škurde, Kotora i Gurdića.

Istočno od Lovćena je to kaskadno spuštanje nivoa podzemnih voda u geološkoj prošlosti još markantnije. Miloševa pećina je na koti oko 1250 m. Preko

Cetinjskog polja koje je na kotama oko i iznad 640 m. je po zapisima u istorijsko vrijeme postojao povremen vodotok. Poznato je da su podzemne vode iz dolomita sa zapadnog oboda Cetinjskog polja prodrle u Cetinjski manastir (rušeći mu neke zidove) zbog čega je naknadno za tako ponovljeni slučaj urađen poseban hodnik. Ovo znači da je ispod Cetinjskog polja relativno plitka karstifikacija, odnosno dubina do nivoa podzemnih voda. Dalje jugoistočno od Cetinjskog polja je ulaz u poznatu Lipsku pećinu na koti oko 525 m. (sl. 3). Svakako da je ta pećina bio nekadašnji nivo podzemnih voda — podzemni tok. Ta pećina do danas nije detaljno istražena i ako se u nju ulazilo u dužini od oko 900 m. Svakako istraživanje ove pećine, Cetinjskih ponora, pećine u Škrke i Miloševe pećine, bi dalo podatke na bazi kojih bi se mogli izvesti sigurniji zaključci o hidrogeologiji ovih terena. Često puta se u nekim terenima izvode istraživanja (bušenjima i rudarskim radovima) a da se prethodno ne izvedu detaljna istraživanja jama, pećina i ostalih karstnih oblika koja bi možda nekada dala i pouzdanije rezultate.

Od Lipske pećine prema jugoistoku vidne su konture nekad površinskog toka preko terena današnjeg Dobrskog sela.

Napredovanjem karstifikacije Lipska pećina je ostala bez vode a vodotok preko terena Dobrske Župe se spustio u podzemlje, i danas je na kotama ispod 250 m. Podzemne vode tih terena izlivaju se na izvoru Crnojevića Rijeke koji u sušno doba godine izbija iz krupnozrnih dolomitskih drobina ispod ulaza u Obodsku pećinu. Iz te pećine, čiji je ulaz površine preko 40 m² su nekad isticale vode. Danas vode ističu i na nižim kotama što znači da se karstifikacija još niže spustila. Na to ukazuju i »oka« duž potopljenog korita Crnojevića rijeke vodama Skadarskog jezera.

Kao što vidimo od istočnih padina Lovćena prema sjeveroistoku ka Crnojevića Rijeci imamo niz vidnih, danas već spojenih karstifikacionih nivoa: Miloševa pećina sa kotama oko 1250 m. Cetinjsko polje i pećina u Škrke sa kotama oko 650 m., Lipska pećina sa kotama oko 525 m., Dobrska Župa sa kotama između 250 i 300 m., Obodska pećina sa kotama iznad 50 m, današnji stalni izvor Crnojevića Rijeke između 40 i 50 m. i još dalje potopljeno korito Crnojevića Rijek a na kotama ispod 10 m. sa nizom »oka« danas vrulja čija dna idu ispod nivoa mora. Po tom pravcu se generalno gledano danas i kreću podzemne vode što je dokazano bojnima voda u ponorima Cetinjskog polja.

Po profilu od Gurdića kod Kotora preko Lovćena, Cetinjskog polja, Lipske i Obodske pećine na dužini od preko 21 km. vidni su nivoi — horizonti starih tokova — karstifikacije naročito zahvaljujući prisustvu u tim terenima ponora — jama i pećina sa ili bez vode, sa nekim sa izlivanjima podzemnih voda ispod nivoa mora odnosno nivoa Skadarskog jezera, kao i zahvaljujući prisustvu ostalih kraških oblika koji se u tim terenima javljaju (vrtače, uvale, karstna polja, itd.).

Tako vidnih horizonata od Lovćena prema Kotorskom zalivu ima pet (Ivanova korita, pećine po obodu platoa Njeguškog polja i Krstaca, ponori po platou Krstaca i Njeguškog polja, nivoa voda u jami Duboki Do i boćatni izvori u okolini Kotora sa katavotrom zvanom Gurdić) a prema Skadarskom jezeru čak sedam (Miloševa pećina, Cetinjsko polje, Lipska pećina, Dobrska Župa, Obodska pećina, izvori Crnojevića Rijeke i njeno potopljeno korito sa nizom

»oka« koji rade kao vrulje). Ovdje nećemo vršiti sinhronizaciju pojedinih horizonata (jer to nije cilj ovog rada) iz dijela terena prema Kotorskom zalivu sa onim prema Skadarskom jezeru mada je i to bar donekle moguće jer u oba ta pravca početne horizonte imamo visoko u Lovćenu a završene ispod nivoa mora (Gurdić kot Kotora i dna Oka u potopljenom koritu Crnojevića Rijeke takodje ispod nivoa mora). Istakli bi samo da je normalno to što prema Skadarskom jezeru imamo veći broj tih vodnih horizonata nego prema Kotorskom zalivu. Ovo iz razloga što je potez prema Skadarskom jezeru duži za oko 2 puta, tereni ujednačenijeg litološkog sastava i mirnijeg tektonskog sklopa nego prema Kotorskom zalivu gde je nagib terena veći.

Pri navedenim razmatranjima namjerno nije evolucija krasa u tretiranim terenima vezana za vremenska razdoblja jer su ti tereni i pojave u njima poslužili samo kao primjer značaja proučavanja geomorfoloških pojava, naročito ponora, jama i pećina za izvođenje zaključaka o razvoju krasa neke oblasti. Iz istih razloga, a i zbog ograničenosti prostora, nije objašnjen današnji položaj tih pojava kao napr. katavotre Gurdić »oka« u potopljenom koritu Crnojevića rijeke itd. niti pak odnos fosilnih i recentne karstifikacije.

Umjesto zaključka

Na kraju da istaknemo da su ponori — jame i pećine sa i bez vode kao i ostale geomorfološke i hidrogeološke pojave nastale pretežno sadejstvom voda i stjenskih masa u terenima kroz koje ili preko kojih te vode teku. Početak stvaranja i razvoj tih geomorfoloških i hidrogeoloških pojava je najčešće znatno pospješćen tektonikom terena. Geomorfološke i hidrogeološke pojave predstavljaju elemente odlika terena odredjujući im nekad čak i njihove suštinske odlike. Ovo je dovoljno saznanje da bi se još odmah mogao sigurno izvesti zaključak da poznavanje hidrogeoloških odlika terena, a posebno kraških terena, se ne može zamisliti bez poznavanja geomorfoloških pojava, isto kao što to nije moguće bez poznavanja geološke gradje, tektonskog sklopa i klimatskih odlika regiona. Ponori — jame i pećine imaju poseban značaj za svestranije poznavanje hidrogeoloških odlika nekih terena jer te pojave omogućavaju ulaženje u teren, a time posrednije osmatranje i istraživanje. Te pojave su za hidrogeologa na terenu prirodni, tako da kažemo »istražni radovi« najčešće na pravo mjesto postavljeni čijim istraživanjima i osmatranjima se mogu dobiti brojni i sigurni podaci. Ovde je pokazano samo kako se preko tih pojava može sagledati razvoj — napredovanje karstifikacije. Iz svih ovih razloga, a da ne navodimo druge, istraživanjima jama i pećina treba posvetiti kod nas daleko veću pažnju nego što je to bio slučaj do sada.

Résumé

ABIMES — GOUFFRES ET GROTTES EN TANT QU'INDICATEURS DE L'ÉVOLUTION DE LA KARSTIFICATION LE LONG DU PROFIL KOTOR — RIJEKA CRNOJEVIĆA

Dans l'étude on a démontré par de nombreux exemples de gouffres et de grottes des terrains karstiques situés entre la Baie de Kotor et le lac Skadar, l'importance de connaître ces phénomènes afin d'observer l'évolution de la karstification selon la profondeur, c'est-à-dire l'abaissement de la base de la karstification.

Dans ce but, on a donné un bref aperçu de la composition géologique, de la texture tectonique, des caractéristiques géomorphologiques, climatiques et hydro-géologique des terrains le long du profil de Kotor au nord-ouest en passant par Lovćen, Cetinjsko Polje et Lipske Pećine jusqu'à Crnojevića Rijeka au sud-est. On a particulièrement donné un aperçu des abîmes — gouffres et grottes importants avec et sans eau le long de ce profil sur la base desquels on a apporté les conclusions sur l'évolution du karst dans ces terrains.

Le but essentiel de cette étude consiste à démontrer l'importance des recherches et observations des abîmes — gouffres et grottes avec et sans eau, afin de connaître d'une manière plus étendue les caractéristiques hydrogéologiques en général et surtout celles des terrains karstiques qui composent la majeure partie du Monténégro. C'est justement sur la base de ces phénomènes le long du profil mentionné qu'on a effectué, du Lovćen en direction de la Baie de Kotor, 5 horizons évidents, et même 7 en direction du lac Skadar, qui illustrent le processus de l'évolution de la karstification selon la profondeur.

Spisak korišćene literature i fondovskog materijala

- Pavić, A. J. Karović, R. Antonijević, Tumač za osnovnu geološku kartu SFRJ, lista Kotora sa Budvom R. 1:100 000. Fond Republičkog sekretarijata za privredu SRG. Beograd 1969. god.
- Bešić, Z., Geološki vodič kroz NR Crnu Goru. Geološko društvo NR Crne Gore. Titograd 1959.
- Geologija Crne Gore. Knj. II. Karst Crne Gore. Zavod za geološka istraživanja Crne Gore. Titograd 1969. godine.
- Cvijić, J., Geomorfologija I, II. Beograd 1924. god. i 1926. god.
- Milojević, B. Ž., Boka Kotorska. Zbornik radova Geografskog instituta Srpske akademije nauka knj. XVIII, Beograd 1953. godine.
- Petković, K., Tektonska karta FNRJ. Beograd 1960. godine.
- Radulović, V., Hidrogeološki problemi terena Crne Gore. Saopštenje na simpozijumu o zaštiti voda Crne Gore. Titograd 1965 godine. Fond Republičkog zavoda za zaštitu prirode SRG.
- Konceptija zahvatanja voda iz izdani bočatnih izvora Ljute i Škurde i katavotre Gurdic u Kotorskom zalivu. Zbornik radova I. Jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji u Hercegovom. Izdanje Jugoslovenskog komiteta za hidrogeologiju i inženjersku geologiju. Beograd 1971. g.
- Hidrogeološki vodič kroz terene Bokokotorskog zaliva i masiva Lovćena hidrogeološke ekskurzije I. Jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji. Hercegnovi 1971. g. Jugoslovenski komitet za hidrogeologiju i inženjersku geologiju. Beograd 1971. god.
- Hidrogeološka klasifikacija stjenjskih masa Crne Gore sa istraživanjem do kraja 1971. godine. Fond Zavoda za geološka istraživanja SRG.

- Rezultati dosadašnjih hidrogeoloških istraživanja na Uganjskim Vrelima. Fond Zavoda za geološka istraživanja SR Crne Gore.
 - Hidrogeološki elaborat o terenima sliva izvorišta Reževića Rijeke. Fond Zavoda za geološka istraživanja SRCG. Titograd 1971.
 - Završni elaborat na zadatku: Regionalna hidrogeološka istraživanja terena sliva Skadarskog jezera, (dijela na teritoriji SR Crne Gore). Titograd 1972.
- Savicki, L., Postanak Boke Kotorske. Glasnik Srpskog geografskog društva. Beograd 1912.
- Stepanović, B., Principi opšte hidrogeologije. Beograd 1962.
- Torbarov, K., V. Radulović, Regionalna hidrogeološka istraživanja Crne Gore i istočne Hercegovine. Fond Zavoda za geološka istraživanja Crne Gore. Titograd 1962—1965. godine.
- Vasović, M., Lovćen i njegova podgorina. Regionalna geografska ispitivanja. Naučno društvo NR Crne Gore. Cetinje 1955. godine.
- Vukotić, A., Tumač za hidrogeološku kartu Kotor—Budva—Mišići. Fond Zavoda za geološka istraživanja SR Crne Gore. Beograd 1961. godine.
- Zogović, D., Hidrogeološka uloga dolomita u dinarskom karstu. Vjesnik Geološko-geofizičkog zavoda. Beograd 1966. godine.

Diskusija

D. Gavrilović:

Smatram, da se samo na osnovi jednog speleološkog objekta ne može govoriti o postojanju nekog erozivnog ili hidrogeloškog nivoa, tim manje ako se radi o kraškim jamama, kod kojih je oticanje vode vršeno u vertikalnom smjeru (riječ je o jami Duboki Do).

Profil između Kotora i Skadarskog jezera može se interpretirati i na drugi način od onoga kako je to učinio avtor. Prvo, dno Krstačkog i Njeguškog polja su nagnuta od mora ka unutrašnjosti, što ne ide u prilog pretpostavci o nekadašnjoj pritoci Škurde. Zatim, jama Duboki Do se nalazi iza prečage Petrova ljut, pa nije mogla odvoditi Franjegušku reku nego pre reku koja je tekla prema Njeguškom polju. Jama Duboki Do se nalazi ispod morenskih nanosa presedlinskog ledenika Medjuvršja i nastala je poniranjem vode od ledenika, odnosno predstavlja jednu klimazonalnu i klimagenetsku tvorevinu. Drugo, vrulje i jame po dnu Boke Kotorske, koje po autoru dopiru do nivoa od — 60 m, nisu ovde dospjele usled tektonskih spuštanja već usled eustatičkog izdizanja morskog nivoa, koju dokazuju potopljena ušća Zrmanje, Krke i drugih reka.

I. Gams:

Referent je u uvodu poudaril, da so specifični kraški pojavi nekega kraja posljedica zelo številnih dejavnikov, toda pri genezi jam je upošteval le erozijski nivo na primeru Črne gore.

Predlagam, da se naslov, ki v sedanji obliki napoveduje prispevek k teoretski speleologiji, dopolni, da gre za Črno goro. (Naslov je v tem smislu dopolnjen. — Uredn.)

Referatu bi koristilo, če bi z lokalnim študijem ovrgel druge modifikatorje, preden se odloči za erozijski nivo kot edini dejavnik pri nastajanju jam v določeni višini.

PRIRODNI USLOVI NASTANKA I RAZVOJA
SPELEOLOŠKIH OBJEKATA ZAPADNE HERCEGOVINE

(sa 1 skicom u tekstu)

NATURAL CONDITIONS OF RISING AND DEVELOPMENT
OF SPELEOLOGIC OBJECTS IN WEST HERZEGOVINA

(with 1 Figure in Text)

RATIMIR GAŠPAROVIĆ

(Geografski institut Prirodno-matematičkog fakulteta, Sarajevo)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktobar 1972)

Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

Uvod

Geografski Institut Prirodno-matematičkog fakulteta u Sarajevu, izvršio je, u vezi ugovora sa Republičkim fondom za naučni rad SR BiH, trogodišnja istraživanja (1968—1970) speleoloških objekata Zapadne Hercegovine.

Rezultati tih istraživanja objavljeni su u studiji: »Katastar speleoloških objekata Zapadne Hercegovine« u tri knjige, od kojih prva sadrži tekstualni tumač, a druge dvije grafičku i tekstualnu obradu svakog istraživanog objekta.

Ovaj rad predstavlja dopunu tim istraživanjima i drugi aspekt posmatranja istraživanog područja i speleoloških objekata na njemu. Nastao je na osnovu već pomenute studije, na osnovu rada Miomira Komatina¹, kao i na osnovu ličnih posmatranja na terenu.

Ovim radom ne želim otkrivati nove istine, nego one stare, već poznate, potkrijepiti novim primjerima.

Istraživano područje

Zauzima prostor Zapadne Hercegovine (u užem smislu riječi). Pripada općinama Posušje, Lištica, Grude, Čitluk, Ljubuški, te dijelovima općina Čapljina i Mostar zapadno od Neretve. Granice ispitivanog područja su: rijeka Neretva kao istočna granica, administrativna granica između NR Hrvatske i Hercegovine kao južna i jugozapadna granica, te približno administrativna granica između općina Posušje i Mostar prema općinama Prozor i Duvno na sjeveru, prilagodjena orografskim odlikama terena u tom dijelu. Tako određeno istraživano područje obuhvata površinu od 2113 km².

Na toj površini registrovano je 335 speleoloških objekata. Od ukupnog broja istraživanih objekata 69 % čine jame, 21 % pećine, a ostatak otpada na ponore, vrela, estavele i prirodne čatrnje (jame sa stalnom vodom).

Prirodni uslovi nastanka i razvoja speleoloških objekata u Zapadnoj Hercegovini u najužoj su vezi sa uslovima nastanka i razvoja krasa uopće. U istraživanom području oni su određeni nekim njegovim odlikama: litološkim, morfografsko-morfometrijskim, hidrografskim, hidrogeološkim, klimatskim i tektonskim.

Ovdje ćemo ukratko da navedemo bitne odlike svakog od pomenutih uslova, uz objašnjenje posljedica koje takvi uslovi imaju u stvaranju i razvoju speleoloških objekata u istraživanom području.

¹ Dr. ing. M. K o m a t i n a : »Hidrogeološke odlike delova terena Dalmacije, Zapadne Bosne i Hercegovine«, Beograd 1967. g. Poglavlja: »Hidrogeološke odlike i hidrografske odlike«. Nastala su na osnovu listova hidrogeološke karte Mostar i Travnik 1 : 200 000 koji su priloženi u pomenutom djelu kao i na osnovu vlastitih zapazanja na terenu.

Čitlučko polje, dolina Lukoća i Šurmanska brda. Na zapadu i sjeverozapadu brda Malić (622 m) i Gradina (556 m), kao i jugoistočni dijelovi depresije Imotskog polja (250 m).

Od pomenutog sjevernog rubnog gorja Bekijske zaravni, dalje prema sjeveru, uzdižu se sa rastućom nadmorskom visinom planinski vijenci, čiji se najviši vrhovi (Čabulja i Čvrstica preko 2000 m.), nalaze u najsjevernijem dijelu istraživanog područja.

Depresija Čitlučkog polja sa dolinom Lukoća (200 m) na jugoistoku Bekijske zaravni, odvaja ovu zaravan od njoj hipsometrijski i morfostrukturno slične Dobroselske zaravni.

Depresije Mostarskog Blata (230 m) na istoku, Posušskog polja sa dolinom Ričine na zapadu (640 m) i Rakitnog polja (900 m) na sjeveru, takodje se mogu izdvojiti kao zasebne morfografske jedinice.

Masive Čvrstice i Čabulje presjekla je uska, 20 km duga klisurasta dolina rijeke Drežanke. Istočno od Čabulje pruža se, 850 m visoka zaravan Domazeta.

Pored ovih osnovnih morfografskih jedinica koje se prostorno izražavaju najviše u horizontalnim ravninama (dna depresija, zaravni, dolina i sl.), javljaju se i morfografske jedinice koje se prostorno izražavaju u vertikalnim ili kosim ravninama. To su odsjeci (denudacioni u visokim predjelima ili rasjedni) ili strane (dolina, depresija i sl.) kojima se već nabrojane morfografske jedinice međusobno povezuju.

U vezi sa pojavom i rasprostranjenjem speleoloških objekata, može se slobodno reći da se oni javljaju u svim navedenim jedinicama, samo su s obzirom na vrstu različito rasporedjeni.

Jame se najčešće i u najvećoj koncentraciji nalaze na kraškim zaravnima srednjih nadmorskih visina (300 do 500 m.). Tu su jame znatnih dubina i jake horizontalne razgranatosti, naročito u dubljim dijelovima svog vertikalno ili koso položenog panala, usljed čega, pri samom dnu prelaze i u pećinske hodnike. Jame se nalaze i na blago zakošenim planinskim stranama, na uravnjenim vrhovima nižih planina (do 1500 m) i brda. Znatno su rjeđe na visokim planinskim površima (iznad 1500 m) i ukoliko se jave, uskih su površinskih otvora, morfološki ujednačenog uglavnom uskog vertikalnog kanala, koji je već u malim dubinama začepljen.

Jame se javljaju i na dolinskim ramenima, blago zakošenim dolinskim stranama i najvišim uravnjenim dijelovima skaršćenih dolina, gdje dolina prerasta u krašku zaravan. Nismo mogli zapaziti povezanost izmedju čestine javljanja i rasporeda jama i opće orijentacije strana na kojim se javljaju.

Pećine su vrlo rijetke na zaravnima i tu su uglavnom vezane za krečnjačke humove i usamljena brda. Medjutim, česte su na stranama glavnih morfografskih jedinica: polja, kotlina, dolina, zaravni, planina i brda. Pećinski otvori se nalaze i na visokim veoma teško pristupačnim vertikalnim stjenovitim odsjecima. To su najčešće u planinsku masu duboko uvučene podkapine. Mnoge od pećina su hidrografski stalno ili povremeno aktivne, pa se tada javljaju stalna ili periodična vrela. Ona su najčešće na kontaktu vodopropusnih i nepropusnih sedimenata, kad je taj kontakt obilježen rasjedom ili jače izraženom pukotinom, pri čemu se javljaju na površini rasjedne odnosno pukotinske plohe. Tako se najveći broj vrela i izvora javlja u dolini Tihaljina—Mlade—Trebižat i desnoj strani

doline Neretve, te po rubnim dijelovima većih depresija — Mostarsko Blato, Imotsko polje.

Samo u najnižim dijelovima istraživanog područja (Imotsko polje, Rastok polje, Vitinsko — Ljubuško polje) zbog prisustva plitke, kontinuirane izdani javljaju se jame ispunjene vodom (prirodne čatrnje) i estavele. Na rubnim dijelovima polja (kontakt hidrogeološkog izolatora i konduktora) javljaju se ponori, najčešće na jugoistočnim rubnim dijelovima depresija — Imotsko, Ljubuško, Rakitno, Čitlučko polje te Mostarsko Blato. Ponora ima (iako sasvim rijetko) i na kraškim zaravnima (srednjih visina i visokim) i to najčešće na dnu širokih vrtača i depresija iz kojih se vode (u doba jakih padavina) kroz te ponore evakuišu u podzemlje. U takvim područjima česte su i estavele.

Hidrogeološke odlike

U ispitivanom području preovladavaju karbonatne stijene, među kojima su one kalcijskog karbonata, dakle krečnjaci, najrasprostranjenije. Ako se uzme u obzir samo ona površina istraživanog područja koja po svojim hidrogeološkim odlikama ima najviše uslova za stvaranje i razvoj speleoloških objekata, a to su u prvom redu svi tereni građeni od krečnjaka, onda tako uzeta površina ima 1533 km² ili 72 % od ukupne površine istraživanog područja. To znači da se na preko $\frac{2}{3}$ prostora Zapadne Hercegovine (unutar od nas odredjenih granica) odvija kraški proces sa svim njegovim popratnim morfološkim i hidrografskim podzemnim i površinskim osobenostima.

Od čistog gornje krednog krečnjaka izgrađjene su dolinske strane i na široko ramena Trebižata od njegovog ušća u Neretvu do Ljubuškog polja. Od izvorišta Tihaljine do Ljubuškog polja, strane doline i ramena izgrađjene su od dolomita i krečnjaka, a sjeverno i sjeveroistočno od pomenutog poteza doline i od čistih dolomita gornjekredne starosti.

Gornjekredni krečnjaci izgrađuju i najveći dio Bekijske zaravni kao i istočno rubno gorje ove zaravni s tim što se u njemu javljaju još i eoceni krečnjaci. Tek južno i jugozapadno Bekijsku zaravan uokviravaju čisti dolomiti. I Dobroselska zaravan je sva izgrađjena od čistih, uglavnom eocenih krečnjaka. Planinski masivi Čabulje, Čvrsnice i visokogorska zaravan Domazeta, izgrađjeni su skoro u potpunosti od gornjekrednih krečnjaka, koje samo mjestimice zamjenjuju eoceni i jurski.

Svi pomenuti predjeli koje izgrađuju krečnjačke stijene kao najzastupljeniji litografski član ispitivanog područja, su veoma dobro vodopropusni, pa je i razumljivo da su na njima kras i njegovi oblici najrazvijeniji.

Posebnu oazu čistih trijaskih dolomita, klastičnih sedimenata i fliša čini dolina Drežanke, sa širim prostorom svoga sliva. Prelazno gorje od Bekijske zaravni ka sjeveru izgrađeno je od dolomita, te dolomita i krečnjaka. Slabo ili nikako vodopropusni pokazuju se čisti dolomiti.

Najveća učestalost i rasprostranjenost speleoloških objekata, među kojima dominiraju jame, vezana je za krečnjačke stijene, bez obzira na njihovu stratigrafsku pripadnost. Tako ih ima u trijaskim, jurskim, krednim i eocenim krečnjacima. Manji broj ih se javlja i u krečnjačko dolomitičnim stijenama (dolina Drežanke, gornji tok Tihaljine).

Eoceni klastični sedimenti javljaju se u istraživanom području samo fragmentarno. Tako u Rakitnom polju i njegovoj najširoj okolini (naročito prema zapadu), javljaju se eocene naslage laporaca, konglomerata i laporovitih krečnjaka u kojima se raštrkano javljaju ponori kao najčešća vrsta speleoloških objekata. Litološki sličan fragment eocena nalazi se u središnjim dijelovima Ljubuškog polja oko Otoke i Grabovnika. Posebno je zanimljiv eoceni fliš najviše zastupljen laporima, pjeskovima, laporovitim krečnjacima i pjeskovitim glinama. Najveći dio Čitlučkog polja izgrađen je od srednje i donje eocenog fliša. Uska krpa eocenog fliša nalazi se i na potezu Polog—Zagomilje, sjeveroistočno od Mostarskog Blata, a ima ga i u krajnjim sjeverozapadnim dijelovima istraživanog područja, posebno u srednjem toku Ričine.

I neogene klastične naslage, zastupljene laporcima, konglomeratima laporovitim krečnjacima i pješčarima, nalaze se u zapadnim dijelovima Posušskog polja, u istočnim dijelovima Imotskog polja i sjevernom dijelu Mostarske kotline. Krpe neogena javljaju se i sjeverno od Mostarskog Blata, zapadno od Širokog Brijega i južno od Kočerina.

I kvartarne naslage su zastupljene fragmentarno. Predstavljene su naplavnim sedimentima Imotskog polja, Mostarskog Blata, Mostarske kotline, jugoistočnih i južnih dijelova Ljubuškog polja i jugoistočnih dijelova Posušskog polja. Čini ih mješavina humusa, pjeskova, šljunka, gline. Debljina tih naslaga iznosi do 20 m.

Nabrojani klastični sedimenti neogena, eocena i kvartara pokazuju se kao potpuno vodonepropusni i na njima se javlja povremena i privremena površinska hidrografija. Karakteristično je za predjele ispunjene ovim vodonepropusnim sedimentima, da se oni s obzirom na opći nagib njihovog dna prema jugoistoku, u tom pravcu i površinski odvodnjavaju. Na kontaktu tih vodonepropusnih sedimenata sa krečnjacima, nastaje i razvija se kraški proces koji ima za posljedicu formiranje ponora kao najčešćih speleoloških objekata u krajnjim jugoistočnim dijelovima pomenutih predjela. Tako se velika koncentracija ponora i prirodnih čatrnja nalazi u krajnjim južnim dijelovima Ljubuškog polja, te u jugoistočnim dijelovima Mostarskog Blata, gdje su u pripovršinskim dijelovima razvijeni u vidu velikih lijevkova.

Tektonske odlike

Sasvim je sigurno (a to obimna literatura i potvrđuje) da su stepen i vrsta tektonske aktivnosti nekog područja općenito, pa i našeg posebno, jedan od važnih, može se reći inicijalnih činilaca za nastanak, vrstu i razvoj speleoloških objekata. Nismo u istraživanom području naišli ni na jedan speleološki objekat, koji pripada osnovnim dvjema vrstama — pećini ili jami — a da nastanak njegovog hodnika (vertikalnog ili horizontalnog) bez obzira na dubinu, nije na neki način uslovljen pukotinom, koja je presjekla krečnjački kompleks i tako odredila pravac, dubinu, vrstu i intenzitet kraškog procesa na tom mjestu. Samo po takvoj pukotini, po njenim plohama zavisno od kuta pada i pravca pada pukotine, pod uticajem daljnjih agenasa — vode u prvom redu — dolazi do širenja, dubljenja, grananja krečnjačke mase. Čak su i sasvim male, jedva

vidljive pukotine kojima je izbrazdana krečnjačka masa, predodredjivale kraški proces i uslovljavale nove i veće pukotine, udubljenja i sl.

Pukotine u ispitivanom području nastale su uglavnom na dva načina: tektonskom aktivnošću izraženom kroz radijalne i tangencijalne pokrete od kojih su prvi stvarali rasjede i pukotine, a drugi velike navlake — šarijaže i planinske vijence. Pukotine nastajale ovim načinom vezane su uglavnom za predgorje i rubne dijelove velikih kraških zaravni — Bekijske, Dobroselske, Domazetske. Velikih su dubina, uglavnom dinarskog pravca pružanja. Duž njih je dolazilo do spuštanja prostranih depresija i kotlina — Imotsko polje, Rakitno polje, Mostarska kotlina i dr., a neke su predodredile pružanje dolina (Trebižat — Tihaljina), kanjona (Ugrovača) i klisura (Drežanka, Grabovica). Na ovakvim pukotinama javlja se ponegdje serija objekata (jama najčešće). Na mjestima gdje je neotektonska aktivnost presjekla već dobro karstifikovane krečnjake i segnula do znatnih dubina, došlo je do prekida ranije stvorenih i hidrografski aktivnih podzemnih, manje više horizontalnih hodnika, a na stranama pukotina odnosno rasjeda ukazali su se prosječni poprečni profili tih hodnika u vidu pećinskih otvora, te stalnih ili povremenih vrela.

Drugi način nastanka pukotina nezavisan je od tektonike, a uslovljen je općim denudacionim, dakle eksogenim procesima koji djeluju u kori raspadanja. To su u prvom redu sitne pukotine koje nastaju na površini krečnjačke mase usljed rastezanja i stezanja stijena pod uticajem temperaturnih razlika, mržnjenja vode i sl. Kasnije se tako nastale pukotine i dalje šire i dube korozivno — erozivnim i denudacionim procesima, a kako i inače predstavljaju mjesta najmanje kemijske i mehaničke otpornosti krečnjaka, to se po njima proces dubljenja i širenja najbrže odigrava. Za nastanak speleoloških objekata, ovaj način nastajanja pukotina predodređuje, ukoliko nije kombinovan sa pukotinama nastalim tektonikom, pliće, horizontalno razredjene speleološke objekte, uglavnom jame.

Klimatske prilike

Kako se ispitivano područje u cjelini postepeno diže od krajnjih južnih (najnižih) do krajnjih sjevernih (najviših) predjela i na dužini (svedenoj) od 50 km. ravnomjerno povećava geografsku širinu, to i osnovne klimatske odlike ispitivanog područja najviše i zavise od ta dva faktora (širine i visine) i s njima su u potpunosti saobrazne. Posebno, u sklopu opće cirkulacije atmosfere nad širim prostorom, važan klimatski faktor za istraživano područje je njegov blizi položaj Jadranskom moru i njegovim putujućim depresijama s jedne strane i naširoko rasprostranjenom kontinentalnom zaledju sa njegovim anticiklonalnim središtima, s druge strane.

U cjelini s obzirom na cilj ovog rada, može se reći, da osnovni klimatski elementi, temperatura i padavine, daju sasvim povoljne uslove za nastanak i razvoj kraškog procesa i stvaranje svih onih površinskih i podzemnih odlika kojima krš obiluje. Naročito su u tom pogledu podesne padavine, čije se godišnje količine nad istraživanim područjem kreću u prosjeku od 1400 (u južnim) do preko 1800 mm (u sjevernim) dijelovima.

Posebno, sa stanovišta nastanka i razvoja speleoloških objekata, važno je napomenuti u paleoklimatskom smislu i glacijalnu, nivalno — pluvijalnu klimu pleistocena, te humidnu pluvijalnu i pluvijalno — nivalnu klimu holocena.²

Hidrografske odlike

Na osnovu naših istraživanja speleoloških objekata (jama, pećina, vrela, ponora, estavela i prirodnih čatrnja) te površinski stalno ili povremeno aktivnih tokova i na osnovu dosadašnjih hidrogeoloških istraživanja, istraživano područje se u hidrografskom smislu pokazuje kao sljedeće.

Najveći dio padavinskih voda odvodnjava se sa istraživanog područja podzemno. Samo dolina Drežanke, zbog prisustva dolomita i klastičnih sedimentata, predstavlja u odnosu na okolne krečnjačke vodopropusne stijene, zaseban, zatvoren sliv koji površinski odvodi vode sa jednog užeg fragmenta krajnjeg sjeveroistočnog dijela istraživanog područja u Neretvu. Iz ostalih predjela sjeverno od te doline, vode se podzemno kreću ka Neretvi i izbijaju na vrelima Veliki i Mali Praporac i Crno Vrelo, a dio tih voda odlazi malom riječicom Grabovicom u Neretvu. Iz sjevernih dijelova istraživanog područja (predio oko Poklečana i Rakitnog polja), vode se također najvećim dijelom odводе podzemno prema jugu i jugoistoku. One prema jugu se javljaju čak u dolini Trebižata, a one prema jugoistoku ili u dolini Neretve ili u sjeverozapadnim dijelovima Mostarskog Blata i u njegovoj blizini.

I u krajnjem sjeverozapadnom dijelu istraživanog područja, odvodnjavanje je također podzemno. Jedino se u doba padavina uspostavlja privremeni površinski tok Ričine. Inače se vode podzemno odводе u sjeverozapadni dio Imotskog polja, gdje se javljaju na brojnim vrelima i izvorima.

Središnji dio istraživanog područja (Bekijska i Dobroselska zaravan) nema stalnih ni povremenih površinskih tokova, pa je čitavo odvodnjavanje podzemno. I ovdje su pravci podzemnih kretanja voda usmjereni prema jugu, pa se najveći dio voda ovih predjela javlja u dolini Trebižata odnosno Neretve. Jedino povremeni tok Lukoča u Čitlučkom polju, odvodi dio voda površinski u Trebižat.

I vode Mostarskog Blata odvodnjavaju se nekim gigantskim ponorima (Plitonja, Kabalovac, Orlinjača i dr.) u Neretvu, odnosno područje Jesenice i Rodoča, gdje se javljaju na brojnim izvorima i vrelima.

U odnosu na hidrografske podzemne i površinske prilike u istraživanom području, speleološki objekti se prema vrstama javljaju u sljedećim predjelima.

Jame kao hidrografski neaktivni vertikalni kanali, nalaze se u predjelima gdje se odvodnjavanje obavlja isključivo u duboko položenim hodnicima i pukotinama.

Pećine kao hidrografski neaktivni horizontalni podzemni hodnici, javljaju se u onim predjelima gdje se obavlja podzemna cirkulacija voda ali u znatno nižem nivou od nivoa podzemnih kanala pećina. Tamo gdje se ta cirkulacija obavlja u približno istim ili višim nivoima od nivoa kanala pećine, onda i pećine mogu postati stalno ili povremeno hidrografski aktivne, pri čemu se obrazuju

² Prilikom obrade klimatskih prilika istraživanog područja, koristili smo se djelom J. Moscheles, *Das Klima von Bosnien und der Herzegowina*, Sarajevo 1918, kao i podacima UHMS za Rakitno za period 1956—1965. g.

vrela ili izvori. Ovo samo uz uslov ako je sistem pečinskih kanala povezan sa sistemom podzemne cirkulacije voda.

Na onim mjestima, gdje jame sa svojim vertikalnim kanalima dopijevaju do nivoa stalne, kontinuirane podzemne vode (voda na vododrživim sedimentima) ili do nivoa horizontalnih kanalnih sistema opće stalne ili povremene cirkulacije, onda na takvim mjestima jame obrazuju prirodne čatrnje (prirodne bunare), a u određenim uslovima (povećanja padavina, začepjenja podzemnih kanalnih sistema, povećanog hidrostatskog pritiska i sl.) mogu da funkciraju kao vrela, odnosno uz naknadno promijenjene spomenute uslove i kao ponori, dakle, kao estavele. Ovaj slučaj hidrografski aktivnih jama, bilo da se javljaju kao prirodne čatrnje, vrela, ponori ili estavele, čest je u rubnim dijelovima polja istraživanog područja.

Zaključak

Naša istraživanja speleoloških objekata u Zapadnoj Hercegovini su u potpunosti potvrdila već ranije postavke o snovnim uslovima nastanka i razvoja ne samo tih objekata, nego i krasa uopće. To su:

Litološki — ogoličene stijene rastvorljive i razorljive vodom.

Tektonski — pukotine koje predodređuju pravce djelovanja i koncentraciju voda.

Klimatski — obilje padavina raspoređenih na onaj dio godine kada je i evaporacija smanjena, a padavina se javlja u obliku kiše.

Hidrografski — površinska hidrografija vezana za depresije privremeno ispunjene padavinskim vodama i podzemna sa mogućnošću spuštanja hidrografskih nivoa do znatnih dubina.

Summary

NATURAL OF RISING AND DEVELOPMENT OF SPELEOLOGIC OBJECTS IN WEST HERZEGOVINA

The paper deals with the researches made within the theme CADASTRE OF SPELAEOLOGIC ABJECTS OF WESTERN HERZEGOVINA in summer months of the year 1968, 1969 and 1970. On the entire surface of researching ares of 2113 km² was checked 335 speleologic objects, where of 69 % present cavities, 21 % caverns and remainde chasms, estaveles, springs and wells.

Faking into the consideration only the surface of researched area, which, according to its physically — geographic characteristics could be a good base for forming and development of spelaeologic objects, and these are, in the first place all terrains formed of limestone, then such surface amounts to sq. m. 1533 or 72 %.

Being the speleologic objects an obvious indicator for the presence and expanse of calcareous process and by that of calcareous terrains, it may be observed, that, on over 2/3 of the space of West Herzegovina, the calcareous process with all its accompanying morphological and hydrographic surface and underground peculiarity occure.

Among the most important physically — geographic conditions for forming and development of spelaeologic object of W. Herzegovina are the following: Lithologically — stratigraphic, tectonic, climatic, geomorphologic and hydrographic.

The author briefly treats each these conditions separately and presents a general picture of extent of spelaeologic objects depending on the mentioned conditions.

Diskusija

J. Posarić:

Tko je učestvovao u istraživanjima objekata Zapadne Hercegovine?

Odgovor (R. Gašparović):

Povremeno docenti I. Bušatlija u vezi sa geomorfološkim i litološkim karakteristikama i O. Zubović u vezi sa općim hidrografskim karakteristikama ispitivanog područja. Stalno su učesvovali: studenti alpinci — speleolozi: B. Radošević, T. Omanović, E. Hofman, S. Hadžiavdagić i S. Šiljak, a povremeno i prof. Z. Talajić i A. Kapel kao stručni saradnici.

P. Habić:

Od poznatih speleoloških objekata ima najviše jama. Koji su po vašem mišljenju osnovni agensi za evoluciju tih objekata?

Odgovor (R. Gašparović):

- a) litologija
- b) fisuracija
- c) klimohidrografija

DUBINA I INTENZITET KARSTIFIKACIJE U PODRUČJU
SALAKOVCA U ZAVISNOSTI OD TEKTONSKE
IZLOMLJENOSTI

(sa 1 skicom u prilogu)

THE DEPTH AND THE INTENSITY OF KARSTIFICATION IN DEPENDENCE
OF THE TECTONIC ACTIVITY

(with 1 Figure in Annex)

BORISLAV PETROVIĆ, IVAN ANTUNOVIĆ

(Energoinvest, Sarajevo)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktobar 1972)

Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

Uvod

U nekim ranijim radovima pisali smo da je u karbonatnim stenama u gornjem i srednjem delu sliva Neretve, korito Neretve baza karstifikacije. To je samo u osnovi tačno. Na ovom delu Neretve sve podzemne vode izbijaju u njeno korito, ali dubina karstifikacije u mnogim njenim područjima kreće se do znatno nižih kota no što su kote korita.

Ovom temom obradjujemo karstifikaciju karbonatnih stena područja Salakovac koji se nalazi na izlazu iz kanjona Neretve u Bijelo polje uzvodno Mostara, sa posebnim osvrtom na njegovu levu dolinsku stranu.

Za potrebe izrade projekata i izgradnje HE Salakovac, vršena su obimna istraživanja terena na užem i širem području Salakovca. Dobiveni su vrlo interesantni rezultati, posebno iz oblasti hidrogeologije, tektonike i inženjerske geologije. Obradom tih rezultata razjašnjeni su neki fenomeni karsta koji su zastupljeni na ovom terenu:

Izvedeni su sledeći istražni radovi:

- geološko, hidrogeološko i inženjersko geološko kartiranje terena,
- geofizička-seizmička i električna istraživanja,
- istražna bušenja i istražni potkopi,
- bojenja bušotina i
- ispitivanja iz oblasti mehanike stena, injektiranja i sl.

Morfološke karakteristike terena

Šire područje Salakovca, odnosno teren koji je obuhvaćen priloženom kartom pripada Dinarskoj planinskoj oblasti u kome je izrazito jaka tektonska aktivnost stvorila nekoliko karakterističnih morfoloških jedinica. To su dolina reke Neretve, planinski masiv Čabulje zapadno od reke Neretve, planinski masiv Prenja istočno i severoistočno od reke Neretve i depresija Bijelog polja, u južnom delu terena. Ove tektonske jedinice se potpuno uklapaju u tektoniku područja, što očitó govori o njihovoj uslovljenosti (karta u prilogu, str. 144/145).

Područje izmedju reke Neretve, planinskog masiva Prenja i Bijelog polja zove se Ploča i predstavlja uzvišenje koje obiluje vrlo izraženim i mnogobrojnim kraškim oblicima. Zbog toga je za nas ovo područje posebno interesantno, te će uglavnom o njemu u narednim analizama biti govora.

Geološka gradnja terena

Područje koje se ovde tretira izgrađeno je od jurskih, krednih i kvartarnih tvorevina. Ove tvorevine rasporedjene su u geološke jedinice koje se podudaraju sa ranije izvodjenim morfološkim jedinicama.

Područje desno od toka Neretve izgrađeno je od gornje jurskih krečnjaka i dolomita koji se tu naizmenično smenjuju. To su naslage oksforda, kumeridža i portlanda. Najviši delovi kanjona reke Neretve na desnoj obali izgrađeni su od donje krednih tvorevina.

Leva obala reke Neretve u prostoru između Humine, Markovine i Prigradjana izgrađena je od lepo uslojenih krečnjaka sa proslojcima tamnih dolomita, a mestimično in laporovitih krečnjaka koji pripadaju donjoj kredi.

Ostali delovi terena na ovoj obali izgrađeni su od gornjo krednih sedimenata i to: cenomana, turona i senona. Cenoman je razvijen u vidu smeđjih grudvastih krečnjaka sa proslojcima dolomita, dok su turon in senon izgrađeni od svetlo sivih i beličastih krečnjaka sa manjim proslojcima i sočivima dolomita i dolomitnih krečnjaka.

Depresija Bijelog polja izgrađena je od tercijarnih — neogenih i kvartarnih tvorevina. Tercijarni sedimenti utvrđeni su istraženim bušenjem. Leže diskordantno preko mezozoika, ali detaljnije nisu ispitivani. Neogen je izgrađen od laporaca i glina sa proslojcima čistog uglja, ugljevitih škriljaca i peskova. Njegova debljina iznosi preko 100 metara. Pokriven je kvartarnim aluvijalnim tvorevinama u vidu slabovezanih konglomerata i zaglinjenih šljunkova.

Tektonska aktivnost

Tektonska aktivnost na celom području uslovila je stvaranje plikativnih i rupturnih oblika.

Plikativni oblici su predstavljani sa dve velike navlake i više manjih i većih nabora dinarskog pružanja.

Rupturni oblici su u vidu reversnih raseda — kraljušti, koje smo svrstali u rasede I reda veličine, zatim normalne rasede koji spadaju u II grupu reda veličine i ostale lokalne rasede koji su svrstani u II grupu reda veličine. Ovi oblici su interesantni po tome što su teren podelili u tri tektonska bloka, razorili nabore i odigrali veliku ulogu pri formiranju morfoloških, hidrogeoloških i inženjersko geoloških karakteristika terena.

Pošto je za nas posebno interesantna samo leva obala, to ćemo tektoniku na tom delu terena detaljnije obraditi.

Plikativni tektonski oblici predstavljani su dvema navlakama i blagim nabormima na čitavom uzvišenju Ploče od Neretve do Makovine i Prigradjana. Površinskim razaranjem njihovog terena danas su ostale izražene samo površine navlačenja, odnosno reversni rasedi koji se kod obe navlake bitno razlikuju.

Starija navlaka, čiji se ostaci nalaze između dva reversna raseda, zauzima relativno uzak prostor sa razvijenim rupturnim oblicima II i III reda veličine, dosta strmih padova, a paralelnim i normalnim pružanjem na reversne rasede.

Mlada navlaka koja se nalazi istočno od reversnih raseda zvanih »Drežanska dislokacija« pruža se sve do područja Darkovine i Prigradjana sa izraženim bla-

gim nabornim oblicima i rasedima II i III reda veličine, uzdužnog i poprečnog pružanja u odnosu na reversne rasede i dinarsko pružanje blagih nabora.

Ovakav tektonski sklop ovog terena omogućio je stvaranje vrlo izraženih i različitih kraških oblika. Posebnu ulogu pri tome odigrala su dva reversna raseda koji se po svojim hidrogeološkim i inženjersko geološkim osobinama razlikuju. Reversni rased u koritu Neretve izražen je u vidu dobro cementovane brečolike zone širine do 10 metara, dok je drugi reversni rased »Drežanska dislokacija« izražen u vidu presovane i uskriljene glinovito laporovite mase, koja je lokalno isprekidana po pružanju i dubini.

Područje Bijelog polja predstavlja takodje jednu izraženu tektonsku jedinicu, odnosno jednu veliku depresiju do koje je došlo najverovatnije usled spuštanja terena.

Iz prednjega se vidi da su rasedi dolinom Neretve (Drežanska dislokacija) i rased upravan na njega, sa položajem od salakovačke »S« krivine pa preko Prigradjana, učinili da se stvore tri velika osnovna bloka na ovom području, sa međusobnim vertikalnim pomeranjem, prema Dr. Čiriću, i do 1700 metara. Ako se uzme za »O« blok Ploča na levoj obali Neretve, teren bloka desne obale Neretve dignut je za oko 700 metara, a kredna podloga depresije Bijelog polja spuštana za oko 1000 metara, s obzirom da toliko iznosi debljina neogenih naslaga koje su danas u nivou sa krednim krečnjacima bloka Ploče.

Ovako velika međusobna dizanja i spuštanja, te povijanja blokova, kao i drugi faktori učinili su da se uz naknadne potrese stvore u ovim blokovima, posebno u bloku Ploče, mnogobrojni paralelni i upravni rasedi manjeg obima, te dijaklaze, pukotine i prsline, a velike količine voda sa prenjerskih padina, sa velikim gradijentom pada, dalja razaranja, vodne tokove, te kaverne u njima.

Inženjersko geološke karakteristike stenskih masa

Geološkim kartiranjem i istraženim radovima ustanovljeno je da je leva obala Neretve sa njenim širim zaledjem izgradjena od kamenitih vezanih stena, poluvezanih stena, a isto tako i od nevezanih stenskih masa.

Kamenite stene pripadaju senomanskim krečnjacima starije navlake u koritu reke Neretve i turonskim krečnjacima mlađe navlake na levoj obali.

Senomanski krečnjaci su uklješteni između dva reversna raseda i mehanički su dosta oštećeni lomovima II i III reda veličine. Slojevitost se u njima ne zapaža ili je slabo izražena u vidu debelih banaka, tako da se ti krečnjaci mogu smatrati masivnim. Oni su lokalno tektonski oštećeni i naknadno cementovani boksitno karbonatnim vezivom.

Diskontinuiteti u ovoj stenskoj masi su prema inženjersko geološkim karakteristikama klasificirani u lokalne rasede u vidu sistema zbijenih velikih pukotina smicanja, u vidu zdrobljene zone i u vidu otvorenih pukotina zapunjenih glinovito laporovitom masom ili zaglinjenom drobinom. Svi ovi lomovi, pored svog inženjersko geološkog značaja, igraju važnu ulogu u hidrogeološkim karakteristikama stenske mase.

Turonski krečnjaci zauzimaju prostor istočno od drežanskog raseda i karakteristični su po svom litološkom sastavu, načinu pojavljivanja i mehaničkoj oštećenosti.

Litološki nisu jednolični, nego se uz uslojene sivo smedje krečnjake pojavljuju česti proslojci dolomita, dolomitičnih krečnjaka i tankoslojevitih laporovitih krečnjaka. U mehaničkoj izdeldenosti treba pre svega naglasiti na uslojenost krečnjaka. Oni su pločasti tanko slojeviti do debelo slojeviti.

Mehanička oštećenost na ovom području nije detaljnije razjašnjavana, ali prema podacima površinskog kartiranja, utvrđeno je da su zastupljeni diskontinuiteti II i III reda veličine uzdužnog i poprečnog pružanja na nabrane tektonске obloke.

Poluvezane i nevezane stene su zastupljene najviše u depresiji Bijelog polja, a predstavljene su laporcima, glinama, proslojcima uglja, zaglinjenim šljunkom i sl.

Hidrogeološke karakteristike terena

Ove stenske mase prema hidrogeološkim osobinama mogu se svrstati u dve jedinice koje se uklapaju u ranije izdvojene tektonske, geološke, morfološke i inženjersko geološke blokove. Jedna hidrogeološka jedinica pripada starijoj — donjoj navlaci, dok druga pripada mlađoj — gornjoj navlaci.

Stariju navlaku grade turonsko senonski krečnjaci, koji po hidrogeološkim funkcijama spadaju u dobre provodnike. To su beli i brečoliki marmerasti krečnjaci sa pukotinskom poroznošću. Vrlo su podložni rastvarajućem delovanju vode, što je omogućilo stvaranje karsta sa svim pratećim pojavama, kavernama, ponorima, kraškim vrelima i slično.

Turonske tvorevine gornje navlake, o kojima je bilo ranije govora, spadaju takodje u grupu dobrih vodoprovodnika. Međutim, nejednoličan litološki sastav i mehanička izdeldenost stenske mase, omogućila je stvaranje specifičnog tipa karsta.

Turonske i turonsko senonske naslage su međusobno razdvojene Drežanskom rasednom zonom, koja u hidrogeološkom pogledu ima karakteristike slabo vodopropusne lokalne, iskidane barijere prema reci Neretvi.

Poluvezane stenske mase zastupljene su u području depresije Bijelog polja. To su laporci i slabo vezani zaglinjeni konglomerati. Po hidrogeološkim osobinama ove naslage spadaju u grupu vodonepropusnih i slabo vodopropusnih stenskih masa. Pošto se nalaze u istom nivou sa karstifikovanim vodopropusnim stenskim masama one predstavljaju vodonepropusnu barijeru za podzemne vode koje skreću ka zapadu i u vidu velikih vrela ističu u reku Neretvu.

Krajnje severoistočni i istočni delovi terena izgrađeni su od cenomanskih slabo vodopropusnih krečnjaka i dolomita koji generalno padaju ka uzvišenju Ploče i omogućuju slivanje većih količina vode baš u ovo područje.

Izrazit tektonski lomovi — rasedi, dreniranjem tih voda uslovili su izrazito jak razvoj karstifikacije. Geofizička — električna merenja su ovo i potvrdila. Dobiveni rezultati pokazuju da se karstifikacija terena neravnomerno razvijala, odnosno da je izrazitija duž tektonskih razloma.

Dubina karstifikacije prema ovim rezultatima raste ka JZ. Na priloženoj karti ovi rezultati su nacrtani u vidu izolinja dubine karstifikacije. One takodje ukazuju i na nešto dublje karstifikaciju u pravcu upravnom na prethodni, odnosno ka reci Neretvi uzvodno od Salakovačke »S« krivine. Time su delimično

potvrđene pretpostavke o povezanosti tih vrela sa vrelima nizvodno od »S« krivine.

Da bi karstifikacija, odnosno njena veličina, dubina i prostranstvo, kao i povezanost pojedinih tokova te vrela, bili što bolje razjašnjeni, izvršeno je i nekoliko bojenja bušotina. Jedna bojenja izvršena su u periodu vrlo velikih podzemnih voda i tom prilikom boja se javila na svim vrelima uzvodno i nizvodno od »S« krivine. Drugi put bojenja su izvršena u periodu srednjih vodostaja i tom prilikom se najveća količina boje javila na vrelima nizvodno od »S« krivine. To se i moglo očekivati, s obzirom da su geofizička merenja pokazala da je u pravcu uzvodnih vrela baza karstifikacije znatno plića, nego po pravcima tektonskih razloma ka nizvodnim Salakovskim vrelima.

Ovo prednje je merenjima izdašnosti vrela takodje potvrđeno, jer je ustanovljeno da maksimalna izdašnost uzvodnih vrela iznosi cca 20 m³/sec, dok je izdašnost nizvodnih vrela cca 100 m³/sec. Ovako velike količine podzemnih voda su napravile veće podzemne tokove (kanale i kaverne), čije su veličine jednim delom dokazane u toku istraženih bušenja koja su se tu vršila. Ova su pokazala da se radi o podzemnim kavernama veličine 1—7 metara i da se pojavljuju u više hipsometriski različitih nivoa. Na ovakvo pojavljivanje kaverni uticala su dva faktora: tektonska aktivnost šireg područja i litološki sastav terena.

Utica j tektonske aktivnosti na formiranje ovakvih karstnih oblika odražava se u vidu izdizanja i spuštanja terena u kome se vršila karstifikacija. Time se objašnjava i to da se karstifikacija mestimično spušta i do 50 metara ispod nivoa mora, odnosno preko 100 metara ispod nivoa Neretve.

Drugi faktor koji je uticao na formiranje ovako velikih kaverni i njihovo etažno pojavljivanje je litološki sastav terena, odnosno različite hidrogeološke osobine pojedinih litoloških članova. Prije svega tu treba izdvojiti dolomitične proslojke, dolomitične krečnjake, laporovite krečnjake i brečaste mermeraste krečnjake koji su relativno slabije vodopropusni i otporniji na eroziono dejstvo podzemnih voda.

Zbog toga je objašnjivo zbog čega su se sve veće kaverne formirale baš iznad ovakvih litoloških serija. Eroziono dejstvo voda iznad tih serija je trajalo znatno duže, a ujedno je bilo uslovljeno da se najveće količine podzemne vode kreću i koncentrišu baš u tim nivoima, te je bilo moguće stvaranje kaverni pomenutih dimenzija.

Svrha istraživanja

Sva hidrogeološka, inženjersko geološka i druga istraživanja strukture i fenomena ovog područja vršena su radi izgradnje brane, odnosno kompletnog hidroenergetskog postrojenja Salakovac, čija lokacija, kao i dispozicija je prikazana šematski na priloženoj karti. Radi izgradnje ovog objekta izmešta se i postojeći magistralni put Sarajevo — Mostar.

Istraživanja su pokazala da stenske mase imaju dobre kvalitete za izgradnju betonske brane gravitacionog tipa, kakva se predviđa na objektu HE Salakovac, kao i za izgradnju ostalih objekata ovog postrojenja.

Izvrstan problem prilikom izgradnje predstavljaće karstificiranost, odnosno velika vodopropusnost ovog područja, posebno leve dolinske strane (Ploče), kojoj je prednjem opisu dat najveći prostor.

Za sprečavanja prodiranja vode kroz teren ispod temelja brane i njegovo razaranje kada dodje voda pod pritisak, kao i za smanjenje veličine uzgona na branu, predviđa se injekciona zavesa ispod uzvodne ivice temelja brane, čije dimenzije, položaj i prostranstvo nije teško odrediti.

Za sprečavanje gubitaka vode iz buduće akumulacije kroz levi bok, odnosno kroz tektonski oštećen i karstificirani teren leve dolinske strane (Ploče), predviđa se takodje izgradnja injekcione zavesa kao nastavak prethodne, u dužini i po položaju koji do sada nisu još definitivno određeni. Zbog još nedovoljnog poznavanja u detaljima strukture i hidrogeoloških odnosa u dubini ovog terena, izgradnja ovog dela zavesa vršiće se tek posle punjenja akumulacije i to po dužini i položaju postepeno sve dotle dok se gubici vode ne svedu na dozvoljeni minimum. S obzirom na veliku visinsku razliku između površine terena Ploče i kote uspora u akumulaciji izgradnja ovog dela injekcione zavesa, zbog izbegavanja jalovog bušenja, vršiće se verovatno iz tunela prokopanog specijalno u to svrhu na nivou uspora.

Na osnovu rezultata VDP-a, dubina zavesa se predviđa da ide do kote 50 m n. m. Medjutim, njenu dužinu i pravac pružanja teško je sada u ovoj fazi ispitivanja i poznavanja definitivno odrediti, jer prema rezultatima ispitivanja navedenih na ovoj karti, ne postoji u doglednoj blizini dovoljno vodonepropusan materijal i dovoljno visok nivo podzemnih voda na koji bi se zavesa mogla da nasloni. To znači da s njenim pravcem i dužinom treba ići tako da se strujnice kretanja vode što više produže i na taj način stvore što veći otpori radi smanjenja gubitaka vode na dozvoljenu količinu.

Pri određivanju veličine i pružanja ovog dela zavesa postoje i sledeće dileme i alternative: Ako se ide sa pravcem zavesa što bližim osovini brane, postoji mogućnost i uterivanja izvesnih količina vode iz kraškog podzemlja u akumulaciju, ali bi zato zavesa verovatno bila duža. Ako se sa ovim pravcem udaljujemo od pravca osovine brane, postoji verovatnoća da zavesa bude kraća, ali isto tako i verovatnoća presecanja izvesnih tokova kojima sada dotiče voda u korito Neretve uzvodno od pregradnog profila.

Brez obzira na to što će definitivni pravac i veličina zavesa biti definitivno određeni tek posle izgradnje brane, mi smo je crtkano povukli na priloženoj karti onako kako se ona sada zamišlja.

Summary

THE DEPTH AND THE INTENSITY OF KARSTIFICATION IN DEPENDENCE OF THE TECTONIC ACTIVITY

At the very end of Neretva canyon near Bijelo polje is foreseen the construction of the Salakovac water power plant. Since this is the karst-region some problems are expected on the water filtration from the storage basin under and around the

dam. Therefore various hidrogeological, engineering geological, geophysiscal and other investigations had been performed in the aim of construction necessary grouting curtains.

It has been affirmed that in creation of terrain morphology in the area of Salakovac, the important rôle belonged to the tectonics. Two large faults, one along the Neretva bed and the other one perpendicular to that along the northern edge of Bijelo polje, have caused that geological formations of the three blocks (right bank of Neretva, left bank of Neretva at the end of canyon, and Bijelo polje) one mutually vertically displaced for approximately 1700 m.

Area of carbonate rocks of the left bank at the end of canyon, under the influence of large faults and many of small ones, is intercrossed by cracks and diaclases generally normal to the river course. Owing to impermeable nature of Neogen rock mass of Bijelo polje, large quantities of water flowing from the slopes of Prenj mountain, under the influence of the big hydraulic gradient toward the Neretva valley, had been affected on tectonically interfractured area of carbonic rocks and created the karstification of the large scale (s. figure in annex p. 144/145).

Upotrebljena dokumentacija

Energoinvest (prof. R. Jovanović), Idejni projekt HE Salakovac iz 1960 godine.

Energoinvest (dipl. geol. J. Mladenović), Geološki elaborat za glavni projekt HE Salakovac iz 1970 godine.

Energoinvest (dipl. inž. geol. R. Srdić), Idejni projekt HE Salakovac iz 1972 godine.

Zavod za geološka i geofizička ispitivanja, Beograd (D. Čirić), Izveštaj o ekspertizi neotektonskih prilika na mostu za branu Salakovac — 1966 g. — R. Kajmaković, P. Petrović, Dubina i intenzitet karstifikacije u zavisnosti hidrauličkog gradijenta poda. Referat na III. Jugosl. speleol. kongresu u Splitu 1958 g.

Diskusija

Postavljam pitanja (V. Radulović):

1. Kolika se predviđa injekciona zavjesa na mjestu brane:
 - desni bok
 - levi bok
 - ispod brane
2. Da-li je karstifikacija pretekla eroziju?
3. Da-li su skaršćeni dolomiti desnog boka?
4. Da-li su pouzdani podaci dobiveni geoelektričnim mjerenjima kojim dajete veliki značaj?

Smatram na osnovu poznavanja tih terena, sličnih terena i predmetne problematike a naročito na osnovu iznijetog od strane referenta da je:

- a) Karstifikacija na mjestu i okolini brane pretekla eroziju Neretve.
- b) Da su dolomiti desnog boka skaršćeni, ali su u njima kaverne, relativno gledano u odnosu na krečnjake redje ali prostranije zbog čega treba biti obazriv pri oceni njihovih hidrogeoloških funkcija.
- c) Geoelektrika je samo jedna od metoda istraživanja, a ne nikako metoda kojoj treba dati toliki značaj kada je u pitanju problematika kakva se tretira. Tom me-

todom se u krasu utvrđuje razlika više zone bez vode i zone sa vodom, a teže baza karstifikacije.

P. Habič:

Kojom metodom je utvrđena i šta je mišljeno pod »bazom karstifikacije«?

Odgovor (B. Petrović):

Dubina karstifikacije je ispitana geoelektričnim mjerenjima i to ispitana je zona karstifikacije i zona nekarstifikovane stijenske mase, odnosno određena je dubina karstifikacije. Ovi rezultati su dijelom potvrđeni nekim drugim istraživanjima. Karstifikacija desne obale je vrlo mala, svedena na jedan plići nivo.

Injekciona zavjesa još nije definisana.

GENETSKI TIPOVI PEĆINA U SAHARI

(sa 6 slika u tekstu)

GENETIC TYPES OF CAVES IN THE SAHARA

(with 6 Figures in Text)

DUŠAN GAVRILOVIĆ

(Prirodno-matematički fakultet, Beograd)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktobar 1972)

Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

U Sahari, jednoj od najsuvljih oblasti na Zemlji, registrovani su svi kraški oblici — počev od škrapa i vrtača pa zaključno sa kraškim poljima. Ipak, o krasu i pećinama zna se vrlo malo, što je razumljivo ako se ima u vidu veličina ove pustinjačke oblasti i teški uslovi rada u njoj. Čiste krečnjačke stene imaju malo rasprostranjenje. Kraški oblici se najčešće javljaju u tercijernim peskovitim i glinovitim krečnjacima i karbonatnim peščarima i laporcima. Pećine se sreću kako u karbonatnim tako i u nekarbonatnim stenama. Najbrojnije su pećine u silikatnim i karbonatnim peščarima, ali ih ima i u magmatskim stenama. Jasno je da proces speleogeneze nije svuda imao isti karakter. U zavisnosti od litološkog sastava terena i dominantnih geomorfoloških procesa izdvojena su tri osnovna tipa pećina: pećine u karbonatnim stenama, pećine u silikatnim peščarima i pećine u magmatskim stenama.

Pećine u karbonatnim stenama

Pećine u krečnjačkim stenama su najmalobrojnije. Osnovni uzroci tome su, s jedne strane, mala rasprostranjenost čistih krečnjaka, a s druge, njihova neznatna moćnost, nizak položaj u reljefu i nepovoljni klimatski uslovi, ne samo sada već i u prošlosti. Poznata su samo dva lokaliteta u Sahari sa pećinama u krečnjačkim stenama. To je predeo Mzaba u Alžiru i Adrara u Mauritaniji.

Mzab je nizak i dolinama jako ispresecan plato, izgradjen od donje krednih krečnjaka i dolomita. Na površini platoa, koji ima karakter hamade (godišnja suma padavina iznosi oko 70 mm), nalaze se plitke vrtače (daje), male kamenice i sasvim sitne škrape. Na stranama vadija se vide mnogobrojni otvori uskih podzemnih kanala. Kanali su stvoreni duž medjuslojnih pukotina i obično su neprohodni; širina im iznosi svega nekoliko desetina santimetara. Oko 7 km severozapadno od oaze Berriane na levoj strani vadija Soudane, 1 metar iznad suvog rečnog korita, postoji mala pećina. Pećinski kanal, koji je sada u fazi urušavanja, prohodan je na dužini od oko 10 m. Na njegovim zidovima se vide plitki erozioni žlebovi, a na očuvanim delovima tavanice siga u raspadanju. Najveća pećina Mzaba je Bou Noura. Ona se nalazi 15 km severozapadno od oaze Ghardaia u vadiju Abiod. Njeni hodnici su dugački oko 100 m i toliko niski da se kroz njih ne može ići uspravno (R. Capot-Rey, 1939).

Predeo Adrara je izgradjen od infrakambrijskih krečnjaka, čija debljina mestimično iznosi preko 300 m. Na površini krečnjačke hamade postoje prostrane vrtače i mnogobrojne duboke pukotine, koje celom predelu daju karakter krasa. Ono malo atmosferskog taloga (oko 100 mm godišnje), što se izluči na površinu hamade i ne ispari, upija se u pukotine i otiče podzemno. Zasadu nije poznato da li u osnovi mauritanijskih krečnjaka postoji neki podzemni tok, jer većina izvora izbija iz serije silikatnih peščara, koji leže ispod krečnjaka. Prisustvo

fosilnog bigra, osobito u regionu Atara, svedoči o nekadašnjim površinskim i podzemnim tokovima. Mada prema nekim podacima u Adraru ima više pećina, poznatija je jedino pećina Lapin (P. Dekeyser, A. Villiers, 1952). Ona se nalazi 9 km jugoistočno od oaze Atar. Sastoji se od horizontalnog kanala, širokog 1—3 m i dugačkog 70 m, koji se na jednom mestu proširuje u malu dvoranu. Pećinski kanal leži svega 8 m ispod površine hamade i na svom kraju stoji u vezi sa jednom salomnom vrtačom (grara). U malim kaminima i pukotinama na pećinskoj tavanici nalaze se stare sige. One su na više mesta nagrižene korozijom i u stadijumu raspadanja.

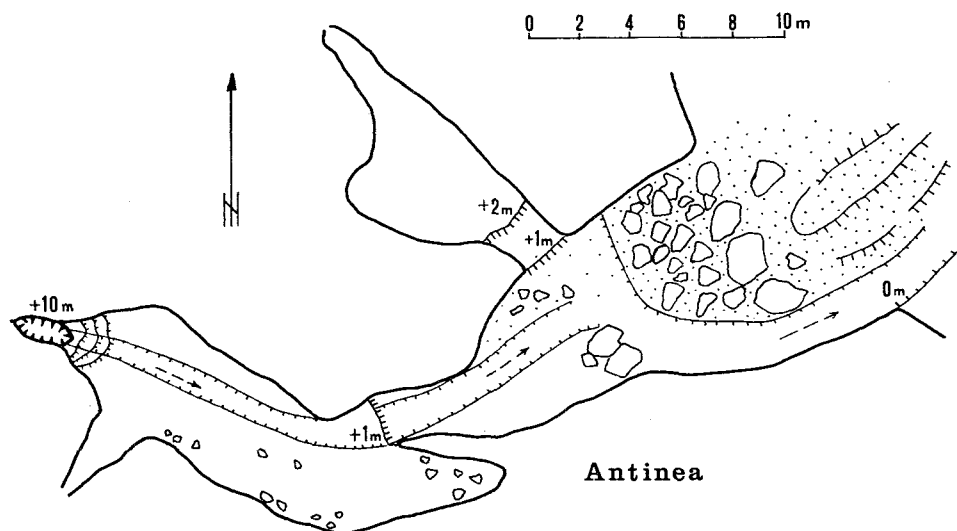
U regionu Djado (Niger), između Madama i Emi Fezzan, postoji manja površina izgrađena od karbonskih krečnjaka. Na mestima gde laporovite interkalacije nisu predominantne, sreću se brojne vrtače i uski pećinski kanali (Ph. Renault, 1953).

Karbonatni peščari zahvataju u Sahari vrlo velika prostranstva. Obično se radi o tektonski neporemećenim formacijama tercijskih sedimenata u kojima se smenjuju slojevi peskovitih i laporovitih krečnjaka, peščara sa krečnjačkim cementom, laporaca i glinaca, gipsa i drugih stena. U ovim sedimentima se javljaju svi površinski i podzemni kraški oblici. Kraški reljef je najbolje proučen u alžirskoj Sahari: u hamadi Guir i zapadno od oaze Touggourt. Tu je poznato više pećina.

Zanimljiva serija kraških oblika sreće se kod oaze Béni-Abbès. Na desnoj strani vadija Saoura nalazi se erozijom izolovano uzvišenje Gara Diba (34 m rel. vis.), izgrađeno od mioplIOCenih pretežno karbonatnih sedimenata. Ono ima karakter ploče i ranije je činilo jedinstvenu celinu sa platoom hamade Guir. Na Gara Dibi je usečena plitka dolina, nagnuta prema vadiju i Béni Abbèsu. Ova suva dolina se završava viseća iznad odseka visokog oko 15 m. Ispod doline na odseku se vide tragovi nekadašnjeg vodopada. Na maloj terasici, na koju je padala voda, nalazi se otvor vertikalne jame duboke oko 10 m, koja komunicira sa pećinom Antinéa; tu pećinu pominju G. Conrad, B. Gèze, H. Paloc (1967).

Pećina Antinéa (sl. 1, 2) je obrazovana na kontaktu horizontalno uslojenih miocenih karbonatnih peščara i gornje devonskih silikatnih laporaca. Na njenom ulazu, koji leži oko 6 m iznad korita Saoure, nalazi se velika gomila oburvanih blokova i vetrom navejanog peska. Ulaz je širok 10 i visok 6 m. Od ulaza glavni kanal se jedva primetno penje prema unutrašnjosti i postepeno sužava. Na njegovom kraju na tavanici se nalazi uzan vertikalni kanal, koji stoji u vezi sa jamom iznad pećine. Ispod ove vigledi počinje suvo rečno korito, koje se može pratiti, ne samo kroz pećinu, već i izvan nje, sve do korita Saoure. Ono je nesumnjiv dokaz da je nekada kroz pećinu tekla reka. Sa severozapada prema glavnom kanalu gravitira kratak bočni kanal, čije dno leži 2 m iznad dna glavnog kanala. Izuzev vetrom navejanog peska i oburvanih blokova oko ulaza, u pećini nema sedimenata. Ukupna dužina ispitanih kanala iznosi 47 m.

Očuvani tragovi u reljefu nesumnjivo ukazuju da je za vreme jedne vlažnije klimatske faze preko Gara Dibe povremeno ili stalno tekao potok, koji se u obliku vodopada rušio u dolinu Saoure. U podnožju vodopada, pretežno mehaničkom erozijom, voda proširuje pukotine u miocnim karbonatnim peščarima i ponire u dubinu sve do vodonepropusne osnove od devonskih sedimenata. U



Sl. 1. Plan pećine Antinéa kod Béni Abbèsa (Alžir)

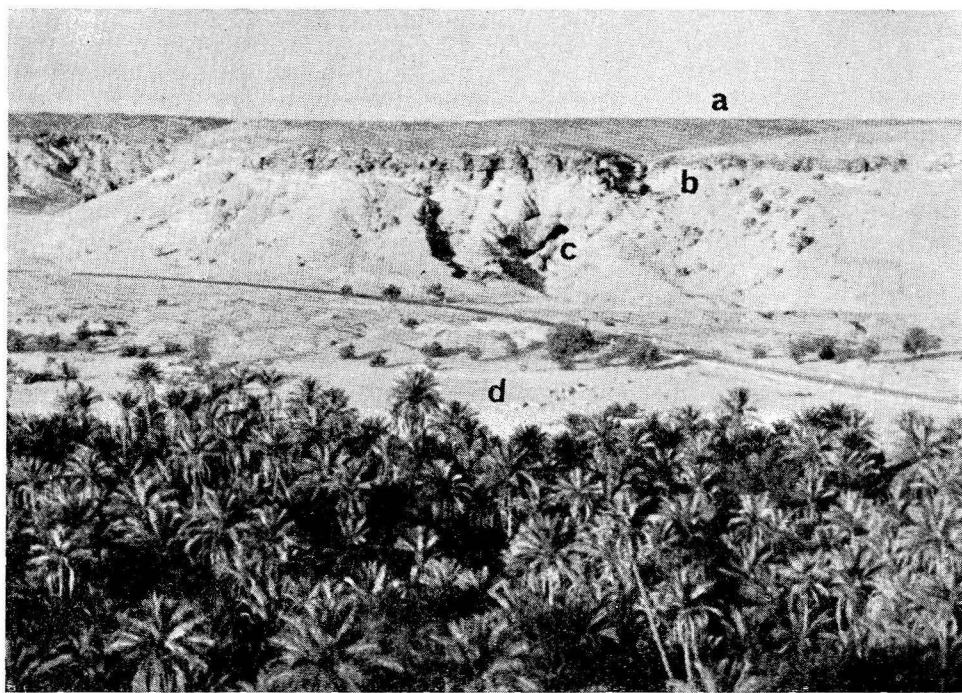
Fig. 1. Plan of the Antinéa Cave near Béni Abbès (Algeria)

početku voda se gubila na dva mesta — ispod samog vodopada i nešto nizvodnije — stvarajući dva podzemna toka. Ti tokovi su izdubili glavni i bočni kanal u pećini. Kasnije, proširivanjem uzvodnog ponora, nizvodni ponor i bočni kanal su izgubili hidrografsku funkciju, tako da je erozija nastavljena samo u glavnom kanalu, čije je dno sniženo još za oko 2 m.

Pećina Antinéa leži u nivou najniže rečne terase u dolini Saoure (4–6 m), za koju je utvrđeno da je obrazovana tokom vlažne faze Guiriena pre 5–6000 godina (J. Chavillon, 1964). Da je i pećina iste starosti ukazuju suva rečna korita potoka sa Gara Dibe (pre stvaranja ponora) i pećinskog toka, koja se vezuju za ovu terasu.

Kratki pećinski kanali u miopliocenim sedimentima mogu se sresti na više mesta u dolini Saoure. Po pričanju meštana, jedna veća pećina postoji kod Marhouma, 15 km jugoistočno od Béni Abbèsa. Kod Mazzera, 24 km severno od Béni Abbèsa, nalazi se zanimljiva izvorska pećina Ain Hammam (G. Conrad, B. Gèze, H. Paloc, 1967). Njen otvor leži u podnožju odseka na levoj strani doline vadija Saoure. Prohodni deo pećine je dugačak 15 m i širok do 7 m. Od dva pećinska izvora, ukupne izdašnosti 1 l/sec vode, nastaje mali potok koji ističe iz pećine. Ovaj potok se hrani iz izdani ispod Velikog zapadnog erga. U pećini postoji nekoliko grozdova stalaktita i dve ploče od sige. Stvaranje pećine Ain Hammam je verovatno započeto još tokom Guirijenske humidne faze i, zahvaljujući specifičnom načinu hranjenja njenog podzemnog toka, nije u potpunosti bilo prekidano sve do danas.

Jedna kraška jama je otkrivena na zapadnom obodu erga Atchane, između uzvišenja Džebel ben Tadjine (Džebel ben Tadžin) i Kahal Tabelbala, oko 167 km jugozapadno od Béni Abbèsa (N. Menchikoff, 1930). Ona ima otvor kružnog



Sl. 2. Položaj pećine Antinéa u brdu Gara Diba kod Béni Abbèsa (Alžir): a) suva viseća dolina, b) nekadašnji vodopad i jama, c) otvor pećine, d) rečno korito Saoura.

Foto D. Gavrilović

Fig. 2. Location of the Antinéa Cave in the hill Gara Diba near Beni Abbes (Algeria): a) dry hanging valley, b) former waterfall and pothole, c) cave opening, d) river bed Saoura. Phot. D. Gavrilović

oblika, širok 8 m. Naniže kanal jame se naglo levkasto sužava i na 5 m dubine prelazi u uzan vertikalni kamin, kroz koji se čovek jedva može provući. Ispod ovog kamina kanal se ponovo proširuje. Pre otkrivanja jame na površini peskovitih krečnjaka postojala je plitka vrtača delimično ispunjena slabo cementovanim peskom. Čišćenjem ove vrtače, poručnik Pigeot je na njenom dnu otkrio vertikalni kanal dubok oko 10 m. Tamni slojevi peska sa ugljenisanim organskim ostacima, nadjeni na dnu jame, ukazuju na nekadašnje poniranje površinskih voda.

Kraška jama koju je otkrio poručnik Pigeot je dokaz da u Sahari sigurno postoji veći broj ovakvih oblika. Zbog toga, odsustvo kraških jama ne treba uzimati kao jednu od specifičnosti kraškog reljefa ove oblasti, već kao posledicu eolskih procesa, koji su postojeće vertikalne kanale u krečnjacima učinili nevidljivim.

Zanimljivi oblici kraškog reljefa sreću se i u miopliocenim karbonatnim peščarima zapadno od oaze Touggourt. U ovom kraju godišnje padne svega oko 70 mm kiše (Touggourt 58 mm, El Arfiane 82 mm).

Na severnom obodu daje Mrara, 1200 m severno od piste Djamaa-Mrara, nalazi se povremeno aktivan ponor vadija Rtem. Ovaj vadi dolazi sa platoa El Mchibig (El Mšibi), na kome se godišnje izluči oko 150 mm padavina. A. Cornet i C. Pinard (1957) pominju da je 1957. godine iznad ponora, koji je tada bio aktivan, postojala mala vrtača, udaljena oko 20 m od ivice daje. Usled obilnih kiša i poplava vadia 1957, 1961, 1963, 1964. i navodnjavanja obradivih površina arteskima vodama 1960, 1961. i 1962. godine, na mestu male vrtače stvorilo se levkasto udubljenje dugačko 48,5 m, široko 20—22 m i duboko 7—8 m. Između ponora i ove salomne vrtače podzemni tok je obrazovao prerast sa tunelom dugačkim 20 m, širokim 10 m i visokim 2,5—4,6 m (C. Nesson, 1967). Zbog relativno čestih poplava vadia Rtem i povoljnih morfoloških prilika, bilo je planirano da se daja Mrara pretvori u veštački akumulacioni basen. Međutim, kolika je propusna moć podzemnih sistema pukotina u krečnjaku videlo se 1960. godine, kada je prilikom veštačkog navodnjavanja daje reka Rtem svakog minuta u ponor unosila oko 20 m³ vode. Prilikom poplave vadia 1963. godine za samo tri dana u daji je sakupljeno 9,1 mil. m³ vode, ali se već nedelju dana kasnije, usled poniranja i isparavanja, izgubilo 4,3 mil. m³ vode. Podzemno oticanje vode iz daje Mrara, čije dno leži na 101 m n. v., najverovatnije se vrši prema šotu Merouane, severno od Touggourta, kod koga dno leži na — 40 m n. v.

Oko 4 km severno od oboda daje Mrara, na dnu jedne suve doline, nalazi se kraška jama duboka 30 m (C. Nesson, 1967). Njen otvor je ovalnog oblika: dužine 12,5 m i širine 5 m. Jama je nastala za vreme neke vlažnije klimatske faze kvartara, na mestu poniranja površinskog toka kroz vertikalnu pukotinu u miopliocnim karbonatnim peščarima. Kod proširivanja pukotine, pored mehaničke erozije vodenog toka, značajnu ulogu je imao i proces rastvaranja krečnjačkog cementa u peščaru. Ova jama je još jedan dokaz postojanja sistema podzemnih kanala usmerenih ka šotu Merouane.

Dosada ispitane pećine u krečnjacima i peščarima sa krečnjačkim cementom uglavnom se nalaze u obodnim delovima Sahare, koji, izuzev predela oko Béné Abbésa (31,9 mm) i Tabelbale (23,6 mm), primaju godišnje više od 50 mm kiše. Možda je još važnije istaći da se pećine nalaze u zoni povremenih poplava vadia i izuzetno retkih ali jakih pljuskovitih padavina. Erozioni efekat površinskih i podzemnih bujičnih tokova, koji se obrazuju posle kratke i jake kiše, često može biti veći od erozionog efekta stalnih vodotoka. Tokom kvartarnih pluvijala količina padavina je u Sahari bila oko deset puta veća od sadašnje, što je uslovljavalo česte poplave vadia i mestimično formiranje stalnih površinskih i podzemnih tokova. Za vreme tih vlažnijih ali kratkih perioda postojale su povoljne prilike za stvaranje kraških oblika. Da su pećine upravo tada nastale, odnosno da predstavljaju vrlo mladu pojavu u reljefu, u većini slučajeva nije potrebno dokazivati, jer se radi o pećinskim kanalima koji su usećeni u miopliocenoj sedimentnoj seriji ili se nalaze u podnožju dolinskih strana vadia usećenih tokom kvartara.

Pećinski kanali su stvoreni erozijom podzemnih tokova, koji su za svoje kretanje koristili medjuslojne pukotine ili kontaktne površine između karbonatnih i nekarbonatnih stena. Ti tokovi su se hranili sabiranjem atmosferske vode iz viših sistema pukotina ili poniranjem površinskih potoka nedaleko od odseka, a izuzetno i iz kontaktne izdani. Na osnovu morfologije kanala i

odsustva sedimenata — u većini slučajeva i siga, može se zaključiti da su pećine prvenstveno stvorene mehaničkom erozijom podzemnih tokova, dok je rastvaranje krečnjaka ili krečnjačkog cementa kod pešćara imalo minimalni značaj. Do istog zaključka je došao J. Corbel (1971), vršeći hemijske analize izvorske i bunarske vode u predelu Tademaita i oko In Salaha. Mala podzemna rastvorljivost karbonatnih stena u Sahari nije posledica samo direktnih klimatskih uticaja (mala količina padavina, visoke temperature i isparavanje), već i čitavog niza pratećih pojava. S jedne strane, zbog odsustva vegetacije i pedološkog pokrivača, korozija se vrši bez učešća humusnih kiselina, a s druge strane, visoke temperature uslovljavaju mali sadržaj ugljendioksida u vazduhu, a samim tim i slabu koncentraciju ugljene kiseline u vodi. Treba napomenuti da pored karbonatnih stena u miopliocenoj sedimentnoj seriji postoje i znatne količine gipsa, koji se u vodi lakše rastvara od krečnjaka, naročito na višim temperaturama, i na taj način brzo dovodi do zasićenosti vodenih rastvora.

Mala moćnost karbonatne sedimentne serije (najčešće 30—50 m), heterogen litološki sastav, slaba tektonska razlomljenost terena, nepovoljne klimatske prilike, kratko trajanje kvartarnih pluvijala — sve je to uticalo da se u Sahari nisu obrazovali veći pećinski sistemi i da je kraški reljef u celini ostao u rudimentarnom stanju.

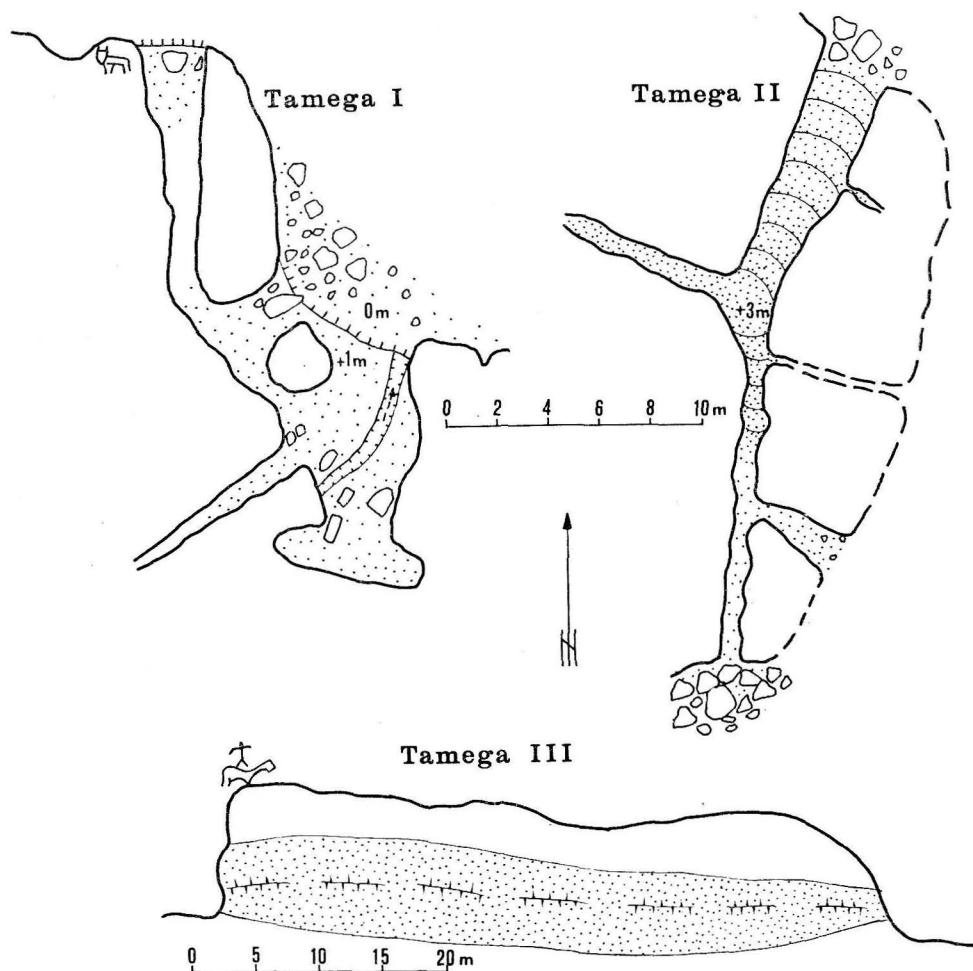
Pećine u silikatnim pešćarima

Silikatni pešćari, pretežno paleozojske starosti, zahvataju velike delove centralne Sahare. Od njih su izgrađeni masiv Ennedija, obod planine Tibesti, obod basena Murzuka, platoi Djado i Mangeni, Tassili Ajjera i Hoggara, obod basena Aouker i delovi mauritanijskog Adrara. U svim ovim predelima zabeleženo je postojanje većeg broja pećina i potkapina.

M. Mainguet-Michel (1967) izveštava da se u zapadnom delu Ennedija u silikatnim pešćarima nalaze mnogobrojni podzemni kanali i šupljine prečnika preko 10 m, a J. Tilho (1920) pominje potkapinu Archei, 37 km jugoistočno od Fade, koja u prečniku ima oko 30 m.

U planinskom masivu Tibestija pećine u silikatnim pešćarima je proučavao D. Gavrilović (1969). Južno od oaze Bardaï dve veće i nekoliko manjih pećina obrazovano je duž lokalnih rasednih pukotina, na mestima gde one seku oko 3 m debeo sloj glinenog škriljca umetnut u paleozojskom pešćaru. Pećina Kir-Kirma predstavlja tunel dugačak 20 m i širok 1—3 m. Na njenoj tavanici ima prljavih kalcitnih cevčica dugačkih 2—10 cm, a dno jo je pokriveno tankim slojem eluvijuma. Pećina Kešu, koja leži samo 30 m zapadnije od prethodne, sastoji se od glavnog kanala oblika tunela i jednog bočnog kanala, čija je ukupna dužina 39 m. Kod južnog ulaza, koji je širok 10 i visok 3,5 m, dno je pokriveno kulturnim slojem debljine 0,5—1 m, u kojem su nadjena paleolitska i neolitska kamena orudja. Pećina Janjar se nalazi oko 2 km istočno od oaze Bardaï. Njen kanal je dugačak 32 m i ima oblik tunela. Obrazovana je duž jedne kose rasedne pukotine. Dno je pokriveno slojem tamno smeđe zemlje. Oko 4,5 km južno od pasa Korizo i desno od piste El Gatrun—Zouar, u jednom malom ostrvskom bregu nalazi se pećinski sistem sa dva sprata kanala. Pećina ima tri ulaza, od kojih dva leže u podnožju ostrvskog brega, a treći 4,5 m više. Ukupna dužina

kanala ovog pećinskog sistema iznosi oko 45 m. S obzirom da je u gornjem spratu na jednom mestu došlo do oburvavanja tavanice, može se pretpostaviti da je pećina ranije bila još duža. Pećinski kanali su obrazovani duž manjih horizontalnih i vertikalnih pukotina i po izgledu se ne razlikuju od kanala u krečnjačkim stenama. Veći broj još neispitanih pećina nalazi se u dolini vadija Zouarké zapadno od oaze Zouar. Velika potkapina u ostrvskom bregu Ehi Atroun, desno od piste Zouar — Faya Largeau, bila je dosada više puta pominjana u literaturi (D. Gavrilović, 1969).



Sl. 3. Planovi pećina Tamega, 60 km severno od oaze In Guezzam (Alžir)
Fig. 3. Plans of Tamega caves, 60 km north of the oasis In Guezzam (Algeria)



Sl. 4. Pećina Tamega I; 60 km severno od oaze In Guezzam (Alžir). Foto D. Gavrilović
 Fig. 4. Tamega I Cave; 60 km north of the oasis In Guezzam (Algeria).
 Phot. D. Gavrilović

Ph. Renault (1953) je zabeležio veći broj pećina na prostoru između Tibestija, Aira i Hoggara. Pećina Chemmidou, kod Bilme (Niger), sastoji se od jednog kanala dužine oko 15 m, koji se na jednom mestu proširuje u dvoranicu sa stalaktitima (pretpostavlja se da su silikatni). Pećina Emi Bao kod oaze Seguédine, severno od Bilme, sastoji se od kanala prečnika 2 m i dužine 14 m. Njen ulaz se nalazi 9 m iznad podnožja jednog odseka. Pećina Tougouni Béda kod oaze Beni Dourso, u regionu Djada, ima oblik tunela širine 0,5–2 m i dužine oko 10 m. U srednjem delu pećinski kanal je preizdubljen i ispunjen glinovitim peskom. Najveća poznata pećina u ovom kraja nalazi se kod Ouareka, oko 15 km severno od oaze Djado, a dugačka je 40 m. Ona ima izgled potkapine, sa ulazom visokim 30 m i prostranim kanalom, predisponiranim velikom pukotinom. »Jedan dan hoda« severozapadno od graničnog prelaza In Guezzam, između Alžira i Nigera, u jednom ostrvskom bregu otkrivena su dva pećinska kanala. Donji kanal leži u nivou pedimenta i ispitan je na dužini od 15 m. Gornji kanal se nalazi na vrhu ostrvskog brega, oko 20 m iznad njegovog podnožja, a dugačak je 12 m. Donji i gornji kanal povezuje sistem neprohodnih pukotina.

Oko 60 km severno od graničnog prelaza In Guezzam, u dolini vadija Laouni nalazi se grupa ostrvskih bregova Tamega. Ostrvski bregovi su izgrađeni od

ordovicijumskih silikatnih peščara i visoki su do 50 m.* Imaju vertikalne strane i pravilno zaobljene vrhove, tako da posmatrani iz daljine podsećaju na stogove. H. Mensching, G. Stuckmann (1970) smatraju da su uzvišenja ovakav oblik dobila pod uticajem jake eolske erozije. Ostrvski bregovi su izbušeni mnogobrojnim kanalima, a na njihovim stranama se nalaze velike potkapine. Neke od tih pećina sam ispitao i premerio septembra 1970. godine (sl. 3).

Pećina Tamega I (sl. 4) sastoji se od sistema pukotina i uskih kanala, prohodnih na dužini od 37 m. Oni leže svega 1 m iznad nivoa erozionog pedimenta u podnožju ostrvskog brega. Formirani su duž dijaklaza i dijastruma u silikatnim peščarima i po svom izgledu se nimalo ne razlikuju od pećinskih kanala u krečnjacima. Dno pećine je pokriveno 20—30 cm debelim slojem svetlog glinovito-laporovitog sedimenta, preko kojeg je vetar navejao pesak; banak sličnih sedimentata je očuvan i u susednoj potkapini. U ovom sedimentu je usečeno plitko rečno korito, koje se pruža po dnu pećine i završava na njenom ulazu. Odsustvo eolskog peska u koritu svedoči da je ono još uvek povremeno aktivno. Postojanje sistema pukotina u unutrašnjosti ostrvskog brega, iz kojih se prilikom izlučivanja padavina hrani podzemni tok, ukazuje na morfogenetski značaj mehaničke erozije vode. Posle stvaranja pećine, tokom jednog od poslednjih pluvijala, došlo je do zasipanja doline vadija Laouni i taloženja svetlog sedimenta u pećinskim kanalima.

Pećina Tamega II se nalazi u istom ostrvskom bregu, nekoliko desetina metara jugoistočno od prethodne pećine. Sastoji se od sistema proširenih dijaklaza, prohodnih na dužini od 40 m. Pećina ima tri ulaza i svi oni leže u nivou erozionog pedimenta. Kod severnog ulaza pećinski kanal je širok i visok 3 m, sa poprečnim profilom trouglastog oblika. Veći deo pećine je zasut eolskim peskom, koji na jednom mestu čini smet visok 3 m.

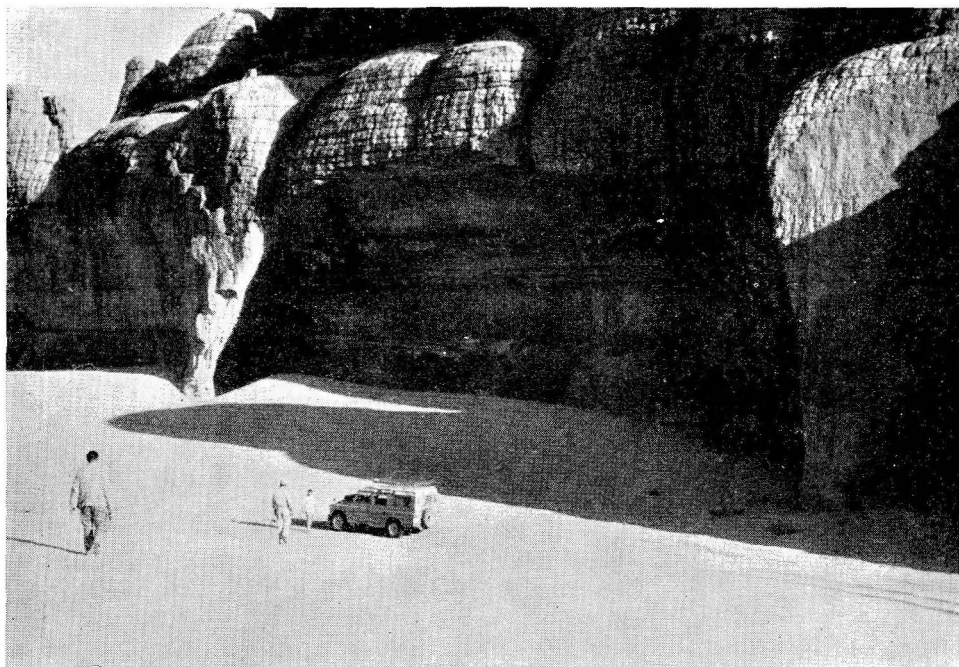
Pećina Tamega III se nalazi na južnoj strani ostrvskog brega, nekoliko desetina metara jugozapadno od prethodne pećine. To je potkapina široka 52 m, visoka oko 15 m i duboka 10 m. Njeni uglačani zidovi su prekriveni patinom, a dno se vezuje za glinovitu ravan pokrivenu dinama (sl. 5).

Desno od severnog ulaza pećine Tamega I nalaze se primitivni crteži bivola i gazela pokriveni patinom, a na zapadnom zidu pećine Tamega III su crteži kamila sa jahačima i tekst ispisan tuareškim pismom »tiffinagh de Air«.

Prisustvo mnogobrojnih pećinskih kanala i potkapina, ispunjenih mladim jezersko-aluvijalnim sedimentima, isključuje mogućnost da su ostrvski bregovi Tamege i In Guezzama svoj sadašnji oblik dobili radom vetra, kao što to tvrde H. Mensching, G. Stuckmann (1970).

G. Conrad, B. Gèze, H. Paloc (1967) pominju veći broj pećina u infrakambrijskim silikatnim peščarima na istočnom obodu planinskog masiva Affolé u Mauritaniji. Jugozapadno od oaze Aïoun su dve pećine dugačke 5 i 10 m, a severno se nalaze pećina Et Tegawddite, dugačka 50 m, i pećine El Meddoub, koje predstavljaju seriju proširenih pukotina. Slični pećinski kanali se sreću u ordovicijumskim peščarima mauritanijskog Adrara, na severnom obodu

* Mineralošku analizu uzorka peščara Tamega izvršio je dr Slobodan Joksimović, saradnik Katedre za petrologiju i geohemiju Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu. Osnovni sastojak stene je kvarc, koji čini preko 95%. Pored kvarca, vrlo retko se javljaju feldspati, biotit i sven. Vezivanje je kontaktno, a vezivna masa je silikatno-limonitska.



Sl. 5. Potkapina Temega III, nastala sonim raspadanjem silikatnog peščara; 60 km severno od oaze In Guezzam (Alžir). Foto D. Gavrilović

Fig. 5. Rock shelter of Tampega III, formed by salt disintegration of silicate sandstone; 60 km north of the oasis In Guezzam (Algeria). Phot. D. Gavrilović

basena Taoudéni i u masivima Assaba i Tagant. Severno od Tagana iz kambro-ordovicijumskih peščara izbija izvor Moudjeria, koji sa izdašnošću od $5 \text{ m}^3/\text{h}$ predstavlja najjači izvor u Mauritaniji. Jedna izvorska pećina se pominje kod Adrara Adafara u Alžiru. To je potkapina široka 40 m, visoka 7–8 m i duboka desetak metara. Obrazovana je u bazalnim konglomeratima, koji leže između infrakambrijskih i kambro-ordovicijumskih peščara. Februara 1964. godine u pećini se nalazilo jezerce dugačko 8 m, široko 2–3 m i duboko 30–40 cm.

Pećine u silikatnim peščarima jugozapadnog Malija, Gvineje i Gornje Volte, odnosno južno od Sahare, opisao je H. Hubert (1920). Dve najveće pećine predstavljaju tunele, kroz koje u sezoni kiša teku reke. Tunel Famiré Tonké je dugačak 60 m, širok 19 m i visok 5 m, a tunel Sanga je dugačak oko 100 m, širok 12 m i visok 2,5–4 m. Obe ove tunnelske pećine se nalaze u predelu Bandiagare, istočno od Moptija u Maliju.

Pećine u silikatnim peščarima su stvorene hemijskim raspadanjem stenovite gradnje i mehaničkom erozijom podzemnih vodotoka, u uslovima semiaridne klime. U centralnoj Sahari ovakve klimatske prilike su vladale tokom kvartarnih i tercijernih pluvijala. Za vreme pluvijala, u sušnom i žarkom delu godine, usled intenzivnog isparavanja dolazilo je do kapilarnog izdizanja vlage, ne samo u

zemljištu, već i one infiltrirane u porama stena. Sa izdizanjem vlage na površinu su iznošene lako rastvorljive soli, koje su zbog svoje higroskopnosti uticale na duže zadržavanje vlage u površinskim delovima zemljišta i stena. Koncentrisanje i duže zadržavanje vlage je bilo naročito izraženo na senovitim mestima, u podnožju stenovitih padina i odseka. Vlaga i soli su na tim mestima izazivale hemijsko i fizičko raspadanje stena, odnosno rastvaranje peščarskog cementa i krunjenje kvarcnih zrna (granularna dezintegracija). Sonim raspadanjem peščara u podnožju odseka su najpre stvorene male niše i previsni zidovi, a kasnije i velike potkapine. Na mestima gde je u nivou okolne ravnice odsek presecao jednu ili više pukotina u stenovitoj masi, postojali su posebno povoljni uslovi za sono raspadanje. Ono je bilo naročito koncentrisano oko otvora ovih pukotina, odnosno na mestima ne samo intenzivnog vlaženja već i isparavanja. Dalje u unutrašnjosti pukotina vlaga je gotovo isključivo poticala od atmosferske vode sa površine i tu je, prilikom izlučivanja padavina, vršena mehanička erozija. To objašnjava malu »dubinu« pećinskih sistema, odnosno činjenicu da su oni pretežno razvijeni paralelno sa odsecima u reljefu. Širi delovi pećinskih sistema, kroz koje se čovek može provući, ne prodiru više od 10 do 15 m u unutrašnjost stenovite mase, a tolika je upravo dubina najvećih pećina. Dakle, pećinske sisteme u peščarima treba posmatrati kao selektivno razvijene potkapine, koje su narastale proširivanjem mreže pukotina od odseka ka unutrašnjosti.

Sonim raspadanjem peščara na isturenim rtovima, ako su oni širi, stvaraju se tunelske pećine — a ako su užji, nastaju prozorci.

S obzirom da u unutrašnjosti peščarske mase postoji mreža vodopropusnih pukotina, slična onoj u krečnjacima, pri razmatranju speleogeneze ne treba zanemariti ni mehaničku eroziju podzemnih tokova. Postojanje podzemnih tokova u peščarima je nepobitno dokazano. Erozija podzemnih tokova se prvenstveno ogleda u evakuaciji oslobodjenih kvarcnih zrna, a delimično i u neposrednom proširivanju pukotina.

Zasada nema jačih dokaza u prilog korozije vode prokapnice i podzemnih tokova. Mali stalaktiti na tavanicama nekih pećina, koji inače predstavljaju izvanrednu retkost, verovatno su nastali selektivnim rastvaranjem mineralnog sastava stene. Njihova mala brojnost i veličina najbolje pokazuju koliko je taj proces slabo izražen.

Eolsku eroziju treba shvatiti kao prateći proces, koji se po svom speleogenetskom značaju može uporediti sa temperaturnim i mraznim razoravanjem stena. To su procesi koji sami ne mogu dovesti do stvaranja pećina i velikih potkapina.

Sonim raspadanjem peščara su stvorene potkapine, prozorci i neke tunelske pećine, a kombinovanim delovanjem sonog raspadanja i erozije podzemnih tokova stvorene su proste i tunelske pećine povezane sa mrežom pukotina u unutrašnjosti stenovite mase.

Recentni proces sonog raspadanja peščara je vrlo slab i uglavnom se vrši na stranama vadija, gde postoji kapilarno izdizanje vlage. Posmatrajući stenovite zidove sa neolitskim crtežima, dolazi se do zaključka da su se za poslednjih približno 3000 godina u podnožju odseka obrazovale olučaste niše duboke jedva nekoliko desetina santimetara i visoke najviše 1—1,5 m. U poredjenju sa potkapinama visokim i do 15 m, to je vrlo malo. Imajući u vidu da se na zidovima većine pećina nalaze neolitski crteži savanskih životinja, da su u nekim pećinama

nadjeni tragovi neolitskih i mlađe paleolitskih ljudskih prebivališta, kao i mlađji jezersko-aluvijalni sedimenti, može se kao pouzdano smatrati da su one stvorene tokom starijeg kvartara ili krajem tercijera. To je približno i starost većine peščarskih ostrvskih bregova u Sahari. Uglavnom, pećine u ostrvskim bregovima su stvorene u završnoj fazi njihovog modelovanja.

Pećine u magmatskim stenama

Zasada je u magmatskim stenama Sahare poznato svega nekoliko sasvim malih pećina i veći broj potkapina. Njihova pojava nije vezana za određenu vrstu stena, a ni procesi koji su uticali na njihovo stvaranje nisu bili isti. Sreću se u bazaltu, trahitu, riolitu, ignimbritu i piroklastičnom materijalu.

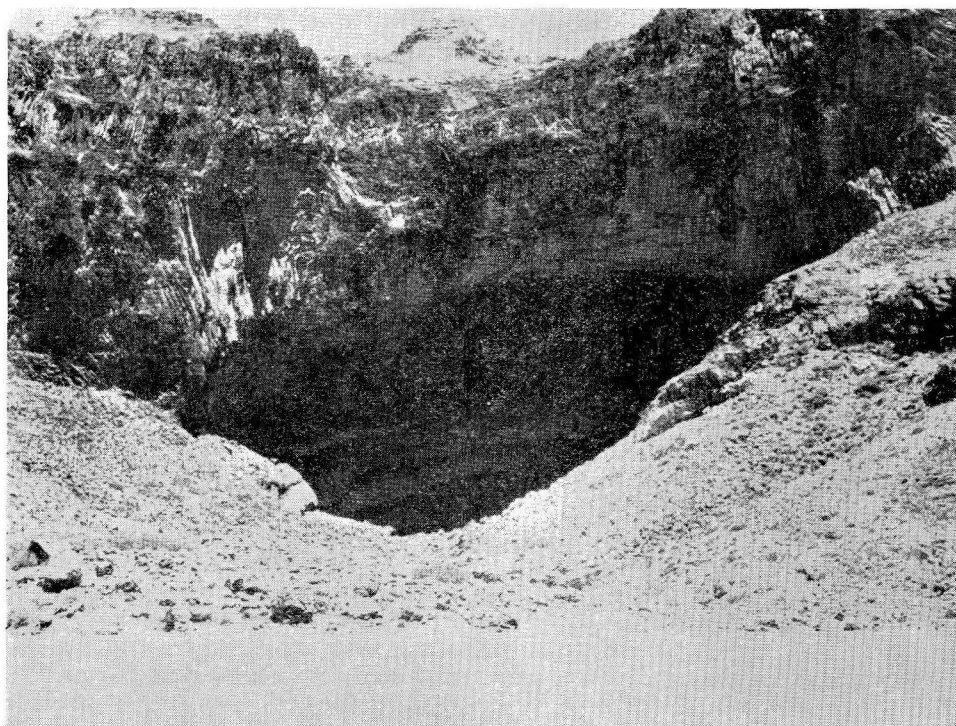
Najbolje su proučene pećine u planinskom masivu Tibestija (D. Gavrilović, 1969). U slivu vadija Modragué otkriven je veći broj pećina — gasnih mehura, koje so nastale prilikom konsolidovanja bazaltne lave. Najveća od njih je dugačka 10 m, široka 4 m i visoka 2 m. Pećine imaju sferni oblik, a zidovi im se sastoje od više koncentričnih tankih slojeva bazalta. U podnožju vulkanske kupe Toussidé postoji više podzemnih prostorija, nastalih kraljušastim konsolidovanjem trahitske lave u uslovima intermitentnih erupcija. Kratki i uski kanali u vulkanskoj kupi Ehi Kassa, između oaza Yebbi Bou i Yebbi Souma, nastali su oticanjem atmosferske vode kroz piroklastični materijal. Na istočnoj padini vulkanske kupe Yéga nalazi se pećina dugačka 20 m, široka 6 m i visoka 3 m, koja je nastala ispiranjem sočiva tufa umetnutog u bazaltnoj lavi. Potkapina Gabor muflon u kalderi Yéga — široka 60 m, visoka 30 m i duboka 40 m — nastala je selektivnom mehaničkom erozijom ispod nekadašnjeg vodopada. Stvaranje pećine je bilo uslovljeno pojavom velikog sočiva opsidijana na kontaktu ignimbrita i bazalta (sl. 6).

U planinskom masivu Hoggara postoji nekoliko potkapina u trahitu, koje su nastale sonim raspadanjem stene i delovanjem drugih spoljašnjih sila. Takve su potkapine u podnožju ostrvskog brega Téguīt, severno od oaze Ilamane, i male potkapine južno od Assekrema. Na severnoj strani trahitskog neka Tezouaīt, jugoistočno od Assekrema, postoji veliki prozorac, koji je uslovljen tektonskom strukturom i izmodelovan spoljašnjim silama.

U planinskom masivu Aira jedna veća potkapina se nalazi na odseku povremeno aktivnog vodopada kod oaze Timija. Ona je dugačka oko 10 m, a obrazovana mehaničkom erozijom rečne vode na kontaktu između starijeg i mlađjeg izliva bazaltne lave.

U riolitskom neku Hadjer-el-Hamis, pored jezera Čad, nalazi se potkapina prečnika oko 10 m, koja je obrazovana na kontaktu prizmatično i kupolasto konsolidovane lave. Pod delovanjem spoljašnjih sila kasnije je bila proširena.

Za razliku od pećina u karbonatnim stenama, koje su stvorene mehaničkom erozijom i korozijom ili pećina u silikatnim peščarima, koje su nastale sonim raspadanjem stene i mehaničkom erozijom — pećine u magmatskim stenama su vrlo različite geneze. Gotovo da se ne mogu naći dve pećine nastale istim procesima. Pojava ovih pećina je prvenstveno uslovljena posebnim strukturno-litološkim pogodba, koje su dalje omogućavale delovanje pojedinih geomorfoloških agenasa.



Sl. 6. Potkapina Gabor muflon u kalderi Yéga u planinskom masivu Tibestija (Čad).
Foto D. Gavrilović

Fig. 6. Rock shelter Gabor Muflon in the caldera Yéga in the Tibesti mountain
(Chad). Phot. D. Gavrilović

Summary

GENETIC TYPES OF CAVES IN THE SAHARA

In the Sahara, one of the most arid regions on the Earth, there have been registered all karst forms — from Karren and sinkholes to karst poljes. However, it is very little known about the karst and the caves, which is understandable considering the size of this desert region and difficult conditions of work in it. Pure limestone rocks have a small extent. The karst forms occur most frequently in the Tertiary sandy and argillaceous limestones and in carbonate sandstones and marls. The caves are met with both in carbonate and in non-carbonate rocks. The caves are most numerous in silicate and carbonate sandstones but they occur also in different kinds of magmatic rocks. It is obvious that the process of speleogenesis had not everywhere the same character.

In dependence upon the lithologic composition of terrains and upon the prevailing geomorphological processes there have been distinguished three fundamental types

of caves: the caves in carbonate rocks, the caves in silicate sandstones and the caves in magmatic rocks. The caves in carbonate rocks have been created by mechanical erosion and corrosion of subterranean streams during the young Quaternary pluvial periods. The caves in silicate sandstones have been created by salt disintegration of rocks and by mechanical erosion of water at the end of Tertiary and in the beginning of Quaternary. The caves in magmatic rocks are conditioned by special structural-lithological circumstances which made possible further action of individual geomorphological agents. Except the original caves, most of them were formed during the last pluvial periods of Quaternary.

Literatura

- Capot-Rey, R., 1939. Pays du Mزاب et région des dayas. Annales de Géographie, No 271, T. 48, 41—62, Paris.
- Chavaillon, J., 1964. Étude stratigraphique des formations quaternaires du Sahara Nord-Occidental. Centre National de la Recherche Scientifique, Géologie 5, Paris.
- Conrad, B., B. Gèze, H. Paloc, 1967. Observations sur des phénomènes karstiques et pseudo-karstiques du Sahara. Revue de géographie physique et de géologie dynamique, V. 9, F. 5, 357—369, Paris.
- Corbel, J., 1971. Les karsts des régions chaudes. Studia geomorphologica Carpatho-Balcanica, V. 5, 49—76, Kraków.
- Cornet, A., C. Pinard, 1957. Sur l'apparition d'un bétair dans la daya Mrara. Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes, T. 15, S. 1, 159—161, Alger.
- Dekeyser, P., A. Villiers, 1952. Une caverne dans l'Adrar mauritanien. Bulletin de la Direction des Mines A. O. F., No. 15, T. 2, 413—420, Paris.
- Gavrilović, D., 1969. Pećine planine Tibesti. Glasnik Srpskog geografskog društva, sv. 49, br. 1, 21—31, Beograd.
- Hubert, H., 1920. Grottes et cavernes de l'Afrique Occidentale. Bulletin du Comité des études historiques et scientifiques de l'A. O. F., No. 1, 43—54, Paris.
- Mainguet-Michel, M., 1967. La bordure occidentale de l'Ennedi. Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes, T. 26, S. 1—2, 7—65, Alger.
- Menchikov, N., 1930. Recherches géologiques et morphologiques dans le nord du Sahara occidental. Revue de géographie physique et de géologie dynamique, V. 3, F. 2, 103—247, Paris.
- Mensching, H., G. Stuckmann, 1970. Beobachtungen zur äolischen Morphodynamik in der nördlichen und zentralen Sahara und im Sahel. »Sudan-Sahel-Sahara«, Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft zu Hannover für 1969, 159 do 189, Hannover.
- Nesson, Cl., 1967. L'Évolution du »Bétair« de la daïa Mrara. Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes, T. 26, S. 1—2, 67—77, Alger.
- 1967. Sur la présence d'un aven dans la région située au nord de la daïa Mrara. Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes, T. 26, S. 1—2, 79—84, Alger.
- Renault, Ph., 1953. Caractères généraux des grottes gréseuses du Sahara méridional. Actes du Premier Congrès International de Spéléologie, T. 2, 275—289, Paris.
- Tilho, J., 1920. The exploration of Tibesti, Erdi, Borkou and Ennedi in 1912—1917. The Geographical Journal, V. 56, No. 2, 81—99, No. 3, 161—183, No. 4, 241—267, London.

Diskusija

N. Čadež:

Kako je z delovanjem vetra?

Odgovor (D. Gavrilović):

Smatram, da vetar nema nikakvog značaja za stvaranje pećinskih kanala, bilo u karbonatnim bilo u nekarbonatnim stenama. Delovanje vetra se jedino ogleda u akumulaciji peska u ulaznim delovima pećina. Izuzetno eolskom erozijom mogu biti modelovane kratke pukotine i kanali tipa prozoraca.

D. Gašparović:

Odnos između pećina i jama u ispitanom području. Postoji nesrazmerje između pojave pećina (naročito u karbonatnim stijenama) i jama.

Pred riječima referenta voda (kiša) prolazi vertikalno kroz pukotine i stvara horizontalni oblik. Po mom mišljenju trebalo bi da na tom vertikalnom putu stvara od pukotina jame, a njih je vrlo malo ili ih uopće nema.

Odgovor (D. Gavrilović):

Sve pećine u saharskom prostoru predstavljaju fosilne oblike. Veza između horizontalnih i vertikalnih kanala vidi se jedino kod pećine Antinea, što ne znači, da ne postoji i na drugim mestima. Osnovni razlog što nema više jama je eolska akumulacija koja ih zasipa i skriva. Kod karbonatnih peščara i laporaca zastupljeni su sufozioni procesi, kojima se na površini obrazuju plitke vrtače tipa daja.

I. Gams:

Ali referent dopušta nastanak krajših jam v Sahari zaradi selektivnega mehaničnega razkrajanja zaradi temperaturne oscilacije, kot to razlagajo nekateri opisovalci jam (G. Corrad, B. Gèze, H. Paloc).

Odgovor (D. Gavrilović):

Pod uticajem selektivnog mehaničkog razaranja stena mogu se brazovati »tafoni« ali ne i pećine.

I. Bušatlija:

Neke pokazane manje pećine liče na one koje su vještački izradjene.

Odgovor (D. Gavrilović):

Sve pokazane pećine su prirodne.

I. Roglić:

Vidimo, da se neke stijene raspadaju hidratacijom soli. Da-li vlaga u pećinskim kanalima može uvjetovati otapanje vapnenog cementa pješčara?

IZVOR APNENČEVEGA PRODA V PLANINSKI JAMI

(z 8 slikami v besedilu in 1 karto ter 4 tablami v prilogi)

THE ORIGIN OF THE LIMESTONE GRAVEL IN THE CAVE OF PLANINA

(with 8 Figures in Text and 1 Map and 4 Plates in Annex)

R A D O G O S P O D A R I Č

(Inštitut za raziskovanje krasa SAZU, Postojna)

R A J K O P A V L O V E C

(Inštitut za paleontologijo SAZU, Ljubljana)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)

Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

Uvod

V Planinski jami je možno videti različno staro in oblikovano sigo, podorne skale vseh velikosti in fluvialno ilovico, pesek in prod.

S speleogenetskega vidika je najbolj zanimiv prod, ker izpričuje nekdanje hidrološke razmere v tej razsežni jami. Po dosedanjih še nedokončanih raziskavah so v različnih rovih Planinske jame ohranjene tri vrste proda, ki se petrografsko in granulacijsko razlikujejo:

— prod belega roženca v Rudolfovem, Mrtvaškem in Katernovem rovu ter v Tihi jami,

— prod raznobarvnega roženca in flišnih kamnin na skalnem dnu Pivškega rokava in

— apnenčev prod v Pivškem in Rakovem rokavu obravnavane jame.

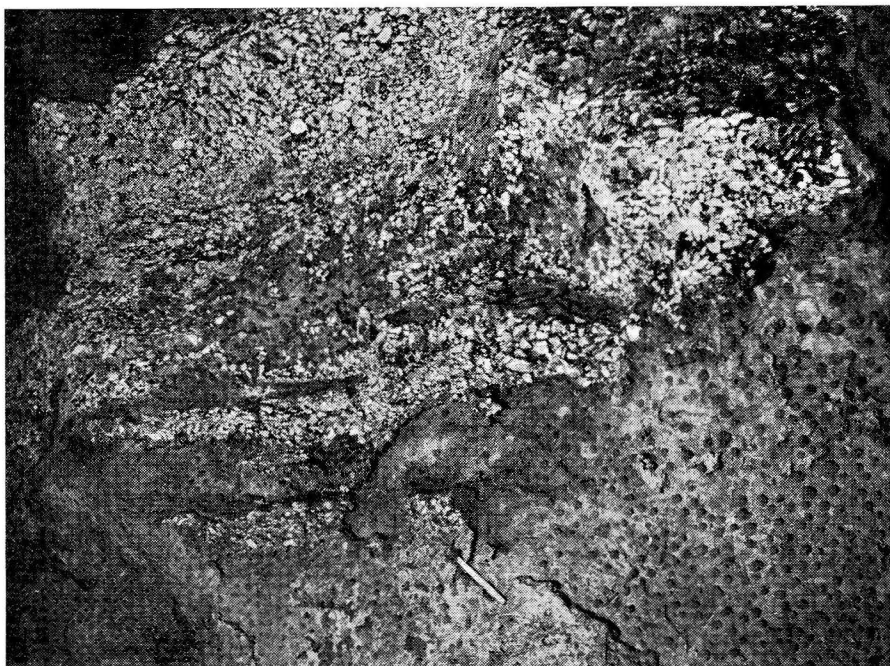
Pozornost vzbujajo predvsem apnenčev prod zaradi makroskopsko enotne sestave, zaradi debeline odložene plasti in izjemne velikosti kosov, ki dosegajo premer 30 cm. Predhodni mikroskopski pregled nekaj prodnikov iz obeh rogov je pokazal svetlosivi zrnati apnenec s foraminiferno favno zgornjekredne starosti. Ker je Planinska jama izdelana skoraj v celoti v apnencu spodnje krede (M. Pleničar, 1961), se je postavilo vprašanje, odkod in kako je zašel ta na prvi pogled alohtoni material v jamo. Odgovor smo iskali pri pregledu avtohtone kamnine, pri kartiranju nahajališč proda po jami, opravili pa smo še več mikroskopskih analiz posameznih prodnikov.

Nahajališča apnenčevega proda po jami

(R. Gospodarič)

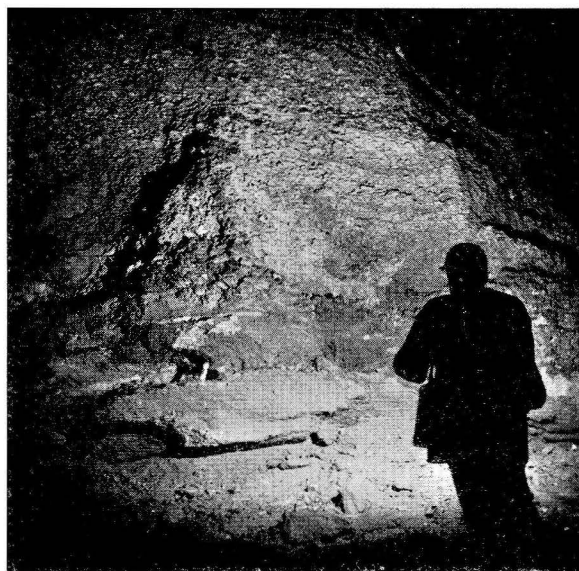
Planinska jama ima doslej znanih skoraj 6000 m rogov (sl. 1). Pretežni del odpade na vodne kanale in sicer Vhodni rov do Sotočja 480 m, Rakov rokav 2500 m in Pivški rokav 1565 m. Manjši del pa sestavljajo krajši, manj razsežni, pretežno suhi rovi kot so Tiha jama 185 m, Mrtvaški rov 150 m, Katernov rov 195 m, Rudolfov rov 200 m, Rov mrtvih netopirjev 250 m in Paradiž konec Pivškega rokava s 435 m.

V Vhodnem rovu je skromen ostanek proda prilepljen na steni malo pred Sotočjem, nadaljnji ostanki so vidni še v prvi polovici Pivškega rokava (sl. 2). V drugi polovici rokava tja do pritočnega sifona pokriva apnenčev prod starejše naplavine vedno bolj na debelo (sl. 3). Po ohranjenem zasipu po rokavu lahko sklepamo, da je apnenčev prod skupaj z ostalimi naplavinami zapolnjeval skoraj ves Pivški rokav. V mlajši erozijski fazi ga je ponornica večinoma zopet odnesla. V suhem rovu Paradižu pa je še v celoti ohranjen; tu zapolnjuje spodnji tretjini



Sl. 2. Planinska jama, Pivški rokav. Krpa apnenčevega proda na steni pri podorni dvorani Golgoti. Foto P. Habič

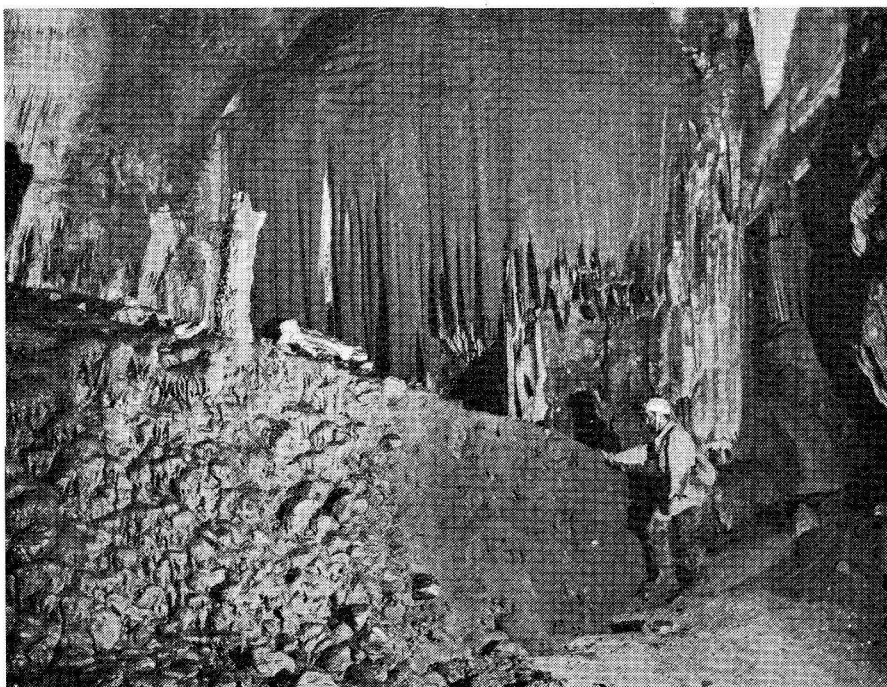
Fig. 2. The Planinska jama, Pivka Branch. A patch of limestone gravel on the wall by the collapsed hall Golgota. Photo P. Habič



Sl. 3. Planinska jama, Pivški rokav. Apnenčev prod nad starejšimi naplavinami.

Foto P. Habič

Fig. 3. The Planinska jama, Pivka Branch. The limestone gravel over the older sediments. Photo P. Habič



Sl. 4. Planinska jama, Paradiž. Terasa apnenčevega proda pod sigo.

Foto P. Habič

Fig. 4. The Planinska jama, Paradies. The terraces of limestone gravel covered with younger formations. Photo P. Habič

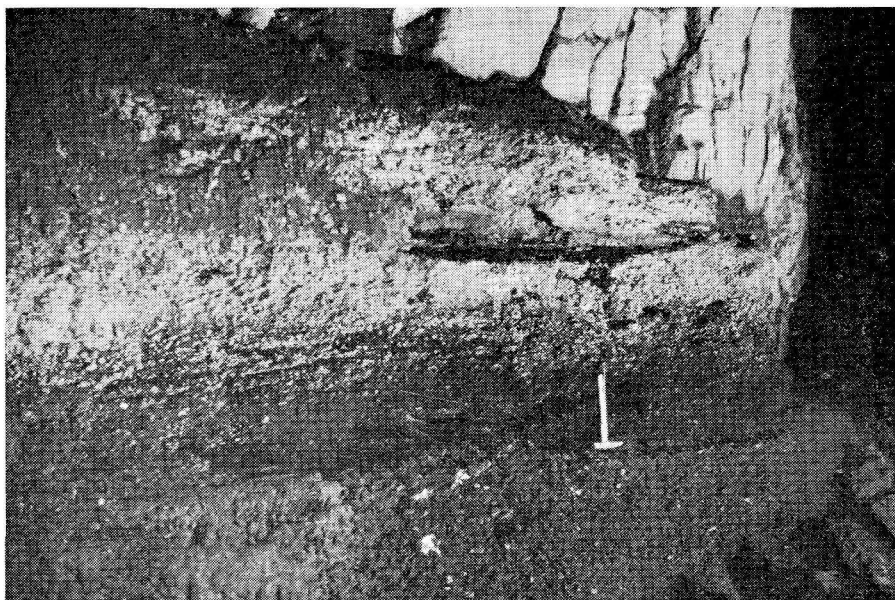
skalnega rova 15—25 m na debelo, prehodna je le zgornja tretjina, kjer je prod pokrit s sigo (sl. 4).

V enem izmed številnih sedimentnih gričev sredi Pivškega rokava pokriva 9 m debela plast apnenčevega proda starejše skalno dno (sl. 5). Plast sega do abs. višine 475 m, kar je za 20 m nižje kot v Paradižu, a za 10 m višje kot v začetnem delu Pivškega rokava. V tem zasipu so spodaj sprijeti, slabo zaobljeni kosi apnenca brez peska in ilovice, zgoraj pa je teh flišnih primesi med zlep-ljenimi kosi apnenca več. Vrh zasipa so sigo in podorne skale. Petrografsko sestavljajo prod izključno kosi svetlosivega apnenca, ki vsebuje mikrofosile in makrofosile zgornjekredne starosti. Na enih kosih smo videli odtise rebraste lupine hondrodonte ali ostreje.

V Rakovem rokavu je ohranjenega morda celo več apnenčevega proda kot v Pivškem rokavu. Vidimo ga ob stenah in pod podornimi bloki ter sigo v podornih dvoranah in v različno visokih kupih med poedinimi jezeri (sl. 6). Prav očitne so nasipine po skalnem dnu med obema stenama v prvi polovici Pisanega kanala. Ostanki proda segajo do nadmorske višine 470 m, zapolnjujejo spodnjo polovico rokava.

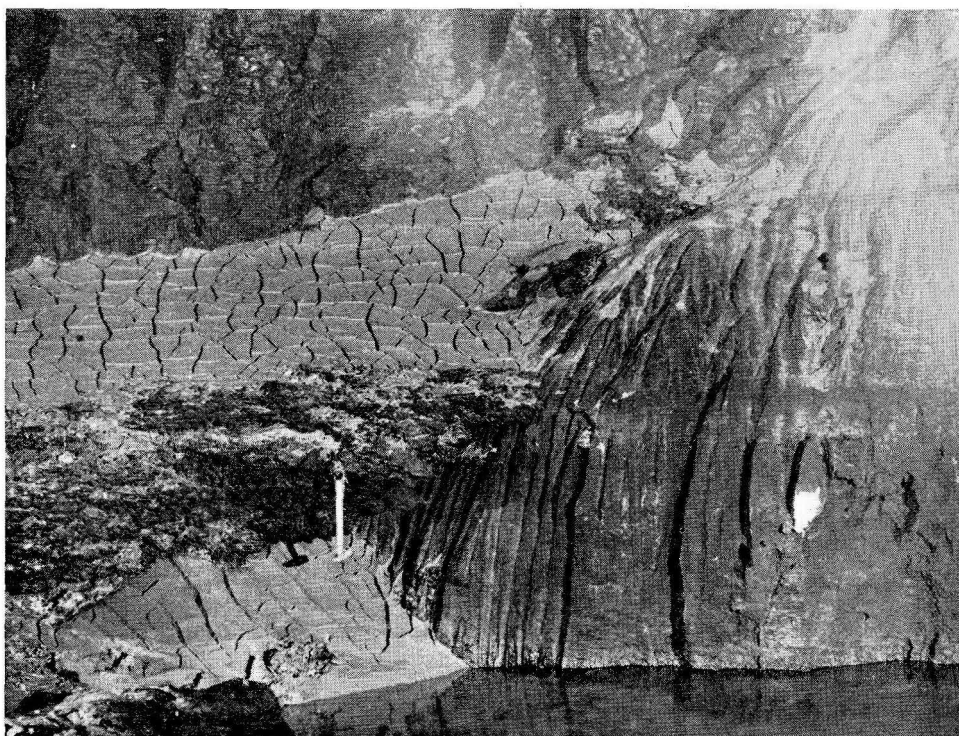
Sl. 5. Planinska jama, Pivški rokav. Na nekdanje skalno dno rova odloženi apnenčev prod.
Foto P. Habič

Fig. 5. The Planinska jama, Pivka Branch. The limestone gravel deposited on the former rocky bottom. Photo P. Habič



Sl. 6. Planinska jama, Rakov rokav. Ob steni rova ohranjen apnenčev prod.
Foto P. Habič

Fig. 6. The Planinska jama, Rak Branch. The limestone gravel conserved on channel's wall. Photo P. Habič



Sl. 7. Planinska jama, Rakov rokav, Pisani kanal. Na starejšo sigo naslonjena plast apnenčevega proda. Foto P. Habič

Fig. 7. The Planinska jama, Rak Branch, Channel Pisani kanal. The layer of the limestone gravel leant against the older formation. Photo P. Habič

V Pisanem kanalu je najbolj zanimiv 4 m visok nasip proda, ki smo ga mogli omejiti ob nizki vodi jeseni 1971, saj je sicer ob visoki vodi poplavljen. Apnenčev prod je odložen na skalno dno ali na starejšo pasovito ilovico, vsekakor pa ob baldahin sigo ob levi steni (sl. 7). Ker je tu in tam tudi pokrit s sigo, je sklepati na njegovo odlaganje med dvema obdobjema nastajanja sige. V obravnavanem nahajališču ima prod 75 % apnenčevih kosov, 10 % peska flišnega izvora in 15 % rjave in rdečkaste ilovice. Med prodniki je le 10 % temnosivih kosov avtohtonega apnenca, ki je v njem izdelan Rakov rokav, ostalo so kosi drugotnega svetlosivega zrnatega apnenca. V teh kosih je R. Pavlovec ugotovil foraminifere *Aeolissacus kotori*, *Nezzazata simplex*, *Cuneolina* sp., *Cyclolina* sp., *Praealveolina*, *Vidalina* in še miliolide, tekstularije in razne rotaline, kar vse mu govori za zgornjekredno starost.

Opis in starost mikrofosilov

(R. Pavlovec)

Iz apnenčevih prodnikov, ki so bili najdeni v Pivškem in Rakovem rokavu Planinske jame, je bilo narejenih več zbruskov. V njih se pojavljajo precej redki drobci školjčnih lupin in polževih hišic. Več pa je mikrofosilov, ki so naštetih v spodnji tabeli in prikazani na tablah 1—4.

Species	R	P
? <i>Aeolissacus</i> sp.		?
<i>Bacinella irregularis</i> Radoičić		+
? <i>Thaumatoporella</i> sp.		?
<i>Textulariidae</i> na splošno	+	+
<i>Textularia</i> sp.		+
<i>Cuneolina</i> sp.	+	+
<i>Cyclolina</i> sp.	+	+
<i>Dicyclina</i> sp.	+	
<i>Spiroloculina</i> sp.	+	+
<i>Miliolidae</i> na splošno	+	+
<i>Quinqueloculina</i> sp.	+	+
<i>Triloculina</i> sp.	+	+
<i>Nummuloculina</i> sp.		+
<i>Nezzazata simplex</i> Omara	+	+

R = Rakov rokav Planinske jame

P = Pivški rokav Planinske jame

+ = ugotovljen mikrofosil

? = podatek ni zanesljiv

Aeolissacus sp.

Med rastlinskimi ostanki so v nekaterih zbruskih redki in nejasni podolžni ter prečni prerezi majhni mehurčkov. Po obliki in velikosti zelo spominjajo na *Aeolissacus*, vendar jih zaradi slabe ohranjenosti ne moremo zanesljivo prišteti temu rodu. Še teže je seveda trditi, da so podobni vrsti *Aeolissacus kotori*, katero je Radoičić (1959, 88, tab. 2, sl. 2) našla v mlajših krednih plasteh iz Dinaridov. Še danes ni pojasnjeno, ali *Aeolissacus* res pripada algam in ga zato prištevajo med problematične fosile.

Bacinella irregularis Radoičić

Leta 1959 je Radoičić opisala novo vrsto alg, ki jih je imenovala *Becanella irregularis*. Pozneje je sama popravila ime v *Bacinella* (Radoičić, 1972).

Vrsta *Bacinella irregularis* je bila prvič najdena v dolini Vrbasa v Bosni. Ugotovili so jo tudi drugod v Dinaridih (v Črni Gori in v Dalmaciji) ter v vzhodni in južni Srbiji.

Alga *Bacinella irregularis* ima v prerezu nepravilno potekajoče stene, kakršne smo ugotovili tudi v zbruskih iz Pivškega rokava Planinske jame. Pojavljajo se skupaj z redkejšimi drugimi algami, ki nekoliko spominjajo na rod *Thaumatoporella*, vendar so za točnejšo determinacijo preslabo ohranjene. Skupaj z vrsto *Bacinella irregularis* se pojavljajo *Quinqueloculina*, *Nummuloculina*, *Textulariidae*, *Cyclolina* in nejasni prerezi neke formanifere, ki je zelo podobna rodu *Nezzazata*.

Textulariidae

V mnogih zbruskih so prerezi aglutiniranih biserialnih foraminifernih hišic. Številne kamrice alternirajo med seboj, tako da v podolžnem prerezu kamrici enega zavoja nikoli ne ležita v isti ravnini.

Takšne hišice so značilne za družino *Textulariidae*. Nekatere prereze lahko zanesljivo prištejemo rodu *Textularia*.

Cuneolina sp.

V zbruskih je precej prerezov hišic iz rodu *Cuneolina* (družina *Ataxophragmiidae*). Poznamo jih po značilni biseralni razporeditvi kamric v prečnem prerezu hišice. Mnogo redkejši so podolžni preseki, med katerimi je samo pri enem vidna ozka in visoka hišica, ki se začenja s precej veliko začetno kamrico. Vrste nam ni uspelo določiti, zakaj kamre in prečne pregrade so v zbrusku preslabo vidne.

Cyclolina sp.

V prodnikih iz Planinske jame smo ugotovili dva predstavnika družine *Dicyclinidae*. To sta rodova *Cyclolina* in *Dicyclina*. Prečni prerez hišic rodu *Cyclolina* spoznamo po eni vrsti kamric, ki so v sredini hišice zelo majhne, proti zunanjemu robu pa se večajo. Takšnih prerezov je v zbruskih precej. Mnogo redkejši so tangencialni preseki hišic, medtem ko nismo našli nobenega orientiranega podolžnega prereza.

Dicyclina sp.

V zbruskih smo našli nekaj prerezov hišic rodu *Dicyclina*. Zelo zanimiv je podolžni prerez hišice, pri kateri je viden celo začetni del. Za okroglim protokonhom je šest v spirali nanizanih kamer, ki se od protokona naprej večajo in nimajo pregrad. Sedma kamra je mnogo daljša in razdeljena na kamrice. Kmalu zatem se začne ciklična zgradba hišice, pri kateri so nizke kamre razdeljene na številne kamrice.

Spiroloculina sp.

V zbruskih smo našli več prerezov hišic rodu *Spiroloculina* (družina *Nubeculariidae*). V prerezu se vidita po dve kamrici v vsakem zavoju, od katerih je naslednja precej večja od prejšnje. Takšnih hišic je v zgornje-

krednih plasteh iz raznih delov Evrope precej, vendar samo po njihovih prerezihi vrst ni mogoče določiti.

Miliolidae

Od družine miliolid smo v zbruskih iz Planinske jame ugotovili rodove *Quinqueloculina*, *Triloculina* in *Nummuloculina*. Teh prerezov je v nekaterih mikroskopskih preparatih toliko, da bi kamnino lahko imenovali miliolidni apnenec. Drugod je te favne manj. Po prerezihi hišic foraminifer iz družine *Miliolidae* ni mogoče določiti posameznih rodov ali vrst, tako da praktično ne moremo ločiti nekaterih krednih ali terciarnih predstavnikov istega rodu.

Nezzazata simplex O m a r a

V nekaterih zbruskih nastopajo hišice vrste *Nezzazata simplex*, ki niso v nobenem našem preparatu posebno pogoste. Vidni so značilni prečni prerezi z začetno kamrico, zavojnim robom, ki se hitro lomi, in dolgimi, poševno nagnjenimi septalnimi linijami. V tangencialnem prerezu so naštetni elementi hišice zelo nepravilni.

Mikrofosili iz Planinske jame so nam pokazali naslednjo starost apnenca, v katerem smo jih našli.

R. R a d o i č i ć (1960, 62) sicer omenja fosile, podobne predstavnikom rodu *Aeolissacus* že iz barremijskih plasti. Vendar se pojavijo zanesljivi ostanki tega mikrofosila šele v kamninah, ki jim pripisuje albijsko — cenomanijsko starost (str. 88).

Za plasti z vrsto *Bacinella irregularis* navaja R a d o i č i ć (1959, 89) barremijsko — aptijsko starost. Vendar pozneje trdi (R. R a d o i č i ć (1960, 68), da kažejo nekateri podatki tudi na pojavljanje te vrste v mlajših plasteh.

Textulariidae niti kot skupina, niti kot rod *Textularia* nimajo stratigrafskega pomena. Pojavljajo se od karbonske dobe, žive pa še danes.

Rod *Cuneolina* se prvič pojavi v spodnji kredi, verjetno v albiju (L o e b l i c h in T a p p a n, 1964, 285).

Predstavniki rodov *Cyclolina* in *Dicyclina* so znani od cenomanija naprej (A. R. L o e b l i c h in H. T a p p a n, 1964, 302 in 303). Rod *Spiroloculina* je znana od zgornje krede do danes. Tudi miliolidni rodovi nimajo pomena za podrobnejšo ugotavljanje starosti. Pojavljajo se od jure naprej, žive pa še danes.

O vrsti *Nezzazata simplex* nimamo veliko podatkov iz naših krajev. R. R a d o i č i ć (1960) jo omenja iz cenomanija, največ iz starejšega dela te dobe. To vrsto je istega leta kot O m a r a opisal pod imenom *Begia gyra* tudi S m o u t (1956, 340, tab. 1, sl. 1—9). Našel jo je v spodnjem cenomaniju iz Iraka ter v spodnjem turoniju iz Iraka in Irana. Vendar S m o u t o v o ime ni veljavno, ker je prioriteto ime *Nezzazata simplex* (cf. A. R. L o e b l i c h in H. T a p p a n, 1964, 481).

Ce analiziramo vse navedene mikrofosile glede na njihovo statigrafsko pripadnost, lahko zaključimo, da so apnenci v prodnikih iz Planinske jame cenomanijske starosti. Na to kažeta predvsem rodova *Cyclolina* in *Dicyclina*, ki se pojavita šele v tej dobi. Tudi *Nezzazata simplex* ni znana iz časa pred cenoma-

nijem. Na starejši del zgornje krede pa kaže *Bacinella irregularis*, ki je največkrat ugotovljena v spodnji kredi, vendar očitno sega še v spodnji del zgornje krede.

V zvezi s preiskanimi mikrofosili iz Planinske jame moramo omeniti pred leti opisane vzorce apnenca z mikrofosili iz jame Logarček pri Lazah (R. Pavlov, 1961). Tudi tam se pojavljajo *Textulariidae*, *Miliolidae*, *Cuneolina* sp. in verjetno *Nezzazata simplea*. V Logarčku je bilo precej hišic rodu *Orbitolina*, katerih v prodnikih iz Planinske jame nismo opazili. Pač pa je bila v Logarčku najdena vrsta *Ovalveolina ovum* (D'Orbigny), ki je znana iz cenomanija in turonija. Tudi v prodnikih iz Planinske jame smo našli nejasne prereze neke foraminifere, ki včasih zelo spominja na omenjeno obliko. Potemtakem lahko zaključimo, da je bila v prodnikih iz Planinske jame ugotovljena precej podobna mikrofavna kot v Logarčku. Apnenca iz Logarčka so prav tako prišleli cenomaniju (R. Pavlov, 1961, 62).

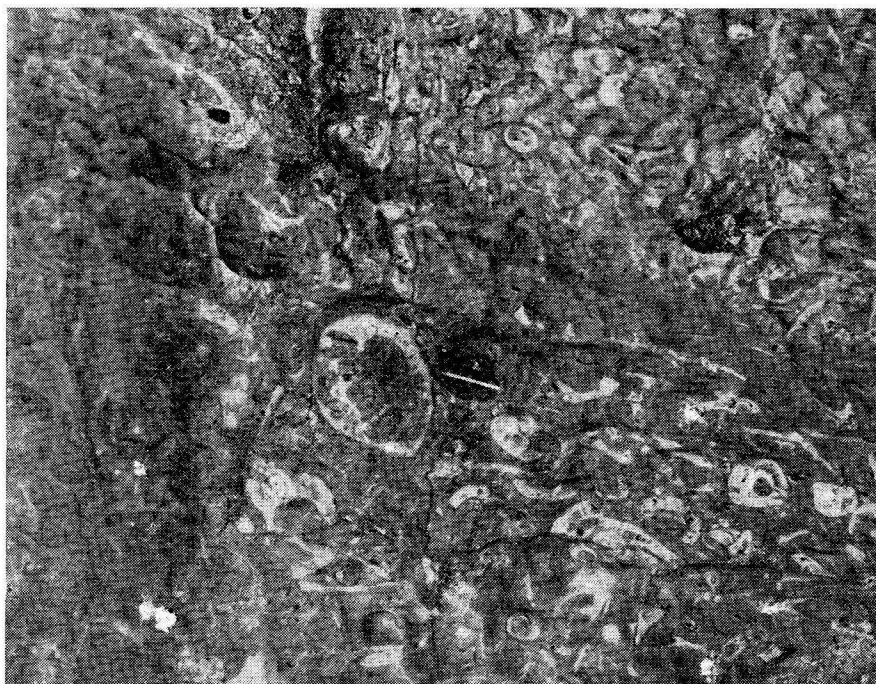
V okolici Trsta sta preiskala nekatere kredne profile M. Masoli in F. Ulcigrai (1969). Za nas so posebno zanimivi podatki iz Somatorce, kjer sta ugotovila mikrofavno skoraj do konca albijskih plasti, medtem ko cenomanijski del profila ni bil preiskan. V vrhnjem delu albijskih plasti (str. 75) sta ugotovila predstavnike skupin *Cuneolina*, *Nautiloculina*, *Chrysalidina*, *Textulariidae*, *Valvulinidae*, *Ophtalmidiidae* pa tudi *Thaumatoporella* in *Cylindroporella*. V drugih profilih so bili še predstavniki vrst *Nezzazata simplex*, *N. cf. conica* in *Aeolissacus kotori*. Celotna združba torej precej spominja na ono iz prodnikov v Planinski jami, čeprav M. Masoli in F. Ulcigrai (1969) prištevata preiskane plasti albiju, prodniki iz Planinske jame pa so cenomanijski. Še posebej zanimiva pa je oblika, ki sta jo M. Masoli in F. Ulcigrai (1969, tab. 5, sl. 9) prišlela vrsti *Nautiloculina oolithica* Mohler. V nekoliko slabše orientiranem prerezu ta oblika namreč spominja na ono iz prodnikov v Planinski jami, katera je nekoliko podobna *Ovalveolina ovum* iz Logarčka. Po tem primeru je jasno, kako izredno težko je določevati mikrofosile po slučajnih prerezech v zbruskih. Orientiranih presekov zlasti mikroforaminifer v kamninah, v katerih le-te niso posebno pogoste, skoraj ni mogoče dobiti. Zato lahko privedejo določitve neorientiranih ali slabo ohranjenih hišic do velikih napak.

Rezultati

(R. Gospodarič)

Apnenčev prod v Planinski jami je iz kamnin cenomanijske starosti, zato lahko sklepamo, da ga je nanesele ponornica iz zaledja jame, kjer se take kamnine nahajajo in gradijo del Postojnskega krasa.

Na geološki karti list Postojna 1:100 000 (1967) je kilometer širok pas turonijsko — cenomanijskih apnenecov zarisan med Mačkovcem nad Planino in Ravbarkomando pri Postojni, potem pa na severnem pobočju Javornikov (gl. sl. 1). Po teh kamninah so deloma speljane planinske ride, v njih je vrtačasti svet z izrazito udornico Planinsko koliševko pri Mačkovcu. V golicah tukajšnjega krasa lahko najdemo številne makrofosile kot npr. školjke rodu *Chondrodonta* in *Neithea* ter družine *Caprinaea*, ki so značilne za spodnji del zgornje krede (M. Pleničar, 1961).



Sl. 8. Planinska jama, Paradiž. Preseki kaprinid v erodirani steni rova, cenomanij

Fig. 8. The Planinska jama, Paradies. The Caprinidae section in the eroded gallery wall, Cenomanian age

Skladi cenomanijskega neskladovitega in skladovitega apnenca so v glavnem nagnjeni proti zahodu za 20—30°. Zato jih nekako 150 m pod površjem zadene današnja podzemeljska Pivka v nedostopnem delu za Pivškim rokavom. Pa tudi sam sklep rokava in suhi Paradiž sta v takem apnencu, o čemer pričajo številni preseki kaprinid v skalnih stenah Paradiža (sl. 8). Geološka zgradba torej nakazuje izvor obravnavanega proda v neposrednem zaledju Pivškega rokava Planinske jame. O tem pa pričajo tudi ugotovljeni podatki o legi in debelini odložene prodne plasti po jami ter petrografska sestava in zrnavost samega proda.

Prodna plast se tanjša od 25 m v Paradižu na 4 m v Rakovem rokavu. Spodnja meja odlaganja je prilagojena rahlo nagnjenemu skalnemu dnu rokavov in ostankom starejših sedimentov, ki dno pokrivajo, saj pade v vsej dolžini le za 5 m. Zgornja meja je nasprotno znatno bolj nagnjena, od višine 495 m v Paradižu na 480 m sredi Pivškega rokava in 460 m v Rakovem rokavu. Nizvodno po jami lahko rekonstruiramo nekakšen podzemeljski vršaj paravtohtonega proda, ki ima proti izhodiščnemu viru vedno debelejšo plast in večje posamezne kose, v večji oddaljenosti od tega vira pa tanjo plast in bolj drobne kose (priloga 1).

Kot najbolj verjeten in najbližji vir apnenčevega proda, lahko rečemo tudi grušča, se kaže udornica Planinska koliševka. Ta je od zasiganega sklepa Paradiža oddaljena le 150 m v NW smeri. Po površju pri Mačkovcu vidimo njen 100 m velik premer ter 60 m globoka tla iz recentnih podornih blokov. Živostikalne stene in dno se nedvomno nadaljujejo navzdol do višine skalnega stropa Paradiža oziroma rovov, ki še niso odkriti med Paradižem in udornico. Višinska razlika zgornjega roba udornice in njenega domnevnega skalnega dna znaša približno 140 m. Tako globoka je bila udornica v dobi, ko so intenzivno razpadale njene stene in neposredno okoliško površje. Mehanski grušč je padal v strugo ponornice, ki ga je morala sproti odnašati in valiti v nizvodni Paradiž, Pivški in Rakov rokav. Ko pa se je ponornica preusmerila v druge nižje kanale ali pa ni bil njen tok več dovolj izdaten, da bi tak transport opravljal, je grušč polagoma udornico zasipaval. Zveza s podzemljem se je prekinila. V Planinski jami so se med avtohtono sigo in podorne skale odlagali le še alohtoni sedimenti, ki jih je ponornica po drugi poti prinašala iz Pivške kotline.

Navedena spoznanja o apnenčevemrodu v Planinski jami pojasnjujejo razvoj udornice in podzemlja, govorijo o posebnih hidroloških in klimatskih razmerah, pri katerih se je oblikoval ta del postojanskega jamskega sistema. Posebej je omeniti, da je nekdanja Pivka tekla skozi Pivški rokav v Rakovega in v zatrepno dolino Malenščice in ne samo v zatrepno dolino pri Planini tako kot danes. To z geološkimi dejstvi dokazano ugotovitev bo treba namreč upoštevati pri reševanju zapletenih in še nerešenih hidroloških razmer v Rakovem rokavu (P. Habič, 1969). Vse pa kaže, da je tudi speleogeneza podzemlja med Pivško kotlino in Planinskim poljem močno povezana z raznovrstno sedimentacijo klastičnih naplavin, ki so v jami in podzemlju nasploh ohranjeni, na površju pa že odstranjeni. Primer obravnavanega apnenčevega proda v Planinski jami tudi pravi, da bo preučevanje speleogeneze uspešno, če bomo poleg speleoloških upoštevali tudi geološke podatke.

Summary

THE ORIGIN OF THE LIMESTONE GRAVEL IN THE CAVE OF PLANINA

Among various allothonous sediments in the Planinska jama (Fig. 1) the limestone gravel has been specially studied. It is found stucked on the walls (Fig. 2), in the hills (Fig. 3), and on the rocky bottom (Fig. 5) and in 15–25 m. thick layer in Paradise near the end of Pivški rokav (The Pivka Branch) of that cave (Fig. 4). In the Rakov rokav (The Rak Branch) it is found on the rocky bottom and walls and over older formations (Fig. 6 and 7). The microfossiles, cited in the table on the page 175 and showed on the plates from 1 till 4, have been found in the limestone gravels. Analysing cited fossiles regarding their stratigraphical place, we can conclude, that the limestone in the gravels from Planinska jama belong to Cenomanian. That is shown by genera *Cyclolina* and *Dicyclina*, which appear in that age only. As well *Nezzazata simplex* is not known from time before Cenomanian. *Bacinella irregularis* speaks for the older part of Upper Cretaceous, although it was several times stated in the Lower Cretaceous, evidently it extends to the lower part of the Upper Cretaceous.

The Planinska jama lies in the Lower Cretaceous limestone (M. Pleničar, 1961, Geological Map, Sheet Postojna, 1967), only the final part in the Pivški rokav lies in the Cenomanian limestone, proved by Caprinidae (Fig. 8). Because of paleontological analyse, showing the Cenomanian age of the limestone, composing the gravel in the cave, it was logically concluded that the origin of that material can be searched in the hinterland of Pivški rokav. The data of position and thickness of gravel layers and gravel's granulation, as well their roundness and petrographical composition proved the same conclusion.

The collapse doline Planinska koliševka represents the nearest and the more sure source of mechanical rubble which have been deposited by the sinking river in the cave. In the time of limestone gravel sedimentation the sinking river Pivka, have to flow about 2 m./sec. and wore the mechanical rubble, produced in the collapse doline and on the surface around it, away. If that favourable hydrological and climatological factors did not correspond we should not find such a quantity of the gravel in the cave. The supposed sedimentation course is shown on the figure (Fig. 9 on the Appendix 1).

The statement, that the sinking river deposited the gravel in the Pivški and Rakov rokav, what means, that it was flowing towards both closed valleys near Planina and Malni, have to be mentioned. The complicated hydrological conditions in Rakov rokav, (P. Habič, 1969) from where the water flows towards Malni and towards Planina too, without knowing, where it inflows into Rakov rokav, could be explained by that statement.

The example of the limestone gravel in the Planinska jama shows the dependancy of today's hydrology and morphology of the cave to the development and origin of the channels and the sediments of the underground in Pleistocene. Planinska jama represents as well a very suitable karstic underground where by the help of the absolutely dated flowstones the time of the collapse doline's origin on the surface can be stated. There were no similar problems studied in the Classical Karst.

Literatura

- Habič, P. 1969. Javorniški podzemeljski tok in oskrba Postojne z vodo. Naše jame 10 (1968), 47—54, Ljubljana.
- Geološka karta, list Postojna 1 : 100 000, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Loeblich, A. R. in H. Tappan, 1964. Treatise in Invertebrate Paleontology — C. Protista 2. Geol. Soc. America, Univ. Kansas Press, 1—900, Lawrence.
- Masoli, M. in F. Ulcigrai, 1969. Termini albiani nella serie stratigrafica del Carso Triestino. Studi Trent. Sc. Nat., Sez. A 46, 65—91, tav. 1—18, Trento.
- Pavlovec, R., 1961. Zgornjekredna mikrofavna iz Logarčka pri Lazah. Naše jame 2, 59—63, Ljubljana.
- Pleničar, M., 1961. Prispevek h geologiji postojnskega jamskega sistema. Naše jame 1—2 (1960), 54—58, Ljubljana.
- Radoičić, R., 1959. Nekoliko problematičnih mikrofosila iz dinarske krede. Vesnik Zav. geol. geofiz. istraž. 17, 86—72, tab. 1—3, Beograd.
- 1960. Mikrofacije krede i starijeg tercijara spoljnih Dinarida Jugoslavije. Paleontol. jug. Dinarida, ser. A (mikropaleontol.) 4, 1, 1—172, Titograd.
- 1972. *Bacinnella ? sterna* nov. sp. (Codiaceae) from the Cenomanian of the environs of Orahovac (Metohija). Bull. sci., sect. A, 17, 228—229, Zagreb.
- Smout, A. H., 1956. Three new Cretaceous genera of foraminifera related to the Ceratobulimidae. Micropaleontology 2, 335—348, pl. 1—2, New York.

POJASNILA K TABLAM — EXPLANATIONS TO THE PLATES

(str. — p. 176/177)

Vse fotografije so narejene po zbruskih prodnikov iz Planinske jame. Fotografiral Ciril Gantar.

All photographs from the thin sections of pebbles from the Planina cave made by Ciril Gantar.

KONCENTRACIJA CO₂ V JAMAH V ODVISNOSTI
OD ZRAČNE CIRKULACIJE (NA PRIMERU
POSTOJSKE JAME)

(z 2 slikama v besedilu)

CONCENTRATION OF CO₂ IN THE CAVES IN RELATION TO THE AIR
CIRCULATION (IN THE CASE OF THE POSTOJNA CAVE)

(with 2 Figures in Text)

I V A N G A M S

(Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, Ljubljana)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)

Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10.—15, October 1972)

Koncentracija CO_2 v jamskem zraku je zanimiva z raznih vidikov. Kjer voda odlaga sigo, uhaja iz nje po obstoječih formulah sproščeni CO_2 . Če pri tem pade celokupna trdota npr. z 200 mg CaCO_3 /l na 160 mg, kar je v naših jamah pri počasnejšem polzenju in kapljanju pogosto, se zmanjša ekvivalentni CO_2 pri 10° C za okoli 7 mg CO_2 . V jamah, kjer raste obilica kapnikov in je slabotna zračna cirkulacija, bi zato pričakovali visoke koncentracije CO_2 . Po isti logiki bi v zaprtih špranjah in votlinah, skozi katere prehaja sigotvorna kapnica, koncentracija CO_2 tako narasla, da bi preprečila nadaljno tvorbo sige zaradi izenačenega parcialnega pritiska CO_2 v zraku in v vodi. Toda v praksi naletimo v raznih usekih v apnenca na številne, povsem s sigo zapolnjene votlinice.

V novejšem času je koncentracija CO_2 zanimiva za speleoterapijo. Trdijo, da je v jamah, v katerih zdravijo paciente, več CO_2 in manj kisika. Zato mora pacient, ki boleha na dihalih, hitreje dihati, z večjo količino zraka pa gre skozi pljuča tudi več kalcijevih ionov in drugih zdravilnih elementov jamskega zraka (K. H. Spannagel, 1969). V tako obiskovanih jamah, kot je Postojnska, v kateri se letno zadržuje tri četrto milijona turistov, je vprašanje koncentracije ogljikovega dvokisa tudi vprašanje zdravega okolja. Saj jamskih prostorov, v katerih je v Belgiji po več desetkrat več CO_2 kot v prostem ozračju (Ek et al., 1968 a), ne moremo zračiti kot običajne dvorane.

V krasoslovni literaturi je pojav CO_2 v kraških jamah vključ obilici posameznih meritev nedognano vprašanje. Premalo je še meritev vzdolž jam, glede na vertikalno stratifikacijo ter letni čas, vse v odvisnosti od ostalih prirodnih pogojev jamskega okolja (več o meritvah J. Gams, 1970, 36). Doslej je bila v Postojnski jami koncentracija merjena samo v časovni dimenziji. Od aprila 1963 do konca marca 1964 je bila vsakih 14 dni merjena koncentracija CO_2 v Rovu Biospeleološke postaje pred vrati in izza njih pri vodnih bazenih ter v Pralnici. Titrimetrično določevanje CO_2 je potekalo s pomočjo reagentov baritovice, oksalne kisline in fenolftaleina po metodi in z instrumentarijem, kot ga je posredoval Oddelek za anorgansko kemijo FNT univerze v Ljubljani. Zrak za analizo je bil vzet 1 m nad tlemi. Ugotovljene so bile razmeroma nizke koncentracije, ki so na omenjenih treh mestih nihale dokaj vzporedno in v razponu od 0,03 do 0,15 ‰ prostornine zraka. Nizke vrednosti so bile pozimi in spomladi, višje poleti in jeseni. V nasprotju s pričakovanjem je nihala koncentracija CO_2 v vse leto zaprti Biospeleološki postaji podobno kot v odprtem Glavnem rovu (I. Gams, 1968).

Da bi poglobili znanje o koncentraciji CO_2 v globini jame ter v vertikalni stratifikaciji, so bile meritve v Postojnski jami obnovljene v l. 1972. Omogočil jih je Zavod Postojnske jame, ki je nabavil lahko prenosno aparaturo trdke Dräger ter cevke, ki z reagenti hidrazin in redoxin-indikator na mestu meritev

določujejo vsebnost CO_2 . Ta metoda sicer ni najcenejša, a je od vseh, ki jih v svetu uporabljajo (glej: 1. Ek et al., 1968 a), najhitrejša.

Prve meritve vzdolž jame so bile opravljene 4. aprila 1972, ko se je končala zimska zračna cirkulacija. Tedaj je bilo pričakovati najnižje vrednosti. Zaradi epidemije črnih koz marca in v začetku aprila 1972 je bil turistični obisk jame izredno slab. Nekaj dni prej je bil zmeren dež. Ker je bila ob 9^h na ploščadi pred jamo zračna temperatura le 6,8° C, je pihal v jamo zjutraj veter, ki je opoldne pojenjaval. Čeprav se je zrak med potjo po Glavnem rovu segreval, je relativna vlaga dosegla 100 %, kot po navadi, že pri Slonovi glavi. Severno od Razpotja so bile v Glavnem rovu temperature nad 9° C, v Brezimnem rovu 9,2°. Tako visoke temperature ob tem času po l. 1963 še niso bile zabeležene (J. G a m s., 1970). Odpira se vprašanje, ali se turistični del jame počasi segreva zaradi turističnega obiska in pogonov ter električne razsvetljave ali zaradi dvojnega vhoda, ali zaradi splošne otoplitve ozračja. Drugi kanal, skozi katerega je ta dan vdiral zunanji zrak v Stare jame, je Jama podzemeljske Pivke, iz katere se hladni zrak preliva skozi Spodnji Tartar proti Koncertni dvorani in Veliki gori.

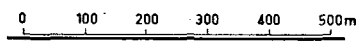
Izmerjene koncentracije en meter nad tlemi za 8. IV. 1972 prikazuje pod. 1. Glavni hodnik od Pivške jame do Velike gore ni imel povečane koncentracije CO_2 — 0,03 %. Večji delež je CO_2 zavzemal v nadaljnjih starih jamah in sicer 0,4 %. Po dosedanjih temperaturnih meritvah se je pokazala Črna jama kot samosvoja zračna celica z najhladnejšim zrakom; tako mesto zavzema tudi glede CO_2 . Ob temperaturi 4,2° C je znašala koncentracija le 0,02 %, kar je manj kot v prosti atmosferi (v gozdu koleba med 0,0305 podnevi in 0,0320 ponoči, pa tudi med letom). To bi lahko tolmačili kot mersko napako, vendar so krasoslovci našli take primere tudi drugod (C. E k et al., 1968 b). Zato je treba računati z neznanimi redukcijskimi procesi CO_2 v jamskem zraku.

Zaradi ugotovitve iz Topolce, da so tam tik nad vodno gladino zelo povečane koncentracije CO_2 (do 5 %), ki utegnejo biti smrtne za potapljače (H. K e s s l e r., 1969), smo merili na koncu Spodnjega Tartara 5 in 150 cm nad gladino Pivke. Pokazalo se je nasprotno kakor so pričakovali. Niže je bila koncentracija 0,03, više pa 0,05 %, kar si je mogoče razlagati z gibanjem zraka tik nad vodo vzdolž vodnega toka, više pa v smeri proti Tartaru.

Ponovno je bila Postojnska jama premerjena ob višku turistične sezone 16. VII. 1972. Tedaj je bilo razmeroma hladno in rahlo deževno vreme. Vkljub temu je prihajal zunanji zrak skozi dihalnik na koncu Brezimnega rova in tekel po Glavnem hodniku prek Razpotja proti Pivški dvorani. V tem letnem času se običajno zrak na tej poti ohlaja, ta dan pa se je ogreval in imel sredi Brezimnega rova 9,4°, pri Slonovi glavi pa 9,9° C (pod. 2). Relativna vlažnost je bila 98—100 %. Koncentracije CO_2 so bile to pot znatno višje kot aprila, kar je bilo pričakovati. V že omenjenem vetrovnem kanalu je znašala od 0,07 v Brezimnem rovu do 0,26 % pri Slonovi glavi. V ostalem delu Starih jam je prevladovala koncentracija 0,08 %, v Črni jami in v Kapelici v Pivki jami pa rahlo nižja (0,07 oziroma 0,06 %). Nižja je bila tudi v Lepih jamah, v Ruskem rovu, na Veliki gori in v Koncertni dvorani. Ker se tu najbolj zadržujejo in pešajo turisti, bi pričakovali večje koncentracije kot tam, kjer se vozijo z vlakom. Meritve pa so pokazale narobe, kar ne govori za domnevo, da bi turistične množice bistveno povečale vsebnost CO_2 v jami. Visoka koncentracija je bila ugotovljena v naj-

POSTOJNSKA JAMA

POD. 1

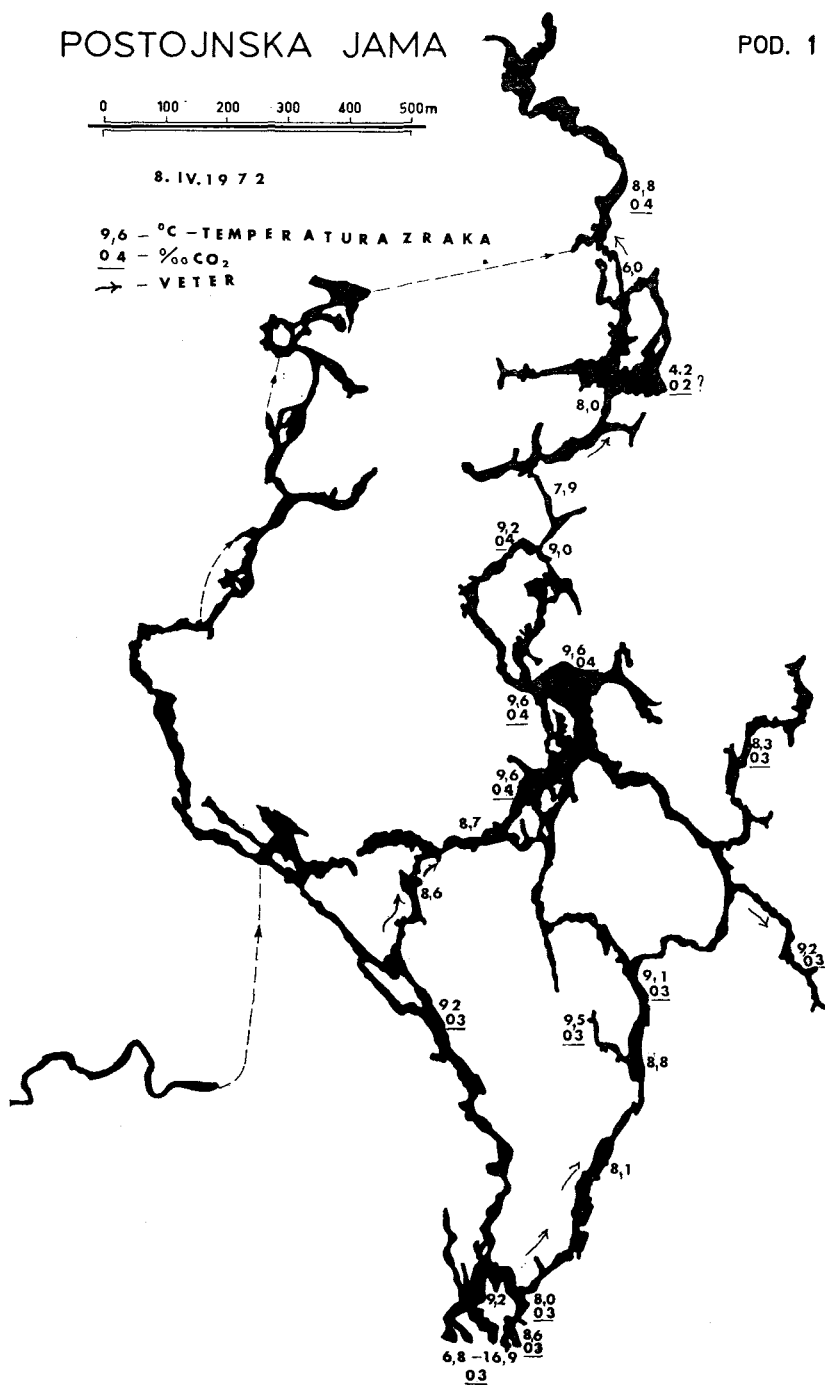


8. IV. 1972

9,6 - °C - TEMPERATURA ZRAKA

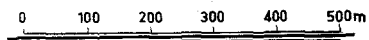
0,4 - ‰ CO₂

→ - VETER



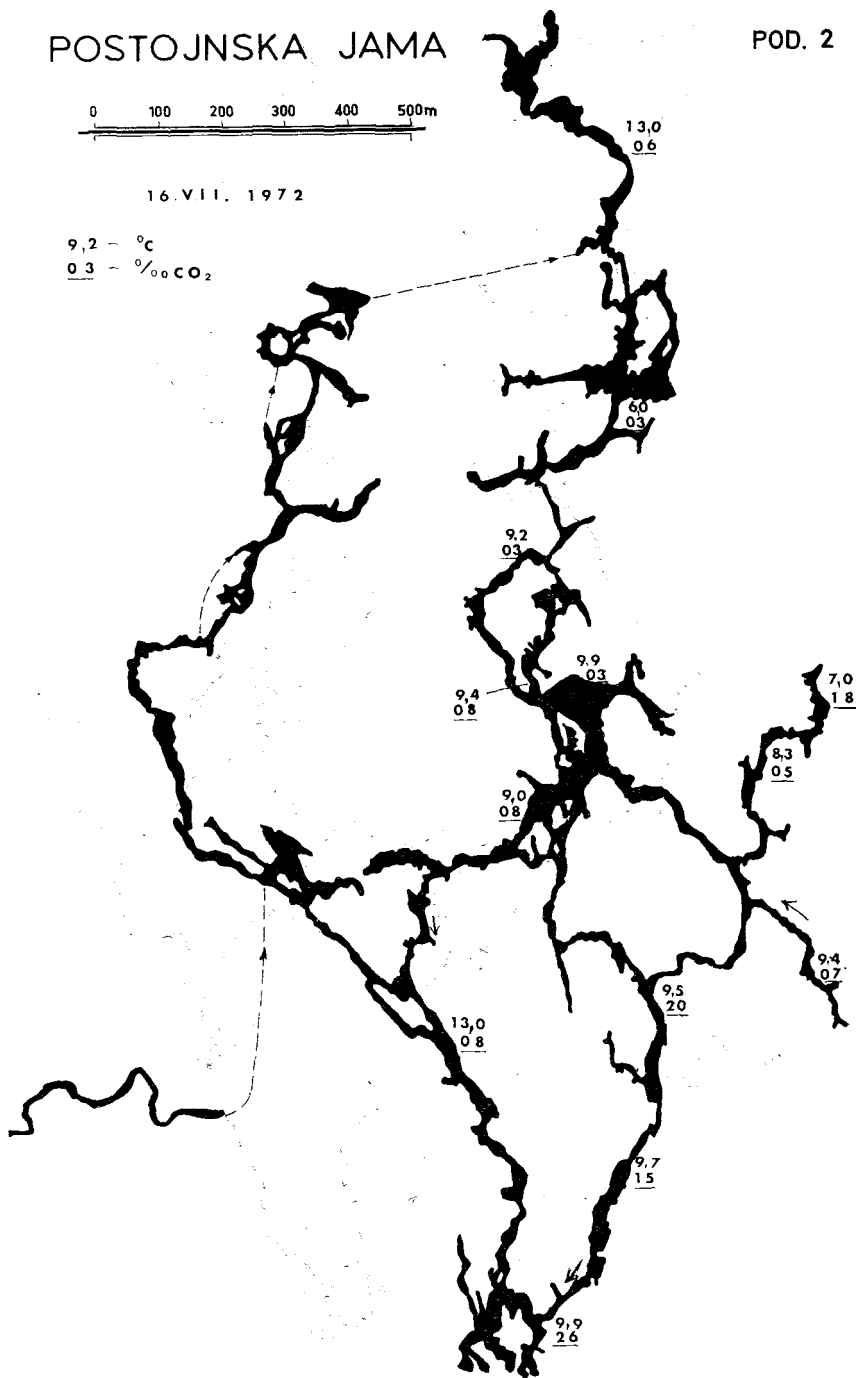
POSTOJNSKA JAMA

POD. 2



16.VII. 1972

9,2 - °C
0,3 - ‰ CO₂



severnejšem delu Pisanega rova, v končni dvorani izza železnih lestev. Slab meter nad tlemi v kotanji smo namerili koncentracijo 0,18 ‰, pri temp. 7,0 ‰ C.

Da bi osvetlili izvor CO₂ v dokaj osamljenih delih jame in njegovo vertikalno slojevitost, je bilo opravljenih 3. X. 1972 več meritev. Zunanja temperatura se je ta dan spreminjala od 5,2° do 11,4° C. Opoldne je rahlo pihal veter po Glavnem hodniku proti Razpotju in Brezimmnemu rovu. Koncentracija CO₂ je bila enaka v Biospeleološki postaji, ki je stalno zaprta z lesenimi vrati (0,06 ‰ pri temp. 8,7° C) kot v vetrovnem Brezimmnem rovu (t. 9,7° C). Pred vhodom v Pisani rov je bila temperatura v Glavnem hodniku 9,5°, na začetku Pisanega rova pa le 8,5° C. Čeprav leži ta rov višje, je pihala iz njega le zelo rahla sapa in še to neredno, kar govori za to, da se zračne gmote v posameznih oddvojenih delih jame, če niso odprti navzven z dihalniki in zato vetrovni, samo zaradi temperaturne razlike le zelo slabo mešajo. Globlje v Pisani rov je do Dvorane pagod zračna temperatura padla na 8,2°. V končni dvorani severno od železnih lestev, je bila merjena koncentracija 10 cm nad tlemi v dnu treh kotanj. V najsevernejši je znašala 0,9, v srednji 0,42 in ob južnem koncu dvorane 0,21 ‰, kar je največ v vsej jami. Pod stropom dobrih 10 m višje, sta bili dve meritvi, ki sta ugotovili koncentracijo 0,17 in 0,15 ‰. Imamo torej opravka s stratifikacijo CO₂, kar bi pričakovali glede na večjo specifično težo tega plina. Temperaturna stratifikacija je bila manj izrazita; zrak je imel pri tleh 8,1°, pod stropom pa 8,2° C. Da zgornji sloj ni miroval, je pričala rahla sapa skozi votlino nad železnimi lestvami proti Dvorani podrtih kapnikov.

K vprašanju, zakaj je v tem delu Postojnske jame povečana koncentracija CO₂, je mogoče navesti naslednja opažanja. Da sama izoliranost končne dvorane in povezava s sosednjo dvorano z ožino pod stropom ne more biti glavni razlog, priča primerjava z Ozkim rovom. 8. IV. 1972 je bila v njegovem nižjem koncu nizka koncentracija (0,03 ‰). Ker je končna dvorana Pisanega rova mestoma blatna in ker vemo, da v vlažni ilovici delujejo mikroorganizmi, bi mogli njim pripisati večjo koncentracijo. Ilovica se nadaljuje še globoko pod sigovo prevleko dna in bloki apnenca, kar je ugotovil že Gospodarič (1962) in o čemer govorijo tudi številni podrti kapniki. Padli so na posedajočem se dnu večinoma proti sredi globoko udratih kotanj. Na obrobju zasiganega dna so razpoke široke do 30 cm. Pod stezo, ki se vzpenja proti izhodu iz dvorane, je videti v svežem ugrezu mestoma fluvialno sortiran flišni pesek. Toda domneve, da je blatna ilovica vzrok povečane koncentracije, ne potrjuje meritev v kratkem rovu, ki so ga pretežno v ilovico skopali l. 1964, da bi izsilili nadaljevanje jame. V njem je bila za dvorano običajna koncentracija 0,23 ‰. Domneve, da CO₂ uhaja iz sigotvorne kapnice, meritve niso potrdile. Tik nad vodno gladino trajne banjice je bila 3. X. 1972 izmerjena koncentracija 0,21, na drugem, suhem kraju pa, prav tako v dnu kotanje, 0,4 ‰. Tu pa kapnica ni sigotvorna, temveč celo razžira stare kapnike in apnenec. Ker pa je kapnica na višjih robovih dvorane, kjer je koncentracija CO₂ manjša, povsod sigotvorna, se ponuja razlaga, da prav ta koncentracija določuje sigotvornost odnosno agresivnost kapnice. Vendar je kapnica agresivna le na omejenem prostoru, medtem ko ima povečane koncentracije CO₂ vse nižje dno dvorane.

Ker torej naše meritve niso potrdile omenjene domneve iz tuje literature, tudi ne zveze med temperaturo zraka in koncentracijo CO₂ (C. E k et al., 1969 b),

imam za najverjetnejšo razlago, da k imenovanim povečanim koncentracijam CO_2 v Postojnski jami bistveno pripomore prehajanje CO_2 iz globokih, z zemljo napolnjenih kotanj na površju skozi tanki strop v votlino, kjer njen strop ni zasigan. Takšen, poln odprtih špranj, je tudi strop v končni dvorani Pisanega rova, kjer tudi razpršeno, a trajno kapljanje govori za debelo zemljo nad tankim stropovjem. Pri drobnozrnatem sedimentu namreč talna vlaga pri prodiranju v globino iztiskuje biogeni CO_2 v razpoke v skalni podlagi. S to razlago si moremo pojasniti tudi razmere, ugotovljene v Rovu za Veliko goro dne 3. X. 1972. Ta dan je na vrhu Velike gore nad vodno gladino ponvice ter 3 m višje, bila enaka koncentracija CO_2 — 0,1 % pri razmeroma visoki temperaturi 10,3°. Ker se vzpenjajo na Goro turistične množice in ker je ta plin težji, bi pričakovali v njenem podnožju povečane koncentracije. Toda v več metrov globokem ilovnatem lijaku pod Goro v Ruskem rovu, kjer se izjemoma še pojavi podzemeljska Pivka, je znašala 16. VII. 1972 10 cm nad tlemi koncentracija le 0,09 % CO_2 . Tik pod pobočjem Velike gore je 3. X. 1972 znašala ta koncentracija na začetku Rova za Veliko goro 10 cm nad tlemi 0,13 % (pri temp. 8,6°), v končnem delu pa le malo več, 0,16 %, pri nižji temperaturi (8,1° C). Povečana koncentracija v končnem delu, nižja temperatura in najdba paleolitskih sledov (Brodar, 1966) so verjetno posledica istega vzroka, bližine površja, oziroma zdaj z zemljo zapolnjenega rova, skozi katerega je prihajal pračlovek v jamo. Tudi v tem rovu strop ni zasigan, temveč so v njem odprte špranje.

Kot preliminarne zaključke meritev CO_2 v Postojnski jami moremo navesti naslednje. V primeri z drugimi jamami, kjer so merili koncentracijo CO_2 , ima Postojnska jama nizek delež CO_2 , to domnevno zaradi znatne zračne cirkulacije v glavnih rovih. Kadar piha zrak v Stare jame skozi Glavni vhod, kar je v času zimske cirkulacije, je koncentracija CO_2 znatno manjša kot tedaj, kadar med poletno cirkulacijo zrak prihaja skozi dihalnike. Kot poprej temperaturne meritve (Gams, 1970), so to pot tudi meritve CO_2 pokazale predvsem na dva kanala zračnega kroženja. Prvi povezuje Glavni vhod in Glavni hodnik z Brezimnim rovom, na koncu katerega so večji dihalniki. Drugi kanal veže Jamo podzemeljske Pivke, Spodnji Tartar, Koncertno dvorano, Veliko Goro, Lepe jame in Ruski rov. Poglavitni dihalniki v tem kanalu so ob boku Lepih jam in pri trafopostaji ter v Koncertni dvorani.

Z ozirom na še vedno odprto vprašanje o poreklu CO_2 v jamah, kot ga nakazuje novejša literatura, kažejo meritve v Postojnski jami na to, da prispeva močan delež organogeni CO_2 v zemlji, ki vdira v votlino skozi razpokani strop in se zadržuje v kotanjah predvsem tam, kjer je oslABLJENA zračna cirkulacija. Iz tega razloga namerijo večje koncentracije CO_2 v jamah, ki so plitvo pod pokritim krasom, v njih pa posebno v špranjah (C. Ek et al., 1969 b). Čeprav je deležna Postojnska jama največjega turističnega prometa na svetu, v jami z živahno zračno cirkulacijo večjega vpliva človeka na vsebnost CO_2 v jamskem zraku ni mogoče potrditi.

Summary

CONCENTRATION OF THE CO₂ IN THE CAVES IN RELATION TO THE AIR CIRCULATION (IN THE CASE OF THE POSTOJNA CAVE)

The measurements of CO₂ every 14th day in the years 1963/64 on three spots have established the similar course of the CO₂ concentration in the closed channel of the Biospeleological station as well as in the windy main channel of the Postojna cave (Gams, 1968). The measurements at the end of the winter air circulation on the 8th of April, 1972 shown on the first sketch (plan of the Postojna cave) have found in the first part of the tourist cave only 0,3‰ and in the last part 0,4‰ of CO₂. The concentration of CO₂ in the 16th of July 1972 was much higher (see the second sketch) in the channels, where the tourist visitors crowded as well as in the non visited side channels. The similar summer and early fall increase of the concentration of CO₂ was measured also in the years 1963 and 1964 and is not influenced significantly by 3/4 of million of visitors in the year. This paper refuses the idea of the emission of CO₂ from the water depositing flowstone and dripstone as the main source of the CO₂ in the cave air. The measurements with the devices Dräger on the 3rd of October 1972 have found the highest concentration at the end of the side channel called Pisanj rov. Ten centimetres above the level in the funnel-like depressions was 0,23, 0,2 and 0,4‰ of CO₂. Similar concentration has been found also at the end of the blind channel behind the Velika gora (Big Great mountain). The analysis of the environment in these channels leads to the conclusions that the higher concentration is due to the closer connection of the cave air with the soil CO₂ on the surface above the thin ceiling. Penetrating downward the moisture forces the lower soil CO₂ to escape through the rock fissures in the cave ceiling. Due to the low air temperatures and hampered air circulation the higher CO₂ circulation is stagnated in the depressions at the bottom of the blind channels.

Literatura

- Brodar, S., 1966. Pleistocenski sedimenti in paleolitska najdišča v Postojnski jami. Poročila — Acta Carsologica 4, Ljubljana.
- Ek, C. et al., 1969 a. Teneur en CO₂ de l'air de quelques grottes belges. Technique employée et premiers résultats. Annales de Spéléologie, R. 23, f. 1.
- 1969 b. Some analyses of the CO₂ content of the air in five Polish caves. Zeitschrift f. Geomorphologie, Neue Folge, B. 13, 1969, H. 3.
- Gams, I., 1968. Über die Faktoren, die die Intensität der Sintersedimentation bestimmen. Proceedings of the 4th Int. Congress of Speleology in Jugoslavija, T. III, Ljubljana.
- 1970. Zračna cirkulacija kot del jamskega okolja na primeru Postojnske jame. Peti jugoslovanski speleološki kongres, Skopje i Ohrid, Skopje.
- 1971. Konimetrične meritve v Postojnski jami in vprašanje speleoterapevtskega raziskovanja pri nas. Naše jame 12 (1970), Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1963. K poznavanju Postojnske jame — Pisani rov. Naše jame 4 (1962), Ljubljana.
- Kessler, H., 1969. Problemy vyskumu speleo-mikroklimu v madjarskih jaskiniach. Zbornik východoslovenského múzea v Košiciach A, Geol. vedy, Košice.
- Spannagel, K. H., 1969. Erfahrungen mit Therapie des Astmas in der Kluterthöhle (BDR). Zbornik východoslovenského múzea v Košiciach A, Geologicke vedy, Košice.

Diskusija

M. Markulin:

Slobodan sam upitati predavača da-li mu je poznato, da medicinski stručnjaci u nekim zemljama preporučuju liječenje u nekim jamama — astma — speleoterapija. Ima li to veze sa sastavom zraka u jamama — koncentracijom CO₂ i vlažnost zraka i drugim faktorima?

Odgovor (I. G a m s):

Speleoterapevtsko iskorišćaju jame v ZR Nemčiji, na Madžarskem, v Italiji (več o tem v Zborniku Vychodoslovénskeho Múzea v Košicah, 1969). Večja koncentracija CO₂ pospeši dihanje in s tem vdihovanje zdravilnih elementov.

PRORAČUN BILANSA GUBITAKA VODE NA POTEZIMA
KRAŠKIH RIJEKA

STATISTICAL TREATMENT OF LOSSES OF WATER ON SOME PARTS
OF THE KARSTIC RIVERS

ŽELJKO ŽIBRET

(Energoinvest, Sarajevo)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktobar 1972)
Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

Uvod

U sklopu izrade projekta pumpne hidroelektrane Čapljina postavljen je zadatak saniranja prirodnog korita rijeke Trebišnjice od kompenzacionog bazena Gorica do donjeg dijela Popovog polja. Korito rijeke Trebušnjice na potezu od Trebinja do dna Popovog polja je jako vodopropusno i neophodno je izvršiti saniranje prirodnog korita kako bi se spriječili znatni gubici vode.

Korito rijeke Trebišnjice treba da nakon izgradnje PHE Čapljina zadovolji dvije uloge:

a) Da bude dovodni kanal za dovodjenje regulisanih proticaja ispuštenih kroz branu Gorica.

Ovi proticaji su u većem dijelu godine potpuno kontrolisani i uslovljeni energetskim i vodoprivrednim zahtjevima;

b) Da bude glavni recipijent prirodnog doticaja koji dotiče preko periodičnih vrela, estavela i povremenih površinskih koncentrisanih manjih tokova koji često mijenjaju mjesto uticanja u glavni tok. Pored ovih voda korito prima i sve vode koje se prelivaju preko brane Gorice u periodima većih doticaja.

Zadatak hidrološke obrade bio je da odredi red veličine gubitaka vode za određeni pogonski plan ispuštanja vode kroz branu Gorica kao i ponašanje i režim gubitaka vode duž toka rijeke Trebišnjice. U tu svrhu izvršeni su hidrološki istražni radovi tokom 1969. i 1970. godine. Ovi radovi zahtijevali su uspostavljanje približno ravnomjernog režima tečenja koritom rijeke Trebišnjice u periodu kada se nije javljao medjudotok. Ovakav režim tečenja postignut je na taj način što su ispuštane konstantne količine vode, u periodu kada nije bilo medjudotoka, iz kompenzacionog basena Gorica. Tako je ostvareno približno ravnomjerno tečenje koritom rijeke Trebišnjice u tri navrata. Krajem jula 1969. godine sa ispuštanjem iz basena Gorica cca $50 \text{ m}^3/\text{s}$ u oktobru 1969. godine i isticanjem cca $150 \text{ m}^3/\text{s}$ i u martu 1970. godine sa proticajnom količinom cca $50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Vršenjem simultanih mjerenja proticaja duž toka rijeka Trebišnjice na unaprijed lociranim mjernim profilima i obradom tih mjerenja došlo se do osnovnih podataka o gubicima vode duž toka. Kontrolni mjerni profili bili su sljedeći:

Gorica, Dražin Do, Dobromani, Grmljani uzv., Zavala uzv., Ravno i Provalija, uzv.

Na taj način su prikupljeni podaci za analizu sljedećih poteza rijeke Trebišnjice:

I dionica Gorica—Dražin Do	L = 56,55 km
II dionica Dražin Do—Dobromani	L = 4,85 km
III dionica Dobromani—Grmljani uzv.	L = 18,80 km
IV dionica Grmljani uzv.—Zavala uzv.	L = 11,60 km
V dionica Zavala uzv.—Ravno	L = 2,60 km
VI dionica Ravno—Provalija uzv.	L = 5,45 km
Ukupna dužina	L = 13,25 km

Utvrđivanje gubitaka vode

Da bi se pouzdano utvrdilo da na nekoj dionici rijeke postoje gubici vode korištena je statistička obrada. U ovom radu primjenjen je metodski pristup koji je prezentirao dipl. ing. Ognjen Bonacci u radu »UTVRDJIVANJE GUBITAKA VODE KOD STAGNIRAJUĆIH VODOSTAJA NA KRŠKIM POTEZIMA VODOTOKA« koji je objavljen u časopisu »Gradjevinar« br. 5 iz 1970. godine.

Ovdje se navode osnovni obrasci preko kojih je izvršena statistička obrada. Na svakom profilu bilo je potrebno obaviti više mjerenja proticaja da bi se eliminisao uticaj većih grešaka kod pojedinih mjerenja.

$$\bar{Q}_j = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}$$

Q_j ... aritmetička sredina protoke j-tog profila

Q_i ... vrijednost proticaja dobijen u i-tom mjerenju

n ... ukupan broj mjerenja proticaja

Pored aritmetičke sredine proticaja izračunate su i sljedeće veličine za svaki profil.

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_j)^2}{n-1}} \quad (\text{standardna devijacija})$$

$$P_j = \frac{S_j}{\bar{Q}_j} \cdot 100 \quad (\text{srednja relativna greška pojedinog mjerenja})$$

$$S_{\bar{Q}_j} = \frac{S_j}{\sqrt{n}} \quad (\text{standardna greška aritmetičke sredine})$$

Intervalna procjena aritmetičke sredine Q_j proticaja u j-tom profilu računata je preko izraza:

$$\bar{Q}_j = \bar{Q}_{j \pm 1} \cdot S_{\bar{Q}_j}$$

i ima pouzdanost 0,6827; odnosno u 68 % slučajeva rezultati će se nalaziti u zadanom intervalu. Gubitak na pojedinim dionicama računat je preko izraza:

$$\Delta Q_{j,j+1} = \bar{Q}_j - \bar{Q}_{j+1}$$

Standardna greška veličine

$\Delta Q_{j,j+1}$ računata je preko izraza

$$S_{\Delta Q_{j,j+1}} = \sqrt{S_{Q_j}^2 + S_{Q_{j+1}}^2}$$

Intervalno procijenjeni gubitak dobijen je preko izraza:

$$\Delta Q'_{j,j+1} = \bar{Q}_j - \bar{Q}_{j+1} \pm S_{\Delta Q_{j,j+1}}$$

Na ovaj način dobila se razlika između proticaja na ulazu i izlazu interesantne deonice. Ta vrijednost razlike proticaja još se ne može smatrati da je dovoljno značajna da bi se mogla uzeti kao gubitak na posmatranoj dionici.

Za konstatiranje gubitaka korištena je teorija testiranja.

Ovdje su korišteni F — test i studentov t-test.

Kod studentovog t-testa polazi se od pretpostavke da su uzroci od n_1 i n_2 elemenata uzeti iz jedne homogene mase i da podliježu normalnoj raspodjeli. U konkretnom slučaju pretpostavlja se da su n_1 vrijednosti proticaja i n_2 vrijednosti proticaja, koji su inače izmjereni na ulazu i izlazu interesantne dionice rijeke, dobijeni mjerenjem na jednom vodomjernom profilu pri istom vodostaju i istom padu vodnog ogledala i da su slučajno izabrani u dvije grupe. Ukoliko je to tačno razlika između aritmetičke sredine grupe proticaja od n_1 člana i grupe proticaja od n_2 člana mora biti mala i može se pripisati uticanju slučajne greške pri mjerenju. To je sada nulta hipoteza.

Za studentov t-test domen odbacivanja nulte hipoteze je:

$$\frac{|\bar{Q}_j - \bar{Q}_{j+1}|}{S_d} > t_{\alpha}$$

gdje je:

$$S_d^2 = \frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1 \cdot n_2}$$

Kod obrade usvojen je prag značajnosti $\alpha = 5\%$; α se uzima iz tabele t-raspodjele za određen stepen slobode $K = (n_1 - 1) + (n_2 - 1)$.

Mjerodavnost primjene studentovog t-testa kod testiranja aritmetičkih sredina uslovljava da uzorci imaju približno jednake standardne devijacije. Testiranje ove hipoteze obavlja se F-testom. Za prihvatanje ove nulte hipoteze potrebno je da bude:

$$F \leq F_0$$

gdje je:

$$F = \frac{S_a^2}{S_b^2} \frac{\text{veća standardna devijacija}}{\text{manja standardna devijacija}}$$

F_0 ... prag značajnosti koji se uzima iz tabele F razdiobe za odgovarajući broj stepena slobode K_a i K_b

$$K_a = n_a - 1$$

$$K_b = n_b - 1$$

Proračun gubitaka vode

Kada je statističkim putem utvrđen gubitak vode na određenoj dionici rijeke i utvrđena njena intervalna vrijednost prišlo se iznalaženju prognozne doba u kome se kompenziraju uticaji klime biljnog pokrivača i periodskih relacije po kojoj bi se mogao računati gubitak vode u toku vremena. Analizirajući ponašanje gubitaka vode prihvaćeno je da gubici vode u koritu rijeke zavise od stanja podzemnih voda, stepena ispunjenosti korita vodom i godišnjeg fluktuacija podzemnih voda. Tako se pošlo od relacije

$$Q_g = f(IPP, Q_{ul}, MJ) -$$

gdje je:

Q_g ... Gubitak vode na određenom potezu rijeke (m^3/s)

IPP ... Indeks prethodnih padavina kao indikator stanja podzemnih voda (mm)

Q_{ul} ... Ulazni proticaj u interesantnu koji definiše stepen ispunjenosti korita vodom (m^3/s)

MJ ... Redni broj mjeseca koji daje uticaj godišnjeg doba na stanje podzemnih voda.

Kako navedeni parametri ne obuhvataju sve uticaje na veličinu gubitaka nije se mogla uspostaviti funkcionalna zavisnost te se prišlo rješavanju ovog problema preko regresione jednačine.

U ovom radu korištena je linearna regresiona jednačina koja ima ovaj opšti oblik:

$$Q_g = A_0 + A_1 IPP + A_2 Q_{ul} + A_3 MJ$$

U ovoj relaciji potrebno je objasniti vrijednosti IPP i MJ .

Indeks prethodnih padavina, odnosno IPP , dobijen je preko sume srednjih dnevnih vrijednosti padavina unazad 60 dana, prije interesantnog datuma za koji se računa gubitak vode u koritu. Kako uticaj srednje visine dnevne padavine na stanje podzemnih voda nije isti ako se odnosna padavina desila dva ili dvadeset dana prije interesantnog datuma, vrši se redukcija padavina.

Redukcija pojedinih padavina izvršena je preko relacije $K_t = e^{-\alpha t}$. Na taj način dobiva se:

$$IPP = \sum_{t=1}^{60} P_t K_t$$

Ovdje je:

P_t ... srednja visina dnevne padavine koja se desila t dana prije datuma za koji se računao gubitak

e ... osnova prirodnog logaritma

α ... koeficijent dobijen eksperimentalnim putem

t ... broj dana prije interesantnog datuma

Redni broj mjeseca MJ dobijen je vodeći računa o hidrološkom ciklusu punjenja podzemlja vodom.

Usvojen je ciklus od septembra do avgusta.

Usvojeni su sljedeći računski brojevi mjeseci

Kalendarski mjesec	Računski mjesec
IX	1
X	2
XI	3
XII	4
I	5
II	6
III	7
IV	8
V	9
VI	10
VII	11
VIII	12

Kada su određeni glavni uticaji koji definišu veličinu gubitaka vode može se formirati sistem linearnih jednačina u kojima su nepoznate koeficijenti A_0 , A_1 , A_2 i A_3

$$Q_{g1} = A_0 + A_1 IPP_1 + A_2 Q_{ul1} + A_3 MJ_1$$

$$Q_{g2} = A_0 + A_1 IPP_2 + A_2 Q_{ul2} + A_3 MJ_2$$

$$Q_{gn} = A_0 + A_1 IPP_n + A_2 Q_{uln} + A_3 MJ_n$$

Rješenjem sistema ovih jednačina metodom najmanjih kvadrata dobiju se vrijednosti koeficijenata A_0 , A_1 , A_2 i A_3 , čime su definisani gubici na određenoj

dionici rijeke. Ulazni podaci Q_g i Q_{ul} dobivaju se mjerenjem na terenu pri približno ravnomjernom tečenju a IPP obradom padavina na dotičnom slivnom području.

Primjena metode na proračun bilansa gubitaka vode iz korita Trebišnjice

Već je u uvodu ovog referata navedeno da je kod rješavanja problema gubitaka vode iz korita Trebišnjice nizvodno od Trebinja tok Trebišnjice podijeljen na šest dionica. Mjerenja gubitaka izvršena su u julu i oktobru 1969. g., što pokriva sušni period i u martu 1970. g. koji spada u vlažni period godine. Mjerenja su izvršena pri ulaznim proticajima u korito rijeke Trebišnjice ispod brane Gorica od 50, i 150 m³/s.

Iz ovoga se vidi da je obuhvaćena amplituda i u odnosu na obuhvaćeni vremenski period i u odnosu na ulazne proticaje vrlo skromna. Ovakvi hidrološki istražni radovi su vrlo skupi i moralo se zadovoljiti sa ovako malim brojem podataka. Naravno, ovo je uticalo na tačnost obrade. U ovom primjeru biće prikazan proračun gubitaka vode na dionici tri, na potezu Dobromani—Grmljani.

Utvrđivanje gubitaka

Intervalna procjena aritmetičke sredine

Kontrolni profil Dobromani

Red. br.	Datum mjerenja	Q	$Q - \bar{Q}$	$(Q - \bar{Q})^2$
1	8. X. 1969	124,9	3,16	9,986
2	10. X. 1969	131,4	3,34	11,156
3	11. X. 1969	125,5	2,56	6,554
4	12. X. 1969	130,4	2,34	5,476
5	14. X. 1969	128,1	0,04	0,002
Σ		640,3		33,174
$\bar{Q}$		128,06		

$$S_D = \sqrt{\frac{33,174}{5-1}} = 2,880 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_D = \frac{2,880}{128,06} \cdot 100 = 3,78 \%$$

$$S_{QD} = \frac{2,880}{\sqrt{5}} = 1,288 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kontrolni profil Grmljani uzvodno:

Red. br.	Datum mjerenja	Q	$Q - \bar{Q}$	$(Q - \bar{Q})^2$
1	8. X. 1969	111,0	1,82	3,312
2	10. X. 1969	115,8	2,98	8,880
3	11. X. 1969	113,1	0,28	0,078
4	12. X. 1969	114,0	1,18	1,392
5	14. X. 1969	110,2	2,62	6,864
Σ		564,1		20,526
$\bar{Q}$		112,82		

$$S_{GR} = \sqrt{\frac{20,526}{5-1}} = 2,265 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{GR} = \frac{2,265}{112,82} \cdot 100 = 2,01 \%$$

$$S_{QGR} = \frac{2,265}{2,236} = 1013 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kod ovog proračuna vodilo se računa da se odbace mjerenja koja donose veću relativnu grešku P od 4 %.

Intervalna procjena gubitaka

$$SQ_D \pm = \sqrt{1,288^2 + 1013^2} = \pm 1,638 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta Q_{D-GR} = 128,06 - 112,82 \pm 1,638$$

$$\Delta Q_{D-GR} = 15,24 \pm 1,638 \text{ m}^3/\text{s}$$

Da bi se ustanovilo da ova razlika aritmetičkih sredina proticaja od 15,24 m³/s zaista predstavlja gubitak vode na interesantnoj dionici vršilo se testiranje

$$F = \frac{S_D}{S_{GR}} = \frac{2,880}{2,265} = 1,272 < F_0 = 6,39$$

F₀ je dobijeno iz tablice za F raspodjelu za broj stepena slobode K_D = 4 i K_{GR} = 4

$$S_d^2 = \frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1 \cdot n_2}$$

$$S_d^2 = \frac{4 \cdot 2,880^2 + 4 \cdot 2,265^2}{5 + 5 - 2} \cdot \frac{10}{25} = 2,68$$

$$S_d = 1,63$$

$$t = \frac{15,24}{1,63} = 9,35 > t_\alpha = 2,31$$

t_α je dobijeno iz tablice za t —distribuciju za broj stepena slobode $K = 4 + 4 = 8$ i prag značajnosti 5 %.

Iz rezultata se vidi da se odbacuje nulta hipoteza kod t —testa i razlika u proticanju na ulazu i izlazu interesantne dionice smatra se značajnom i prihvaća kao gubitak vode.

Ovdje je prikazan dakle postupak kod obrade podataka prikupljenih u oktobru 1969. godine. Isti je postupak sproveden i za podatke iz jula 1969. i marta 1970. g.

Odredjivanje relacije za proračun gubitaka vode

Kod izbora ulaznih podataka za definisanje regresione jednačine vodilo se računa da se vrijednosti gubitaka sa kojima su se formirale jednačine nalaze u intervalnoj procjeni gubitaka koje je dobijeno u prethodnom proračunu. Kako tri serije izvršenih simultanih mjerenja nisu obuhvatile ni približno sve vremenske uslove pri kojim nastaju gubici, to je regresiona jednačina formirana bez člana MJ.

Tako smo imali relaciju sa dvije nezavisno promjenjive IPP i Q_{ul}

$$Q_g = A_0 + A_1 IPP + A_2 Q_{ul}$$

U nastavku su prikazani ulazni podaci preko kojih se formirao sistem od 17 jednačina sa tri nepoznate A_0 , A_1 i A_2

Za dionicu Dobromani—Grmljani indeks prethodnih padavina računat je sa $e^{-\alpha} = 0,93$, a čitav proračun izveden je na elektronskom računaru IBM-360.

Jednačina gubitaka vode glasi:

$$Q_g = 10,07 - 0,0063 IPP + 0,0569 Q_{ul}$$

Koeficijent korelacije je:

$$R = 0,83$$

Koeficijenti djelomične korelacije za dionicu Dobromani—Grmljani su slijedeći:

$$R_{1,23} = -0,44$$

Red. br.	IPP	Q _{ul}	Q _g	izr. Q _g	Reziduali
1	61,9	32,2	9,4	9,1	0,3
2	16,0	33,6	9,4	9,5	— 0,1
3	18,9	34,6	12,0	9,5	2,5
4	17,7	34,7	11,1	9,5	1,6
5	30,5	33,8	10,9	9,4	1,5
6	33,8	31,1	10,7	9,2	1,5
7	71,5	22,5	7,6	8,5	— 0,9
8	92,6	124,9	13,9	14,1	— 0,2
9	43,1	131,4	15,6	14,8	0,8
10	40,0	125,4	12,4	14,5	— 2,1
11	37,2	130,4	16,4	14,8	1,6
12	140,2	13,2	5,7	7,5	— 1,8
13	135,9	10,2	4,7	7,4	— 2,7
14	279,2	16,9	8,8	6,9	1,9
15	250,9	12,1	8,2	6,8	1,4
16	75,5	47,9	6,9	9,9	— 3,0
17	68,7	48,0	7,5	9,9	— 2,4

Korelacija gubitaka u odnosu na IPP

Korelacija gubitaka u odnosu na Q_{ul}

$$R_{13,2} = 0,82$$

Iz dobijenih rezultata se vidi da su postavke pri formiranju relacije za gubitke bile korektne, jer je fizički opravdano da IPP smanjuje gubitke, a Q_{ul} da ih povećava.

Što je vlažniji predperiod, odnosno što je veća suma padavina bila u predperiodu, više je podzemlje zasićeno vodom i manje je može da primi. Gubici se smanjuju.

Takodjer što je veći ulazni proticaj u dionicu, više je pukotina aktivirano a veći su i hidrostatički pritisci pa se više vode gubi u podzemlju.

Na isti način dobijeni su koeficijenti regresionih jednačina za sve dionice i preko njih računati gubici.

Odredjivanje ulaznih proticaja za pojedine dionice

Kod proračuna gubitaka u koritu rijeke Trebišnjice imali smo na raspolaganju slijedeće podatke: Ulazni proticaj u korito rijeke Trebišnjice ispod brane Gorica koji je diktiran planom pogona hidroelektrana i ukupni međudotok od Gorice do dna Popovog polja Q_m.

Kako se nije imao uvid u raspored međjudotoka duž toka usvojeno je da je međjudotok ravnomjerno raspoređen duž toka.

Tako je međjudotok za pripadajuću dionicu dobijen preko odnosa:

$${}^{(n)}Q_m = Q_m \frac{L^{(n)}}{L}$$

gdje je:

Q_m ... Ukupan međjudotok na čitavom toku rijeke (m^3/s)

L_n ... Dužina interesantne dionice

L ... Ukupna dužina toka

${}^{(n)}Q_m$... Međjudotok na interesantnoj dionici n

Proračun gubitaka za pojedine dionice računat je kako slijedi: Ulazni proticaj za prvu dionicu bio je regulisani proticaj koji je izpušten kroz branu Gorica.

$${}_1Q_{ul} = Q_{Gorica}$$

$${}_1Q_{gub} = f(IPP, {}_1Q_{ul})$$

Ulazni proticaj za drugu dionicu dobijen je preko izraza:

$${}_2Q_{ul} = {}_1Q_{ul} - {}_1Q_{gub} + {}_1Q_m$$

i dalje

$${}_2Q_{gub} = f(IPP, {}_2Q_{ul})$$

$${}^{(n)}Q_{ul} = (n-1) Q_{ul} - (n-1) Q_{gub} + (n-1) Q_m$$

$${}^{(n)}Q_{gub} = f[IPP, {}^{(n)}Q_{ul}]$$

Na kraju se prilaže pregled rezultata proračuna gubitaka vode u svim dionicama za regulisanje proticaja po varijanti V—F za 1959. godinu koja je usvojena kao srednja vlažna godina u periodu

Dio- nica	Mjeseci											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	4,0	3,3	2,9	2,8	3,4	6,4	5,8	7,1	6,1	1,3	1,2	1,5
2	4,8	7,4	7,1	3,8	5,5	1,8	2,2	9,0	10,9	7,0	3,8	4,1
3	12,1	12,2	10,7	5,2	4,9	0,4	—	2,4	7,7	8,5	10,1	11,3
4	5,2	5,9	4,4	1,2	1,2	0,2	—	—	1,7	3,9	4,2	6,0
5	2,3	2,3	2,3	1,9	1,3	0,2	—	—	2,5	1,5	1,2	1,5
6	5,7	7,3	5,3	1,5	1,6	0,1	—	—	3,6	4,0	3,8	6,0

U tabeli su navedene srednje mjesečne vrijednosti gubitaka dobijene preko dnevnih vrijednosti koje su izračunate po gore opisanom postupku.

Na osnovu ovih rezultata moglo se zaključiti gdje je potrebno preduzimati odgovarajuće tehničke zahvate da bi se u toku rada elektrane spriječili toliki gubici, odnosno ova obrada je omogućila da se takovi podaci uzmu kao ulazni za izradu projekta uređenja korita rijeke.

Summary

STATISTICAL TREATMENT OF LOSSES OF WATER ON SOME PART OF THE KARSTIC RIVERS

By simultaneous measuring of flowing through at approximately uniform flow and by statistic treatment of these flowings through, there are found losses on some parts of the karstic rivers. With such obtained data about losses of water, there is established the following subordination:

$$Q_g = f(IPP, Q_{ul}, MJ)$$

Here:

Q_g — means the loss of water on certain part of the river in m^3/sec .

IPP — Index of previous atmospheric precipitations as indicator of the situation of underground waters in mm.

Q_{ul} — Input or entering flowing through into the interesting portion which is defined by the degree of filling the bed or water-channel by water in m^3/sec .

MJ — Ordinal number of month which defines the influence of season to the situation of underground waters.

With the above mentioned entering data there is formed a range of linear equations:

$$Q_{g1} = A_0 + A_1IPP_1 + A_2Q_{ul1} + A_3MJ_1$$

$$Q_{g2} = A_0 + A_1IPP_2 + A_2Q_{ul2} + A_3MJ_2$$

$$Q_{gn} = A_0 + A_1IPP_n + A_2Q_{uln} + A_3MJ$$

By solution of these equations by the method of the least squares there are obtained coefficients A_0 , A_1 , A_2 , and A_3 , and in the same way also the relation through which it is possible to make calculation of losses of water on certain part of the limestone waterflow.

Literatura

- Obradović, Sentić, Osnovi statističke analize. Beograd 1967. g.
 Petz, B., Osnovne statističke metode. Zagreb 1970. g.
 Interregionalni seminar po hidrolozičkom prognozu i vodnom balansu. Beograd 1957. g.
 Gradjevinar, broj 5, 1970 g.

Diskusija

P. Habič:

Metoda omogoča dovolj natančno oceno vodnih izgub v teku leta, potrebno pa je še nadaljnje eksperimentalno preverjanje in teoretično izpopolnjevanje.

R. Gašparović:

Dopunjavam referat podacima speleoloških istraživanja ponora Doljašnice, Crnulje i Provalije obavljenih jula 1969. Pokazala se podudarnost između dizanja nivoa voda u sifonskom jezeru Doljašnice i proticaja voda koritom Trebišnjice.

MEHANIZAM RADA PONORA I ESTAVELA

(sa 8 slika u tekstu)

THE MECHANISM OF PONORS (SINK-HOLES) AND ESTAVELAS

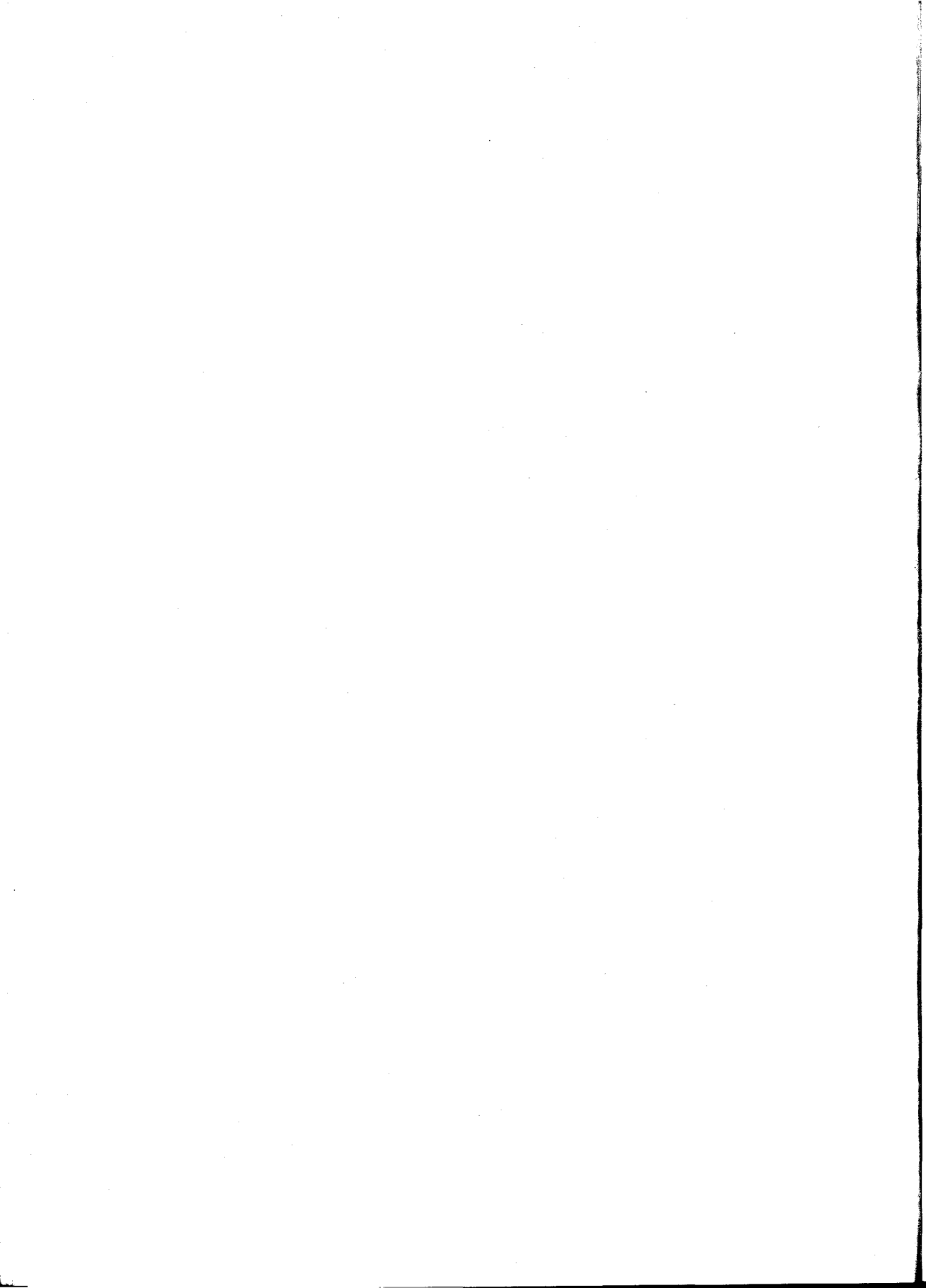
(with 8 Figures in Text)

IZET AVDAGIĆ

(Zavod za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktobar 1972)

Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)



Rad ponora i estavela analiziran je u više navrata u sklopu istraživanja koja su vezana za evakuaciju i iskorištenje poplavnih voda zatvorenih kraških polja, i to kao problem »kapaciteta« ponora.

U starijim radovima »kapacitet ponora« tretiran je kao problem geometrije ponora pa su se i svi zahvati vezani za ova rješenja svodila na geometriju (čišćenje ponora). U novije vrijeme »kapacitet ponora« je tretiran kao promjenljiva veličina, ali vezana za varijacije nivoa vode nad ponorom. Za radove iz ovog perioda karakteristično je stanovište da je najveći proticaj ponora pri najvišim nivoima vode nad ponorima.

U istraživanjima koja su vršena u Zavodu za hidrotehniku Gradjevinskog fakulteta u Sarajevu pošlo se od postavke da su ponori i estavele dijelovi provodnika u jedinstvenom hidrološko-hidrauličkom sistemu, te da je njihova funkcija uslovljena sa radom cijelog sistema.

Analiza mehanizma rada ponora i estavela odnosi se samo na dio rada ovih organa u uslovima potopljenosti. Pod pojmom ponor smatra se takav organ kroz koji se vrši oticaj, a pod pojmom estavela organ kroz koji se vrši oticaj i doticaj.

Šema kraškog hidrološko-hidrauličkog sistema

Kraški hidrološko-hidraulički sistem čine sliv i provodnici. Ovisno od hidrogeoloških odnosa u sistemu sliv čini određeni broj rezervoara. Šema prostijeg sistema sa plavljenim kraškim poljem, koje ima jedan generalizirani ulaz i jedan generalizirani izlaz, data je na sl. 3. To je sistem od tri rezervoara, od kojih jedan (rezervoar II) biva povremeno plavljen. Do plavljenja dolazi uslijed postojanja uskog grla u sistemu, kroz koje ne mogu da prodju sve vode, pa se izlivanjem vode u rezervoar II vrši rasterećenje pojedinih dijelova sistema. U sistemima bez uskog grla ne dolazi do plavljenja kraških polja od prelivnih voda, a problem oticaja je analogan oticaju u »normalnim« hidrološkim sistemima. U uslovima velikih voda kod dijelova sistema sa uskim grlom dolazi do rada pod pritiskom, dok kod dijelova sistema ili kod cijelog sistema bez uskog grla nema rada pod pritiskom.

Sredstva za identifikaciju sistema i njegove funkcije su izlazni hidrogrami podsistema i sistema, te ulazni hidrogrami i nivogrami podsistema.

Mehanizam rada ponora i estavela

U kraškim hidrološko-hidrauličkim sistemima provodnici su izgrađeni tako da čine hijerarhiziranu mrežu podzemnih tokova u kojoj funkcija pojedinih provodnika u pogledu smjera tečenja može biti promjenljiva, ovisno od pijeometrijskih odnosa. Sliv sa svojom poroznošću u toj mreži čini poslednji član.

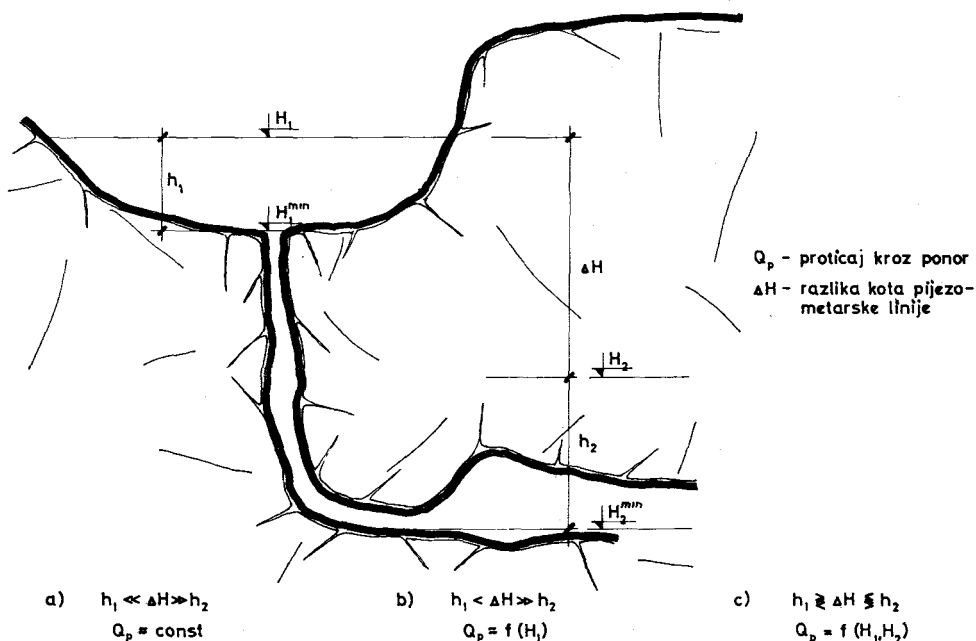
Provodnici u sistemu mogu biti pod pritiskom, sa slobodnom površinom, te dijelom pod pritiskom a dijelom sa slobodnom površinom.

Ponori i estavele su dijelovi provodnika na ulazu i izlazu. Oni mogu raditi samostalno ili kao ponorske odnosno estavelne zone, što je češći slučaj. Pod zonom se podrazumijeva međusobno povezana grupa ponora ili estavela. U jednom kraškom polju može biti više ponorskih i estavelnih zona ali nepovezanih, što znači da imaju različit mehanizam rada, ili isti mehanizam, ali različite konturne uslove pri radu. U uslovima potopljenosti ponori su pod pritiskom. Rad estavela odvija se uvijek pod pritiskom. Veličine ulaza i izlaza kod ponora i estavela zavise od geometrijskih i hidrauličkih karakteristika. U uslovima potopljenosti geometrija ponora i estavela i hidrogeološka funkcija sredine u smislu provodnosti su konstantni, pa su promjene veličina ulaza i izlaza uslovljene pijezometrijskim odnosima u sistemu.

Ponori

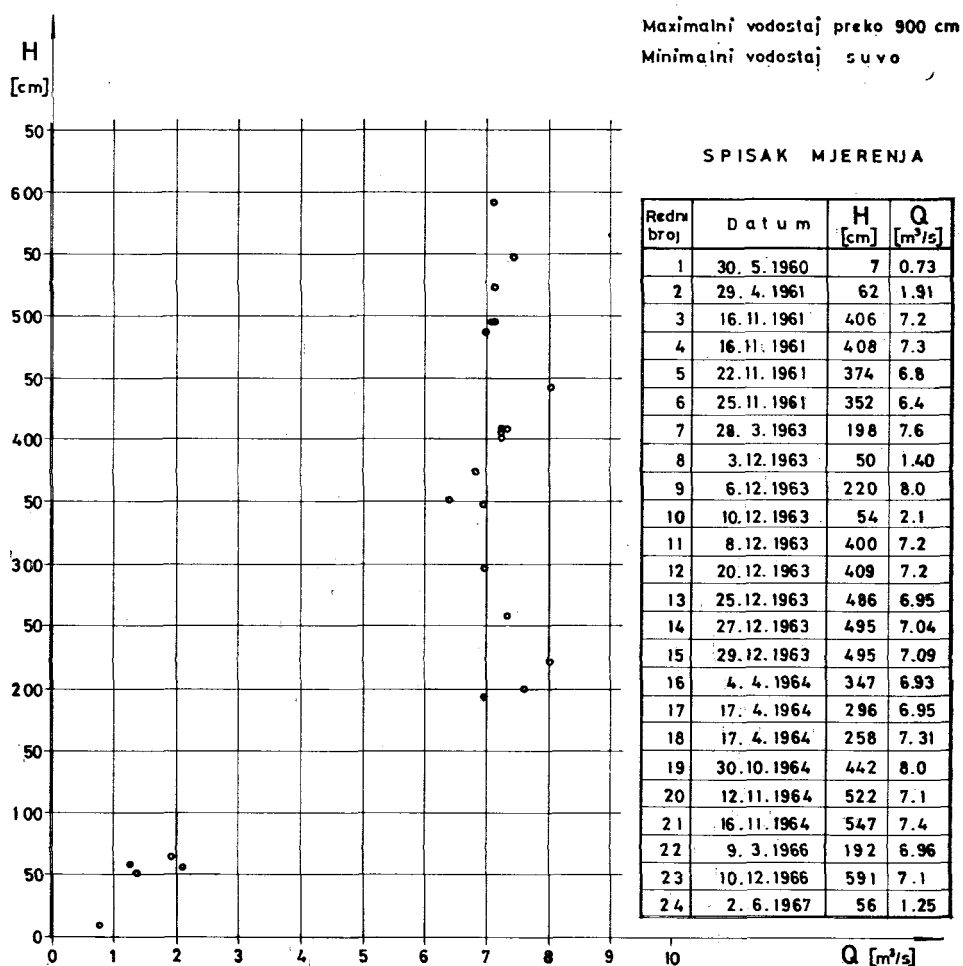
Oticaj kroz potopljene ponore sa konstantnim geometrijskim karakteristikama u opštem slučaju je funkcija pijezometrijskog stanja u evakuacionom podsistemu:

$$Q_p = f(H_1, H_2) \quad (1)$$



Sl. 1. Osnovni tipovi ponora

Fig. 1. Elementary ponor types (Q_p — ponor's discharge, ΔH — the altitude differences of piezometric line)



Sl. 2. Q — H dijagram ponora Ričina

Fig 2. Q — H diagram of Ričina ponor (maximal water level above 900 cm, minimal water level — dry)

Zavisno od karakteristika podsistema i od nivoa H_1 i H_2 (sl. 1) oticaj kroz ponore može biti konstantan i promjenljiv.

Približno konstantan oticaj kroz ponore moguć je kod ponora kod kojih varijacije pritiska nad ponorom (h_1) i na izlazu (h_2) vrlo malo utiču na promjenu ukupne visinske razlike (ΔH), koja uslovljava veličinu oticaja (sl. 1 i 2). U ovakvim uslovima je $h_1 < \Delta H > h_2$, a $Q_p \approx \text{const.}$

U evakuacionim podsistemima kod kojih su promjene pritiska na izlazu mnogo manje od promjena pritiska na ulazu i od ukupne razlike nivoa

$h_1 < \Delta H > h_2$, i kod kojih su ΔH i h_1 približno istog reda veličine, oticaj u podsistemu je funkcija samo nivoa vode nad ponorom: $Q_p = f(H_1)$.

Kod ponora ili ponorskih zona, čiji su provodnici pod pritiskom i u sprezi sa dijelovima podsistema u kojima dolazi do velikih promjena pritisaka javljaju se velike varijacije nivoa H_2 i oticaja kroz podsistem. Varijacije nivoa, posebno nivoa H_2 , mogu biti takve da dolazi do situacija kod kojih je $H_2 > H_1$. U takvim situacijama ponori rade kao izvori. Proticaj (oticaaj ili doticaj) ovisi o nivou nad ponorom i u podsistemu: $Q_p = f(H_1, H_2)$.

Estavele

Estavele su po mehanizmu slične ponorima čiji su provodnici pod pritiskom i u sprezi sa dijelovima podsistema u kojima se odvijaju znatne varijacije pritisaka. Od njih se razlikuju jedino po svom položaju u sistemu. Prema šemi na sl. 3 estavele predstavljaju vezu između rezervoara I i II. Veze provodnika na tom dijelu sistema su takve da omogućavaju da se za određeno pijeziometrijsko stanje u sistemu kroz provodnik odvija doticaj vode u rezervoar II, a da se za neko drugo pijeziometrijsko stanje kroz taj isti provodnik odvija oticaj iz rezervoara II. U čistim estavelnim sistemima estavele, ili njihove zone, su jedini ulaz i izlaz iz sistema. U takvim slučajevima u datoj šemi na sl. 3 nema odvodnika iz polja iza uskog grla.

Iz poglavlja 'Ponori' vidi se da bi znatan broj ponora mogao nositi naziv estavela. Mjerenja izvršena na najvećim ponorima u Fatničkom i Dabarskom polju to potvrđuju. Gotovo svake godine po nekoliko dana ovi ponori rade kao izvori. Kriterijum za naziv u ovakvim slučajevima trebao bi biti trajanje rada provodnika kao izvora i ponora.

Rezultati terenskih mjerenja

Za provjeru i dokaz postavke o mehanizmu ponora tipa c na sl. 1. i estavela korišteni su ponori Ponikva u Dabarskom polju, ponori Pasmica u Fatničkom polju i estavelni sistem u Mokrom polju. U ovom radu biće prikazani rezultati istraživanja u Dabarskom polju.

Dabarsko polje je kraško polje u Istočnoj Hercegovini, površine oko 30 km², volumena od 70 hm³ pri maksimalnom vodostaju i sa trajanjem poplava u polju u prosjeku od oko 90 dana.

Glavne ulaze u Dabarsko polje čine vodotok Opačica, te vrela Vrijeka i Ljelješnica. Glavni izlaz iz polja je ponor Ponikva, kroz koji se evakuira preko 60 % ukupnog doticaja u Dabarsko polje. Na ponoru Ponikvi, koji ima dosta pravilne proticajne profile, ugrađen je sistem za mjerenje brzina vode radi određivanja proticaja*. Traserima je utvrđeno da sve vode koje prolaze kroz ponor Ponikvu odlaze na vrela Bregave i to vode lijevog kraka ponora na Bitunju, a vode desnog kraka na vrela Velikog i Malog Suhavića. Na vrela

* Uredjaj je izradio Dr. Ing. Z. Janežić iz Zavoda za hidrotehniku GF sa idejom da se pomoću njega odredi oticanje iz polja, jer se vjerovalo da gotovo sve vode Dabarskog polja otiču kroz ponor Ponikvu.

Bregave otiču i vode ostalih ponora Dabarskog polja. Svi ponori u Dabarskom polju pripadaju jedinstvenom izlaznom podsistemu.

Za Dabarsko polje može se primjeniti šema data na sl. 3. To je podsistem sa po jednim generaliziranim ulazom i izlazom. U periodu poplava podsistem je sa potopljenim izlazom (evakuacioni sistem je pod pritiskom) i u većem dijelu sa potopljenim ulazom. Veličine ulaza i izlaza podsistema vezane su jednačinom kontinuiteta, koja u zavisnosti od pijeometrijskih odnosa u podsistemu može da uzme jedan od ova dva oblika:

$$Q_D + Q_0 = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (2)$$

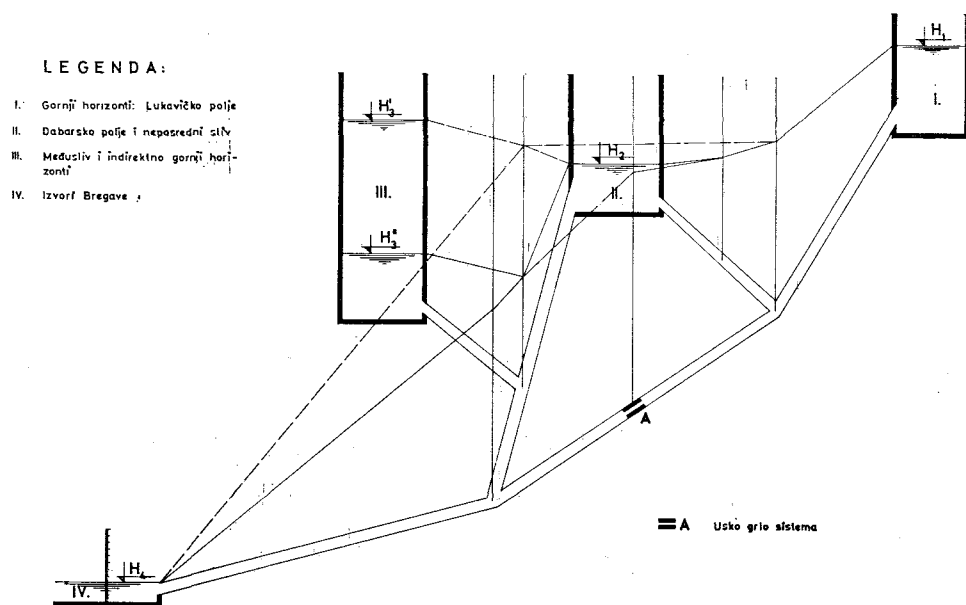
$$Q_D - Q_0 = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (3)$$

gdje su:

Q_D — doticaj u polje

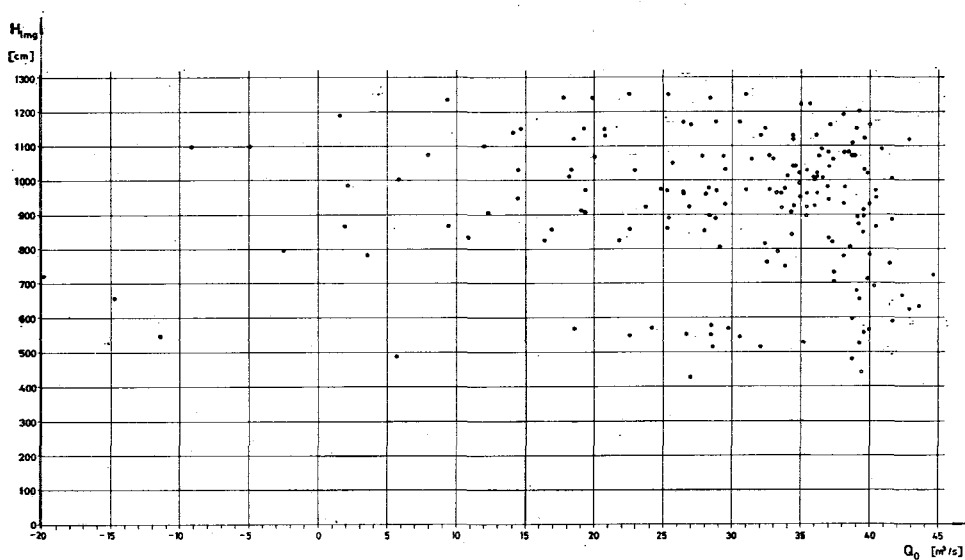
Q_0 — oticaj iz polja

$\frac{\Delta W}{\Delta t}$ promjena zapremine (u intervalu od 1 dana)



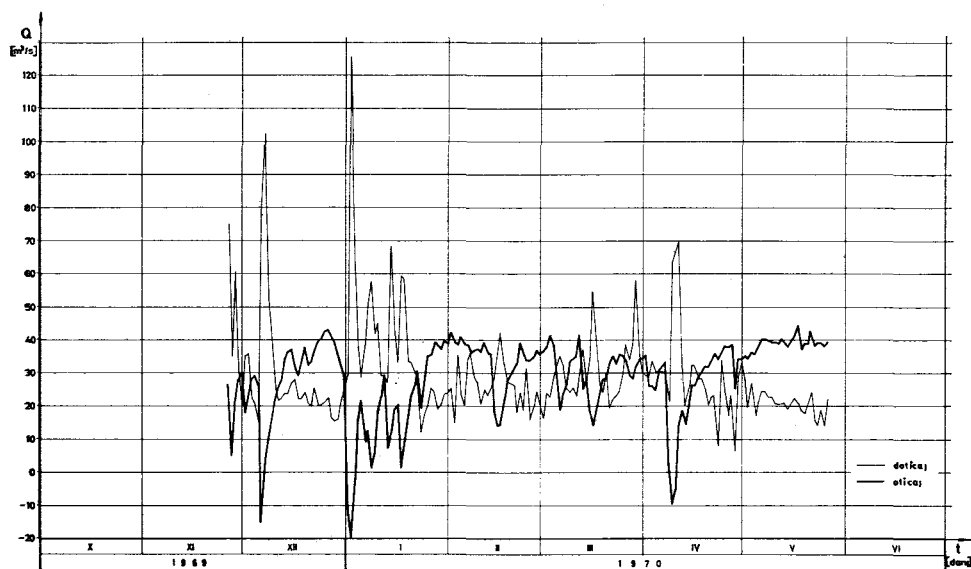
Sl. 3. Dabarsko polje — šema sistema

Fig. 3. Dabarsko polje — the system's scheme (Legend: I. the upper horizon: Lukavičko polje, II. Dabarsko polje and direct water basin, III. intermediate water basin and indirectly upper horizons, IV. Bregava sources). (= A — narrow gorge of the system)



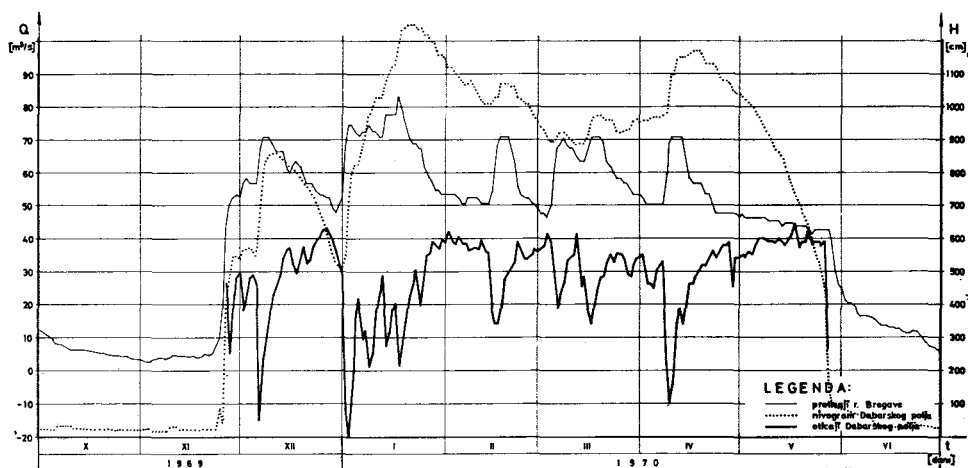
Sl. 4. Odnos vodostaja i oticaja Dabarskog polja

Fig. 4. The relation between water level and outflow from Dabarsko polje



Sl. 5. Hidrogram doticaja i oticaja Dabarskog polja za 1969/70 godinu

Fig. 5. Hydrogram of inflow and outflow from Dabarsko polje for 1969/70



Sl. 6. Hidrogram oticaja i niveogram Dabarskog polja sa hidrogramom r. Bregave u Suhom Dolu za 1969/70 godinu

Fig. 6. Hydrogram of outflow and niveaugram of Dabarsko polje with river Bregava in Suhi Dol hydrogram for 1969/70

(Legend: river Bregava discharge, — Dabarsko polje niveaugram, — outflow from Dabarsko polje)

Za određivanje Q_D i Q_0 potrebni su podaci o pritiscima na ulazu i izlazu te podaci o vodostajima u polju.

Svi izlazi (ponori) iz polja, pa i samo polje, približno su na istoj visini, na 472 mm. Za proračun je zato usvojeno ukupno oticanje (Q_0) direktno proporcionalno oticanju kroz ponore Ponikva: $Q_0 = k \cdot Q_p$.

Konstanta k određena je indirektno iz jednačine kontinuiteta za uslove pri kojima je $Q_P = 0$, a time i $Q_0 = 0$. Određivanje konstante k predstavljalo je znatnu teskoću jer nisu vršena mjerenja pritiska u dovodu. Problem je riješen na taj način što je kao reprezentant doticaja usvojena r. Opačica u Blacama. Sa doticajima u polje (iz $\frac{\Delta W}{\Delta t}$) za Q_0 približno 0 i vodostajima r. Opačice konstruisana je linija proticaja. Sa ovom linijom proticaja određeni su doticaji u polje za 30 dana decembra 1969. Pomoću ovih doticaja određeno je 30 koeficijenta k . Od 30 podataka 17 se nalazi u intervalu između 1,40 i 1,70. Računom je određena vrijednost $k = 1,58$.

Korištene jednačine za proračun Q_0 i Q_D glase:

$$Q_0 = 1,58 Q_P$$

$$Q_D = \frac{\Delta W}{\Delta t} + 1,58 Q_P$$

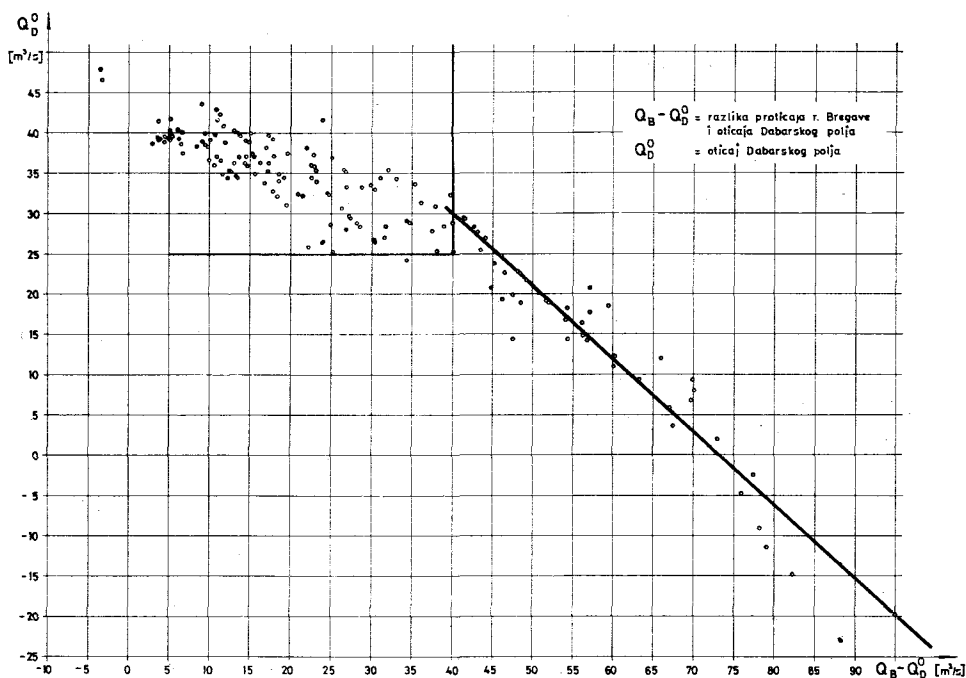
Sa određenim Q_0 iz jednačine kontinuiteta određeno je i Q_D .

Hidrogram oticaja iz Dabarskog polja sa hidrogramom r. Bregave na izvoru prikazan je na sl. 6. Iz hidrograma se vidi da je oticaj iz Dabarskog polja

promjenljiv. U obradjenoj hidrološkoj 1969/70 ponori su radili 10 dana kao izvori. Maksimalni oticaj kroz ponore iznosi $44 \text{ m}^3/\text{s}$, a maksimalni doticaj $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Na istoj slici nalazi se i nivogram Dabarskog polja koji prikazuje kako i koliko na podsistemu Dabarsko polje nivo vode u polju utiče na oticaje iz polja.

Iz sl. 6 se takodje vidi struktura i funkcija cijelog sistema. Akao usvojimo da globalnu hidrološku situaciju najbolje reprezentuje izlaz iz sistema — izvor r. Bregave i to sa »trenutnom« reakcijom (sistem je pod pritiskom), toda možemo uočiti da podzemni rezervoar na šemi označen kao međusliv sa svojim nivoom izaziva »prigušenje« i smanjenje oticaja iz polja. Prema hidrogramima spregnuti Dabarsko polje i međusliv (možda i neko polje) uslovljavaju na izlazu (Bregava u Dolu) pri maksimalnim vodostajima proticaje od oko $70 \text{ m}^3/\text{s}$, samo Dabarsko polje daje i uslovljava proticaje od oko $40 \text{ m}^3/\text{s}$, a podzemlje bez Dabarskog polja prema liniji iscrpljenja od 20 do $2 \text{ m}^3/\text{s}$, već prema dužini sušnog perioda.

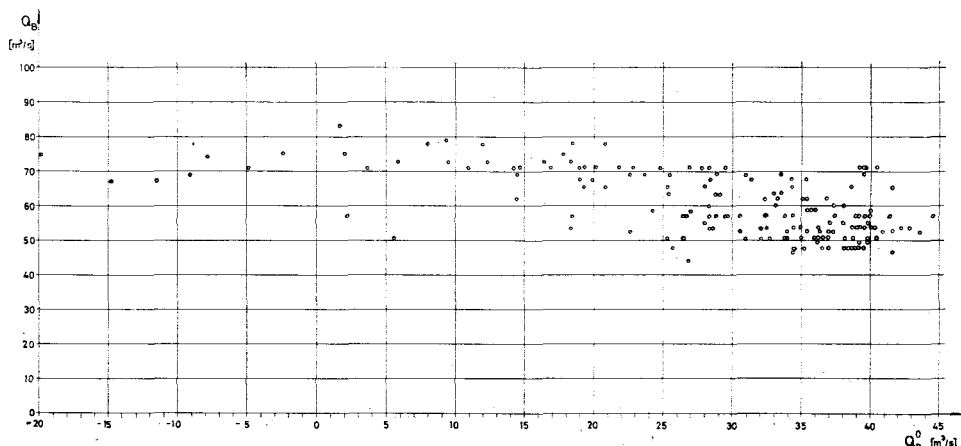
Zaključci izvedeni na osnovu sl. 3 i 6 provjereni su sa odnosom proticaja međusliva i oticaja iz Dabarskog polja pri čemu je proticaj međusliva dobiven kao razlika proticaja na vrelu Bregavu i oticaja iz Dabarskog polja (sl. 7). Uspostavljeni odnos pokazuje da je veza vrlo dobra kada međusliv ima dominantnu



Sl. 7. Odnos oticaja iz Dabarskog polja (rezervoar II) i međusliva (rezervoar III)

Fig. 7. The relation between Dabarsko polje outflow (reservoir II) and intermediate water basin outflow (reservoir III)

($Q_B - Q_D$ = the difference between river Bregava discharge and outflow from Dabarsko polje, Q_D = outflow from Dabarsko polje)



Sl. 8. Odnos proticaja r. Bregave u Suhom Dolu i oticaja Dabarskog polja
 Fig. 8. The relation between river Bregava discharge in Suhi Dol and outflow from Dabarsko polje

ulogu u doticaju. Sa druge strane zbog velikih varijacija nivoa u rezervoaru III, uticaj Dabarskog polja (rezervoar II) na proticaj r. Bregave (izlaz iz sistema) je varijabilan pa izmedju oticaja Dabarskog polja i r. Bregve ne može biti jednoznačne veze (sl. 8).

Na ovaj način je ujedno i kvantitativno dokazana postavka o mehanizmu podsistema sa ponorima tipa c.

Summary

THE MECHANISM OF PONORS (SINK-HOLES) AND ESTAVELAS

The hydrological and hydraulic system of a karst hydrogeological unit with the affected karst fields consists of: the watershed, water conductors, and karst fields. Sink-holes and estavelas are part of the water conductors, while flooded karst fields serve in the system as a means for the unloading of underground channels. The water conductors consist of a more or less complex system of underground streams which have been developed by the water travelling through the paths of damage of the earth's crust. Water conductors may be with free surface, under pressure, or partly under pressure and partly with free surface. The entrances and exits of submerged karst fields consist of sources, estavelas and sink-holes. The quantities which pass through the entrance and exit depends upon geometric and hydraulic characteristics. In conditions of flooding the geometric conditions of sink-holes, estavelas, and sources and the hydrogeological function of the medium are constant for conducting capacity, so that changes in discharge of entrances and exits are conditioned by piezometric ratios. These ratios also condition the function of parts of the water conductors or zones of the watercourse as to whether they can be termed sink-holes or estavelas.

Diskusija

J. Roglič:

Ing. Avdagić ukazuje na prednost kvantitativnih metoda, što svako mora prihvatiti. Ali je opća pojava u kršu da imamo očitu disproporciju između mutnih voda s mnogo grubog nanosa (osobito granja) i relativno čistih voda na vrelima. Podzemni »filtri« su, dakle, golemog kapaciteta.

P. Habič:

Mehanizam rada ponora, kako je predstavljen, važi za sisteme koji su povezani i zatvoreni. Ali deo sistema podzemnih kanala je prelivni, pa je kapacitet ponora vezan jedino na nivo vode u polju.

Odgovor (I. Avdagić):

Ne može se reći da se radi o zatvorenim sistemima, kad postoje izlazi iz njih.

Za ponore možemo reći da su povezani ako pripadaju istom izlaznom podsistemu. Ukoliko se radi o više izlaznih podsistema i još sa različitim mehanizmom rada onda su to nepovezani ponori. Analiza takvih mogućnosti data je u referatu, a samo korišteni primjer obrade, odnosi se na povezani sistem. Pri obradi nužno je pored hidrogeoloških ocjena, mjerenjima utvrditi mehanizam rada ponora i njihovu povezanost. Na osnovu ovih podataka može se dati šema funkcije sistema i načina proračuna proticaja kroz ponore.

NEKI ASPEKTI PRIMJENE GEOFIZIČKIH, POSEBNO
GEOELEKTRIČNIH ISTRAŽIVANJA U SPELEOLOGIJI

(sa 5 slika u tekstu)

SOME ASPECTS OF THE APPLICATION OF GEOPHYSICAL,
PARTICULARLY GEOELECTRICAL METHODS IN SPELEOLOGY

(with 5 Figures in Text)

Z V O N I M I R K R U L C

(Geofizika«, Zagreb)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktobar 1972)
Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

Uvod

Danas je već općenito prihvaćena nužnost primjene kompleksa različitih metoda istraživanja kod rješavanja svih vrsta praktičnih strukturno-geoloških, hidrogeoloških, inženjersko-geoloških, rudno-geoloških i drugih zadataka na području jugoslavenskog krša. Svrishodnom kombinacijom različitih metoda istraživanja eliminirat će se nedostaci pojedinih jednostranih ispitivanja, dopunit će se podaci regionalnih (rekognoscirajućih) i integralnih postupaka istraživanja i bitno povećati pouzdanost kompleksnih rezultata i zaključaka. Sistematsko kompleksno istraživanje ima dakako velikog odraza i u ekonomičnosti praktičnog izvođenja tehničkih zahvata, jer samo takav način rada osigurava rješavanje različitih zadataka na području krša u optimalnim vremenskim i drugim granicama.

U sklop kompleksa odnosno kombinacija metoda istraživanja ulaze i geofizičke metode ispitivanja tla odnosno podzemlja. Posljednjih godina bilježi se širom svijeta i u nas stalan porast geofizičke djelatnosti. Posebnu pažnju zaslužuju stalni napredak i usavršavanje tehnike i obrade geofizičkih mjerenja — primjenom sve savršenijih i pouzdanih instrumenata (za registraciju i za obradu podataka mjerenja) kao i usavršavanjem te produbljivanjem metoda interpretacije (Z. Krulc, 1970). Zahvaljujući tome primijenjuju se raznovrsne geofizičke metode sve više i u sve širem krugu najrazličitijih praktičnih zadataka.

U speleologiji i hidrologiji krša nalaze geofizičke, posebno pak geoelektrične, metode svoje mjesto kako kod otkrivanja i daljnjeg istraživanja većih podzemnih šupljina tako i kod proučavanja nekih osnovnih i detaljnih ili lokalnih i specifičnih hidrogeoloških faktora i uvjeta.

Osnovna je svrha ovog prikaza, da na temelju osvrta na neke ranije i novije objavljene podatke i njihovu korelaciju sa novim rezultatima, zatim razmatranjem nekih posebnosti kod primjene geofizike te konačno predočivanjem nekih novih rezultata ukaže na mogućnost geofizike, posebno geoelektrike, kod rješavanja nekih zadataka i problema u speleologiji i hidrologiji krša.

Osvrt na primjenu geofizike u speleologiji

U poznatoj i dostupnoj literaturi mogu se naći ovi podaci odnosno rezultati o primjeni geofizičkih metoda u speleologiji.

J. I. Sell Cantalapiedra i J. L. Gutierrez Diez (1961) razmatraju primjenu geofizičkih metoda kod određivanja položaja špilja i pukotina te opisuju praktičan primjer riješen pomoću posebne geoelektrične metode.

E. Bolelli i J. Lakshmanan (1965) ukazuju na odgovarajući oprez i faktore što ograničavaju primjenu geoelektrike, refrakcijske seizmike i gravimetrije kod utvrđivanja podzemne vode u kršu. Kod gravimetrijskog ispitivanja špilja treba kod računanja anomalija voditi računa o tome, da može u špiljama biti zrak, voda ili gлина.

G. M. Habberjam (1969) pregledno i detaljno razmatra rezultate geoelektričnog profiliranja (po postupku Wenner-a) na modelu okrugle špilje u obliku šuplje gumene kugle, u homogenoj izotropnoj sredini. Prikazuje i analizira krivulje (dijagrame) odnosa prividnog specifičnog otpora prema specifičnom otporu okolne sredine, koje su dobivene kod mjerenja u profilima iznad središta kugle (špilje, kaverne), u ovisnosti o odnosu dubine zalijeganja gornje površine kugle prema njenom polumjeru (h/r) i o odnosu elektrodnog razmaka prema polumjeru (a/r). Iz prikazanih krivulja i analize može se zaključiti, da je moguće zadovoljavajuće riješiti većinu praktičnih zadataka otkrivanja i okonturivanja šupljih kugla (kaverna). Na sl. 1 su prikazane dvije krivulje, kojih parametri donekle odgovaraju uvjetima kasnije razmatranog praktičnog primjera iz našeg krša (usporedi sl. 3).

Više podataka o geofizičkim, posebno geoelektričnim, metodama ispitivanja špilja i rješavanja hidro(geo)loških problema krša ima u literaturi iz SSSR-a.

A. A. Ogilvi (1957) posvećuje geoelektričnim metodama proučavanja krša cijelu knjigu. Uz velik broj praktičnih primjera i ilustracija — dijelom rezultata ispitivanja na modelima — obrađuje A. A. Ogilvi uglavnom ovu problematiku: proučavanje općih geoloških problema krša; proučavanje dubinskog krškog reljefa; proučavanje podzemnih krških oblika i raspucanosti; studij hidrogeologije krških područja; opći metodski principi korištenja geoelektrike kod proučavanja krških pojava. A. A. Ogilvi (1957) daje u geoelektrici težište postupcima profiliranja.

Lijep pregled mogućnosti i ograničenja primjene geofizičkih metoda studija osnovnih problema krša — posebno krških šupljina — daje A. A. Ogilvi 1960. godine. Kao najsvestranija metoda ispitivanja podzemnih krških pojava, naročito špilja, naglašena je geoelektrika sa svojim različitim postupcima.

A. A. Ogilvi i dr. (1960) detaljno i zorno opisuju metodiku geoelektričnih ispitivanja prostranog sistema špilja (niz podzemnih pećina i prostora pojedinačnih dužina 60...70 m, čak i 100...150 m, visina do 30 m) u dubini oko 60...70 m. Sistem podzemnih šupljina nalazi se u seriji slojeva gipsa i anhidrita sa proslojcima karbonatnih naslaga. Primijenjeno je više postupaka geoelektričnog profiliranja i geoelektrično sondiranje. Na »kartama otpora« (kartama izooma) i u profilima prividnog specifičnog otpora bila su potpuno zadovoljavajuće okonturena područja odnosno položaji osnovnih podzemnih špilja i drugih šupljina (hodnika i sl.). Cjeline slabo okršanih stijena razlikuju se niskim specifičnim otporom. Anomalne zone, vjerojatno također vezane za veće krške šupljine, prate se i iza granica poznatih špilja.

O metodici geofizičkog ispitivanja krških šupljina na primjeru istražnih radova na području iste špilje izvještava i B. K. Matveev (1963 a). Nakon kraćeg opisa mogućnosti i ograničenja primjene drugih geofizičkih metoda (gravimetrije, seizmike i magnetometrije) naglašeno je, da je kod ispitivanja krških šupljina najperspektivnija geoelektrika sa svojim različitim modi-

fikacijama. Analiza usporedbe teoretskih razmatranja (računanja »anomalija« iznad kuglaste šupljine) i praktičnih rezultata mjerenja iznad sistema špilja dala je ove postavke za metodiku geoelektričnog ispitivanja šupljina u kršu: 1. šupljine iznad nivoa podzemne vode ispoljavaju se u dijagramima geoelektričnog profiliranja maksimumima, a ispod — minimumima prividnog specifičnog otpora; 2. vjerojatnost njihovog ispoljavanja je skoro jednaka pod uvjetom, da srednja veličina šupljine po horizontali bude jednaka ili veća od dubine zalijeganja; 3. veličina anomalija ovisi o više faktora: o dubini zalijeganja šupljine, njezinim horizontalnim dimenzijama, debljini vodljivih površinskih naslaga, odnosu specifičnog otpora ispunjenja prema otporu okolne sredine, a i o dimenzijama te vrsti rasporeda mjerenja. Uz praktične preporuke B. K. Matveev (1963 a) zaključuje, da je treba kod ispitivanja šupljina u kršu primijenjivati kombinaciju postupaka geoelektričnih mjerenja.

Posebno su interesantni rezultati geoelektričnog profiliranja iznad prostrane šupljine na području Krima (Ja. S. Sapužak i B. M. Smol'nikov, 1962). Šupljini su naime odgovarala sniženja vrijednosti prividnog specifičnog otpora, što autori objašnjavaju glinizacijom njezinih stijena. Na planu je šupljina okonturena na karti gradijenata prividnog specifičnog otpora.

Kompleksna istraživanja dubinskog krša u gipsu, uključujući geoelektrične metode, opisuju veoma detaljno V. N. Dubljanskij i B. M. Smol'nikov (1969), ukazujući na efektivnost primjene kompleksa geoelektričnih postupaka mjerenja kod ispitivanja špilja.

Primjena geoelektrike kod rješavanja hidro(geo)loških problema krša prilično je opsežno opisana u već spomenutom radu A. A. Oigilvija (1957). Spomenuti treba još i rad B. K. Matveeva (1963 b), u kojem je dat vrlo lijep pregled površinskih i bušotinskih geofizičkih (pretežno geoelektričnih) postupaka ispitivanja cirkulacije pukotinskih podzemnih voda u kršu. U oba rada posebno se ističe metoda električki nabijenog tijela kod istraživanja podzemnih tokova vode u kršu.

Kratki prikaz mogućnosti i rezultata geofizičkih ispitivanja kod istraživanja špilja i utvrđivanja podzemnih vodotoka u jugoslavenskom kršu daje F. Jenko (1959). Autor tog vrlo lijepog osvrta na hidrologiju našeg krša navodi čak i granice kvantitativnog određivanja veličine i dubine suhih špilja pomoću gravimetrije (prema rezultatima tršćanskih geofizičara) i geoelektrike. F. Jenko (1969) ukazuje na uspješnost utvrđivanja (dokazivanja) toka podzemne vode kompleksnim načinom istraga.

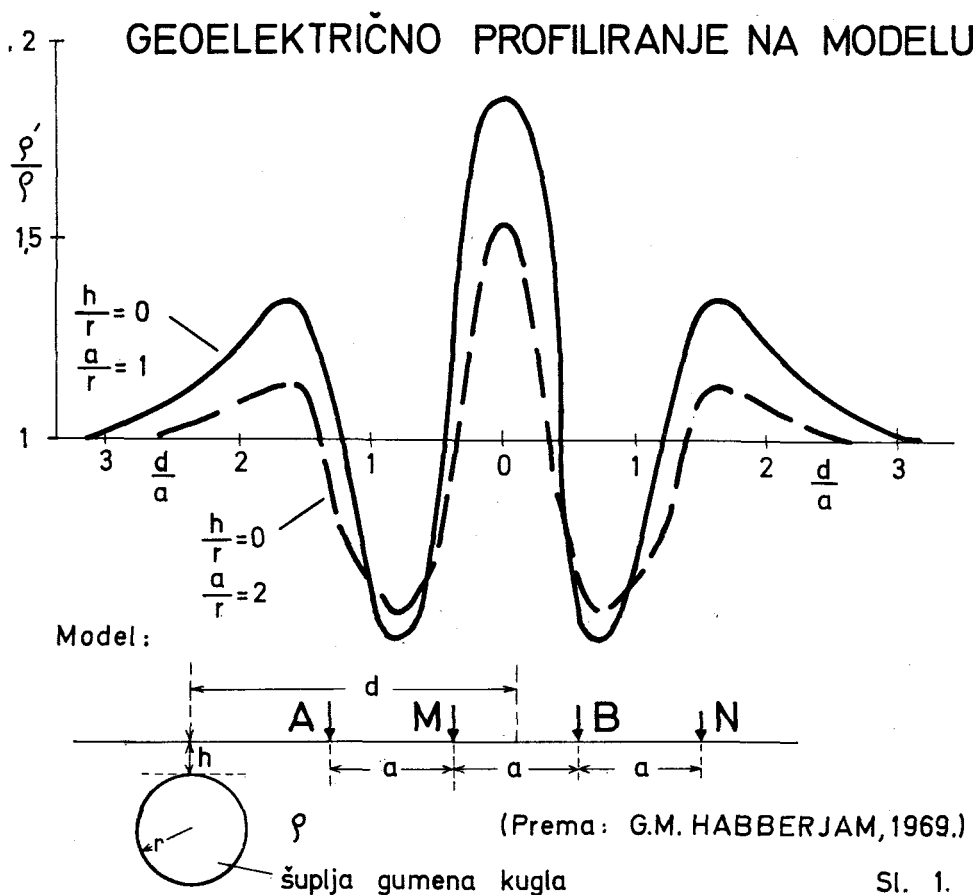
Lj. Milošević (1957) opisuje vrlo interesantne rezultate probnih geoelektričnih ispitivanja iznad špilje Vjetrenice blizu Trebinja. Sl. 2 prikazuje dijagram profiliranja (sa Wenner-ovim elektrodnim rasporedom) iznad špilje, koja se ovdje nalazi u dubini oko 18 m, a ima širinu oko 12 i visinu oko 5 m. Špilja je bila »ispunjena« samo sa zrakom i vladala se geoelektrički kao izolator; dijagram profiliranja pokazuje dva simetrična maksimuma i jedan minimum između njih. Minimum prividnog specifičnog otpora odgovara sredini rasporeda profiliranja, kada je ova iznad pećine. Identični dijagram profiliranja dobiven je — također i kod ponovnih mjerenja — u zaleđu ponora Dražin Dol (kod Trebinja) iznad kaverne — bez vode i djelomično ispunjene vodom, tj. sa minimumom prividnog specifičnog otpora iznad kaverne (Lj. Milošević, 1957).

O primjeni metode električki nabijenog tijela kod utvrđivanja podzemnih tokova vode u našem kršu bilo je već referirano (vidi: Z. Krulc, 1967, 1968, 1972); u prva dva rada je i pobliže opisana ova geoelektrična metoda.

Praktični primjeri

Istraživanje špilja

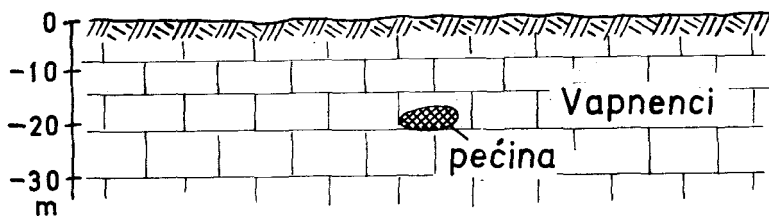
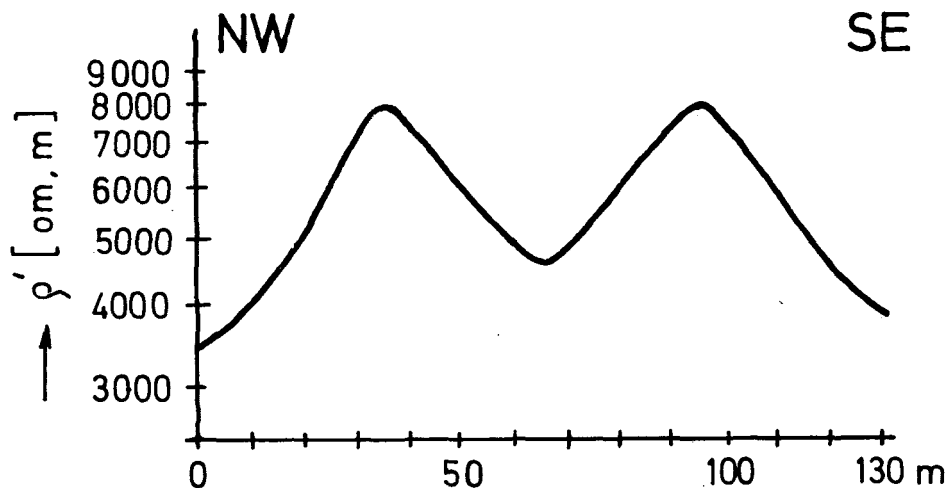
Rezultati probnog geoelektričnog profiliranja (sl. 3) iznad »Velike dvorane« dobro speleološki istražene Poljakove pećine (S. Božičević, 1965) veoma zorno potvrđuju zaključke G. M. Habberjama (1969) o zadovoljavajućim mogućnostima geoelektričnog profiliranja kod otkrivanja i okonturavanja podzemnih kaverna (špilja). Na oba dijagrama (za dva po dubinskom zahvatu različita elektrodna razmaka) ispoljavaju se dva minimuma i između njih jedan



Sl. 1.

GEOELEKTRIČNO PROFILIRANJE

(WENNER, $a = 30$ m)



(Prema LJ. MILOŠEVIĆ-u, 1957.)

PEĆINA VJETRENICA

Sl. 2.

maksimum prividnog specifičnog otpora. Oštrije »vanjske« odnosno »rubne« promjene dijagrama profiliranja približno odgovaraju granicama pećine (M. Mladenović, 1963). Pećina ima na mjestu geoelektričnog profiliranja širinu oko 25 m i visinu oko 20 m, a nalazi se u dubini oko 40 m ispod površine terena; na istom mjestu je pećina pregrađena golemim kamenim blokom. Sa svih strana ovog bloka ima nekoliko manjih blokova i mnoštvo kamenog kršja. U pravcu juga, u završnom dijelu pećine, u dužini od 10 m tlo je pokriveno kamenim blokovima, a iza toga je pećinska ilovača (S. Božičević, 1965).

Posebno je interesantna činjenica, da su izmjereni prividni specifični otpori u užem području špilje (a u SW smjeru i u širem području) neočekivano i neobično niski. Oni se kreću unutar granica od oko 20 i 250 cm. m, što je protivno teoretskim postavkama i iskustvenim podacima. Ovakve okolnosti otežavaju interpretaciju rezultata geoelektričnih mjerenja. Jasno ispoljena dva minimuma i između njih jasno izražen maksimum otpora u dijagramima profiliranja ukazuju, međutim, jednoznačno na prisustvo veće šupljine u podzemlju. Prema speleološkim istraživanjima (S. Božičević, 1965) stijene pećine nisu glinizirane, nego pune sigastih tvorevina, pa se prema tome uzrok pojavi vrlo niskih prividnih specifičnih otpora — po usporedbi sa zapažanjima na području Krima (Ja. S. Sapužak i B. M. Smol'nikov, 1962) — mora tražiti u litološkom sastavu okolne sredine. Speleološka istraživanja su doista pokazala, da je pećina izgrađena u gromadastim i brečolikim neuslojenim vapnencima, vapnenim brečama i brečama. Svi ti sedimenti nepravilno se izmjenjuju, a katkada su povezani laporovitim vezivom. Pojava lećasto uložanih laporovitih materijala unutar breča vidljiva je u NE dijelu Velike dvorane (S. Božičević, 1965). Veće količine laporovitog veziva i leće laporovitog materijala uzrok su dakle vrlo niskim prividnim specifičnim otporima; na potezu geoelektričnog profila smanjenje šupljeg prostora pojavom golemog kamenog bloka također snižuje komponentu visokog specifičnog otpora zraka. Preostali šuplji prostor ipak je bio jasno ispoljen sa dva izrazita minimuma i jednim maksimumom između njih.

Primjena geoelektrike na hidro(geo)loškim problemima

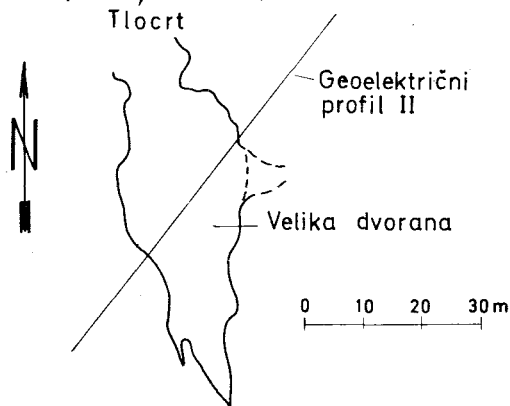
Primjena kombiniranih geoelektričnih ispitivanja pruža veliku pomoć kod rješavanja praktičnih hidro(geo)loških zadataka na području Dinarskog krša. To su najčešće vodoistražni radovi, gdje svrsishodnost i korisnost primjene kompleksa različitih metoda istraživanja dolazi sve više do izražaja.

Geoelektrična ispitivanja — redovito korištenjem više različitih postupaka i modifikacija mjerenja — najčešće se primjenjuju za indirektna rješavanja pitanja prisustva podzemnih tokova vode.

Glavnom metodom geoelektričnog rješavanja osnovnih hidrogeoloških uvjeta i faktora smatra se profiliranje. Ono se izvodi redovito sa više dubinskih zahvata (različitih razmaka elektroda), da se tako dobije više uvida u geoelektrične i zatim hidrogeološke odnose po dubini. Rezultati imaju kvalitativan karakter. Osnovnim »anomalijama« (ili »indikacijama«) smatraju se zone sniženja vrijednosti prividnog specifičnog otpora i pripisuju se više karstificiranim i raspucanim zonama stijena. Povezivanjem utvrđenih geoelektričnih anomalnih zona na karti i hidrogeološkom interpretacijom istih donose se zaključci o hori-

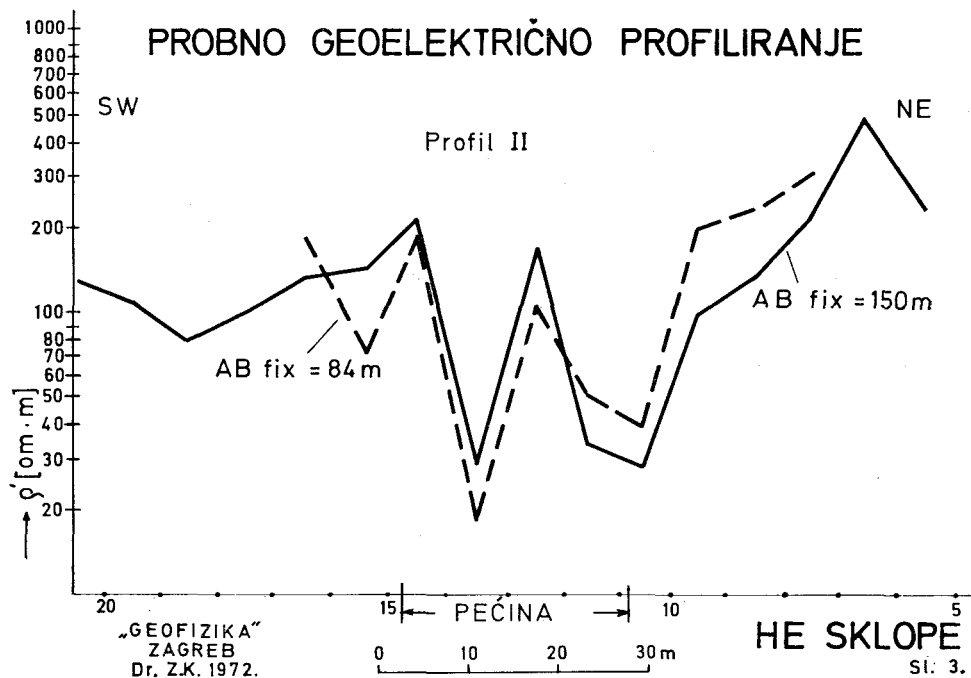
POLJAKOVA PEĆINA

(Lika, Kruščica)

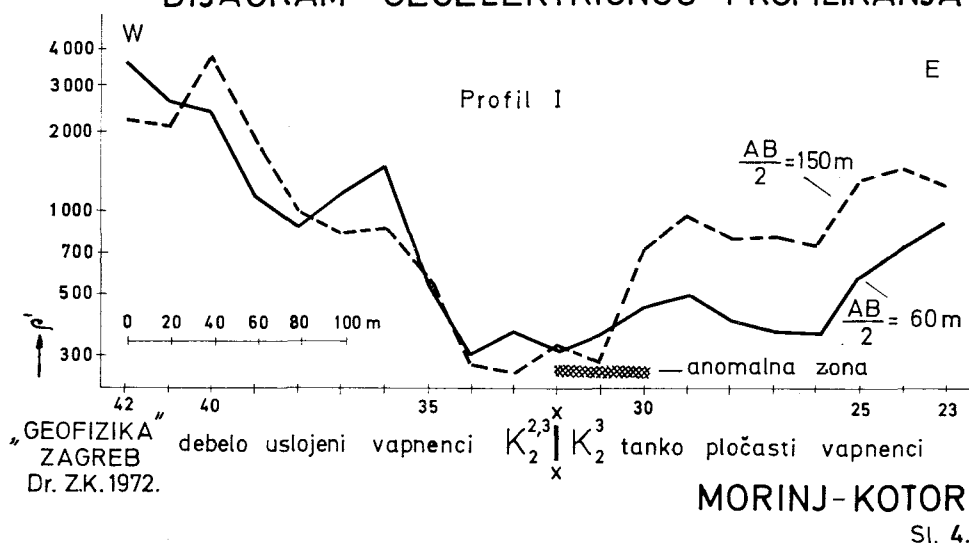


(Prema S. BOŽIČEVIĆ-u, 1965.)

PROBNO GEOELEKTRIČNO PROFILIRANJE



DIJAGRAM GEOELEKTRIČNOG PROFILIRANJA

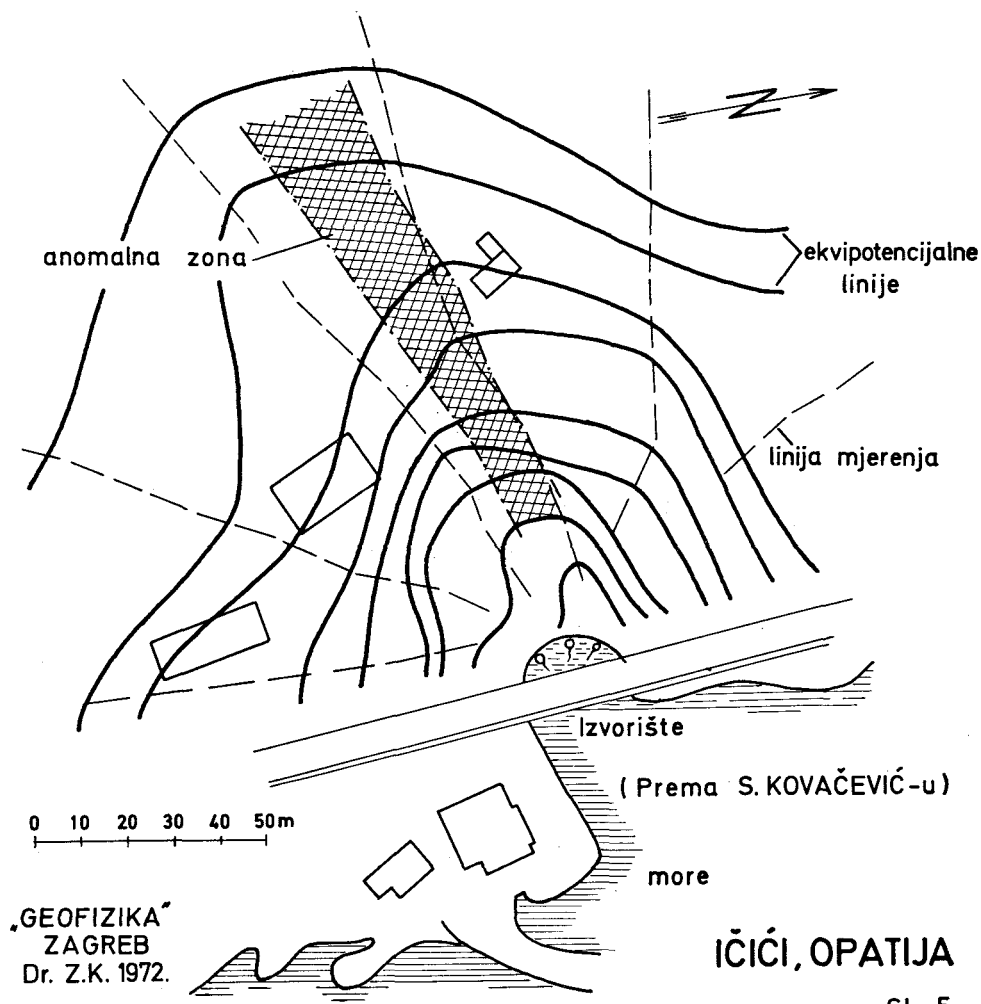


zontalnom i vertikalnom protezanju više karstificiranih, redovito tektonski poremećenih (boranih, rasjedanih, razlomljenih i raspucanih) zona. Takve zone su često i zone cirkulacije podzemnih tokova vode u kršu.

Sl. 4 prikazuje jedan praktičan primjer i to dio profila geoelektričnog profiliranja u zaleđu skupine stalnih izvora na obali u Morinjskom zaljevu (Boka Kotorska). Anomalna zona javlja se uz rasjedni kontakt debelo uslojenih vapnenaca sa dosta rožnaca, mjestimice brečolikih, sa tanko pločastim, kristaliničnim, mjestimice laporovitim vapnencima sa rožnacima (R. Drecun, 1968). Interesantno i važno je ovdje naglasiti, da se u dijagramima profiliranja po prividnim specifičnim otporima jasno razlikuju navedene dvije vrste vapnenaca: tanko pločasti, mjestimice laporoviti vapnenci imaju dosta niske prividne otpore (desni, istočni, dio profila na sl. 4), a debelo uslojeni, mjestimice brečoliki vapnenci dosta visoke prividne specifične otpore (lijevi, zapadni, dio profila na sl. 4).

Geoelektrična metoda električki nabijenog tijela može se pak koristiti i za direktna utvrđivanja podzemnih tokova vode. Praktičan primjer pokazuje sl. 5 i to sa područja Opatijske rivijere. Kod Ičića nalazi se više izvora približno u razini mora. Voda ovih izvora je zaslanjena, pa je potrebno podzemne tokove vode zahvatiti u zaleđu, gdje voda još nije zaslanjena. Kompleksnim (kombiniranim) vodoistražnim radovima trebalo je utvrditi najpovoljnija mjesta za direktni zahvat podzemnog toka vode. Uz geoelektrična sondiranja i profiliranja na širem području zaleđa izvorišta izvršena su i mjerenja po metodi električki nabijenog tijela na tom izvorištu — sa strujnom elektrodom u samom izvoru. Na sl. 5 jasno se zapaža značajno izobličenje ekvipotencijalnih linija u smjeru poprečno na obalu. Podzemna voda teče prema izvorištu vjerojatno iz njegova neposrednog zaleđa (smjerom utvrđene anomalne zone). Sa tim smjerom može se

GEOELEKTRIČNO UTVRĐIVANJE PODZEMNOG VODOTOKA



Sl. 5.

povezati anomalija na nešto udaljenijem profilu geoelektričnog profiliranja (S. Kovačević i S. Romandić, 1972). Direktni zahvati podzemnog toka vode u zaleđu izvorišta nisu još izvršeni.

Zaključak

Prikazani osvrt na primjenu geofizike, posebno geoelektrike, u speleologiji i hidro(geo)logiji krša širom svijeta i kod nas kao i praktični primjeri ukazuju na velike mogućnosti geoelektrike. Te mogućnosti kod otkrivanja i detaljnijeg

istraživanja većih šupljina sa površine nisu dovoljno korištene. Veća i šira je primjena geoelektrike kod rješavanja praktičnih hidro(geo)loških zadataka na području Dinarskog krša.

O primjeni ostalih geofizičkih metoda ima manje podataka u stranoj i našoj literaturi. Primjena gravimetrijskih ispitivanja svakako zaslužuje pažnju, jer objavljeni podaci o korištenju u uvjetima krša kao i njihova primjena na drugim zadacima sličnog detaljnog karaktera (tzv. »mikrogravimetrija«) ukazuju na veliku perspektivnost gravimetrije. Dakako da su danas mogućnosti ove geofizičke metode u speleologiji povećane usavršavanjem i produbljivanjem metoda interpretacije.

Posebno treba naglasiti ne samo svrsishodnost i opravdanost, već sa gledišta racionalnog i ekonomičnog rješavanja različitih praktičnih zadataka na području krša dapače i nužnost, korištenja kompleksa različitih metoda istraživanja.

Summary

SOME ASPECTS OF THE APPLICATION OF GEOPHYSICAL, PARTICULARLY GEOELECTRICAL, METHODS IN SPELEOLOGY

A review of the application of geophysical, particularly geoelectrical, methods in the speleology, as well as some practical examples show, that these methods have already their position as in the detection of caves so in the solution of main hydro-(geo)logical problems in karst areas. The possibilities of geoelectrical methods are insufficiently used, especially in the detection and location of caves.

For the comparison with a practical example of geoelectrical profiling (mapping) over a cave (Fig. 3), the results of observed traverses over a buried insulating sphere in a homogeneous medium (model tank) — after G. M. Habberjam (1969) — are presented (Fig. 1). The diagrams (curves) agree very good: two minimums separated by a central maximum. These resistivity measurements indicated clearly the presence of the cave, but the measured resistivities were extremely low — contrarily to the theoretical supposition — caused by marl lenses. Such circumstances can certainly make difficult the interpretation of geoelectrical data. Fig. 2 shows the apparent resistivity curve over a karst cave filled with air (after Lj. Milošević, 1957).

Fig. 4 shows the results of the geoelectrical mapping in the hinterland of a group of permanent sea-shore water-springs. The anomaly zone occurs in a fault zone. Finally, Fig. 5 presents the result of an investigation of subterranean water connection using the method of the charged body.

It must be pointed out, that the complex investigations in the Dinaric karst area have been approved and they can be considered as indispensable and necessary.

Literatura

- Bolelli, E., J. Lakshmanan, 1965. Aperçu sur les limites d'application de la géophysique à la reconnaissance des karsts. »Chronique d'Hydrogéologie«, No. 7.
 Božičević, S., 1965. Poljakova pećina. Geološki vjesnik 18/1, Zagreb.
 Drecun, R., 1968. Kotor, Morinj — Ljuta. Geoelektrična ispitivanja. Izvještaj u fondu str. dokumenata, »Geofizika«, Zagreb.

- Dubl'janskij, V. N., B. M. Smol'nikov, 1969. Karstologo-geofizičeskie issledovanija karstovyh polostej pridnestrovskoj Podolii i Pokutja. »Naukova dumka«, Kiev.
- Habberjam, G. M., 1969. The location of spherical cavities using a tripotential resistivity technique. *Geophysics*, V. 34, No. 5, Tulsa (Oklahoma).
- Jenko, F., 1959. Hidrogeologija in vodno gospodarstvo krasi. Ljubljana.
- Kovačević, S., S. Romandić, 1972. Ika — Ičići, Opatija. Geoelektrična ispitivanja. Izvještaj u fondu str. dokumenata, »Geofizika«, Zagreb.
- Krulc, Z., 1967. Geophysikalische Untersuchungen unterirdischer Wasserwege im jugoslawischen Karst. *Steirische Beiträge z. Hydrogeologie*, Jg. 1966/67, Graz.
- 1968. Einige Ergebnisse geophysikalischer Untersuchungen der unterirdischen Wasserverbindungswege im Karst. *Actes du IV^e Congres intern. de speleologie en Yougoslavie*, 1965, Ljubljana.
- 1970. Današnje stanje i tendencije daljnjeg razvoja praktične geofizike. *Geološki glasnik* 14, Sarajevo.
- 1972. Weitere geophysikalische Untersuchungen unterirdischer Wasserwege im jugoslawischen Karst. *Geolog. Jahrbuch*, C 2, Hannover.
- Matveev, B. K., 1963 a. Metodika geofizičeskogo izučenija karstovyh polostej na primere rabot v rajone Kungurskoj ledjanoj peščery. Metodika izučenija karsta, Vyp. 5 — Geofizičeskie metody, Perm.
- 1963 b. Metodika izučenija dviženija treščinno-karstovyh vod geofizičeskimi sposobami. Metodika izučenija karsta, Vyp. 5 — Geofizičeskie metody, Perm.
- Milošević, Lj., 1957. Određivanje podzemnih vodenih tokova i pećina geoelektričnim metodama u karstu u okolini Trebinja. *Vesnik Zav. za geol. i geofiz. istraživanja* 14, Beograd.
- Mladenović, M., 1963. HE Sklope. Geoelektrična ispitivanja u području injekcije zavjese na desnoj obali rijeke Like, 1962. Izvještaj o fondu str. dokumenata, »Geofizika«, Zagreb.
- Ogilvi, A. A., 1957. Geoelektričeskie metody izučenija karsta. Izdatel'stvo Moskovsk. univers-ta =, Moskva.
- 1960. Osnovnye voprosy izučenija karsta metodami geofiziki. *Zemlevedenie* 5, Moskva.
- Ogilvi, A. A., B. K. Matveev, V. G. Škabarnja;, 1960. Električeskaja razvedka Kungurskoj karstovoj peščery. *Vestnik Moskov. univers-ta*, No. 3, Moskva.
- Sapružak, Ja. S., B. M. Smol'nikov, 1962. Nekotorye osobenosti primenenija elektrorazvedki pri izučenii karsta Gornogo Kryma. *Geofiz. sbornik. Inst. Geofiz. AN USSR*, Vyp 3 (5), Kiev.
- Sell Cantalapiedra, J. I., J. L. Gutierrez Diez, 1961. Un caso de empleo de métodos geofísicos en la localización de cavidades y grietas. *Revista de Geofísica* 20, N. 77, Madrid.

Diskusija

P. Habič:

Predstavljena je zanimiva metoda za otkrivanje votlin in vode v nedostopnem podzemlju. Kakšna je občutljivost teh metod? Kako velike votline in kako globoko jih je mogoče odkriti?

Odgovor (Z. Krulc):

Veću i dublju primjenu geofizičkih metoda istraživanja kako šupljina tako i tokova podzemne vode ograničavaju veoma mnogo morfološki (topografski) uvjeti. Vrlo nepravilan površinski relief jako otežava gravimetrijska i geoelektrička, a i seizmička mjerenja. Ponori se nalaze većinom na južnim rubovima krških polja iznad kojih se dižu većinom strmi obronci i padine planina. Izvori sa druge strane nalaze se također često u uskim dolinama ili na strmim padinama.

Kod istraživanja podzemnih šupljina osnovni su faktori, koji odlučuju o mogućnosti njihova otkrivanja pomoću geofizike, njihove dimenzije i dubina. Na žalost imamo još premalo podataka o kvantitativnim odnosima, jer se geofizika dosad malo koristila u speleologiji. Neki su podaci o geoelektrici u mojem referatu.

Praćenje (utvrđivanje) podzemnih tokova vode po metodi električki nabijenog tijela moguće je u dubini oko 100 do 120 m. Količina vode podzemnog toka kod toga mora biti više litara na sekundu. Stanovitu ulogu igraju kod toga dakako hidrogeološki i morfološki (topografski) uvjeti.

D. Gavrilović:

Kako litološka heterogenost i položaj slojeva na profilu mjerenja utiču na tačnost merenja?

Odgovor (Z. Krulc):

Litološka heterogenost i položaj slojeva utječu na tačnost geofizičkih, posebno geoelektričkih mjerenja. Da se olakša interpretacija odnosno uzimanje u obzir tih uvjeta, obično se — uz modelska ispitivanja — koriste metode računanja teoretskih anomalija za poznate nagibe slojeva i varijacije litološkog sastava. Sa takvim računanjem približavamo se po potrebi postepeno stvarnim uvjetima i prilikama u prirodi.

R. Gašparović:

Kako se pokazuju seizmičke metode geofizičkih ispitivanja pukotina? U području Plata (HE Dubrovnik) obavljena su geofizička istraživanja seizmičkom metodom i pokazala izvanrednu podudarnost između defekata masa utvrđenim speleološkim istraživanjima i onih koje je pokazao seizmogram.

Odgovor (Z. Krulc):

Naša seizmička istraživanja (»Geofizika«, Zagreb) bila su na području krša izvršena samo kod vodoistražnih radova u južnoj Istri. Dobiveni su pozitivni rezultati, koji se vrlo dobro uklapaju u okvire rezultata drugih geofizičkih metoda. Seizmičke anomalije odnosno indikacije potvrđuju indikacije drugih geofizičkih metoda. Kao geofizičar ugodno sam iznenađen sa podacima uspješno primijenjene seizmičke metode u rješavanju speleoloških zadataka.

PALEOVEGETACIJSKE RAZISKAVE SEDIMENTOV
CERKNIŠKEGA JEZERA

(z 2 pelodnima diagramoma)

PALAEOVEGETATIONAL INVESTIGATIONS OF THE SEDIMENTS
OF CERKNIŠKO JEZERO (LAKE OF CERKNICA)

(with 2 Pollen Diagrams)

A L O J Z Š E R C E L J

(Inštitut za arheologijo SAZU, Ljubljana)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)

Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

Vprašanje, ali je bilo Cerknško jezero sploh kdaj pravo jezero, kdaj je to bilo, kakšen je bil njegov obseg, kakšna je bila mlajša tektonika v tem območju, kakšne paralele ima z Ljubljanskim barjem, bi bilo mogoče sčasoma rešiti s pelodnimi analizami primernih sedimentov iz te kotline.

Že vrtanja 16 strojnih in 46 ročnih vrtin, ki jih je dala napraviti Uprava za vodno gospodarstvo (M. Pleničar, 1953), so pokazala, da prekrivajo to ravnico le 4 do 5 m debele plasti kvartarnih sedimentov. Skalno dno Cerknškega jezera pa sestavljajo močno prepokani kredni, jurski in triasni apnenci in dolomiti.

Za naše namene pa so pomembne le kvartarne usedline. Od teh navaja M. Pleničar (cit.) prodnato talno plast, ki leži neposredno na skalni podlagi, in ki jo sestavlja apnenčev ali dolomitni drobir, pomešan z rjavo glino. Drobir je že precej kemično načet, vendar ni zaobljen od transporta. Najbolj razširjeni sediment pa je čvrsta, rjava glina, najbrž pedogenetsko predelani ostanek blata vsakoletnih poplav. Sega povečini do površja, oziroma pod recentni pedon in je žal brez peloda. Zato ji tudi vsaj za sedaj ne bo mogoče določiti starosti. Vendar je malo verjetno, da je ves ta stratum enake starosti.

Veliko pomembnejša je »siva laporna glina« kot jo imenuje M. Pleničar (1953, Profil III). Ta pa ne prekriva celotne kotline, temveč se razteza za hribom Goričica proti severovzhodu. Njen horizontalni obseg je doslej še neznan, v globino pa sega pri Novi ponikvi od skalnega dna do površja, to se pravi, da zavzema celotni profil sedimentov v tem delu. Seveda je zato na površju že pedogenetsko predelana in več kot 1 m globoko preprežena s koreninami vodnega rastlinja. vzdolž odmrlih korenin trstike (*Phragmites*) pa se ustvarjajo limonitne konkrecije cevaste ali stožčaste oblike.

Glede te »sive lapornate gline«, rekli bi ji lahko tudi jezerska kreda, se Pleničar sklada z A. Melikom (1951), da je to pleistocenski jezerski sediment. A. Melik ga celo časovno povezuje z ojezeritvami v Pivški kotlini. Res gre sicer za analogen, toda nikakor ne nujno sinhroni pojav.

Prvi poskusi pelodnih analiz ob Žirovinščici pri Retju (A. Šercelj, neobjavljeno) so dali slabe rezultate. V posameznih vzorcih je bilo le po nekaj pelodnih zrnec jelke in bukve, verjetno holocenske starosti. Vendar je takšna pelodna slika verjetno posledica selektivnega preperevanja peloda z avlojo pedogeneze.

Sledil je poskus pelodnih raziskav z ročnim vrtanjem v Zadnjem kraju, danes še najbolj vodnatem delu Cerknškega jezera (A. Šercelj, 1969). Dasi so tu sedimenti temne gline, kar sicer daje upanje na ugodne rezultate, smo našli pelod le v nekaterih plasteh.

V globini 80 do 90 cm prevladujejo spore praproti, od peloda pa borov (*Pinus*), smrekov (*Picea*), ter po nekaj pelodnih zrnec breze (*Betula*), lipa (*Tilia*),

leske (*Corylus*) in celo nekaj bukovih (*Fagus*) zrnč je bilo vmes. Po takšni pelodni sliki se da sklepati na zgodnje holocensko obdobje ali na konec poznega glaciala, to je na čas okrog 10 000 let pred sedanostjo. V globini 160 cm pa je bil že izključno borov pelod, kar pomeni, da spada ta plast še v pozni glacial.

Leta 1971 smo z udeleženci tabora Znanost mladini sondirali po Cerkljskem jezeru in okolici. Vrtina pod vasjo Gornje Jezero je dala precej pomembne rezultate. Ne morda toliko v paleoflorističnem pogledu, temveč je še pomembnejša zavoljo tega, ker smo dobili važne podatke o stratigrafiji in tektoniki (Šerclj, 1973).

Pelod vsebujoči del profila se začneja v globini 160 cm z drobnim, mivkastim peskom, pomešanim z organskim drobirjem. Podlaga tej plasti je prodnati grušč, ki ga omenja Pleničar. V globini med 130 in 80 cm leži plast gyttje, organskega drobirja. Od 80 cm navzgor pa se do površja nadaljuje bolj ali manj preperela šota, spodaj še mahovnata (*Hypnetum*), zgoraj pa travnata (*Caricetum*).

V pelodnem diagramu tega profila je mogoče razločiti 5 vegetacijskih faz (diagr. 1 v prilogi med str. 240/241).

V fazi A dominira mikrotermna vegetacija, to je takšna, ki prenese tudi hladne razmere: *Pinus*, *Betula*, *Pinus cembra*, *Juniperus*, *Ephedra*. To je bilo torej prav gotovo še hladno obdobje poznega glaciala, vendar že proti koncu. Termično indiferentni skupini rastlinja se namreč pridružuje že tudi termično zahtevnejše drevje: *Tilia*, *Ulmus*, *Quercus* (= *Quercetum mixtum*) in celo *Fagus*. Sklepamo lahko, da gre tu za allerödski interstadial, za čas med 12 000 in 10 800 leti pred sedanostjo. Torej se je od začetka holocena pa do danes vsedlo tu manj kot 1 m sedimenta, od tega povečini organski drobir ali skrepenela šota.

Zgornjega dela pelodnega diagrama ne moremo zanesljivo dodeliti različnim, pri nas že ugotovljenim holocenskim vegetacijskim fazam. Šotne plasti so namreč močno skrepenele in so se posedle. Vsekakor pa predstavlja odsek E povprečno sliko današnje vegetacije, kakor jo je opisal M. Zupančič (1969).

Toda tudi ta podatek nam je dovolj, da vemo, v katerem času se je teh 160 cm sedimenta začelo odlagati. Iz tega lahko tudi sklepamo, da je bilo to ozemlje v postglacialu tektonsko mirno, kvečjemu se je v celoti nekoliko dvigalo.

Za dviganje ozemlja bi govoril tudi naslednji pelodni diagram iz profila v usadu nove ponikve sredi Stržena. Tu si je namreč voda pred nekaj leti znova utrla pot skozi nekdanji požiralnik v skalnem dnu. Pri tem se je pokazal okrog 4 m visoki profil jezerske krede. In ta sediment sega od dna do površja sedanje ravnice in predstavlja torej enotno ter ne posebno dolgo sedimentacijsko fazo.

Ves pedogenetsko neprizadeti del profila vsebuje pelod, ki sicer ni najbolj ohranjen, vendar je še vedno primeren za pelodne analize. Obdelanih je bilo 25 vzorcev v razmakih po 10 cm, navzgor pa je pelod zavoljo pedogeneze že toliko korodiran, da rezultati niso več uporabni. Poleg peloda je v nekaterih horizontih tudi množica diatomej, ki bi prav gotovo bile vredne posebne obdelave.

Pelodni diagram (diagr. 2), ki je sicer precej enoten, kaže, da sta v tedanji vegetaciji vseskozi prevladovala bor (*Pinus*) in breza (*Betula*), smreka (*Picea*) pa je bila tretji najpogostejši gozdni edifikator. Takšen sestav gozda nedvomno dokazuje mikrotermne, hladne razmere. Krivulja borovca se v glavnem giblje na vrednostih med 50 in 80 % gozdne vegetacije, breza je dosegala 10 do 30 %, smreka pa se giblje okrog 10 % pelodne vrednosti.

Pri vrhu diagrama se krivulji bora in breze prekrížata in je za nekaj časa prevladala breza. Ta dogodek se kaže tudi v zeliščni vegetaciji (NAP), predvsem z dvigom pelodne vrednosti rodu *Artemisia*, kar največkrat pomeni prehod na stepno, vsekakor pa bolj odprto vegetacijo. Iz vsega tega smemo sklepati na močnejšo klimatsko spremembo, morda prehod k bolj kontinentalnemu podnebj, manj verjetno na obsežen gozdni požar.

Vendar pri vsem tem ne smemo prezreti stalne prisotnosti elementov mešanega hrastovega gozda, predvsem lipe (*Tilia*), hrasta (*Quercus*) in sprva še bresta (*Ulmus*). Skupaj z lesko (*Corylus*) dokazujejo vsi ti elementi, da podnebje le ni bilo ekstremno hladno, temveč, da so vendarle obstajali zavetnejši kotički (»nuna-taki«), kjer so se še mogli ohraniti navedeni listavci in še kakšna bukev vmes.

Toda v splošnem je bil gozd vendarle redek, saj so v glavnem vseskozi prevladovali heliofilne vrste. Po okoliškem hribovju pa je rastla že subarktična vegetacija, katere značilni predstavnik je bila *Selaginella selaginoides*. Če nič drugega, je to dokaz razmeroma nizke gozdne meje.

Takšna vegetacija in klimatske razmere pa so znane že iz drugih delov Slovenije, nekako sredi würma, po brörupskem interstadialu, to je pred približno 50 000 leti in pozneje. To samó na paleovegetacijski podlagi postavljeno datacijo je podprla še radiokarbonska datacija lesa iz vršaja Cerkniščice. Vršaj, v katerem se je nakopičil tudi rastlinski material, je bil namreč zamašil talni odtok vode, sedanja Rešeta, in hkrati napravil nekakšno prečno pregrado, za katero je nastalo jezero. Prav v tem vršaju je R. G o s p o d a r i č (neobjavljeno) odkril plast usedline, podobne jezerski kredi, ki sem jo po pelodni vsebini (A. Š e r c e l j, 1970) uvrstil v čas ob koncu brörupskega interstadiala, torej nekoliko starejše, kot je opisani profil jezerske krede. V drugi plasti istega vršaja je našel kose rastlinskih ostankov. Po dataciji v Groningenu (GrN-6317) naj bi bili stari do 55 000 let.

Starejših plasti od srednjewürmskih doslej še nismo ugotovili, kar pa seveda ne pomeni, da ne bomo pri nadaljnjem preučevanju morda naleteli na njihove ostanke; vsekakor pa so bile sredi würma gotovo močno erodirane. Toda že sedaj bi lahko s nadrobniim sondiranjem določili obseg jezera, ki smo o njem pravkar govorili, posredno pa tudi starost rjave gline, pač glede na njen stratigrafski položaj do jezerske krede.

Z dosedanjimi analizami smo dobili prve trdne podatke o pleistocenski zgodovini Cerkniškega jezera. Würmsko jezero je bilo vsekakor mlajše kakor vršaj Cerkniščice. Nastalo naj bi sredi würma, pred okrog 50 000 leti, in se je raztezalo vzhodno od Goričice. V njem se je odložila jezerska kreda, ki je ohranila paleovegetacijski in paleoklimatski zapis iz tistega časa. V primeri s celotno kotanjo je bilo to jezero po obsegu sicer le neznatno, vendar edino doslej dokazano pravo jezero. Trajalo pa ni niti do naslednjega, paudorfskega interstadiala, ki je nastopil pred okrog 30 000 leti. Vegetacija in podnebje se namreč v času odlaganja jezerske krede nista bistveno spremenili, vsaj ne na ugodnejše interstadialne razmere. Tako lahko domnevamo, da je würmsko jezero obstajalo med 50 000 in 30 000 leti, vendar najbrž niti ne vseh 20 000 let.

O kakšni stalni postglacialni ojezeritvi doslej še nimamo dokazov, prej nasprotno.

Teže pa bo najti odgovor na vprašanje, kako je na tako rešetasti in razgaljeni podlagi sploh moglo nastati jezero. Jezerska kreda je namreč odložena na golo

skalno podlago in seže v ponikvi celo v požiralnik. Gotovo so tu po sredi številni dejavniki. Mogoče je, da je kreda zamašila požiralnike in podzemeljske pretoke, kar pogosto vidimo v sedaj suhih jamah, zapolnjenih s flišno ilovico, ali pa je bil nivo podzemeljskih voda tedaj nekoliko višji z ozirom na ravnico, oziroma je bila ravnica nekoliko nižja.

Za to drugo domnevo govori tudi dejstvo, da se na nekdanje jezerske sedimente ni odložilo od mlajšega würma skozi ves postglacial prav nič sedimentov, mogoče jih je celo kaj odneslo. Pa tudi drugod, kakor na primer pod Gornjim Jezerom in v Zadnjem kraju, kamor würmsko jezero sploh ni seglo, se je od poznega glaciala do danes odložilo manj kot 160 cm usedlin. To gotovo pomeni, da je celotna ravnica Cerkniškega jezera prišla najkasneje v poznem glacialu nad nivo vode, dasi je je bilo več, kakor v pleistocenu. Tako hitro je presahnilo, da se ni moglo razviti niti ustrezno barje kot normalna razvojna faza presihajočih jezer.

Zato seveda tudi ne moremo govoriti o paralelah z Ljubljanskim barjem, katerega dno se je v istem času ugreznilo za 50 m, od začetka zadnjega interglaciala pa kar za 100 m (A. Šercelj, 1963, 1966). Na Cerkniškem jezeru pa je tektonika komaj opazna, pa še ta v nasprotni smeri, namreč v obliki neznatnega dviganja.

Radiokarbonsko datacijo je oskrbel dr. W. G. Mook, Natuurkundig Laboratorium, Universiteit Groningen, za kar se mu želim na tem mestu najlepše zahvaliti.

Summary

PALAEOVEGATIONAL INVESTIGATIONS OF THE SEDIMENTS OF CERKNIŠKO JEZERO

Very little has been known till now about the age of sediments and ancient water levels of Cerkniško jezero (periodical lake of Cerknica). The first pollen analyses of the samples of a profile along the brook Žirovinščica didn't give stimulating results.

The clayey sediments from Zadnji kraj do not contain pollen on all the levels. Nevertheless the pollen, found within this profile proves Late-Glacial in a depth of 160 cm (Šercelj, 1969).

Rather more reliable results gave the core of a bore-hole near the village Gornje Jezero. There the pollen-bearing sediments reach the depth of 150 cm. They all contain pollen. In the lower part, from the bottom up to 90 cm the pollen of the microthermal vegetation prevails. This means that this part of the core belongs to the Late-Glacial. The upper part of the profile is of postglacial age, but no distinct vegetational zones or chronological periods could be distinguished.

Anyway, the pollen zone E of the pollen diagram 1, displays some agreements with phytosociological picture given by M. Zupančič (1969).

Investigating the alluvial fan of the brook Cerkniščica R. Gospodarič discovered two polliniferous layers. Corresponding to their pollen content, layers could be correlated to the Middle-Würm period (A. Šercelj, 1970). The plant

macrofossils from these layers have been proved to be about 55 000 radiocarbon years (GrN-6317).

This Middle-Würm alluvial fan has stopped up a series of sinkholes (today's Rešeta) and at the same time formed a dam across the valley and so a lake originated in the upper part of the valley. This is proved by 4 m thick layers of lake marls which contain pollen of microthermal vegetation (diagram 2). In the pollen diagram there dominates *Pinus*, accompanied by *Betula* and *Picea*, only in the topmost part of the diagram the curve of *Betula* raises suddenly, together with nonarbooreal pollen, especially of that of *Artemisia*. The presence of *Ephedra* and periodically *Selaginella selaginoides* suggest a rather open vegetational covering.

But uninterrupted presence of the elements of *Quercetum mixtum* (*Quercus* + *Tilia* + *Ulmus*) suggest the existence of some »nunataks«, where broad-leaved trees could thrive even in the pleniglacial. Such conditions are known to be characteristic for Slovenia during the Middle-Würm (A. Šercelj, 1970) and so we can correlate the sediments of the alluvial fan of Cerknšičica and the marls of the lake. Nowhere except here lake sediments have been discovered in this basin until now. So there is a firm evidence that the middle-würm lake has been of much smaller extent than the basin itself.

There are no traces of a later permanent lake, even not in the postglacial period, the fact that is proved by relatively thin layers of late-glacial and postglacial sediments at Zadnji kraj and Gornje Jezero. This fact can also be regarded as a sign of scarce tectonic activity in this region; nevertheless intensive subsidence of the basin of Ljubljansko barje is proved for the same period by extensive pollen analytical investigations (A. Šercelj, 1963, 1966).

For the radiocarbon dating the author is indebted to Dr. W. G. Mook, Natuurkundig Laboratorium, Groningen.

Literatura

- Melik, A., 1951. Pliocenska Pivka (The Pliocene Pivka). Geografski vestnik 17, 17—39, Ljubljana.
- Pleničar, M., 1953. Prispevek h geologiji Cerknškega polja (Contribution to the geology of Cerknško Polje). Geologija 1, 111—119, Ljubljana.
- Šercelj, A., 1963. Razvoj würmske in holocenske gozdne vegetacije (Die Entwicklung der Würm- und der Holozänwaldvegetation in Slowenien). Razprave 4. razr. SAZU 7, 361—418, Ljubljana.
- 1966. Pelodne analize pleistocenskih in holocenskih sedimentov Ljubljanskega barja (Pollenanalytische Untersuchungen der pleistozänen und holozänen Ablagerungen von Ljubljansko barje). Razprave 4. razr. SAZU 9, 429—472, Ljubljana.
- 1969. Palinološka raziskovanja sedimentov Cerknškega jezera (Palynological Investigations of the Sediments of Cerknško jezero). 3. mednarodni mladinski raziskovalni tabor 69—71, Cerknica, Ljubljana.
- 1970. Würmska vegetacija in klima v Sloveniji (Würmeiszeitliche Vegetation und Klima in Slowenien). Razprave 4. razr. SAZU 13, 209—249, Ljubljana.
- 1973. Paleobotanične raziskave Cerknškega jezera in okolice (Paleobotanical Investigations of the Sediments of Cerknško Jezero and its Surroundings). Mladinski raziskovalni tabori, 1971, 1972, Ljubljana.
- Zupančič, M., 1969. Vegetacijska podoba okolice Cerknškega jezera (A Vegetation Picture of the Surrounding of Cerknica). 3. mednarodni mladinski raziskovalni tabor Cerknica, 93—107, Ljubljana.

Diskusija

P. Habič:

Problematična je interpretacija o tektoniki in vzrokih za odlaganje sedimentov. Za geomorfološko interpretacijo so potrebne še podrobne študije.

Odgovor (A. Šercelj):

Tu sem navedel le nekaj od možnih razlag, ki naj bi samo poživile debato in dale še druge razlage. Njihovo verjetnost pa bi bilo treba preizkusiti z drugimi disciplinami.

M. Malez: Da-li su na pleistocenskim sedimentima Cerkniškega polja primjene ostale mikropaleontološke analize osim spomenute palinološke, kao npr. analize ostrakoda, dijatomeja itd.?

Odgovor (A. Šercelj):

Ostrakodi se pri preparaciji za pelodno analizo odstranijo, zato ni sledov v preparatih. Pač pa je sediment bogat z dijatomejami. Njih določitev pa je še problematična.

JAMSKA ARHEOLOGIJA MATIČNEGA KRASA

(z 2 kartama v besedilu)

HÖHLENARCHÄOLOGIE DES KLASSISCHEN KARSTES

(mit 2 Karten im Text)

FRANCE LEBEN

(Inštitut za arheologijo SAZU, Ljubljana)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)

Vortrag am 6. Kongreß der jugoslawischen Höhlenforscher
(Sežana—Lipica, 10.—15. Oktober 1972)

Vpogled v zbrano gradivo publikacije Arheološka najdišča Slovenije nam s področja našega matičnega Krasa dokumentira domala sto prazgodovinskih najdišč na prostem. Največ so to ostanki utrjenih selišč na kraških vzpetinah in odkritja skeletnih ter žarnih grobov njih prebivalcev v neposredni okolici. Doslej zbrani podatki o materialni in duhovni kulturi pričajo, da se je v prazgodovini najgostejša poselitev Krasa začela v pozni bronasti dobi, da se je prostorsko in civilizacijsko razživela v vseh časovnih in kulturnih stopnjah starejše železne dobe in da je pričela upadati v mlajši železni dobi. Vse te poselitvene faze in elemente kulturnega razvoja na tem kraškem svetu hranijo predvsem ostanki gradišč, ki so bila mejne postojanke razprostranjenosti nosilcev kulture istrskih in primorskih kaštelirjev. Tod so se skupaj s staroselci naselila plemena alpskih Ilirov in Venetov, za njimi keltska plemena Karnov, dokler jih ni izpodrinila in asimilirala okupacija rimskega imperija.

Raziskovanja tridesetih doslej znanih jamskih najdišč na matičnem Krasu (Komenski, Sežanski, Divaški, Matarski in Istrski kras) pa so naši arheološki vedi odkrila več. Dopolnila so spisek in karto razprostranjenosti na skoraj 150 jamskih arheoloških postaj na Slovenskem (vključno s Furlanijo in Julijsko krajino), razširila so naselitveno in funkcijsko problematiko jamskih prostorov, dokazala so bistvene časovne in kulturne okoliščine o bivanju prazgodovinskega človeka na krasu in odprla nove strani o njegovi materialni in duhovni kulturi (F. L e b e n , 1970, 409; 1971, 73). Ker so v mnogih jamah odkrili zgolj slučajne in posamične najdbe, moramo za čim realnejšo interpretacijo jamske poselitve tega dela Slovenije uporabljati inventar le tistih najdišč, ki nam stratigrafsko in tipološko omogoča čim točnejšo relativno in absolutno kronološko sliko izkopanin.

Najstarejša poselitev matičnega Krasa sega v starejšo kameno dobo. Zajejne ledenodobne plasti *Jame v kamnolomu nad Črnim Kalom* je izkopal S. Brodar (B r o d a r , 1958, 269; 1963, 193). Po pleistocenskem kronološkem sistemu je uvrstil plasti z bogato favno od mindel-riškega interglaciala (M/R) do tretjega würmskega stadiala (W III). Najstarejše znake človekove prisotnosti s kuriščem je odkril v plasti riško-würmske medledene dobe. V plasti prvega würmskega poledenitvenega sunka (W I) pa je tičalo edino kamnitno orodje iz opalastega roženca; tipična moustérienska ročna konica pripada torej obdobju srednjega paleolitika. Druga postaja ledenodobnega človeka je Roška špilja, ki se odpira sredi severne prepadne stene udorne Velike doline Škocjanskih jam. V pleistocenskih kulturnih sedimentih sta S. Brodar in F. Osolc odkrila razen živalskih kosti še več ognjišč in mlajšepaleolitska kamnitna orodja; gravetna konica iz plasti tretjega würmskega stadiala opredeljuje najdbe v kulturni horizont poznega gravettiana (S. Brodar, 1958 a, 114; 1960, 59; Osolc, 1959, 8; 1960, 310).

Iz istih virov S. Brodarja in F. Osoleta razberemo, da so v Roški špilji v drobtinčasto sigasti plasti vrh pleistocenskega horizonta našli odlomke cervidov, dve manjši ognjišči in manjše silekse, ki naj bi predstavljali mezolitska kamnitna orodja. V stenah črnokalskega klifa se odpira še vedno problematična Ločka jama ali Jama pri Loki. Pred prvo svetovno vojno je v njej tržaški entomolog J. Müller izluščil iz zasigane stene človeško spodnjo čeljustnico s petimi zobmi in še druge človeške cevaste kosti, skupaj s kostmi jamskega medveda (J. Müller, 1914, 32; C. Marchesetti, 1911, 26; 1922 411; S. Brodar, 1961, 6). Prvi antropološki opis mandibule, ki se opira na njene anatomske in morfološke značilnosti, jo prisoja človeku *Homo sapiens* v še primitivnem stanju (R. Lepori, 1937, 27). Natančnejšo antropološko primerjavo je opravil R. Battaglia; po njegovem mnenju pripada mandibula človeku mediteranske rase iz poznega pleistocena, vendar s predpostavko, da bi ji lahko prisodili tudi že mezolitsko starost (R. Battaglia, 1939, 431; 1949, 28; 1957, 3; 1960, 190).

V primerjavi z nekaterimi jamami na Tržaškem krasu, ki dokazujejo neolitiko poselitev z najdbami iz jadranskega kulturnega bazena, predvsem danilskokakanjske, hvarske in severnoitalske elemente (J. Korošec, 1961, 5; F. Leben, 1968, 43; 1971, 194; L. H. Barfield, 1972, 201), na našem področju še ne poznamo ostalin mlajše kamene dobe. Sicer v starejši literaturi zasledimo podatke o bivanju neolitskega človeka na našem krasu, vendar nam tipologija zadetih keramičnih najdb dopušča le dosti mlajše datiranje; na primer *Pečina* nad Lokvico pri Opatjem selu (C. Marchesetti, 1911, 26; G. S., 1910, 51), *Pečina* pri Plešivici (K. Moser, 1890, 66), *Korincova jama* v Dolnjih Ležečah (B. Wolf, 1912, 4; F. Leben, 1959, 242), *Tominčeva jama* (F. Müller, 1888, 125; 1890, 239; R. Battaglia, 1942, 31), *Roška špilja* (C. Marchesetti, 1889, 2; A. Perco, 1910, 252; R. Battaglia, 1924, 124), *Jama v Sokolaku* (C. Marchesetti, 1889, 18), *Štefakova pečina* pri Materiji (K. Moser, 1895, 54) in *Luknja v Skali* pri Razdrtem (K. Moser, 1887, 51; 1890 a, 21).

Prav tipologija doslej najstarejših keramičnih najdb in pa novi stratigrafski podatki nam dopuščajo opredelitev našega kraškega materiala v eneolitiki čas oziroma v bakreno dobo. Med dokumentacijo Moserjevih izkopavanj v *Podganji jami* pri Coljavi zasledimo med drugim keramičnim gradivom tudi črepinjo s kombiniranim žlebljenjem in vbodenim ornamentom (K. Moser, 1910, Abb. 22). To je tipičen tehnični in motivni element okraševanja posod v tako imenovani predalpski eneolitski kulturi (F. Leben, 1971, 219), ki družni na tem ozemlju eneolitske elemente starejše badenske, pozne lengyelske in najstarejše stopnje kulture Ljubljanskega barja (Ig I). Absolutna datacija 1950 do 1800 pr. n. št.

Po razsežnosti in vsebini izkopavanj je *Tominčeva jama* najobsežnejše jamsko najdišče na kraškem svetu jugovzhodnih Alp. Konec prejšnjega stoletja so pri gradnji turistične poti trčili v vhodnem delu jame na bogate kulturne arheološke plasti (F. Leben, 1959, 233). Izkopavanja je s sodelovanjem F. Müllerja in J. Mariniča vodil C. Marchesetti. Stratigrafski podatki nam povedo, da so v jami kopali mestoma več kot pet metrov globoko v jamske sedimente (F. Müller, 1890, 239; C. Marchesetti, 1889, 1; 1889 a, 134). Vendar vsi viri prinašajo tako skopo dokumentacijo ogromnega gradiva in zelo

neenotno interpretacijo izkopanin, da si komaj ustvarimo zadostno časovno in kulturno sliko najdišča. Po starejših virih sodeč, je bilo v jami več kulturnih plasti, ločenih med seboj s peščeno ilovnatimi naplavinami. Kulturni inventar iz najnižje plasti pripisuje R. Battaglia miolitiku (mezolitiku) in neolitiku (R. Battaglia, 1942, 31; 1960, 397), a še preje omenja celo paleolitski horizont, ki ga dokumentira z zapiski prvih raziskovalcev (R. Battaglia, 1942, 28 in fig. 1; C. Marchesetti, 1922, 3).

Če bi dobili na vpogled še vedno vskladiščeno gradivo v italijanskih muzejih in ustanovah, bi dobili edinstveni pogled v naselitveno problematiko Škocjanskih jam. Tominčeva jama bi imela vodilno mesto v materialni zapuščini vseh jamskih najdišč na področju jugovzhodnih Alp, zlasti pa za datacijo starejše in srednje bronaste dobe, ker doslej za ta čas nimamo skoraj nobenega primerjalnega gradiva.

V *Tominčevi jami* je bila najočitnejša spodnja plast s kamnitnimi, koščeni, keramičnimi in bakrenimi najdbami. V njej najdena razkosana keramika kaže tiste tipološke elemente, da jo moramo opredeliti v starejšo in začetek srednje bronaste dobe. Pripada torej primorskemu tipu bronastodobne keramike, ki po Reineckejevi razdelitvi sodi v njeno A₃ in B stopnjo (F. Leben, 1971, 82, 224). Obilica odbitkov priča, da so kamnitna orodja (eno- in dvorezne nožiče, rezila, praskala, dleta, svedre, konice, puščice in sekire) izdelovali na kraju samem iz roženca, ki ga je med prodrom kanjona Reke dovolj, ali pa v črnem bituminoznem krednem apnencu. Koščeno orodje so igle, bodala, šila, konice in gladila. Kostni ostanki lovnih in domačih živali pripadajo medvedu, jelenu, srni, divjemu prašiču, lisici, jazbecu pa govedu, svinji, kozi, ovci in psu.

Posamične najdbe iz te spodnje kulturne plasti imajo še eneolitško tradicijo, dasi je preostali inventar bronastodoben. Tak starejši element je vrč s prese-gajočim ročajem in del kroglaste amfore z valjastim vratom, ki ima vzornike v posodju južnoalpskih mostiščarskih kultur. Starejši izvor kažeta tudi bakrena izdelka: ploščata sekira in triogelno bodalo (F. Müller, 1890, Fig. 24, 25). Oba predmeta sta tod ali najseverozahodnejša predstavnika s Podonavja, ali pa vzornika prav takšnih izdelkov v severnoitalijanski eneolitski Remedello kulturi.¹ Tudi 12 cm dolga ploščata retuširana kamnitna konica je eneolitska (F. Müller, 1890, Fig. 1; R. Battaglia, 1960, fig. 151), saj najdemo zanjo sigurne analogije v kulturi »campignano«, ki jo značijo predvsem skrbno izdelana orodja s ploskovno retušo (R. Battaglia, 1960, 238).

Stratigrafsko višji nivoji odkrivajo kulturne ostaline železne dobe, antike in zgodnjega srednjega veka. V železnodobni plasti so razen keramičnih odlomkov tičali bronasti okrasni predmeti: okrogla ploščica (okov), zapestnice, ovratnica, igle in fibule; prav certoška in samostrelna fibula opredeljujeta najdbe v prehodni čas med starejšo in mlajšo železno dobo (Ha D). Čas rimske poselitve predstavljajo kasnoantične najdbe od 3. do prve polovice 5. stoletja (C. Marchesetti, 1889, 12). To so črepinje amfor, terre sigillate, oljenk in drugih glinastih ter steklenih posod; kovinske najdbe pa značijo tečajasta fibula, noži, puščice, igle, žreblji, sulične osti in konice kopij. Zanimiva je najdba kristo-

¹ Bertolone, M. Preistoria e Protostoria della Valle Padana, t. 7: 8, 13, Milano 1962. Barfield, L. H., A. Broglio, Materiali per lo studio del Neolitico del territorio vicentino. Bull. di Paletn. Ital., n. s. 17, Vol. 75, 1966, fig. 15, (Roma).

grama (osrednjega dela svečnika), ki je doslej edina takšna najdba v jamah alpskega področja (F. Müller, 1890, Fig. 28; za primerjavo so podobne najdbe kristogramov iz Rogoznice pri Ptuj: AIJ 443, 444). Najmlajša arheološka plast v Tominčevi jami je hranila najdbe zgodnjega srednjega veka (F. Müller, 1890, 249; R. Battaglia, 1942, 33). Predvsem je to tipična keramika z valovnico in znakom križa (kasneje tudi gradiščanski tip) pa železni predmeti in koščeni glavniki merovinškega tipa.

Tominčeva jama je do danes na kraškem svetu jugovzhodnih Alp največje jamsko grobišče. Ob desni jamski steni so sprva našli štiri človeške skelete, a petega bolj v sredini jame. Vsa okostja so ležala pod antičnim nivojem in jih pripisujejo ljudem železne dobe 5. in 4. stol. pr. n. št. V zadnjem delu velike vhodne dvorane, kjer se jama razcepi v dva rova, so trčili še na drugih pet okostij istodobnih mlajših oseb obdanih s kamenjem (C. Marchesetti, 1892, 258; R. Battaglia, 1924, 125; 1939 a, 165; 1942, 34). Tudi antropološke analize lobanj in okončin so opredelile pokojnike železnodobnemu ljudstvu (U. Vram, 1895, 173; 1899, 218; R. Battaglia, 1934, 13; 1939 a, 165; C. Corrain, S. Rendina, 1961, 59). Na začetku vzhodnega rova se v levi steni odpira manjša niša (Cavernetta degli Scheletri), kjer so pod sigasto skorjo ležali ostanki okostij najmanj desetih mlajših oseb z grobnimi pridatki prostoročno delane keramike in kosti domačih živali. Po sodbi odkriteljev je bila niša hote izbrana grobnica eneolitских prebivalcev Tominčeve jame (F. Müller, 1890, 250; R. Battaglia, 1942, 40).

Kontrolno čiščenje še ohranjenega profila po poplavi jeseni leta 1965 je dalo nove stratigrafske podatke o jamski poselitvi (F. Leben, 1967, 117). V profilu smo ugotovili le dve kulturni plasti, ne pa štirih, kot jih omenjajo starejši viri. Vrhnja plast, polna rdečkastih ožganih prog in pepelnatih lis, je hranila ostaline treh časovno in kulturno različnih arheoloških obdobij; v zgornji polovici so skupaj pomešane srednjeveške in kasnoantične najdbe, v spodnjih legah iste plasti pa je bilo največ halštatske keramike. Spodnjo kulturno plast loči od zgornje več kot en meter debeli nanos naplavljenе peščene gline. Kulturni inventar te plasti (keramika, kamnitni in koščeni izdelki) nas v splošnem popelje v starejšo bronasto dobo z nekaterimi starejšimi keramičnimi elementi eneolitnega časa (F. Leben, 1971, 86). Zaradi morebitne prisotnosti še globljih kulturnih plasti smo v jami izvrtali vrtine v jamske sedimente. Sonde so pokazale, da 5 m pod spodnjo kulturno plastjo ni nobenih znakov starejše poselitve (F. Leben, 1971, tab. 29).

Tudi izkopavanja pobočja pred vhodom v *Roško špiljo* so v obsežnih holocenskih plasteh obelodanila bogat kulturni inventar bronaste dobe. Pred jamskim vhodom smo do globine dveh metrov odkrili 5 plasti, ki so se med seboj ločile predvsem po barvnem odtenku, a le malo po njih sestavu (F. Leben, 1956, 242; 1959, 238). Razen nekaj koščenega in kamnitnega gradiva dajejo keramične oblike značilne poteze za kulturno opredelitev najdb z mlajšimi in starejšimi razločki. V pozno bronasto dobo sodi predvsem groba keramika v obliki večjih loncev s plastično dekoracijo, ki so čest inventar naselbinske keramike gradišč okrog Škocjana. Slično posodo je izkopal E. Neumann tudi v bližnji *Luknji v Lazu* pod Matavunom (R. Battaglia, 1924, 123, fig. 2; F. Leben, 1959, 237). V Roški špilji predstavljajo boljše keramiko polkroglasti vrči in čaše z visokim valjastim vratom in okroglim dnom (F. Leben, 1971,

tab. 32: 1—4). Tipološke značilnosti teh posod so starejše in nas vodijo vsekakor v keramični inventar starejše bronaste in končne eneolitike dobe. Da sodijo med najstarejše najdbe v Roški špilji, jih sem uvršča tudi stratigrafska lega, saj so tičale pri dnu prazgodovinske plasti.

Skoraj identično keramiko je izkopal C. Marchesetti (1889, 18) v *Pečini v Sapendolu*. Čeprav je te najdbe R. Battaglia datiral v eneolitik in jih vzporedil z analogno keramiko iz Tominčeve jame, opozarja plastično dekorirana keramika le bolj na značilnosti kaštelirskega lončarstva končne bronaste dobe (R. Battaglia, 1924, 124; 1960, 403; F. Leben, 1959, 242). Pri kampanjskih izkopavanjih v jamah okrog Škocjana pred prvo svetovno vojno so sondirali (J. Marinič in P. Savini) tudi v *Jazbini* pri Kačičah. Kamnitna in koščena orodja, zlasti pa keramika opredeljujejo najdbe v starejšo bronasto dobo (J. Szombathy, 1913, 129; A. Ceron, 1914, 110; R. Battaglia, 1942, 20).

Gosta poselitev matičnega krasa v železni dobi se odraža tudi v nekaterih jamskih najdiščih zlasti na Sežanskem in Divaškem krasu. Iz obdobja kulture žarnih grobišč so odkrili slučajne najdbe v *Breznu na Češkovem vrhu* (F. Leben, 1971, 75) in na dnu vhodnega brezna v *Jelenco jamo* pri Kobjeglavi (C. Marchesetti, 1878, 96; K. Moser, 1884, 10; M. Maroevich, 1921, 43). Dragoceno zapuščino kulturnega pomena nam je odkrila *Jama II na Prevalu* med Danami in Škocjanom (F. Leben, 1959, 240). Na dnu 47 m globokega vhodnega brezna se je v nasipnem stožcu podornega kamenja razprostirala humozna plast z ostanki lesnega oglja in ožganih živalskih kosti. V njej ni bilo pa nobenih keramičnih ali človeških kostnih ostankov, pač pa na stotine kosov bronastega in železnega orožja, uporabnih izdelkov in nakita (P. Savini, 1911, 131; J. Szombathy, 1912, 98; 1913, 130; R. Battaglia, 1942, 16). Razlomljeni, zviti in deloma staljeni predmeti (listaste sulične konice, sulični tulci, tulaste sekire in sekire s krilci, celi in razkosani meči, deli italjskih bronastih čelad z grebenom, zakovice, ploščice, gumbi, okovi, noži, srpi, igle, kačasta fibula s spiralno nogo, tordirana ovratnica z obeski dvojnih spiral, zapestnice, prstani, kosi veder in kotličev, precej kg. bronaste žindre itd.) so vsekakor zaključena najdba, oziroma obredni depo prebivalcev enega bližnjih prazgodovinskih gradišč. Kot celoto smemo najdbo opredeliti v kulturo žarnih grobišč, v čas med Ha A₂ in Ha B stopnjo, čeprav je med njimi nekaj starejših in mlajših oblik. Najmlajši elementi, ki segajo že v halštatski čas (Ha C), pa so železne sulice in železen meč.

Za halštatsko obdobje imamo znamenito jamsko najdišče: *Jama I na Prevalu* (F. Leben, 1959, 238). Ob robu strmega nasipnega stožca pod 21 m globokim vodom v jamo so pod vodstvom J. Szombathyja izkopali osem moških in troje ženskih skeletov s pridevki (J. Szombathy, 1913, 170; R. Battaglia, 1924, 124; 1942, 16, 41). Eden izmed skeletov je imel na prstih bronasta spiralna prstana, ob njem pa je ležala bronasta situla (mlajša varianta tipa Kurd) z vezanim paleovenetskim napisom na ustju,² certoška fibula, pinceta in zapestnica. Ob drugih skeletih pa so našli bronasto in železno sulično konico, srp, razkosano vedro, gube, železno plavutasto sekiro in črepinje glinastih posod. Za točnejšo

² Lejeune, M., P. Guida, Les situles vénètes inscrites. La Parolla del Passato, fasc. 104, 1965, 363, 369, (Napoli). Pellegrini, G. B., A. L. Prosdocimi, La lingua venetica I, II., Padova 1967, 604.

časovno in kulturno opredelitev so značilni dodatki anatomske ohranjenega okostja, ki predstavljajo zaključeno grobno najdbo končnega halštatskega obdobja stopnje Ha D₂—Ha D₃. Tudi antropološke analize in primerjave kostnih človeških ostankov datirajo pokojnike v 5. in 4. stol. pr. n. št. (R. Battaglia, 1938, 291; 1939 a, 165, 187; C. Corrain, S. Rendina, 1961, 61).

Tudi v samem podzemeljskem sistemu Škocjanskih jam so na več mestih trčili na posamezne, verjetno naplavljenе najdbe železnodobnih predmetov. V Mahorčičevi dvorani se v desni steni odpira obokast vhod v *Czoernigovo jamo* (F. Leben, 1959, 235). Na pobočju, ki pada k podzemeljski Reki, so med kamenjem ležali bronasti predmeti (srp, sulična konica, zapestnica) in otroški lobanjski kosti iz Ha B—C stopnje starejše železne dobe (R. Battaglia, 1942, 13). *Jama nad jezerom* je krajši rov, ki se odpira nad jezerom v zahodni steni Velike doline; iz plitkih naplavljenih jamskih sedimentov je C. Marchesetti izgrebel železno konico kopja in lovorolistno sulično ost (C. Marchesetti, 1889, 14; R. Battaglia, 1942, 12; F. Leben, 1959, 235). V podzemeljskem kanjonu Škocjanskih jam se je v *Svetinovi dvorani* zagostila bronasta enogrebenasta čelada italsko-etrusčanskega tipa (F. Müller, 1890, 249, Fig. 35; C. Marchesetti, 1889 a, 136). Čelada sodi v skupino negovskih čelad iz končne faze starejše železne dobe (Ha D) pri nas.³ Značilnosti železnodobne plasti v *Tominčevi jami* pa smo že omenili.

Naselbinsko keramiko kaštelirskega tipa smo nabrali v eni izmed votlin *Pečin v Valah*, ki se odpirajo na robu suhe kraške doline nad Podpečjo (F. Leben, 1971, 100); tudi C. Marchesetti (1903, 65) kratko omenja, da so na tej planoti manjše jame z ostalinami prazgodovinske naselitve. Slučajne keramične najdbe neopredeljive prazgodovinske starosti se omenjajo iz jame *Rokavc* na planoti nad Materijo (L. V. Bertarelli, E. Boegan, 1926, 223 pod imenom Caverna di S. Giorgio). Prazgodovinske najdbe z ostanki kurišča pa je K. Moser izkopal tudi v *Runci jami* pri Štorjah (K. Moser, 1888, 18; 1890 a, 20).

Iz časa mlajše železne dobe imamo na matičnem Krasu skromne, a vendar dokazane jamske najdbe. Na dnu vhodnega brezna v *Gorenjo jamo* na Taboru nad Povirjem so ob nasipnem stožcu slučajno odkrili človeško okostje z bronastim imetjem: torkves s spiralnim obročkom nosi obesek dvojne spirale, manjši torkves, masivno zapestnico, spiralno cevko in latensko fibulo, značilno za 4. stol. pr. n. št. (C. Marchesetti, 1895, 257). Bronasto latensko fibulo skupaj z živalskimi in človeškimi kostmi je K. Moser leta 1885 izgrebel iz premetanih plasti izza oltarja sv. Servula v *Sveti jami* (E. Boegan, 1911, 21; A. Calafati, 1913, 19). V desnem rovu *Jame pod Socerbskim gradom* pa je isti nekaj kasneje izkopal odlomek človeške spodnje čeljustnice s skaženim zobnim zaporedjem, skupaj s keramiko in zdrobljenimi lupinami morskih polžev in ostrig (K. Moser, 1901, 33; 1903, 115).

Končno je tudi rimska doba dala jamam matičnega Krasa svoj pečat. Omembe vredna je najdba iz jame *Bezen nad Mohorini* pri Brestovici, ki datira v 2. stol. n. št. Med prvo svetovno vojno so pri preurejanju jame v vojaško utrdbo našli vhod umetno zazidan. Ob zadnji jamski steni je namreč stal marmornat

³ Reinecke, P., Der Negauer Helmfund. 32. Bericht der Röm.-Germ. Kommission, 1942 (1950), 141, (Berlin).

votivni kamen z grškim posvetilnim napisom; na njem pa okrogel, z listnatim reljefom krašen steber (R. Sticotti, 1920, 100; A. Degrassi, 1929, 174, 180). Na dnu vhodnega brezna *Jame II na Prevalu* sta vrh podornega kamena ločeno ležali dve značilni najdbi: keltska čelada kasnolatenskega tipa ima na ščitniku punktirana imena dveh rimskih vojščakov; italo-rimska tečajasta fibula pa datira v Avgustov čas (J. Szombathy, 1913, 168; W. Kubitschek, 1913, 191; R. Battaglia, 1942, 18; A. Degrassi, 1929, 177).

Spoznamo in omenimo naj še druge najdbe antičnega časa. *Tominčeva jama* je v zajetni vrhnji kulturni plasti hranila zanimive že omenjene najdbe. Antično oljenko so izgrebli iz tal *Luknje v Lazu* (R. Battaglia, 1924, 121); pri planiranju vhodnega dela *Svete jame* so trčili na kasnoantično keramiko, a v niši za oltarjem na novce Konstancija (K. Moser, 1886, 37; A. Degrassi, 1929, 182); v *Jami pod Socerbskim gradom* so na več mestih našli med srednjeveškimi ostalinami pomešane črepinje rimske loščene keramike, nekaj železnih predmetov in bronasti oljenki (K. Moser, 1901, 33; 1903, 115; A. Degrassi, 1929, 182). V *Jami Grad* pri Ospu pa so za srednjeveškim zidom, ki je branil dostop v jamo, našli štiri rimske bronaste novce, od katerih je eden Galienov (A. Degrassi, 1929, 182).

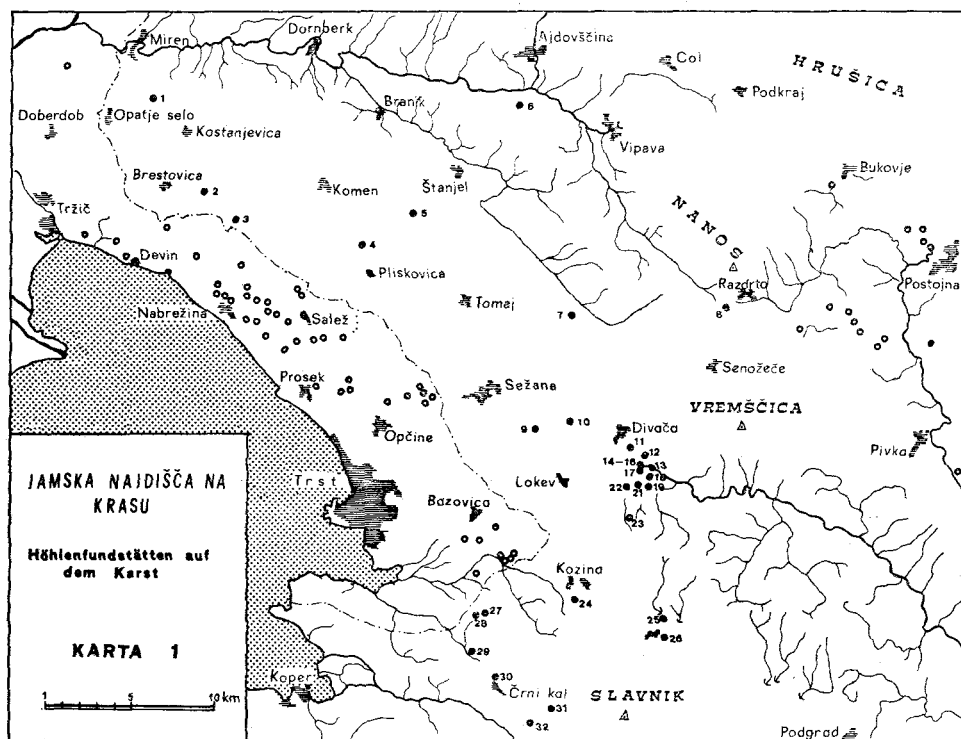
Za zaključek naj omenim še zanimivo zakladno najdbo srednjeveških novcev iz neke jame blizu Hrpelj (v lit. se omenja kot Grotta delle Monete): to je več tisoč zlatih in srebrnih beneških dukatov iz druge polovice 14. stoletja, ki so bili zakopani v glinastem loncu nedaleč za jamskim vhodom (L. V. Bertarelli, B. Boegan, 1926, 284; D. Cannarella, 1959, 132).

Ker ta čas proslavljamo 150. obletnico turističnega razvoja Škocjanskih jam, je prav, da na tem mestu omenimo še vse druge nam znane arheološke zanimivosti Škocjana in okolice. Na kratko zbrani in dokumentirani podatki naj osvetlijo prazgodovinsko preteklost kraja, da tudi s strani arheološke vede damo slovenskemu kraškemu fenomenu dokaze za čimprejšnjo naravno zaščito.

V Gradišču pri Divači je stala na vzpetini, ki se dviga nad potjo iz Dolnjih Ležech proti Škocjanu, prazgodovinska naselbina z vidnimi ostanki širokega obrambnega nasipa. Na ploščadi in pobočjih so že večkrat trčili na prazgodovinske železnodobne črepinje in bronaste predmete (C. Marchesetti, 1903, 84).

V obsežnejši terasasti dolini med Gradiščem in zaselkom Brežec je C. Marchesetti odkril 322 grobov iz starejšega halštatskega obdobja, oziroma iz časa 12. do 10. stol. pr. n. št. (C. Marchesetti, 1900, 23; 1903, 85, 154; R. Battaglia, 1942, 24). To so žgani pokopi v zemljo izkopanih jamah, le v enem primeru so bile sežgane kosti v glinasti žari. Grobne jame so bile pokrite z apnenčevimi ploščami. Lončenine je bilo v grobovih malo, več pa bronastih in železnih pridevkov (meči, sulica, noži, britve, ločne in očalaste fibule, ovratnice, igle, zapestnice, prstani, pasne sponse, obeski in drugi okrasni izdelki).⁴

⁴ Treasures of Carniola. Prehistoric Grave Material from Carniola Excavated in 1905—14 by the Late Duchess Paul Friedrich of Mecklenburg, New York 1934, 129, Pl. XXVII.

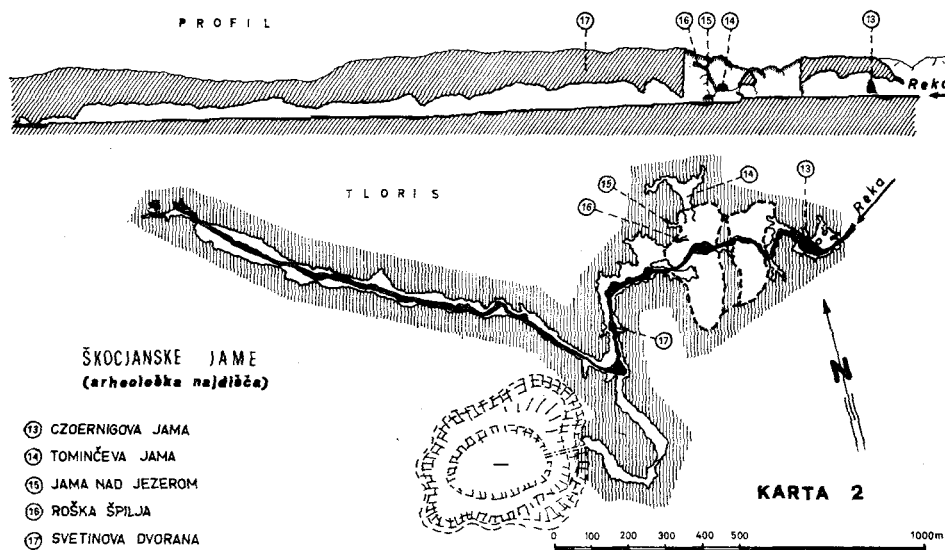


1 Pečinka (Grotta di Loquizza Seghetti, Grotta di Locavizza); 2 Bezen nad Mohorini (Grotta presso Mozzi, Grotta sacra di Mosci); 3 Brezno na Českovem vrhu (Pozzo sul Ceskov vrh); 4 Podganja jama (Grotta a S di Gabrovizza, Heidenloch); 5 Jelenca jama (Grotta dei Cervi, Grotta presso S. Daniele del Carso); 6 Okno (Grotta di Ocnò a NO di Planina, Felsenhöhle Okno nw. von Planina); 7 Runca jama; 8 Luknja v Skali (Caverna di Prevallo, Höhle am Škol bei Präwald); 9 Pečina (Caverna di Plessiva, Pecina von Plesivica); 10 Gorenja jama (Voragine presso Poverio, Goregna jama); 11 Korincova jama (Grotta Iolanda); 12 Pečina v Sapendolu (Caverna di Sapendol); 13 Czoernigova jama (Grotta Czoernig, Grotta delle Colonne spezzate); 14 Tominčeva jama (Caverna Preistorica, Tominzgrotte); 15 Jama nad jezerom (Caverna dei Pittori, Malergrotte); 16 Roška špilja (Grotta Siretta, Osca spila, Marienkapelle); 17 Svetinova dvorana v Škocjanskih jamah; 18 Luknja v Lazu (Caverna Laz, Caverna presso San Canziano); 19 Jama v Sokolaku (Covo del Falcone); 21 Jama I na Prevalu (Okostna jama, Grotta delle Ossa, Grota degli Scheletri, Knochenhöhle); 22 Jama II na Prevalu (Mušja jama, Grotta delle Mosche, Fliegenhöhle); 23 Jazbina (Grotta del Tasso, Grotta di Cacitti, Dachshöhle); 24 Jama pri Hrpeljah (Grotta delle Monete); 25 Rokavc (Caverna di S. Giorgio, Caverna della Civetta); 26 Štefakova pečina (Caverna presso Bac, Pecina Bac bei Matera); 27 Sveta jama (Grotta di San Servolo, Höhle von St. Servolo); 28 Jama pod Socerbskim gradom (Grotta sotto il roccione del castello di S. Servolo, Höhle unter dem Schloss von Socerb); 29 Jama Grad (Osapska jama, Grotta di Ospò); 30 Jama v kamnolomu pri Črnem kalu; 31 Jame v Valah; 32 Ločka jama (Jama pri Loki, Caverna presso Lonche, Caverna di Popecchio)

Drugo manjše grobišče je odkril C. Marchesetti pod vzpetino Grič ob pešpoti proti Škocjanu, od koder se po poti vzpnemo na rob velike udorne doline Lisičine (C. Marchesetti, 1903, 85; R. Battaglia, 1942, 25). Grobišče iz mlajšega halštatskega obdobja je bilo že močno uničeno. Med bronastimi in železnimi predmeti izstopajo ločne in certološke fibule, zapestnice, prstani, igle, noži in okraski.

V Matavunu so onkraj ceste v dolini proti Sokolaku odkopali nekropolo 43 žganih grobov z najdbami iz časa od 700 do 550 pr. n. št. (C. Marchesetti, 1908, 186; 1914, 50; R. Battaglia, 1920, 376). Domačin Delez je na svojem posestvu pri rušenju prazgodovinskega zidu škocjanskega gradišča zadel pod apnenčevo ploščo na skeletni grob s pridevki (ogrlica iz več kot 500 jantarjevih jagod, bronasti gumbi, zapestnice, obročki, certoški fibuli itd.). Zaključena grobna najdba se uvršča v 5. stol. pr. n. št. (C. Marchesetti, 1910, 194). Nad udorno Veliko dolino, ko pripelje pot iz Dol. Ležec k prvim hišam v Matavunu, je ograda (ledinsko ime Ponikve), kjer je C. Marchesetti izkopal okrog 50 žarnih grobov iz mlajše železne dobe — latena B. Razen obilice prstanov, zapestnic, igel in certoških fibul so bili v grobovih najštevilnejši torkvesi (C. Marchesetti, 1905, 31; 1907, 233).

Samo naselje Škocjan, ki stoji in dominira nad prepadnimi stenami kanjona Reke in udorno Malo dolino sistema Škocjanskih jam, je zgrajeno na mestu prazgodovinskega gradišča, ki je v obsegu merilo domala tisoč metrov in bilo na edini položni strani proti Matavunu obdano z obzidjem. Železnodobno naselbino dokumentirajo tudi drobne keramične in kovinske najdbe ter grobovi s pridatki (C. Marchesetti, 1903, 83; R. Battaglia, 1926, 45; 1939 a, 189; 1942, 23, 43). Iz območja škocjanskega naselja lahko zabeležimo tudi precej rimskih ostalin. Pomemben je Avgustu posvečen napisni kamen, ki je bil vzdian



v pokopališkem zidu in novci Komoda in Faustine Avguste. V rimskem času je stal na tleh današnje naselbine utrjen kastel, pod njim pa je vodila rimska cesta (E. Boegan, 1924, 4; A. Degrassi, 1929, 180).

Arheološka karta jamskih in površinskih najdišč na matičnem Krasu nam torej slika najgostejšo razprostranjenost in največje kulturno bogastvo prav v Škocjanu z okolico. Zato naj moj prispevek na Zboru jugoslovanskih jamarjev in krasoslovcev velja tudi počastitvi jubileja Škocjanskih jam z željo, da se bomo tod kmalu srečali že v okolju slovenskega narodnega parka.

Zusammenfassung

HÖHLENARCHÄOLOGIE DES KLASSISCHEN KARSTES

Fast hundert vorgeschichtliche Ansiedlungen und Grabstätten auf dem klassischen Karst, die uns die Publikation »Archäologische Fundstätten Sloweniens« anführt, bezeugen, daß diese Karstlandschaft zur Zeitdauer der Castellieri-Kultur am dichtesten besiedelt war. Die bisher gesammelte Dokumentation über diese materielle und geistige Kultur beweist, daß das vorgeschichtliche Leben auf dem Karst besonders in der Spätbronzezeit, zur Zeit der Urnenfelderkultur und in allen Stufen der älteren Eisenzeit geblüht hat. Hier haben sich zusammen mit den Ureinwohnern die Völkerschaften der alpinen Illyrier, Veneter und der keltischen Karnier angesiedelt, bis sie von den römischen Eroberern verdrängt und teilweise assimiliert wurden.

Die Forschungen von 30 bisher bekannten Höhlenfundstätten auf dem klassischen Karst (ohne dem heutigen Triester Karst, wo über 40 Höhlenfundorte registriert sind; F. Leben, 1968, 43 und 1971, 24) haben jedoch bewiesen, daß die Besiedlung des Karstes in der Altsteinzeit mit den Kulturen des Mittel- und Jungpaläolithikums beginnt. In der Höhle ober dem Steinbruch bei Črni Kal war in der Schichte des ersten Würmstadials (W I) eine Moustérienhandspitze vorhanden (S. Brodar, 1958, 369); eine Gravettspitze aus der Höhle Roška špilja teilt alle übrigen jungpaläolithischen Steingeräte dem Kulturhorizont der Spätgravettiens zu. In der Höhle Roška špilja hat sich ober den Pleistozänsedimenten auch eine mesolithische Kulturschicht ausgebreitet (S. Brodar, 1960, 59; F. Osole, 1960, 310). Der Fund eines Unterkiefers und anderer Menschenknochen aus dem Spätpleistozän in der Höhle Ločka jama (S. Brodar, 1961, 6) ist noch immer problematisch. Die anatomischen und morphologischen Einzelheiten teilen die Knochen wahrscheinlich einem ebenfalls mesolithischen Menschen der Mediterranrasse zu (R. Lepori, 1937, 27; R. Battaglia, 1939, 431 und 1960, 190).

Die Funde des Früh-, Mittel- und Spätneolithikums, die zusammen mit Kulturkomponenten aus dem adriatischen Bassin und aus Norditalien vorkommen (Impresso—Cardium Keramik, Danilo-Kakanj und Hvar-Kultur, Neolitico superiore padano), kennen wir bisher nur aus der Küstengegend des Triester Karstes (J. Korošec, 1961, 5; F. Leben, 1968, 45; D. Cannarella, 1968, 135; L. H. Barfield, 1972, 201).

Der slowenische klassische Karst besitzt mehrere äneolithische und frühbronzezeitliche Höhlenfundstätten. Charakteristische Scherben der sogenannten Voral-

pin-Äneolithkultur stammen aus der *Podganja jama* (K. Moser, 1910, Abb. 22; F. Leben, 1971, 219). Im äneolithischen Fundmaterial aus der Höhle *Tominčeva jama* zeichnen sich auch norditalische Elemente aus (F. Müller, 1890, Fig. 1, 24, 25; R. Battaglia, 1960, fig. 151),¹ für die spätere Zeit ist die heimische Keramik des »küstenländischen Typus« charakteristisch, die nach der Einteilung P. Reineckes zur Bronzezeitstufe A₃ und B angehört (F. Leben, 1971, 82, 224). In den oberen Schichten wurden noch Kulturreste der Hallstattzeit, der Spätantike und des Frühmittelalters entdeckt. Die Höhle *Tominčeva jama* ist auf dem Karst des Südostalpenraumes auch als die bisher größte Höhlengrabstätte des Äneolithikums und der Hallstattzeit anzusehen (F. Leben, 1970, 427).

Die dichte Besiedlung des Karstes in der Eisenzeit spiegelt sich auch in den Höhlensedimenten wider. Aus der Urnenfelderzeit ist der Fundort *Jama II na Prevalu* der wichtigste, wo am Grunde des Eingangsschachtes Hunderte von zerbrochenen, verbogenen und teilweise zerschmolzenen Stücken von bronzenen und eisernen Waffen, Gebrauchsgegenständen und Schmuck ausgegraben worden sind (J. Szombathy, 1913, 130; R. Battaglia, 1942, 16). Die Gegenstände stellen jedenfalls einen geschlossenen Fund, bzw. ein Kultusdepot der Ha A₂ und Ha B Stufe dar, obwohl sich darunter einige ältere und jüngere typologische Formen befinden. Die jüngsten Elemente, die schon in die Hallstattzeit reichen, sind eiserne Lanzen und ein Eisenschwert.

Die Höhle *Jama I na Prevalu* ist ein bedeutender Fundort der Hallstattperiode. Am Grunde des Eingangsschachtes lagen acht männliche und drei weibliche Skelette mit Beigaben (J. Szombathy, 1913, 170; R. Battaglia, 1942, 16, 41). Für die richtige Zeitstellung sind die Beigaben des anatomisch erhaltenen Skelettes bezeichnend: Ringe, eine Certosa-Fibel, eine Pinzette, ein Armband und ein Bronzeeimer (eine jüngere Variante des Typus Kurd) mit paläovenetischem eingeritzten Namen des Inhabers,² die einen geschlossenen Grabfund der Ha D₂ und H D₃ Periode darstellen; auch die anthropologischen Analysen datieren die Skelettreste in das 5. und 4. Jahrhundert v. u. Zr. (R. Battaglia, 1939 a, 187; C. Corrain, S. Rendina, 1961, 61). Auch im eigentlichen unterirdischen System der *Höhlen von Škocjan* ist man an mehreren Stellen auf vereinzelte eisenzeitliche Funde gestoßen; besonders erwähnenswert ist ein italo-etruskischer Helm des Negova Typus aus dem Svétina-Saal.³

Die jüngere Eisenzeit hat in den Höhlen bescheidenere Reste hinterlassen. Außer zufälligen Funden ist der bezeichnendste Fund ein männliches Skelett aus der Höhle *Gorenja jama*, dessen Beigaben in das 4. Jahrhundert v. u. Zr. (La Tène B) datieren (C. Marchesetti, 1895, 257). Schließlich hat auch die Römerzeit den Höhlen des klassischen Karstes ihren Tribut gezollt. Die kennzeichnendsten Funde sind ein Votivstein mit einer griechischen Widmunginschrift in der Höhle *Bezen nad Mohorini* (P. Sticotti, 1920, 100; A. Degrassi, 1929, 174, 180) und ein Helm spätlatenischen Typus mit punktierten Namen zweier römischer Soldaten auf dem Schutzschild (W. Kubitschek, 1913, 191; A. Degrassi, 1929, 177).

Für die 150-Jahrfeier der touristischen Entwicklung der Höhlen Škocjanske jame hat der Autor am Schlusse noch alle bekannten vorgeschichtlichen Gräberfelder und Ansiedlungen in der Umgebung von Škocjan dokumentiert, die diesem Karstphänomen noch eine besondere archäologische Bedeutung geben.

Literatura

- Barfield, L. H., 1972. The first Neolithic Cultures of North-Eastern Italy. *Fundamenta* 3, Reihe A, 182—216, Köln.
- Battaglia, R., 1939. L'agro di San Canziano nei tempi preistorici: abitati, necropoli, santuarii. *La Scienza per tutti* 27, 373—377, Milano.
- 1924. Scoperte preistoriche a San Canziano del Timavo. *Alpi Giulie* 25, 119—129, Trieste.
- 1926. Oggetti preistorici del castelliere di San Canziano del Timavo. *Bull. di Paleont. Ital.* 46, 45—63, Roma.
- 1934. Note di antropologia etnica della Venezia Giulia e delle regioni dell'Adriatico orientale. *Atti Accad. Sc. Veneto-Trentino-Istria* 25, 1—18, Venezia.
- 1938. Su alcuni caratteri craniologici delle antiche popolazioni del Friuli e dell'Istria. *Atti del XIII. Congr. Geogr. Ital.*, vol. 2, 287—296, Udine.
- 1939. L'uomo fossile nel Veneto. *Atti R. Ist. Veneto di Sc. Lett. ed Arti* 98, parte 2, 427—440, Venezia.
- 1939 a. Resti umani scheletrici di S. Canziano. *Atti Mus. Civ. di St. Nat.* 13, 165—211, Trieste.
- 1942. Indagini sull'età dei resti umani rinvenuti nelle caverne e nel castelliere di San Canziano del Timavo. *Atti Mus. Civ. di St. Nat.* 15, 1—51, Trieste.
- 1949. I più antichi resti umani rinvenuti nella Venezia Giulia. *Atti e Mem. Soc. Istr. di Arch. e St. Patria* 53, 27—43, Venezia.
- 1957. I più antichi abitatori del Veneto. *Atti e Mem. Accad. Patavina di Sc. Lett. ed Arti, Classe Sc. mat. e nat.* 69, (1956/57), parte 2, 3—58, Padova.
- 1960. Preistoria del Veneto e della Venezia Giulia. *Bull. di Paleont. Ital.*, Vol. fuori ser., 67—68, (1958/59), Roma.
- Bertarelli, L. V., E. Boegan, 1926. *Duemila Grotte*. Milano.
- Boegan, E., 1911. La grotta ed il castello di S. Servolo. *Alpi Giulie* 16, 12—22, Trieste.
- 1924. Le grotte di San Canziano. Trieste.
- Brodar, S., 1958. Črni Kal, nova paleolitska postaja v Slovenskem Primorju. *Razprave 4. raz. SAZU* 4, 269—363, Ljubljana.
- 1958 a. Izkopavanja v Roški špilji. *Letopis SAZU* 8, (1956/57), 114—115, Ljubljana.
- 1960. Sondiranje pred vhom v Roško špiljo. *Letopis SAZU* 10, (1959), 59, Ljubljana.
- 1961. Najdbe kostnih ostankov ledenodobnega človeka na slovenskih tleh. *Arheološki vestnik* 11—12, (1960—61), 5—14, Ljubljana.
- 1963. Die Moustérienstation Črni Kal bei Koper (Capodistria). *Actes du II. Congr. Int. de Spéléologie* 1958, Tome 2, 193—198, Castellana—Grotte.
- Calafati, A., 1913. S. Servolo (Istria). Note storiche e cenni descrittivi. *Il Tourista* 15, (1912), 5—53, Trieste.
- Cannarella, D., 1959. Il carso e la sua preistoria. Trieste.
- 1968. Il Carso. Invito alla conoscenza della sua preistoria, della sua storia, delle sue bellezze. Trieste.
- Ceron, A., 1914. Cavità sotterranee del Carso. *Alpi Giulie* 19, 109—111, Trieste.
- Corrain C., S. Rendina, 1961. I resti scheletrici umani rinvenuti nelle caverne di San Canziano del Timavo. Le ossa lunghe. Contributo alla conoscenza antropologica dell'età del ferro in Italia. *Atti Ist. Veneto di Sc. Lett. ed Arti, Classe Sc. mat. e nat.* 119, (1960/61), 59—126, Venezia.
- Degrassi, A., 1929. La grotte carsiche nell'età romana. *Le Grotte d'Italia* 3, 161—182, Trieste.
- Gherson, R., 1920. Le grotte della guerra. *Alpi Giulie* 22, 43—60, Trieste.
- G. S., 1910. Una grotta abitata l'epoca storica. *Forum Iulii* 1, 51—52, Udine.
- Korošec, J., 1961. Neolit na Krasu in v Slovenskem Primorju. *Zgodovinski časopis* 14, (1960), 5—34, Ljubljana.
- Kubitschek, W., 1913. Die Aufschriften des Helms von der Fliegenhöhle. *Mitt. der Präh. Kommission* 2, (1912), 191—198, Wien.
- Leben, F., 1956. Poročilo o izkopavanjih v Roški špilji leta 1955. *Arheološki vestnik* 7, 242—251, Ljubljana.

- 1959. Dosedanje arheološke najdbe v jamah okoli Divače. *Acta carsologica* 2, 231 bis 249, Ljubljana.
- 1967. Škocjanske jame. *Varstvo spomenikov* 11, (1966), 117, Ljubljana.
- 1968. Stratigrafija in časovna uvrstitev jamskih najdb na Tržaškem krasu. *Arheološki vestnik* 18, (1967), 43—109, Ljubljana.
- 1970. Značilnosti in pomen nekaterih arheoloških jamskih najdišč na področju jugovzhodnih Alp. *Adriatica praehistorica et antiqua, Miscellanea G. Novak dicata*, 409—437, Zagreb.
- 1970 a. Prispevek k poznavanju najstarejše zgodovine na Krasu. *Akti študijskega srečanja o Krasu*, 21—24, (Veliki Repen — Trst).
- 1971. Kulturna pripadnost jamskih najdb na področju jugovzhodnih Alp v prazgodovinskem obdobju. *Disertacija*.
- 1971 a. Arheološko vrednotenje jamskih najdb na slovenskem krasu. *Naše jame*, 12, (1970), 63—72, Ljubljana.
- 1973. Opredelitev neolitike in eneolitike keramike iz jamskih najdišč jugovzhodnega alpskega prostora. *Arheološki vestnik*, 24, v tisku, Ljubljana.
- 1973 a. *Presentazione dei resti della cultura spirituale dell' uomo preistorico nelle caverne carsiche sul versante sudorientale delle Alpi. Actes du Premier Symp. Intern. sur les Religions de la Préhistoire*, v tisku, Valcamonica—Capo di Ponte.
- Lepori, R., 1937. Cenni preliminari su un ritrovamento di mandibola umana fossile in una caverna dell'Istria settentrionale. *Atti Mus. Civ. di St. Nat.* 13, N. 2, 27—33, Trieste.
- Marchesetti, C., 1878. Sugli oggetti preistorici scoperti recentemente a S. Daniele del Carso. *Boll. Soc. Adr. di Sc. Nat.* 4, 93—105, Trieste.
- 1889. Ricerche preistoriche nelle caverne di S. Canziano presso Trieste. *Boll. Soc. Adr. di Sc. Nat.* 11, 1—19, Trieste.
- 1889 a. Höhlenfunde aus St. Canzian bei Triest. *Mitt. der Zentral-Kommission* 15, 134—136, Wien.
- 1892. Relazione sugli scavi preistorici eseguiti negli anni 1889, 1890 e 1891. *Archeografo Triestino* 18, 253—263, Trieste.
- 1895. Alcuni oggetti preistorici trovati in una voragine presso Povir. *Atti Mus. Civ. di St. Nat.* 9, 257—260, Trieste.
- 1900. Relazione sugli scavi preistorici eseguiti nel 1899. *Boll. Soc. Adr. di Sc. Nat.* 20, (1899), 23—27, Trieste.
- 1903. I castellieri preistorici di Trieste e della regione Giulia. Trieste.
- 1905. Relazione sugli scavi paletnologici eseguiti durante l'anno 1903. *Boll. Soc. Adr. di Sc. Nat.* 22, 31—32, Trieste.
- 1907. Relazione sugli scavi paletnologici eseguiti nel 1904. *Boll. Soc. Adr. di Sc. Nat.* 23, 233—235, Trieste.
- 1908. Relazione sugli scavi preistorici eseguiti nel 1905. *Boll. Soc. Adr. di Sc. Nat.* 24, 185—187, Trieste.
- 1910. Depotfund in St. Canzian bei Triest. *Jahrbuch f. Altertumskunde* 3, (1909), 194—195, Wien.
- 1911. Bericht über die im vergangenen Jahr in unserem Küstenlande ausgeführten prähistorischen Forschungen. *Mitt. Anthrop. Gesellschaft* 41, [26], Wien.
- 1914. Ausgrabungen im Küstenland im Jahre 1913. *Mitt. Anthrop. Gesellschaft* 44, [50] — [51], Wien.
- 1922. Le prische civiltà della Venezia Giulia. *Atti Soc. Ital. per il Progresso delle Scienze, Riun.* 11, Trieste 1921, 409—426, Roma.
- Maroevich, M., 1921. Grotta presso San Daniele del Carso (Cobilaglava). *Alpi Giulie* 23, 43—45, Trieste.
- Moser, K., 1884. Notizien über Funde aus prähistorischer und römischer Zeit im Küstenlande und in Istrien. *Mitt. Anthrop. Gesellschaft* 14, [9] — [10], Wien.
- 1886. Geschichtliche Notizen über die Grotte von Sct. Servolo (slav. Sačerb) und das Schloss gl. Namens bei Triest. *Mitt. Section f. Höhlenkunde des Österr. Touristen-Club*, H. 3, 37—42, Wien.
- 1887. Höhlen bei Präwald in Innerkrain. *Mitt. Section f. Höhlenkunde des Österr. Touristen-Club*, H. 4, 51—52, Wien.

- 1888. Bericht über die Untersuchungen einiger Höhlen von Innerkrain und Küstenland während des Jahres 1887. Mitt. Section f. Höhlenkunde des Österr. Touristen-Club, H. 2, 12—13, Wien.
- 1890. Die Pečina jama (Felsenhöhle) bei Plesivica in Küstenlande. Mitt. Section f. Naturkunde des Österr. Touristen-Club, H. 2, N. 9, 66—68, Wien.
- 1890 a. Der Karst in naturwissenschaftlicher Hinsicht geschildert. Jahresbericht über das k. k. Gymnasium in Triest 40, 5—42, Triest.
- 1895. Bericht über seine Thätigkeit in den Jahren 1893 und 1894 auf anthropologisch-prähistorischem Gebiete im österreichischen Litorale. Mitt. Anthrop. Gesellschaft 25, [54], Wien.
- 1899. Der Karst und seine Höhlen. Triest.
- 1901. Höhlenforschungen im Küstenlande. Mitt. Anthrop. Gesellschaft 31, [33], Wien.
- 1903. Die Nekropole von S. Servolo in Istrien. Jahrbuch f. Altertumskunde 1, 115—138, Wien.
- 1910. Alte und neue prähistorische Karsthöhlenfunde von Nabresina. Globus 97, N. 24, 373—378, Braunschweig.
- Müller, F., 1888. Vorgeschichtliche Funde in der Tominz-Grotte in St. Canzian. Mitt. des Deutschen und Österr. Alpenvereins 14, 125—130, Wien.
- 1890. Die Grottenwelt von St. Canzian. Zeitschrift des Deutschen und Österr. Alpenvereins 21, 193—251, Wien.
- Müller, J., 1914. Bericht der Höhlenforschungsabteilung »Hades« für das Jahr 1913. Jahresbericht der Sektion Küstenland des Deutschen und Österr. Alpenvereins für 1913, 26—36, Triest.
- Osole, F., 1959. Roška špilja u Škocijanskim jamama kod Divače. Arheološki pregled 1, 8—9, Beograd.
- 1960. Roška špilja. Varstvo spomenikov 7, (1958/59), 310, Ljubljana.
- Perco, A. G., 1910. Zur österreichischen Karsthöhlenforschung. Deutsche Rundschau f. Geogr. und Statistik 32, 246—259, Wien—Leipzig.
- Savini, P., 1911. Neue Entdeckungen vorgeschichtlicher Altertümer in den Höhlen von Dane bei S. Kanzian. Mannus 3, 131—133, Leipzig.
- Sticotti, P., 1920. Scoperta di un santuario con iscrizione votiva greca in una caverna del Carso. Atti Accad. Naz. dei Lincei, Notizie degli Scavi di Antichità 16, 100—101, Roma.
- Szombathy, J., 1912. Bronzefunde aus der Fliegenhöhle bei St. Kanzian. Mitt. Anthrop. Gesellschaft 42, [98] — [99], Wien.
- 1913. Altertumsfunde aus Höhlen bei St. Kanzian im österreichischen Küstenlande. Mitt. Präh. Kommission 2, (1912), 127—190, Wien.
- Vram, U., 1895. Nota sopra un cranio deformato. Atti Soc. Rom. di Antropologia 3, 173—175, Roma.
- 1899. Ancora sul Macrocefalato della Grotta Tominz di San Canziano. Archeografo Triestino 22, (1898/99), 218—221, Trieste.
- Wolf, B., 1912. Neue Forschungen im küstenländischen Karst. Mitt. für Höhlenkunde 5, 4—9, Graz.

NOVA DOSTIGNUĆA U ISTRAŽIVANJU PALEOLITIKA
U NEKIM PEĆINAMA HRVATSKE

(s 3 slike u tekstu)

NEW ACHIEVEMENTS IN INVESTIGATIONS ON THE PALAEO-LITHIC
IN SOME CAVES OF CROATIA

(with 3 Figures in Text)

MIRKO MALEZ

(izvanredni član Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktobar 1972)

Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

Tokom 1970. i 1971. godine nastavljena su sistematska kvartargeološka istraživanja na tri značajna paleolitska lokaliteta u Hrvatskoj i to: Velikoj pećini kod Goranca na Ravnoj gori, Veternici kod Zagreba i Šandalji nedaleko Pule u Istri. Na sva tri lokaliteta postignuti su novi i vrlo značajni rezultati za poznavanje paleolitskih materijalnih kultura, stratigrafskih i paleoklimatoloških odnosa, pleistocenske faune i osobito novih nalaza fosilnih ljudi u Hrvatskoj. Nekim nalazima i naslagama na spomenutim lokalitetima određena je apsolutna starost pomoću analize radioaktivnog ugljika (C^{14}), što omogućuje uvrštavanje paleolitskih kultura i nalaza fosilnih ljudi u sistem apsolutnog članjenja pleistocena u Evropi.

Uvod

Na području SR Hrvatske otkrivena su do sada 23 paleolitska lokaliteta (M. Malez, F. Osol, 1971). Među njima osobito se ističe svjetski poznato i značajno paleolitsko nalazište neandertalaca u polupećini na Hušnjakovom brdu u Krapini, kojeg je prije 73 godine otkrio i obradio D. Gorjanović-Kramberger (1906, 1913). U novije vrijeme prigodom 70-godišnjice otkrića krapinskih praljudi izvršena je revizija i nadopunjena obrada stratigrafskih odnosa, pleistocenske faune i paleolitske kulture (M. Malez, 1970 a, 1970 b, 1970 c). Od ostalih paleolitskih lokaliteta u Hrvatskoj naročito je značajna Velika pećina na Ravnoj gori, pećina Veternica u Medvednici kod Zagreba i Šandalja kod Pule u Istri. Na ova tri spomenuta nalazišta vršena su sistematska kvartargeološka, paleontološka i paleolitska istraživanja u posljednjih dvadeset godina, a postignuti rezultati prelaze lokalne okvire, pa su neki lokaliteti zbog toga uvršteni i u najnovija objavljena djela o paleolitiku Evrope (npr. H. Müller-Karpe, 1966) ili su uvršteni u najnoviji katalog fosilnih ljudi (K. P. Oakley, B. G. Campbell, T. I. Molleson, 1971).

U posljednje dvije godine, tj. tokom 1970. i 1971., nastavljena su sistematska istraživanja tih triju nalazišta, pa su tom prilikom postignuti vrlo značajni rezultati za poznavanje paleolitskih materijalnih kultura, stratigrafskih i paleoklimatoloških odnosa, zatim pleistocenske faune i novih nalaza fosilnih ljudi. Osim toga nekim značajnijim nalazima, ognjištima i ulošcima sigastih ploča na spomenutim lokalitetima, određena je apsolutna starost pomoću određivanja radioaktivnog ugljika (C^{14}). Dobiveni rezultati omogućili su da se paleolitske kulture, nalazi fosilnih ljudi i vrijeme izlučivanje sige uvrste u sistem apsolutnog članjenja kvartara u Evropi.

Velika pećina na Ravnoj gori u sjeverozapadnoj Hrvatskoj

Velika pećina kod Goranca na Ravnoj gori u sjeverozapadnoj Hrvatskoj poznata je već od konca prošlog stoljeća, ali sistematska istraživanja kvartarnih naslaga u njoj započeta su tek nakon drugog svjetskog rata. U njoj su tokom višegodišnjih iskopavanja iz višeslojnih pleistocenskih naslaga sabrani brojni nalazi, koji upućuju da je na ovom lokalitetu zastupljen kontinuirani redosljed paleolitskih materijalnih kultura od moustériena do mezolitika. Geografski položaj Velike pećine je 46° 17' 10" sjeverne širine i 16° 2' 22" istočne dužine od Greenwicha, a ulaz joj leži na 428 m apsolutne visine (M. Malez, 1960, 1963 a, 1965 a, 1967 a, 1967 b, 1969 a; M. Malez, J. C. Vogel, 1970).

Pećinski sistem vrlo je jednostavan, a sastoji se iz jedne prostrane podzemne šupljine, kojoj duljina uzduž glavne osi iznosi 25 m. Pećina je nastala erozivnim i korozivnim djelovanjem voda uzduž brojnih tektonskih pukotina u gornjotrijaskim dolomitičnim vapnencima. U speleogenezi ova je pećina prošla više faza, a njezin inicijalni oblik nastao je najvjerojatnije početkom glacijacije Riss.

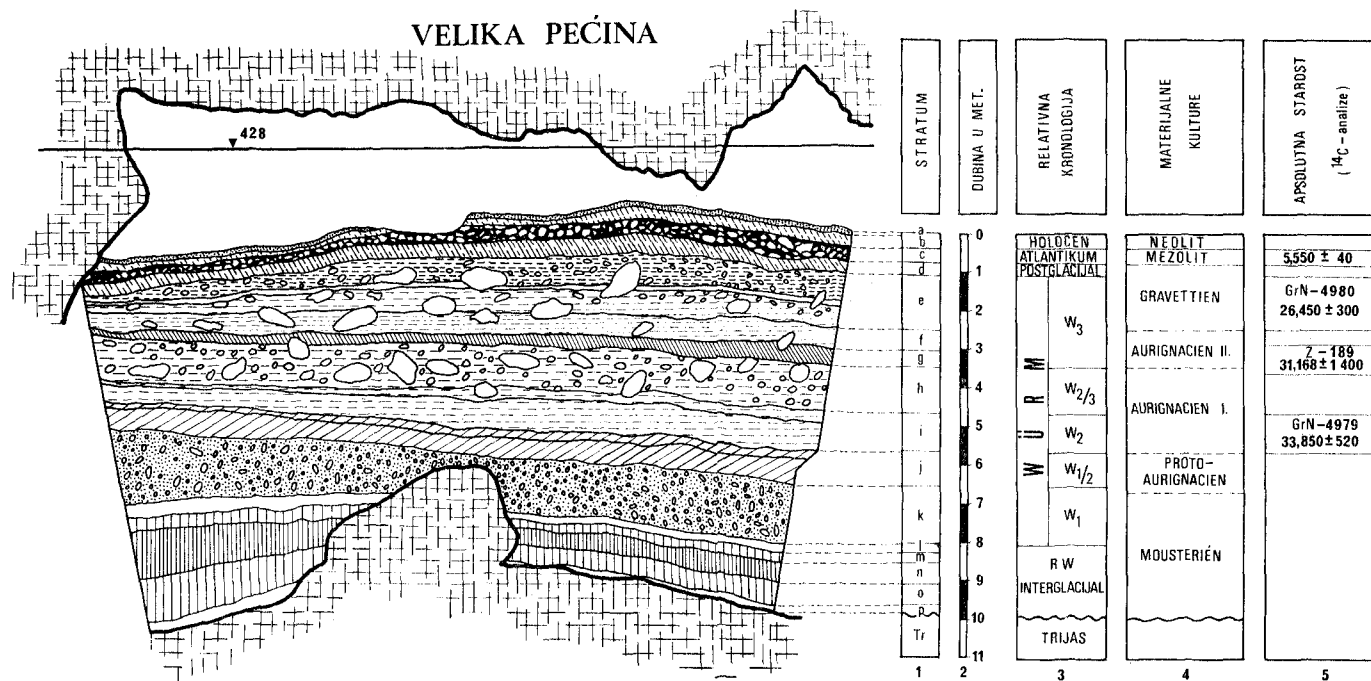
Kvartarne naslage debele su u pećini preko 10 metara (sl. 1) i na osnovi sedimentoloških, paleontoloških i paleolitskih karakteristika izdvojeno je 16 stratuma (a-p). Naslage su taložene od interglacijala Riss-Würm do konca holocena. Pojedini topli i hladni odsjeci gornjeg pleistocena (interstadijali i stadijali) markirani su karakterističnim sedimentima i faunističkim zajednicama.

U gornjopleistocenskoj fauni Velike pećine pretežu ostaci pećinskog medvjeda (više od 90 %) i od ove za paleolitik značajne životinje sabrano je nekoliko desetaka tisuća kostiju i zubi. Gornjopleistocenska fauna sastoji se iz ovih rodova i vrsta: *Marmota marmota*, *Canis lupus*, *Alopex cf. lagopus*, *Vulpes vulpes*, *Ursus arctos priscus*, *Ursus spelaeus*, *Martes sp.*, *Gulo gulo*, *Crocota spelaea*, *Lynx lynx*, *Panthera spelaea*, *Leopardus pardus*, *Sus scrofa*, *Megaceros giganteus*, *Cervus elaphus*, *Alces alces*, *Rangifer sp.*, *Bos primigenius*, *Bison priscus*, *Rupicapra rupicapra* i *Capra ibex*.

Velika pećina značajan je paleoantropološki lokalitet. U stratumu otkriven je fragmenat desne frontalne kosti s nadočnim rubom, koji pripada neander-taloidnom hominidu iz skupine *Homo neanderthalensis* (M. Malez, 1971).

U gornjopleistocenskim naslagama Velike pećine otkriveni su brojni paleolitski artefakti i ostali tragovi o boravku paleolitskih lovaca u ovoj pećini. U najdonjim stratumima (p-k), koji su taloženi u završnoj fazi interglacijala Riss-Würm i djelomično u stadijalu Würm I, sabrani su kremen i artefakti koji po tipologiji i načinu obrade upućuju na tzv. »zupčasti moustérien« (moustérien à denticules). Najgornji dijelovi stratuma k i stratum j sadržavali su relativno malo paleolitskih artefakata, a na osnovi stratigrafske superpozicije, kao i položaja unutar paleolitskih kultura ovog nalazišta, uvršteni su ovi artefakti u protoaurignacien.

U višim stratumima (i, h) sakupljeni su brojni kremen i koštani artefakti, ustanovljena su ognjišta, a i ostali tragovi koji dokazuju, da je Velika pećina bila također naseljavana paleolitskim lovcima za vrijeme stadijala Würm II i interstadijala Würm II/III. Iz ovih stratuma osobito su karakteristični koštani artefakti. Oni su isključivo zastupljeni koštanim šiljcima s raskoljenom bazom, a takav tip šiljaka provodan je za stariji aurignacien, tj. za aurignacien I. Stratumi



Sl. 1. Shematski profil kroz Veliku pećinu na udaljenosti 22 m od ulaza sa prekopanim kvartarnim naslagama (bijela površina lijevo i desno su neprekopani sedimenti). 1 = oznaka stratuma, 2 = dubina u metrima, 3 = relativna kronologija, 4 = redoslijed materijalnih kultura i 5 = rezultati određivanja apsolutne starosti radiokarbonskom metodom

g i f taloženi su na početku stadijala Würm III i sadržavaju također brojne kremene i koštane artefakte, ognjišta, kosti lovnih životinja itd. Koštani artefakti iz ovih stratuma, osobito koštani šiljci mladečkog tipa, karakteristični su za mlađi aurignacien, tj. aurignacien II.

Stratumi e i d taloženi su u drugoj polovici stadijala Würm III, a u njima otkriveni su kremen i koštani artefakti karakteristični za gravettien. Među kremenim artefaktima zastupljene su tipične »gravetke«, a koštani šiljci često su ukrašeni spiralnim ornamentom.

U završnoj fazi stadijala Würm III došlo je do urušavanja pećinskog stropa, pa je stratum c sastavljen pretežno iz većih blokova i oštrobriđnog kamenja, koje je u atlantiku ispunjeno i povezano sigom. Taj stratum c sadržavao je više kremenih i koštanih artefakata mezolitskog karaktera. Najgornji humusni kompleks naslaga (stratumi b i a) iz holocena sadržavaju razne predmete iz neolitika, eneolitika, brončanog, željeznog i rimskog doba. Ovi nalazi dokazuju da je Velika pećina bila kontinuirano korištena od brojnih ljudskih generacija i tokom holocena, te da je ona od srednjeg paleolitika do najmlađih materijalnih kultura bila centar ljudske djelatnosti u ovom dijelu Hrvatske.

U najnovije vrijeme izvršene su na materijalu iz Velike pećine radiokarbonske analize za određivanje apsolutne starosti. Neke od njih načinjene su u Natuurkundig Laboratoriumu der Rijks-Universiteit u Groningenu (Holandija), a neke u Radiokarbonskom laboratoriju instituta »Ruđer Bošković« u Zagrebu. Dobiveni rezultati za apsolutnu starost pojedinih naslaga, kao i njihov odnos prema stratigrafiji Velike pećine i redosljedu materijalnih kultura prikazan je na sl. 1. Do sada su poznati rezultati od četiri radiokarbonske analize i to: a) Određivanjem i mjerenjem radioaktivnog ugljika (C^{14}) na ugljenu iz ognjišta u gornjem dijelu stratuma i dobivena je apsolutna starost od $33\,850 \pm 520$ godina prije sadašnjosti. Taj stratum taložen je u stadijalu Würm II i sadržava tipične artefakte najstarijeg aurignaciena (aurignacien I). b) Iz stratuma g analiziran je ugljen iz jednog ognjišta i dobivena je starost od $31\,168 \pm 1400$ godina prije sadašnjosti. Taj stratum taložen je u početnom dijelu Würm III stadijala i sadržava artefakte aurignaciena II. c) Ugljen iz ognjišta u sredini stratuma e pokazao je apsolutnu starost od $26\,450 \pm 300$ godina prije sadašnjosti. Stratum je nataložen u maksimumu Würm III stadijala i sadržava artefakte starijeg gravettiena. d) Stratum c predstavljen je sigom koja je ispunila šupljine između naslage kamenih blokova, a koji su se urušili sa stropa u završnoj fazi zadnjeg virmskog stadijala. Mjerenjem C^{14} iz sige u gornjem dijelu stratuma c dobivena je apsolutna starost od $5\,550 \pm 40$ godina prije sadašnjosti. Ova vrijednost dobro označava završnu fazu atlantika i mezolitika u našim krajevima.

Pećina Veternica kod Zagreba

Pećina Veternica iznad Gornjeg Stenjevca u jugozapadnom dijelu Medvednice poznata je također kao vrlo značajan kvartargeološki, paleontološki i paleolitski lokalitet u Hrvatskoj (M. Malez, 1963 b, 1965 a, 1965 b, 1967 b, 1971). Njezin geografski položaj je $45^{\circ}50'36''$ sjeverne širine i $13^{\circ}32'24''$ istočne dužine od Pariza, a ulaz joj leži na 306 m apsolutne visine. Pećina se sastoji iz sistema

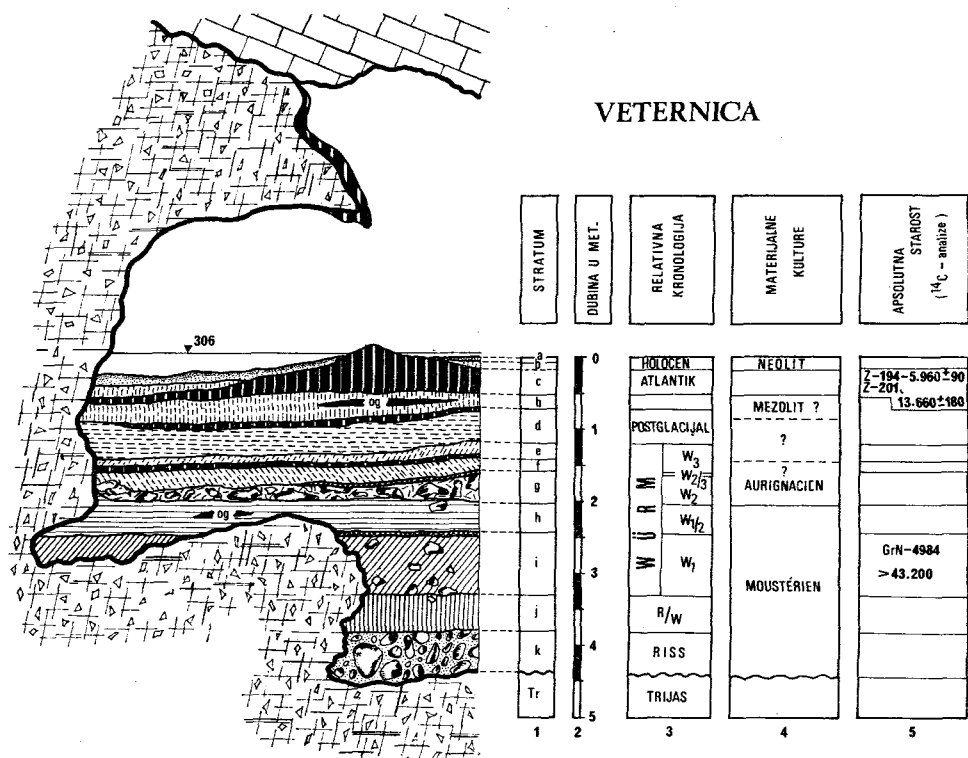
horizontalnih kanala, hodnika i dvorana u ukupnoj duljini oko četiri kilometra. Nastala je na transgresiji između gornjotrijaskih dolomitičnih vapnenaca i tortonskih naslaga i to pretežno erozionim djelovanjem podzemnog potoka, koji ponire na malom krškom polju Ponikve u zapadnom dijelu Medvednice. Morfološki opis Veternice, njezini geološki, hidrološki, speleogenetski i mikroklimatski odnosi prikazani su detaljno u posebnom radu (M. Malez, 1965 b), a također i kvartarna fauna u posebnoj monografiji (M. Malez, 1963 b).

Istraživanja u 1971. godini poduzeli smo prvenstveno s ciljem da iz zaštitnih profila uzmemo uzorke pojedinih naslaga za razne analize i to osobito za određivanje radioaktivnog ugljika (C^{14}) radi dobivanja apsolutne starosti pojedinih nalaza i stratuma. U tu svrhu očistili smo dva zaštitna profila koje smo sačuvali u pećini kod ranijih iskopavanja. Jedan profil naslaga nalazio se na desnoj strani ulaznog dijela, a zahvaćao je kvadrate r, s, t, 1—3, a drugi je ostavljen u centralnom dijelu prve dvorane na kvadratima g i h 6—8 (sl. 2). Na oba spomenuta profila nataložen je cijeli niz naslaga od završetka interglacijala Riss-Würm do holocena.

Čišćenjem profila na desnoj strani ulaznog dijela otkrili smo u stratumima h-j, koji su nataloženi od završetka interglacijala Riss-Würm do prvog virmskog interstadijala (Würm I/II), više lijepih i tipičnih kremenih artefakata srednjeg paleolitika, tj. kulture moustérien. Uz njih smo sabrali više odbačaka od raznih finoiznatih kremenih stijena i kvarcita. Osim toga u stratumu i otkrili smo dva »koštana retušera«, tj. fragmente životinjskih cjevanica s kojima su paleolitski lovci vršili retuširanje i obradu artefakata. Na površini takovih koštanih retušera jasno su vidljive brojne poprečne udubine, koje su nastale prilikom udaranja kod retuširanja kremenih artefakata.

Na drugom zaštitnom profilu u centralnom dijelu prve dvorane (sl. 2) također smo postigli zanimljive rezultate. U tom dijelu pećine izlučena je debela sigasta ploča za vrijeme atlantika i ona dobro odjeljuje pleistocenske naslage od holocenskih stratuma (stratum c na sl. 2). Sigasta ploča debela je u centralnom dijelu preko 70 cm i prema perifernim dijelovima prve dvorane ona se postepeno stanjuje. Nas je u prvom redu zanimalo kada je vremenski počelo izlučivanje te sigaste ploče, zatim kada je njezino izlučivanje završilo, odnosno koliko vremena je potrebno da se kod takvih geoloških i mikroklimatskih odnosa kakvi su u Veternici izluči tako debela sigasta ploča. Da se to postigne mi smo iz presjeka u središnjem dijelu spomenute sigaste ploče uzeli tri uzorka sige, koje smo dostavili Radiokarbonskom laboratoriju »Ruđer Bošković« u Zagrebu na određivanje apsolutne starosti pomoću mjerenja radioaktivnog ugljika. Uzorke smo uzeli iz najdonjeg, središnjeg i najgornjeg dijela sigaste ploče. Dobivene vrijednosti upućuju da je sigasta ploča u centralnom dijelu prve dvorane Veternice izlučena u vremenskom rasponu od 13 660 do 5960 godina prije sadašnjosti, tj. za njezino izlučivanje bilo je potrebno 7700 godina.

Ispod spomenute sigaste ploče leže intaktne naslage gornjeg pleistocena (sl. 2). Vrlo zanimljiv nalaz otkrili smo u gornjem dijelu naslage h, gdje je ležala in situ hrptenjača pećinskog medvjeda. Ovakav nalaz skeletnih dijelova od jednog individuuma pećinskog medvjeda općenito vrlo je rijedak slučaj, pa svaki takav nalaz od osobitog je značenja za proučavanje anatomskih i morfometrijskih odnosa te životinje. Nadalje je kod čišćenja profila u središnjem dijelu



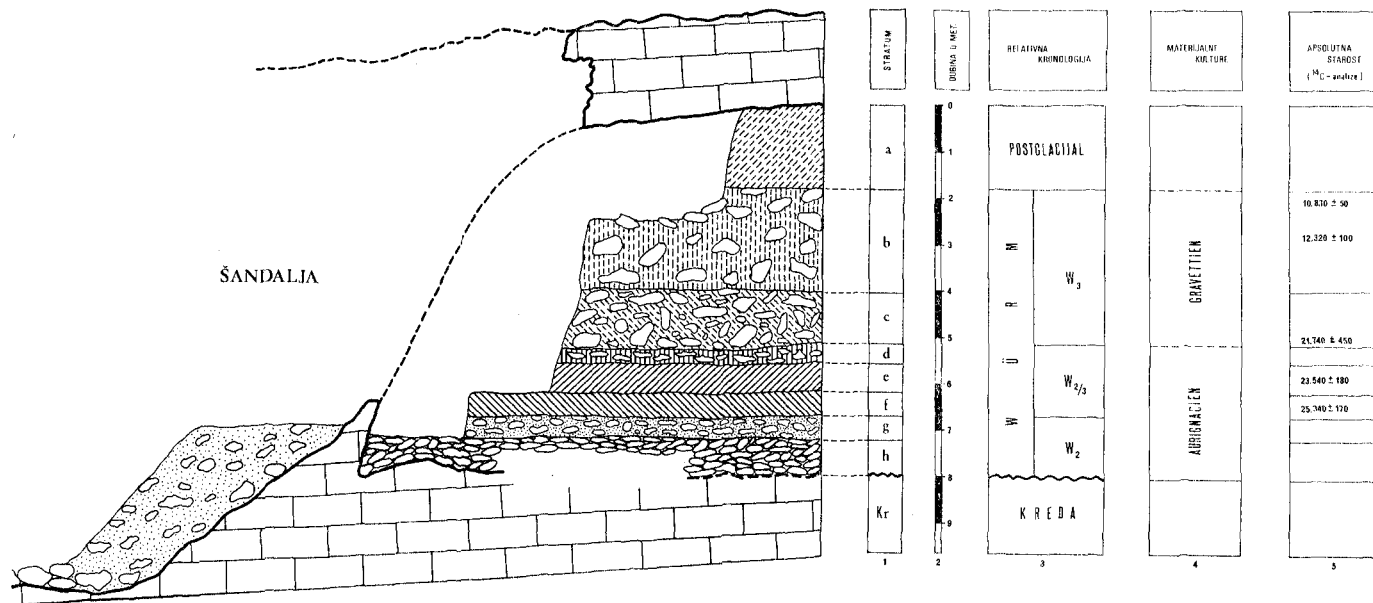
Sl. 2. Profil kroz centralni dio prve dvorane pećine Veternice sa kvartarnim naslagama. 1 = oznaka stratuma, 2 = dubina u metrima, 3 = relativna kronologija, 4 = redoslijed materijalnih kultura i 5 = rezultati određivanja apsolutne starosti radiokarbonskom metodom

prve dvorane i to u stratimuma h-j otkriveno više tipičnih kremenih artefakata moustérienske kulture. Zatim smo sabrali više kremenih neretuširanih odbitaka i razne kosti lovnih životinja.

U stratumu h nalazilo se jedno ognjište iz kojeg smo uzeli stanovitu količinu drvenog ugljena za radiokarbonsku analizu. Na jednom uzorku drvenog ugljena iz ognjišta u dubljem stratumu i dobivena je u Groningenu (Holandija) mjerenjem radioaktivnog ugljika apsolutna starost od 43 200 godina prije sadašnjosti, što dobro vremenski označava moustériensku kulturu u našim krajevima.

Šandalja kod Pule u Istri

Terminom »Šandalja« obuhvaćeno je više »fosilnih« pećina, koje su otkrivene prije deset godina u kamenolomu na istoimenom brdu nedaleko Pule. Geografski položaj Šandalje je 44°52'57" sjeverne širine i 13°53'48" istočne dužine od Greenwicha, a leži na 72 m apsolutne visine.



Sl. 3. Profil kroz Šandalju uzduž glavne pećinske osi i odnosom kvartarnih naslaga. 1 = oznaka stratuma, 2 = dubina u metrima. 3 = relativna kronologija, 4 = redoslijed materijalnih kultura i 5 = rezultati određivanja apsolutne starosti radiokarbonskom metodom

U otvorenom kamenolomu dobro je vidljiv cijeli profil kvartarnih naslaga, koje pećinu Šandalju ispunjavaju sve do stropa (sl. 3). U profilu je jasno istaknuto osam stratuma u ukupnoj debljini od 6—8 metara. Na uzorcima kvartarnih naslaga iz tog profila izvršene su sedimentološke, granulometrijske, kalcimetrijske, petrografske i druge analize. Na osnovi njihovog rezultata, paleontološkog sadržaja i tipoloških karakteristika paleolitskih kultura iz svakog stratuma izvršena je stratigrafska raščlamba naslaga. One su nataložene u nekadašnjoj pećini Šandalje u toku gornjeg pleistocena i to od drugog virmskog stadijala (Würm II) do konca kasnog glacijala, tj. do početka holocena. Stratumi h i g nataloženi su u stadijalu Würm II, a viši stratumi f i e nataloženi su u interstadijalu Würm II/III. Debeli kompleks naslaga, kojeg čine stratumi c, b i koji je ispunjen kamenim blokovima, nataložen je u toku stadijala Würm III. Stratum a nataložen je u kasnom glacijalu sve do holocena, tj. do atlantika (u najgornjem dijelu tog stratuma uložene su sigaste kore). Svi stratumi Šandalje dobro su dokumentirani paleontološkim i paleolitskim materijalom, pa stratigrafski profil tog lokaliteta daje osnovu za članjenje kvartara u širem području Istre.

Pleistocenska fauna Šandalje do sada je najbogatija u Istri. Gotovo sve životinjske kosti u naslagama razbijene su, a mnoge i opaljene vatrom, što je dokaz da su ostatak lovačkog plijena paleolitskog lovca. Tako npr. u stratumu b sakupljeno je nekoliko tisuća raznih kostiju i zubi, a pripadaju ovim životinjama: *Talpa europaea*, *Sorex araneus*, *S. alpinus*, *Crociodura russula*, *Rhinolophus ferrum-equinum*, *Rh. hipposideros*, *Myotis myotis*, *Eptesicus* sp., *Miniopterus schreibersii*, *Lepus timidus*, *Arvicola terrestris*, *Microtus arvalis-agrestis*, *Pitymys subterraneus*, *Marmota marmota*, *Castor fiber*, *Canis lupus*, *Alopes lagopus*, *Vulpes vulpes*, *Ursus arctos priscus*, *U. spelaeus*, *Martes martes*, *Mustela putorius*, *M. erminea*, *M. nivalis*, *Meles meles*, *Felis silvestris*, *Lynx lynx*, *Panthera spelaea*, *Equus caballus fossilis*, *E. hydruntinus*, *Sus scrofa*, *Cervus elaphus*, *Megaceros giganteus*, *Alces alces*, *Capreolus capreolus*, *Bos primigenius*, *Bison priscus*, *Rupicapra* sp., zatim ostaci ptica, vodozemaca i riba. Neki elementi alpske i sjevernoevropske faunističke zajednice iz tog stratuma upućuju na to da je u ovim krajevima za vrijeme taloženja spomenute naslage vladala suha, oštra i dosta hladna klima s vlažnim intervalima. Ujedno taj popis životinja daje uvid u jelovnik paleolitskih lovaca iz ovog lokaliteta.

Svi stratumi Šandalje sadržavaju također mnogobrojne tragove o boravku paleolitskih lovaca u nekadašnjem pećinskom prostoru. To su rukotvorine u obliku raznih tipova kamenog i koštanog oruđa, zatim ukrasni i kulturni predmeti, brojna ognjišta, te raskoljene, razbijene i opaljene kosti ulovljenih pleistocenskih životinja. Glavne lovne životinje bile su divlji konji, goveda i jeleni. Najdublji stratumi Šandalje sadržavaju kremene artefakte aurignacijske, a stratumi c i b bogati su kremenim i koštanim rukotvorinama, koje pripadaju raznim razvojnim fazama gravettijanske kulture. Danas nema sumnje da je Šandalja jedan od najvećih i najpotpunijih lokaliteta gravettijanske kulture na cijelom prostoru jugoistočno od Alpa (M. Malez, 1964, 1969 b, 1970 d, 1972).

Do sada su na četiri uzorka iz Šandalje izvršena mjerenja radioaktivnog ugljika (M. Malez, J. C. Vogel, 1969) i dobivene su ove vrijednosti za apsolutnu starost: Naslaga b gornji dio = $10\,830 \pm 50$ god. prije sadašnjosti; stratum b središnji dio = $12\,320 \pm 100$ god. prije sadašnjosti; stratum e = $23\,540$

± 180 i stratum f = $25\,340 \pm 170$ god. prije sadašnjosti. Ove vrijednosti dobro se uklapaju u okvir apsolutne kronologije pleistocena na širem području Alpa.

Kod terenskih istraživanja u Šandalji tokom 1971. postignuta su vrlo značajna paleoantropološka otkrića (M. Malez, 1972). Radove smo započeli u jugozapadnom dijelu pećine na iskopavanju stratuma b. U tom dijelu pećine nekada se nalazio ulaz, koji je kasnije zarušen kamenim blokovima. Ispod tih kamenih blokova u središnjem nivou stratuma b otkrili smo uz brojne artefakte gravettienke kulture i više skeletnih dijelova fosilnog čovjeka. Do prvih otkrića ostataka fosilnog čovjeka u Šandalji došlo je još u 1963. godini (M. Malez, 1965 a). Kod sistematskog iskopavanja u rujnu te godine otkrivena su dva fragmenta čovječje kalote u središnjem dijelu stratuma b, a što je najznačajnije oni su otkriveni zajedno s gravettienkim artefaktima i kostima gornjopleistocenskih životinja. Tada je otkriven fragment lijeve čeonke kosti i fragmenat desne tjemene kosti. Tokom iskopavanja u 1965. i 1966. također su u središnjem dijelu stratuma b otkriveni ostaci fosilnog čovjeka i to fragmenat desne tjemene kosti, jedan zub sjekutić lijeve polovice mandibule i jedna medijalna falanga petog prsta lijeve ruke.

Najbrojniji ostaci fosilnog čovjeka u Šandalji kako je napomenuto, sabrani su prilikom sistematskog iskopavanja u jesen 1971. godine. Tada su otkrivena 24 skeletna dijela paleolitskih lovaca, pa iz tog lokaliteta do sada potječe ukupno 29 raznih ostataka ljudskog skeleta. Među tim ostacima nalazi se 7 fragmenata lubanje, 4 izolirana zuba, 5 fragmenata raznih kralješaka, 2 ulomka rebara, 6 fragmenata kostiju ruke i 5 fragmenata kostiju noge. Svi sakupljeni skeletni dijelovi fragmentarni su, osim 4 izolirana zuba i 2 falange šake.

Sakupljeni skeletni dijelovi gornjopleistocenskog čovjeka iz Šandalje dobro su sačuvani i imaju isti stupanj fosilizacije kao i kosti lovničkih životinja iz središnjeg dijela stratuma b. Na ljudskim kostima ne opažaju se tragovi bilo kakvog transporta vođom ili slično, jer su rubovi na prijelomima oštri i dobro je sačuvana nježna šupljikava supstancija spongioze.

Svi do sada sakupljeni skeletni ostaci fosilnog čovjeka iz Šandalje odlikuju se pretežno sapijentnim karakteristikama. Primitivne ili neandertaloidne osobine na nekim kostima ili zubima od posve neznatnog su značenja, jer se one u određenom postotku pojavljuju i kod današnjih ljudi. Robustna građa nekih kostiju i zubi također se kreće unutar vrijednosti u varijacijskom rasponu kod recentnog čovjeka. Prema tome skeletnim ostacima fosilnog čovjeka iz Šandalje na osnovi anatomske-morfološke karakteristike, usporedbe proporcija, stratigrafskog položaja, geološke starosti popratne faunističke zajednice, stupnja razvitka gravettienke kulture i određivanja apsolutne starosti pomoću C^{14} , može se sa sigurnošću odrediti taksonomska pripadnost i oni isključivo pripadaju paleolitskim lovcima iz skupine *Homo sapiens fossilis*. Sakupljeni skeletni ostaci nisu dovoljni da se odredi u kojem postotku su kod te ljudske populacije bila zastupljena kromanjonska, grimaldijska, šanseladska ili druga obilježja neantropa iz najgornjeg pleistocena Evrope. Može se jedino pretpostaviti da su kod njih po svoj prilici bila pretežno istaknuta kromanjonska obilježja, jer po svom geografskom položaju Šandalja leži unutar kruga rasprostranjenosti paleomediteranskih hominida s izrazitim kromanjonskim karakteristikama.

Na osnovi do sada sakupljenih skeletnih dijelova fosilnih ljudi u središnjem dijelu stratuma b može se približno procijeniti broj individua na tom loka-

litetu. Sakupljeni izolirani zubi su od najmanje tri osobe, a fragmenti lubanja su od najmanje pet individuuma. Među sakupljenim kostima zastupljena su oba spola, a na osnovi građe i proporcija pripadaju osobama raznog uzrasta i životne dobi.

Od osobitog je značenja izgled i međusobni položaj skeletnih ostataka fosilnog čovjeka na nalazištu. Sve lubanje i ekstremitetne kosti razbijene su i fragmentarne, te su bez ikakvog reda bile razbacane u središnjem dijelu stratum b. Ta pojava je neobična, jer je poznato da je u najgornjem pleistocenu u kulturnom krugu gravettienae već postojao vrlo razvijen kult umrlih, pa je pokapanje mrtvih iz tog vremena redovita pojava i ono je prema A. Leroi-Gourhanu (1964) poznato na mnogim lokalitetima u Evropi. Nemože biti nikakve sumnje da su u Šandalji svi dijelovi ljudskih skeleta hotimično razbijeni i razbacani po pećini isto kao i kosti lovnih životinja, što bi možda upućivalo na kanibalizam. Kod pojave kanibalizma na nekom lokalitetu (npr. kod nas u polupećini na Hušnjakovom brdu u Krapini) gotovo redovito susreću se opaljene i djelomično pougljenjene ljudske kosti. Do sada u Šandalji ta pojava nije primijećena, iako su mnoge razbijene ljudske kosti ležale u neposrednoj blizini ognjišta. Najvjerovatnije da fragmentarne i razbacane ljudske kosti na našem lokalitetu upućuju na intrahumani obračun i ubijanje, jer je to dosta česta pojava među ljudima u pleistocenu (M. K. Roper, 1969). Po svojoj prilici nekadašnji stanovnici Šandalje bili su iznenađeni i napadnuti od neke druge brojnije i jače skupine paleolitskih lovaca, koja je u južnu Istru vjerojatno došla iz drugih krajeva. U pećini bili su starosjedioci pobijeni, možda i pojedeni, a njihovi osteološki ostaci bez pijeteta razbacani po unutrašnjosti pećine. No detaljniji podaci i identitet tih napadača ostaju za sada nepoznati, ali postoji mogućnost da buduća istraživanja na tom lokalitetu u taj problem unesu više svjetla.

Summary

NEW ACHIEVEMENTS IN INVESTIGATIONS ON THE PALAEO-LITHIC IN SOME CAVES OF CROATIA

During 1970 and 1971 were continued the Quaternary-geologic explorations in three significant localities in Croatia, to wit: Velika Pećina near Goranci at Ravna Gora, Veternica near Zagreb, and Šandalja, not far from Pula in Istria. In all the three localities were achieved new and outstanding results contributing to the knowledge of palaeolithic material cultures, stratigraphic and palaeoclimatologic relations, Pleistocene fauna and notably new finds of fossil humans in Croatia.

The most recent systematic excavation of Quaternary deposits in Velika Cave were continued in the left half of the first hall. The Quaternary deposits are 9,5 m. thick and were deposited from the interglacial Riss-Würm to the holocene. Collected were flint artifacts from the Mousterian, furthermore bone points with broken base from the Lower Aurignacian, and very beautiful bone points from the Gravettian. In stratum j was recovered a right frontal bone with upper orbital rim, which belonged to the Neanderthaler hominid, while a radiocarbon analysis of coal from a fireplace in the higher stratum i yielded an absolute age of $33,850 \pm 520$ years before now.

In Veternica Cave the explorations were performed on two protective profiles (on the right side of the entrance part, and in the central part of the first hall). Strata h—j were deposited from the end of the interglacial Riss-Würm to the Würm I/II interstadial, and in them were revealed typical artifacts from the Mousterian. A radio-carbon analysis of coal from stratum i yielded an absolute age of 43,200 years before now. Furthermore, through a C^{14} analysis it was established that a circa 75 cm.-thick stalagmitic slab in the central part of the first hall was deposited within the time period from 13,660 to 5,960 years.

Šandalja Cave near Pula is the most outstanding locality of the Gravettian throughout the region south-east of the Alps. So far there have been recovered in the Pleistocene deposits of this cave a few thousand various flint and bone artifacts. Significant discoveries were made during the excavating of the central level of stratum b, in which were recovered 29 pieces of various skeleton parts of fossil man. All these remains belong to palaeolithic hunters from the group *Homo sapiens fossilis*, and they inhabited the cave 12,320 years ago.

Literatura

- Gorjanović-Kramberger, D., 1906. Der diluviale Mensch von Krapina in Kroatien. Ein Beitrag zur Paläoanthropologie. Studien über die Entwicklungsmechanik des Primatenskelettes mit besond. Berücks. d. Anthropologie u. Descendenzlehre. 2 Lief. I—XI i 59—277, Wiesbaden.
- 1913. Život i kultura diluvijalnoga čovjeka iz Krapine u Hrvatskoj. Djela JAZU 23, Zagreb.
- Leroi-Gourhan, A., 1964. Les Religions de la Préhistoire (Paléolithique). Presses Univ. de France, Paris.
- Malez, M., 1960. Rad na speleološkom istraživanju u Hrvatskoj. Ljetopis JAZU 64, Zagreb.
- 1963 a. Naučni značaj i važnost Velike pećine na Ravnoj Gori. Naše planine 7—8, Zagreb.
- 1963 b. Kvarturna fauna pećine Veternice u Medvednici. Palaeontologia Jugoslavica 5, Zagreb.
- 1964. Šandalja bei Pula — ein neuer und wichtiger paläolithischer Fundort in Istrien. Bull. scientifique 9, 6, Zagreb.
- 1965 a. Nalazišta fosilnih hominida u Hrvatskoj. Geol. vjesnik, 18/2 (1964), Zagreb.
- 1965 b. Pećina Veternica u Medvednici. I. Opći speleološki pregled. II. Stratigrafija kvartarnih taložina. Acta geologica JAZU 5, Zagreb.
- 1967 a. Paleolit Velike pećine na Ravnoj gori u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Arheološki radovi i rasprave JAZU 4/5, Zagreb.
- 1967 b. Paleolitska nalazišta Hrvatske. Arheološki vestnik 18, Ljubljana.
- 1969 a. Über das Paläolithikum der Höhle Velika Pećina aus der Ravna Gora in NW-Kroatien. Actes IV^e Congr. Intern. de Spéleolog. 4—5, Ljubljana.
- 1969 b. Šandalja bei Pula — eine bedeutende Ansiedlung der jungpaläolithischen Jäger in Istrien. V. Intern. Kongr. für Speläologie, Stuttgart.
- 1970 a. Novi pogledi na stratigrafiju krapinskog nalazišta. Krapina 1899—1969, 13—44, Zagreb.
- 1970 b. Rezultati revizije pleistocenske faune iz Krapine. Krapina 1899—1969, 45 do 56, Zagreb.
- 1970 c. Paleolitska kultura Krapine u svjetlu novijih istraživanja. Krapina 1899 do 1969, 57—129, Zagreb.
- 1970 d. Paleolitik na području istočne obale Jadrana. Adriatica praehistorica et antiqua, Zagreb.
- 1971. Yugoslavia. U knjizi: Oakley, Campbell, Molleson, Catalogue of Fossil Hominids, Part II, Europe, 337—347, London.

- 1972. Ostaci fosilnog čovjeka iz gornjeg pleistocena Šandalje kod Pule (Istra). *Palaeontologia Jugoslavica* 12, Zagreb.
- Malez, M., J. C. Vogel, 1969. Rezultati određivanja apsolutne starosti pleistocenskih naslaga Šandalje II kod Pule u Istri. *Geološki vjesnik* 22 (1968), Zagreb.
- 1970. Die Ergebnisse der Radiokarbonanalysen der quartären Schichten der Velika Pećina in Nordwest-Kroatien. *Bull. scientifique, Sec. A*, 15, 11—12, Zagreb.
- Malez, M. F. Osol, 1971. Paléolithique et Mésolithique. Epoque préhistorique et protohistorique en Yougoslavie — Recherches et résultats. VIII Congr. Intern. Scien. Préhist. et Protohist., 245—264, Beograd.
- Müller-Karpe, H., 1966. *Handbuch der Vorgeschichte. I. Altsteinzeit.* Ver. Beck, München.
- Oakley, K. P., B. C. Campbell, T. I. Molleson, 1971. *Catalogue of Fossil Hominids. Part II: Europe.* Trustees of the British Museum (Natural History), London.
- Roper, M. K., 1969. A Survey of the Evidence for Intrahuman Killing in the Pleistocene. *Current Anthropology* 10, 4, Chicago—Glasgow.

Diskusija

A. Sliepčević:

- a) Kako je protumačeno sortiranje medvedjih lubanja u nizove?
- b) Kako je protumačeno odlaganje medvedjih lubanja o depovima zazidanim kamenim blokovima?

Odgovor (M. Malez):

Gore navedene pojave poslaganih lubanja pećinskih medvjeda, odnosno pojava odloženih lubanja u nišama koje su zazidane kamenjem, tumače se kao tragovi »kulta pećinskog medvjeda« u paleolitiku. U predavanju ja se nisam detaljnije osvrnuo na te nalaze o Veternici, jer je ta pojava publicirana (vidi Malez, 1959, Quartär, 10/11, Bonn).

R. Gospodarič:

Predavatelj je pokazal gradivo, ki s speleogenetskega vidika predstavlja razpadne procese v jamah predvsem iz mlajšega pleistocena. Zato imajo te sekundarno obliko, ki se po videzu in starosti razlikuje od prvotne vodne jame. Takšna prepletenost speleogeneze je v jamah Dinarskega krasa zelo pogostna, zato predlagam tesnejše sodelovanje raziskovalcev raznih strok, ki se ukvarjajo s kronologijo zakrasevanja in nastajanja naših jam, da bi te probleme bolj sistematično preučevali.

ČLOVEŠKA RIBICA JE NEOTENIČNA ALI PA NI DVOŽIVKA

PROTEUS IST ENTWEDER NEOTENISCH, ODER ER IST KEIN AMPHIBIUM

AKADEMIK JOVAN HADŽI

Referat, pripravljen za 6. kongres speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)

Vortrag, vorbereitet für den 6. Kongreß der jugoslawischen Höhlenforscher
(Sežana—Lipica, 10.—15. Oktober 1972)

Do nedavnega je veljalo splošno mnenje, da je človeška ribica neotenična dvoživka, čeprav niso v naravi odkrili izjemnega primera preobrazbe niti ni uspelo po eksperimentalni poti prisiliti te čudne živali k preobrazbi. Očitno so se zasnove (geni ali kompleksi genov) potrebni, da sprožijo proces metamorfoze, v preteklosti popolnoma zgubili, kar ni nič nenavadnega v živalstvu.

Za raziskovanje življenja v podzemlju tako zaslužna francoska šola pod vodstvom prof. A. Vandela pa je prišla, predvsem na osnovi primerjalne morfologije, do prepričanja, da pri človeški ribici ne gre za neotenijo ali splošno pedomorfozo, temveč za tako rekoč nekega monofibija, ki v svoji ontogenezi ni nikoli imel faze metamorfoze s paglavcem in zato človeška ribica ni mogla izgubiti te razvojne faze. Torej je nujna posledica takega naziranja, da je človeška ribica zelo primitivna, arhaična žival, ki se je le lokalno ohranila v našem kraškem podzemlju.

Takšno naziranje je seveda znanstveno mogoče, ni pa verjetno, oziroma je veliko manj verjetno kot stara teza o neotenični naravi človeške ribice. To hočem pokazati v zvezi z izidom pomembnega dela J. P. Duranda : *Recherches sur l'appareil visuel du Protée, Proteus anguinus Laurenti* urodéle hypogé (1971). Avtor je sodelavec prof. A. Vandela. Poleg omenjenega dela je v zadnjih letih izšlo še nekaj pomembnih prispevkov k boljšemu poznavanju življenja, zgradbe in razvoja človeške ribice, žal večinoma po zaslugi tujih raziskovalcev.

Z novimi ugotovitvami je faktografski del raziskovanja človeške ribice skoraj zaključen, velikih vrzeli ni več. Sedaj gre za pravilno interpretacijo doseženega znanja, ob upoštevanju splošnih bioloških vidikov in primerjave z razmerami pri dvoživkah nasploh. In ravno tega pogrešamo. Ostalo je odprto vprašanje o pristni naravi človeške ribice, o njenem izvoru in o mlajši filogenezi ob pomanjkanju paleontološkega materiala.

Že samo odkritje spermatoforov pri človeški ribici (W. Briegleb, 1961) govori v prid naši stari tezi. Resnično najbolj primitivni urodéli (*Hynobiidae*) imajo še zunanjo osemenitev in, kakor se zdi, tudi metamorfozo. Nekatere vrste so izgubile pljuča (*Onychodactylus*), kar se je zgodilo tudi nekaterim drobnim na kopnu živečim repatim krkonom.

J. P. Durand se je zelo potrudil z raziskovanjem podrobnejše zgradbe, razvoja in obnašanja ob presaditvah svetlobnega organa človeške ribice. Rezultati teh naporov pa prav nič ne nasprotujejo naši stari tezi. Gre za primer adaptacije na življenje v specialnem okolju, kakršno so podzemeljske vode našega krasa, kjer ni svetlobe. Adaptacijske spremembe pod pritiskom naravne selekcije in ob pojavu različnih dednih mutacij nastopajo pri različnih organih različno hitro in na različne načine. Tukaj ne vidimo, da bi delala narava s človeško ribico neko izjemo. Svetlobni organi so recimo ostali na polovici poti, da se popolnoma izgubijo. Bolj je napredovala izguba kožne pigmentacije, ki je v

genomu še navzoča in se pod vplivom svetlobe še aktivira. Tista v svetlobnem organu pa je vezana le na gene za ta organ. Najdlje je šla adaptacija glede na metamorfozo. Za to razvojno fazo potrebne gene je selekcija popolnoma črtala iz genoma. Torej je izguba metamorfoze, za razliko od nekaterih drugih dvoživk, pri človeški ribici absolutna. Meni se zdi ta pojav razumljiv. Lahko trdim, da je ravno ta sprememba v osebnem razvoju omogočila človeški ribici, da se je mogla uveljaviti v tako specialnih ekoloških razmerah, kakršne nudi kraško podzemlje z lastnim vodnim sistemom. Samo s tem, da je človeška ribica definitivno izgubila tudi samo možnost in priložnostno metamorfozo, se je mogla ohraniti v tako specialističnih ekoloških razmerah.

Sicer je med dvoživkami večkrat prišlo do drugotne opustitve metamorfoze, navadno ob priključitvi larvalne faze k embrionalni fazi. Celo med anuri, torej žabami, seveda gre spet za specialiste v ekološkem pomenu, so vrste brez paglavcev (rod *Eleutherodactylus*) in žive v pragozdu na drevesih. In te žabe, če tudi nimajo metamorfoze so pristne dvoživke, kot je tudi človeška ribica, saj je v obeh primerih odsotnost metamorfoze drugotni pojav.

Človeška ribica ni arhaična, le po videzu je preprosta, ker je larvoidna. Pri njej ni umestno govoriti o larvi, ker nima larve v pravem pomenu pojma larve in ker nima več metamorfoze. To kar imajo sedaj nekateri raziskovalci za larvo je mladič ali sekundarna larva (»neolarva«), kot so npr. mladi ptiči po izvalitvi in se lahko precej razlikujejo od odraslega stanja ali kot dojenčki pri sesalcih. V vseh teh primerih živijo mladi osebk v istem okolju kot odrasli.

Če bi človeška ribica bila resnično prvotno brez metamorfoze, ne bi sodila med dvoživke, bila bi vmesni štirinožec med razredom rib in razredom dvoživk. Ali pa bi morali spremeniti karakteristiko dvoživk in iz nje črtati obvezno metamorfozo in s tem povezano dvoživnost. Pri tem bi morali v precejšnji meri spremeniti sistem in taksonomijo dvoživk.

Seveda je vse to nepotrebno, saj vidimo, da je drugotna opustitev metamorfoze bodisi priložnostna ali stalna pri urodelih precej razširjena in ne smemo človeške ribice obravnavati izolirano. Prav nasprotno je človeška ribica izreden primer specializacije ob adaptaciji na povsem samosvoje ekološke razmere in je pri tej adaptaciji opustila marsikatero lastnosti, ki so postale odveč ali celo škodljive, zato pa se je do določene stopnje razvijala v novo pozitivno smer razvoja ter ohranila nekatera larvoidna znamenja, ki so deloma starinska.

Ne smemo v tej zvezi pozabiti ne preveč oddaljenih sorodnikov naše človeške ribice: družino *Sirenidae* iz Severne Amerike. Vse vrste te družine so tako kot človeška ribica obvezno in nepovratno izgubile bivše odraslo stanje po procesu neotenije. Tudi v tem primeru ni pomagala niti umetna uporaba ščitničnega hormona (tiroksina), da bi sirenide pripravili k metamorfozi.

V okviru razreda dvoživk je poglobljena smer razvoja, značilna za ta razred, bila menjava okolja mlade in odrasle faze osebnega razvoja, kar je spojeno z metamorfozo. Poleg te smeri pa se javljata še dve stranski smeri, večkrat seveda v manjši meri. V eni se razvoj vrača na raven rib in je vezan le na življenje v vodi. Ta smer ni peljala nikamor naprej. V drugi, bolj redki smeri odpade najprej prva faza z življenjem v vodi, kar pomeni emancipacijo od vodnega okolja. Ta razvojna smer je nekoč pripeljala do nastanka sledeče višje stopnje vretenčarjev, do pojava plazilcev, seveda pa ne prek takih specialistov kot so drevesne žabe.

Na osnovi vsega, kar je doslej dognanega o zgradbi in ekologiji človeške ribice, lahko hipotetsko konstruiramo zelo verjeten razvoj te živali, ki je potekal na krasu vzporedno z razvojem hidrografskih in klimatskih razmer v mlajši geološki preteklosti. Starejši predniki človeške ribice so verjetno živeli, kot je to tipično za urodele, na kopnem v bližini jezera ob vedno močnejšem nagnenju k povodnemu življenju. Njihov osebni razvoj je bil povezan s preobrazbo. V globljih jezerih je bila vedno bolj opuščena metamorfoza, saj je postala nepotrebna, ker ni bilo obveznega menjavanja okolja: kopno — voda. Ko se je v zvezi z razvojem zakrasovanja razvil sistem podzemeljskih voda in ob spremembi klimatskih razmer, je prišlo do sezonskega umikanja jezernice v podzemlje, človeške ribice so morale popolnoma opustiti preobrazbo in so postopoma postale podzemeljske, torej jamske vodne živali. V tem so prehitale svoje sostanovke ribe in se razvile v specialistične podzemeljske živali, toda le na določenih krajih, kjer so našle ugodne razmere za obstoj.

Prav v strogi endemnosti v izredno specializiranem okolju, kjer danes živijo človeške ribice, vidimo močan dokaz v prid tezi, da so človeške ribice neotenični urodeli in ne arhaični tetrapodi.

Zusammenfassung

PROTEUS IST ENTWEDER NEOTENISCH, ODER ER IST KEIN AMPHIBIUM

Unsere Kenntnisse über den Bau, die Entwicklung und Lebensweise des *Proteus* sind so weit fortgeschritten, daß nun keine wesentlichen Lücken darin bestehen. Offen bleibt nur die Frage, ob *Proteus* ein primitiver, »archaischer« Tetrapod oder ein sekundär vereinfachtes, neotenisches Amphibium sei. Möglich oder vertretbar sind beide Ansichten, doch scheint uns die letztere viel mehr für sich zu haben. Bei der Diskussion dieses Problems soll man nicht die Verhältnisse des *Proteus* isoliert in Betracht ziehen, sondern in Verbindung mit den Verhältnissen, die wir in der ganzen Klasse der Amphibien finden.

Eine ganze Reihe von festgestellten Tatsachen sprechen klar zugunsten der These von der neotenischen Natur des *Proteus*. Um nur einige davon hervorzuheben, erwähnen wir die Bildung der Spermatophoren, das vielfache Kürzen der Ontogenesen, namentlich bei den Urodelen, unter Abschaffung der Metamorphose, die offensichtliche Spezialisierung des *Proteus*, verbunden mit der Adaptation zum Leben in unterirdischen Gewässern des Dinarischen Karstes, wobei gerade der absolute Verlust der Metamorphose eine wesentliche Rolle spielte.

Bei solcher Auffassung des Sachverhaltes ist es unangebracht, beim *Proteus* von einer Larve zu sprechen. Das wirkliche Larvenstadium der Ontogenese ist bei diesem Tiere verloren gegangen, ebenso, wie bei den auf Bäumen lebenden tropischen Fröschen, bzw. diese Phase ist in die embryonale Phase versetzt worden. *Proteus* verläßt die Eihülle als Jungtier, ähnlich wie ein Nestling oder ein Säugling.

Auf Grund unserer jetzigen Kenntnisse können wir eine sehr wahrscheinliche Vorstellung über die jüngere Phylogenese des *Proteus* konstruieren. Diese ging parallel mit der Verkarstung des Dinarischen Gebietes vor sich. Die etwas älteren Ahnen des *Proteus* lebten wahrscheinlich, ähnlich anderen typischen Urodelen, am Lande, doch

in der Nähe von Seen, und entwickelten sich normal unter Metamorphose. Sie tendierten zum Übergang in die nasse Umwelt. In größeren Tiefen wurde die Metamorphose immer mehr aufgelassen, da sie unnötig wurde. Als sich in Verbindung mit der fortgeschrittenen Verkarstung ein unterirdisches Wassersystem ausbildete und es zugleich zur Änderung des Klimas kam, zogen sich die Protei zunächst nur periodisch in die Unterwelt zurück und wurden obligat neotenisch. Es folgte eine spezialistische Adaptation an das Leben in den unterirdischen Karstwässern, streng lokal — endem. Es gelang bisher kein Versuch künstlicher Ansiedlung des *Proteus* und es gibt keine Aussichten, daß diese jemals gelingen wird.

Literatura

- Briegleb, W., 1962. Zur Biologie und Ökologie des Grottenolms (*Proteus anguinus* Laur. 1768). Z. Morph. Ökol. Tiere, 51, 271—334.
- Durand, J. P., 1971. Recherches sur l'appareil visuel du Protée, *Proteus anguinus* Laurenti, urodele hypogé. Ann. Speleol. 26 (3), 497—628.
- Hadži, J., 1962. Novi doneski k boljšemu poznavanju naše človeške ribice. Naše jame 4, 33—40, Ljubljana.
- 1965. Bemerkungen zu einigen biospeläologischen Problemen des Dinarischen Karstes. Naše jame 7, 21—31, Ljubljana.
- Vandel, A., 1964. Biospéologie. Biologie des animaux cavernicoles. Paris.

PODZEMELJSKI POLŽI IN ZOOGEOGRAFSKE RAZMERE
SLOVENSKEGA PRIMORJA

(z 2 slikama v besedilu)

DIE UNTERIRDISCHEN SCHNECKEN UND DIE ZOOGEOGRAPHISCHEN
VERHÄLTNISSE DES SLOWENISCHEN KÜSTENLANDES

(Mit 2 Abbildungen im Text)

JOŽE BOLE

(Biološki inštitut J. Hadžija SAZU, Ljubljana)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)

Vortrag am 6. Kongreß der jugoslawischen Höhlenforscher
(Sežana—Lipica, 10.—15. Oktober 1972)

Uvod

Slovensko Primorje je tisti del zahodne Slovenije, ki je bil leta 1947 priključen Jugoslaviji. To področje zasluži posebno zoogeografsko obdelavo površinske in podzemelske favne, ker doslej še ni bil narejen podroben zoogeografski pregled. Že iz del starejših raziskovalcev se vidi, da so na tem ozemlju pomembne zoogeografske meje med mediteranskimi, dinarskimi in vzhodnoalpskimi elementi. V obalnem področju Slovenskega Primorja prevladujejo mediteranske in submediteranske vrste, te so dokaj ostro ločene od montanskih in alpskih vrst, ki živijo na obsežni planoti Notranjskega Snežnika, Javornikih, Hrušici, Trnovskem gozdu in v Julijskih Alpah. Od jugovzhoda pa se vrivajo dinarske vrste. Malakofavna pa se občutno spremeni tudi zahodno od Soče. Posebej pa nas zanima, kakšni mehkužci živijo v podzemlju Slovenskega Primorja in kakšne so zoogeografske razmere podzemelske favne v primerjavi z razporedom površinske malakofavne.

Dosedanji poskusi zoogeografske razdelitve oz. določitve zoogeografskega položaja Slovenskega Primorja so zelo grobi, saj jih lahko ocenjujemo le po zoogeografskih kartah, ki obsegajo velika področja, močno pa se tudi razlikujejo, ker so izdelane po različnih metodah ali pa le na podlagi proučevanja nekaterih živalskih skupin. Kot pomembnejša izhodišča lahko upoštevamo le nekatera dela. A. J. W a g n e r je Slovensko Primorje postavil v 3. cono, ta ima zahodno mejo ob Soči in obsega ozemlje južno od Save ter na jugovzhodu do Zrmanje in Une. Za naša razmatranja je pomembno, da je Soča zoogeografska meja proti zahodu. Zelo uporabno razdelitev je dal J. H a d ž i (1931, 1935), ki pa žal ne zajame Slovenskega Primorja, toda če po njegovih načelih podaljšamo zoogeografske meje še dalje proti zahodu, moramo razdeliti Slovensko Primorje vsaj na dve provinci: vzhodnomediteransko in alpsko oz. na tri podprovinke: jadransko, alpsko s. str. in balkansko. S. M a t v e j e v (1961) pa je še podrobneje razčlenil biogeografske razmere in tako najdemo v Slovenskem Primorju kar 4 province: provinco mediteranskih gozdov in makije, provinco mediteranskih planinskih kamnitih tal, provinco evropskih pretežno listopadnih gozdov in provinco subarктиčne in planinske tundre. Ker je Slovensko Primorje razmeroma majhno ozemlje (okoli 4000 km²), razdelitev na zoogeografske krajine ni pomembna. Malakološke razmere na površju se vsaj do določene stopnje skladajo z omenjenimi zoogeografskimi razdelitvami. Za proučevanje podzemelske favne in njene razširjenosti pa je pomembna zoogeografska meja med zahodno in vzhodno mediteransko provinco. Tu so raziskovalci različnih taksonomskih skupin potegnili meje na dva načina. Nekateri menijo, da je ta meja severno od Reke in zato postavljajo Istro že v zahodnomediteransko provinco, drugi pa postavljajo mejo ob Soči. Določiti pravo mejo pa je težko, ker se favnistični elementi obeh provinc mešajo

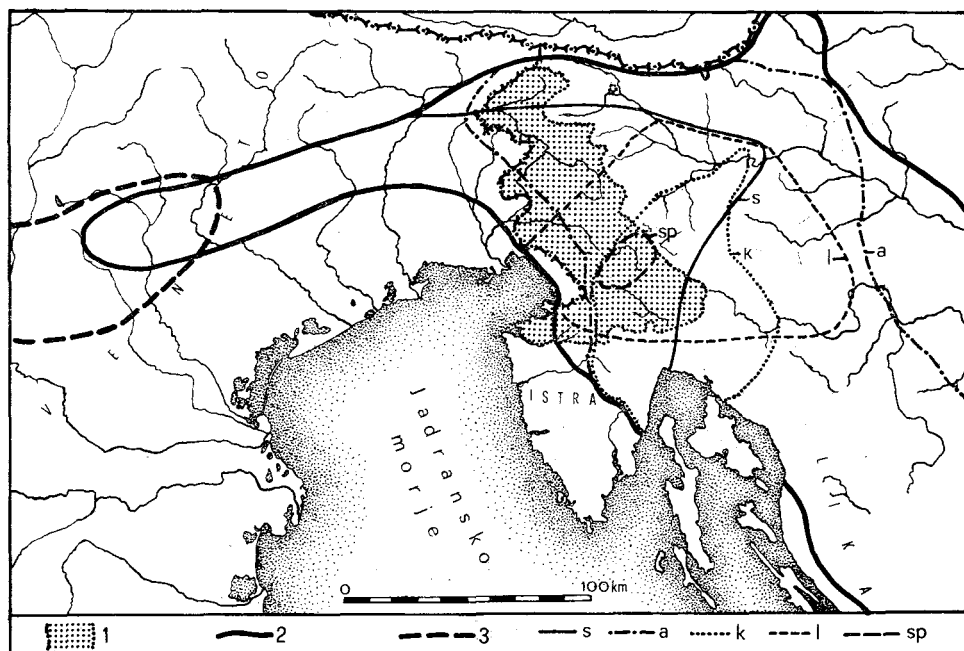
v Istri in predvsem v obalnem pasu. Na površju Slovenskega Primorja so zelo pestre malakološke razmere in te moramo primerjati z zoogeografskimi razmerami v podzemlju, da lahko ocenimo tudi spremembe od sredine pliocena dalje.

Zoogeografske razmere in podzemeljski polži

Pri obravnavanju razširjenosti posameznih podzemeljskih rodov in vrst polžev ter pri ocenjevanju njihovega zoogeografskega položaja, moramo ločeno proučevati kopenske in vodne vrste. J. H a d ž i (1935, 45) je opozoril na razliko med zoogeografskimi kartami za kopensko in vodno favno. Zoogeografska karta narrejena na osnovi proučevanja vodne favne je mnogo enostavnejša.

V uvodu opisane zoogeografske razmere veljajo za kopensko favno oz. za kopenske vrste mehkužcev. Podzemeljskih vrst polžev je v Slovenskem Primorju le 6 in vse spadajo v troglobiontski rod *Zospeum*. Vrsta *Z. alpestre* živi v osrednjem delu Slovenije, seže najdlje proti severu, proti zahodu pa se njen areal razteza še prek Soče. Vrsta je dokaj pogostna, nekoliko redkejša so le najdišča na Tržaškem Krasu in v Čičariji. Zelo pogostna je tudi vrsta *Z. schmidtii*, ki iz širše okolice Ljubljane seže prek Istre in Slovenskega Primorja v severno Italijo, kamor seže po dosedanjih raziskovanjih še v okolico M. Grappa med Brento in Piavo. Razmeroma majhen areal ima vrsta *Z. spelaeum*, ki živi na področju med Cerknico, Planino in okolico Divače, najpogostnejša pa je okoli Postojne. Južni del Slovenskega Primorja zelo gosto naseljuje vrsta *Z. kusceri*, njen areal pa proti vzhodu zajame še vzhodno Notranjsko in zahodni del Dolenjskega. Dokaj razmetana najdišča ima vrsta *Z. lautum*, ki ima nekaj najdišč tudi na Tržaškem Krasu. Samo iz Kačne jame pri Divači pa omenja A. S t o s s i c h (1898, 41) vrsto *Z. amoenum*. Le vrsti *Z. frauenfeldi* in *Z. obesum* doslej nista bili najdeni v podzemlju Slovenskega Primorja, čeprav se zahodni meji arealov teh vrst pri Planini in v Loški dolini zelo približata Slovenskemu Primorju.

V jamah in v naplavinah kraških izvirov najdemo torej 6 vrst od 8 doslej znanih vrst rodu *Zospeum* iz Slovenije. Njihova razširjenost pa je popolnoma neodvisna od sedanjih zoogeografskih razmejitev, ki veljajo za kopenske mehkužce na površju. Različni areali posameznih vrst rodu *Zospeum* so rezultat njihove razširjenosti v preteklosti in kasnejše diferenciacije in ne rezultat sedanjih zoogeografskih razmer. Rod *Zospeum* prištevamo med severozahodne dinarske elemente, ki so razširjeni še ob južnem obrobju Alp v severni Italiji. Slovensko Primorje je glede na kopenske podzemeljske polže enotno ozemlje in je zoogeografsko neločljivo povezano s kraškimi predeli na vzhodu. Razlik ni niti v najožjem pasu ob morju, kjer na površju prevladujejo mediteranski elementi, v jamah pa najdemo vrsti *Z. schmidtii* in *Z. lautum*, ki živita še vzhodno od Ljubljane. Za zoogeografijo pa so pomembne tudi zahodne meje arealov posameznih vrst. Daleč v Italijo je razširjena vrsta *Z. schmidtii*, zelo verjetno pa je v zahodni Italiji pogostna še vrsta *Z. alpestre*, saj smo jo našli v mnogih jamah na desnem bregu Soče. Samo vrsta *Z. schmidtii* seže tako daleč proti zahodu, da se pokriva s skupino italijanskih vrst *Z. cariadeghense*, *Z. galvagnii*, *Z. globosum* in *Z. allegretti*, ki žive na arealu med Bellunom in Bergamom. Te vrste so že



Sl. 1. Razširjenost nekaterih vrst rodu *Zospeum*. 1 Slovensko Primorje, 2 meja severozahodnih dinarskih vrst, 3 meja italijanskih vrst; s *Z. schmidtii*, a *Z. alpestre*, k *Z. kusceri*, l *Z. lautum*, sp *Z. spelaeum*

Abb. 1. Verbreitung einiger Arten der Gattung *Zospeum*. 1 Slowenisches Küstenland, 2 die Grenze der nordwestlichen dinarischen Arten, 3 die Grenze der italienischen Arten; s *Z. schmidtii*, a *Z. alpestre*, k *Z. kusceri*, l *Z. lautum*, sp *Z. spelaeum*

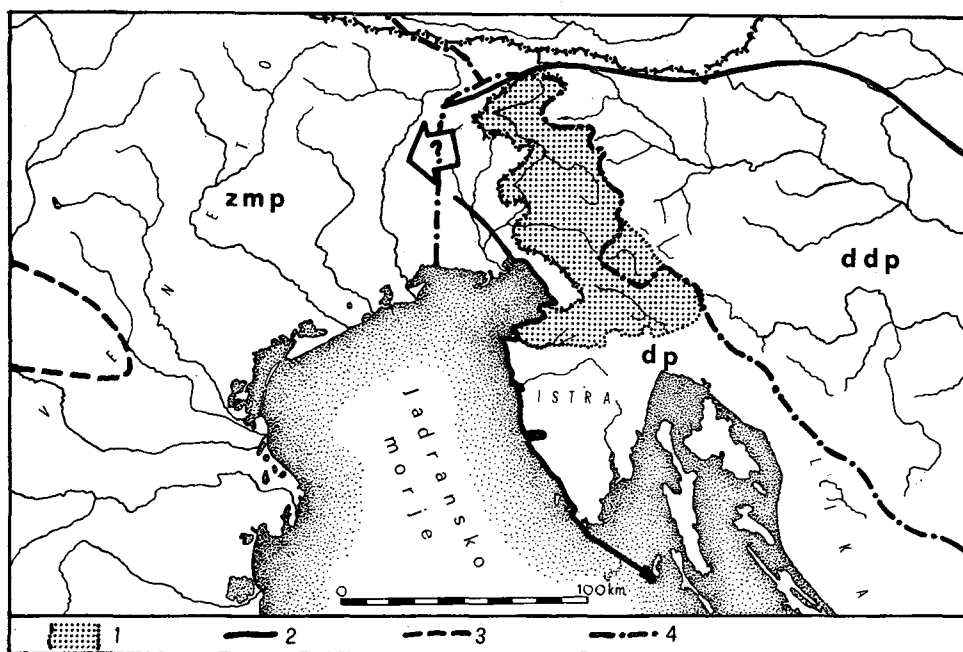
nekoliko diferencirane zaradi izolacije, vendar so v sorodniških odnosih z vrsto *Z. alpestre* iz našega alpskega in severozahodnega dinarskega sveta.

Zoogeografska razdelitev sladkovodne favne je enostavnejša. Iz novejšega časa imamo zoogeografsko razdelitev, ki sloni na proučevanju malakoloških razmer (J. I. Starobogatov, 1970). Po tej razdelitvi spadajo vse vode, ki tečejo v Črno morje, v donavsko-donsko provinco, porečja na vzhodni strani Jadranskega morja pa tvorijo dinarsko provinco. Večji del Slovenije je torej v donavsko-donski provinci, Slovensko Primorje pa le z izjemo Pivške kotline spada v dinarsko provinco. Po Starobogatovu je zahodna meja dinarske province ob zahodni meji Slovenskega Primorja, po razporedu malakofavne lahko sklepamo, da je v dinarski provinci še celo porečje Soče.

V površinskih vodah je največ široko razprostranjenih rodov, zato so za province, ki se tukaj stikajo, značilne posamezne vrste in le nekateri za province endemični rodovi. Posebnost podzemeljskih voda dinarske province so troglbiontski rodovi in na področju Slovenskega Primorja najdemo tele rodove: *Iglica*, *Baglivia*, *Hauffenia*, *Hadziella* in *Istriania*, lahko pa sem prištejemo še freatični rod *Phreatica* iz talne vode ob Teru blizu izliva v Sočo. Žal velik del

vrst iz teh rodov še ni taksonomsko dovolj proučen, da bi lahko postavili trdnjše sklepe o diferenciaciji vrst ali podvrst med dinarsko in donavsko-donsko provinco.

Rod *Iglica* ima v podzemeljskih vodah Slovenskega Primorja vrsto *I. aedlaueri*, v donavsko-donski provinci pa so iz Slovenije poznane še vrste *I. gracilis*, *I. luxurians*, *I. hauffeni* in še nekaj neopisanih oblik. *Baglivia tellinii* je poznana le iz izvirov ob zgornjem toku Nadiže. *Hauffenia* je zelo razširjen rod, iz Slovenije je bilo doslej opisanih 7 vrst. Iz podzemeljskih voda na Primorskem je opisana le vrsta *H. tellinii* iz najdišč ob Nadiži, neobdelanih pa je še precej drugih oblik, ki se morfološko dobro ločijo od vrst iz podzemeljskih voda zgornjega dela porečja Save. Opozoriti pa moramo, da se meje arelov za nekatere vrste ne skladajo s sedanjo razvodnico med jadranskim in črnimorskim porečjem, ker se je ta razvodnica od srednjega pliocena do danes marsikje premaknila in pustila vrste v sosednjih porečjih, kar lahko lepo opazujemo npr. ob spremembi razvoja porečja med Ljubljano in Idrijo (J. B o l e, 1970, 249). Iz roda *Hadziella* so doslej opisane vrste *H. ephippiostoma* iz porečja Ljubljane, *H. diminuta* iz talnih vod pri Ljubljani in Celju ter *H. anti* iz otoka Raba, ki pa živi po



Sl. 2. Razširjenost podzemeljskih vodnih polžev. 1 Slovensko Primorje, 2 meja severozahodnih dinarskih vrst, 3 meja italijanskih vrst, 4 meje provinc: zmp zahodno-mediteranska provinca, dp dinarska provinca, ddp donavsko-donska provinca

Abb. 2. Verbreitung der unterirdischen Wasserschnecken. 1 Slowenisches Küstenland, 2 die Grenze der nordwestlichen dinarischen Arten, 3 die Grenze der italienischen Arten, 4 die Grenzen der Provinzen; zmp westmediterrane Provinz, dp dinarische Provinz, ddp Donau-Don Provinz

H. Schüttu (1961, 144) tudi v podzemeljskih vodotokih Slovenskega Primorja in na Notranjskem ter Dolenjskem. Rod *Istriana* z edino vrsto *I. mirnae* je poznan samo iz okolice Pirana in Grožnjana ob Mirni v Istri in nima povezave niti proti vzhodu niti proti zahodu. Izolirano je tudi najdišče rodu *Phreatica* v talni vodi ob izlivu Tera v Sočo.

Osnovo za proučevanje zoogeografskih razmer med podzemeljskimi vodnimi polži dobimo v razširjenosti posameznih vrst in v manjši meri v razširjenosti rodov. Podobno kot velja za kopensko malakofavno, lahko trdimo tudi za podzemeljske polže, da se razmere na površju ne skladajo z razmerami v podzemeljskih vodah, ker je podzemeljska favna veliko starejša in se je počasneje diferencirala. Posebno pozornost pa zaslužijo odnosi med podzemeljskimi polži Slovenskega Primorja in podzemeljskimi polži v severni Italiji. Zakraselo področje Julijske Benečije in Veneta je še premalo preiskano, da bi lahko postavili zanesljivo zoogeografsko mejo. Ne vemo kako daleč proti zahodu so razširjeni rodovi, ki jih pogostno najdemo ob meji med Jugoslavijo in Italijo. Taki so rodovi *Iglica*, *Hauffenia*, *Hadziella* in *Belgrandiella*. Bolje pa so poznani polži iz zahodnega Veneta in iz Lombardije. Ob južnem robu Alp med Vincenzo in Bergamom žive v podzemeljskih vodah tri vrste troglobiontskih polžev iz rodu *Paladilhia* v starejšem pomenu. To so *P. (Lartetia) virei*, *P. (L.) concii* in *P. vobarnensis*. Slednja verjetno ni v ožjem sorodstvu s prvima, ni pa poznana prava generična pripadnost teh vrst. So pa že tako dobro diferencirane oblike, da jih moremo tudi zoogeografsko oddeliti od naših podzemeljskih vodnih polžev. Zato je utemeljena razmejitev podzemeljskih vodnih polžev na dinarsko in zahodnomeditransko provinco. Zaradi nezadostnega poznavanja razširjenosti severozahodno dinarskih vrst ne moremo natančneje določiti meje med dinarskimi in zahodnomeditranskimi elementi, vemo le, da leži zahodno od Soče, torej spada Slovensko Primorje v dinarsko provinco, če se držimo zoogeografske razdelitve malakofavne po J. I. Starobogatu (1970).

Zusammenfassung

DIE UNTERIRDISCHEN SCHNECKEN UND DIE ZOOGEOGRAPHISCHEN VERHÄLTNISSE DES SLOWENISCHEN KÜSTENLANDES

Das Slowenische Küstenland ist jener Teil Sloweniens, der erst nach dem Jahre 1947 an Jugoslawien angegliedert worden ist. Es ist bisher zoogeographisch nur in groben Umrissen behandelt worden. Da es untereinander sehr verschiedene, vom Meere bis zum Hochgebirge reichende Gebiete umfaßt, kann man es in drei Unterprovinzen einteilen: in die adriatische, alpine und balkanische. Mit dieser Einteilung stimmen auch die zoogeographischen Verhältnisse bei den oberirdischen Schnecken überein.

Bei der Behandlung der Verbreitung der unterirdischen Schneckenarten als auch bei der Bewertung ihrer zoogeographischen Lage müssen wir die Land- und die Wasserschnecken getrennt behandeln. Im Slowenischen Küstenland leben 6 troglobionte Arten der Gattung *Zospeum*. Deren Verbreitung ist aber von den jetzigen zoogeographischen Verhältnissen, die für die oberirdischen Landschnecken gelten, unabhängig.

Die verschiedenen Areale der einzelnen Arten sind das Resultat der Verbreitung in der Vergangenheit und der späteren Differenzierung. Die Gattung *Zospeum* gehört zu den nordwestlichen dinarischen Elementen, die auch längs des Südrandes der Alpen in Italien verbreitet sind. Das Slowenische Küstenland ist, was die unterirdischen Landschnecken anbelangt, ein einheitliches Territorium, zoogeographisch mit dem Karsthinterland untrennbar verbunden. Nur die Art *Zospeum schmidtii* reicht weit nach Westen nach Italien und erreicht einzig und allein das Areal der italienischen Arten (Abb. 1).

Die zoogeographische Einteilung der oberirdischen Wasserschnecken ist einfacher. J. I. Starobogatov (1970) hat die Provinzen auf Grund der malakologischen Verhältnisse abgegrenzt. Die Gewässer, die zum Schwarzen Meer fließen, bilden die Donau-Don Provinz, jene an der Ostseite des Adriatischen Meeres die dinarische Provinz, westlich davon befindet sich die westmediterrane Provinz. Das Slowenische Küstenland gehört zur dinarischen Provinz, nur das Einzugsgebiet der Ljubljana zur Donau-Don Provinz. Die unterirdischen Wasserschnecken sind mit den weit verbreiteten westdinarischen Gattungen *Iglica*, *Baglivia*, *Hauffenia* und *Belgrandiella* vertreten. Die Gattungen *Phreatica* und *Istriana* sind bisher nur aus dem Küstenland bekannt. Auch die Verhältnisse zwischen den oberirdischen und unterirdischen Wasserschnecken stimmen nicht überein, die Grenze zwischen der dinarischen und der Donau-Don Provinz ist nur schwach ausgeprägt und bezieht sich nur auf Arten und Unterarten. Über die Ausbreitung der dinarischen Elemente nach Norditalien besitzen wir noch nicht genügende Angaben, die Grenze befindet sich irgendwo in Friaul (Abb. 2).

Literatura

- Bole, J., 1970. Prispevek k poznavanju anatomije in taksonomije podzemeljskih hidrobiid (Gastropoda, Prosobranchia). Razprave 4. raz. SAZU 13 (3), 85—111, Ljubljana.
- 1970. Podzemeljski mehkužci in razvoj porečij. V. jugosl. speleol. kongr., 247 do 250, Skopje.
- Hadži, J., 1931. Zoogeografska karta Jugoslavije. Zbirka karata Geogr. društva. Beograd.
- 1935. Kurze zoogeographische Übersicht Jugoslaviens. Verh. Int. Ver. theor. angew. Limnol. 7, 36—45, Beograd.
- Matvejev, S., 1961. Biografija Jugoslavije. Osnovni principi. Pos. izdanja, Biol. inst., 9, 1—232, Beograd.
- Pezzolli, E., 1968. Nuovi dati sulla distribuzione di *Paladilhia (Lartetia) virei* (Lo card) nelle Prealpi (Gastropoda, Prosobranchia). Natura 59 (2), 75—84, Milano.
- 1968. Nuovi dati sulla distribuzione di *Paladilhia (Lartetia) concii* (Allegretti) nelle Prealpi (Gastropoda, Prosobranchia). Natura 59 (3—4), 149—160, Milano.
- Pezzoli E., T. Toffoletto, 1968. Una nuova specie di *Paladilhia* delle Prealpi Lombarde (Gastropoda, Prosobranchia). Arch. Moll. 98 (3/4), 117—120, Frankfurt a. M.
- Schütt, H., 1961. Weitere neue Süßwasser-Höhlenschnecken aus Dalmatien. Arch. Moll. 90 (4/6), 139—144, Frankfurt a. M.
- Starobogatov, J. I., 1970. Fauna molluskov i zoogeografičeskoe rajonirovanie kontinentalnyh vodoemov. Leningrad.
- Stossich, A., 1898. Contribuzione alla fauna malacologica terrestre e fluviale del territorio di Trieste ed in parte delle località contermini. Boll. Soc. Adr. Sci. Nat. 19, 17—51, Trieste.
- Sturany, R., A. J. Wagner, 1914. Über schalentragende Landmollusken aus Albanien und Nachbargebieten. Denkschr. Akad. Wiss. Wien 91, 1—138, Wien.

DER EXTREMBIOTOP HÖHLE ALS
INFORMATIONSLIEFERANT FÜR DIE ALLGEMEINE
PHYSIOLOGIE AM BEISPIEL DES GROTTENOLMS
(*PROTEUS ANGUINUS LAUR.*)

(mit 4 Abbildungen im Text)

EKSTREMNI JAMSKI BIOTOP KOT VIR INFORMACIJ ZA SPLOŠNO
FIZIOLOGIJO NA PRIMERU ČLOVEŠKE RIBICE
(*PROTEUS ANGUINUS LAUR.*)

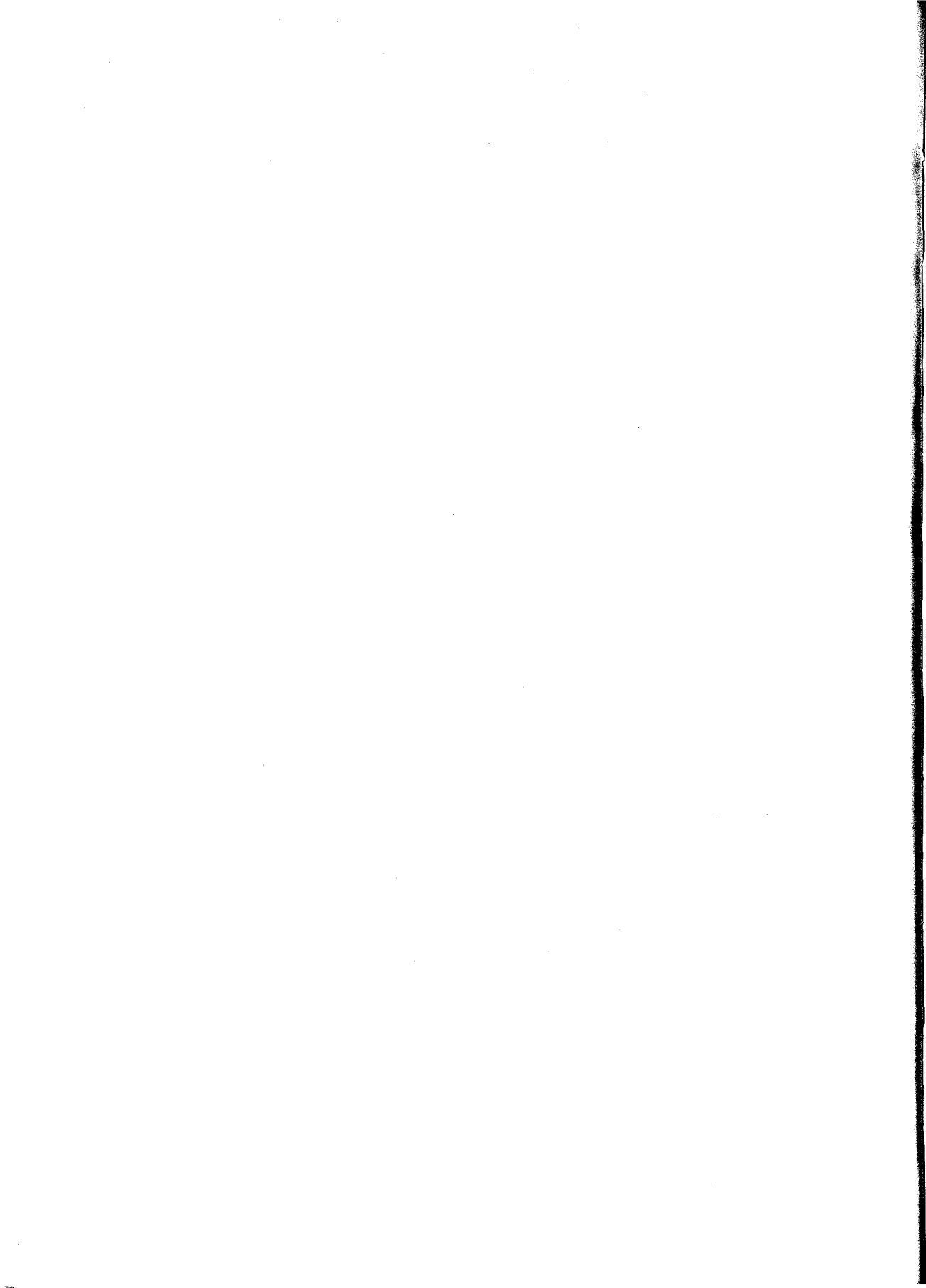
(s 4 slikami v besedilu)

W. BRIEGLEB, A. SCHATZ

(Bonn — Bad Godesberg)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)

Vortrag am 6. Kongreß der jugoslawischen Höhlenforscher
(Sežana—Lipica, 10.—15. Oktober 1972)



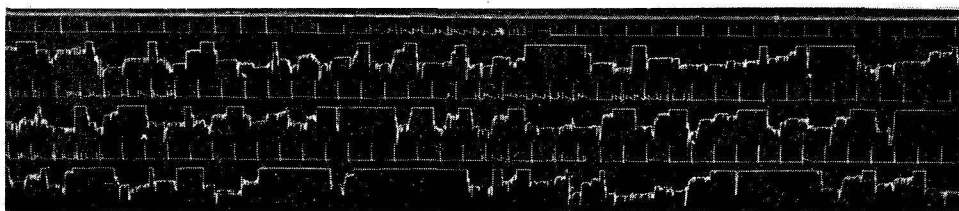
Einleitung

Die Reaktionen oder das Verhalten der Lebewesen unter extremen Umweltbedingungen verhelfen zu einem weitergehenden Verständnis ihrer Leistungen. Das gilt gleichermaßen für den Gegenstand der Weltraumbiologie, auf welchem Gebiet die Autoren seit einigen Jahren arbeiten, als für die Ökophysiologie irdischer Extrembiotope. Wenngleich Höhlentiere meist schwierige Laboratoriumstiere sind, lohnt die Beschäftigung mit ihnen doch, da praktisch die Resultate eines Jahrtausende währenden Experimentes abzurufen sind. Diese Studie soll einen Beitrag zu zwei Themenkreisen liefern, dem Einfluß der Temperatur auf die Ontogenie und die ökologische Valenz und zu einem eventuellen circadianen Rhythmus des Grottenolms (Olm).

Methodisches

Die Bedingungen der Olmhaltung wurden in einer früheren Arbeit beschrieben (2). Zum damaligen Zeitpunkt stand eine von Prof. v. Frisch in seinem Institutsneubau von 1932 in München speziell für Olme vorgesehene unterirdische Zisterne zur Verfügung, die meisten der hier vorgelegten Daten wurden in dieser Anlage bis zum Jahre 1961 erhalten. Seit 1963 steht eine private, mit bescheidenen Mitteln, jedoch orientiert an weiteren Erfahrungen der Olmhaltung, erbaute Zisterne zur Verfügung. Sie liegt im Freien unterirdig in ca. 550 m Höhe im Taunusgebirge. Eine Quelle mit echten Grundwassertieren ist eingeleitet. Die ungenügend tief verlegte Quellwasser-Zuleitung läßt die Temperatur in der Zisterne im Winter bis auf $+3^{\circ}\text{C}$ absinken. Auf diesem Wege konnten Eiablage und Entwicklung auch bei tiefen Temperaturen beobachtet werden. Erwähnt sei hierbei auch, daß den Olmen ganzjährig ein beheizter Bezirk unter Wasser offensteht, den sie bei Temperaturen unter 10°C zunehmend aufsuchen.

In der genannten früheren Arbeit wurden die damals durchgeführten Aktivitätsmessungen nur im Zusammenhang mit dem ‚Luftholen‘ des Olms erwähnt. Die geplante nähere Auswertung überstieg die Kapazität des Autors. Grundsätzlich ist es erst mit modernen Meßverfahren leichter geworden, die motorische Aktivität von Wassertieren zu messen. Durch die Ausnutzung des sehr ausgeprägten ‚Versteckverhaltens‘ des Olms (2) konnte eine sehr einfache, wenn auch mit eingeschränkter Aussagekraft behaftete Meßmethode entwickelt werden. In einem Vollglasbecken ($48 \times 30 \times 30\text{ cm}$) mit tropfendem Durchlauf befand sich eine Sockelplatte aus Beton mit gangförmigen Vertiefungen. Darüber hing an vier Spiralfedern nahezu gewichtslos eine vielfach durchbohrte Plexiglasplatte (Registrierplatte). Über vier nach oben zusammenlaufende Fäden wurde ein leichter Schreibarm eines Kymographen angesteuert. Kroch der Olm



a) für Tier A



b) für Tier B

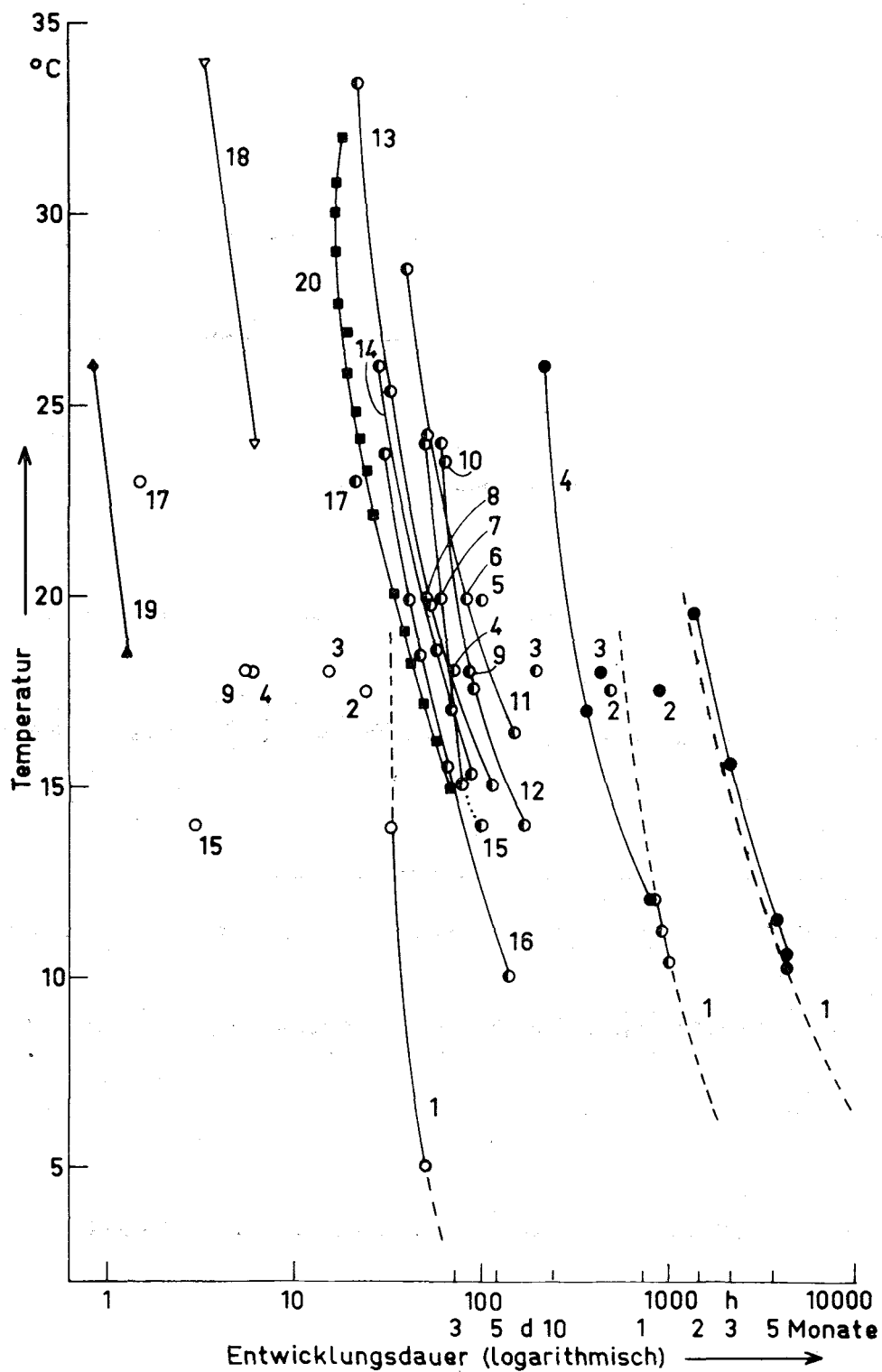
Abb. 1. Auschnitte aus Olmahistogrammen

zwischen Sockelplatte und Registrierplatte, so erfolgte eine Auslenkung der Registrierplatte aus ihrer Null-Lage, was am Kymogramm als Ausschlag sichtbar wurde. Die durchlöchernte Registrierplatte war im Abstand vom 3 mm nochmals von einer Platte überdeckt, um dem Olm einen echten Eindruck des Abgeschirmtseins zu vermitteln. Die Registrierung erfolgte auf beruhten Bändern von ca. 2 m Länge. Pro Band konnten 12–24 Tage registriert werden (Abb. 1). Die Messungen erforderten viel Sorgfalt; schließlich konnten monatelange Meßreihen gemacht werden (insgesamt 19 Monate). Die Temperatur im Versuchsraum schwankte im Jahresrhythmus zwischen 8° C und 15° C. Lichteinflüsse waren auf ein Mindestmaß beschränkt und bestanden aus schwachem Rotlicht zur Beobachtung und Streulicht beim Hantieren mit einer Taschenlampe im Versuchsraum. Reaktionen auf die Störung bei Beobachtungen waren nicht feststellbar.

Die kurvenförmigen Ausschläge auf dem Meßdiagramm (Abb. 1) bedeuten also, daß sich der Olm ganz oder teilweise unter der Registrierplatte aufhält; daneben sind die Zeitmarken für die vollen Stunden sowie für das Öffnen der Tür zum Versuchsraum sichtbar. Für die jetzt erfolgte statistische Auswertung des registrierten Versteckverhaltens zweier Olme wurden die Zeiten zwischen Beginn und Ende einer Verweilzeit im Versteck verwertet; die in dieser Zeit sichtbare motorische Aktivität wurde nicht einbezogen. Aus den gemessenen Verweilzeiten des Olms im Versteck sowie aus den mitregistrierten ‚Störzeiten‘, als Anwesenheit des Experimentators, wurden zunächst Säulendiagramme erstellt (hier nicht wiedergegeben). Eine einfache Phasendifferenz zum 24 Stundentag war hieraus nicht zu erkennen; statistisch wurde die Frage nicht weiter untersucht. Dagegen wurden die Verweilzeiten bei gleichen Tagesstunden in Klassen zusammengefaßt und einer Streuungsanalyse (F-Test) unterzogen. Anschließend wurde für die Klassenmittelwerte eine Fourieranalyse durchgeführt.

Ergebnis und Diskussion des Temperaturverhaltens des Olms bei der Ontogenese

Die heutige Kenntnis des Temperaturfaktors für die Ontogenie und Zellphysiologie im wesentlichen der poikilothermen Wirbeltiere läßt sich folgendermaßen umreißen: Die Temperatur bestimmt in gewissen Grenzen die Entwicklungsgeschwindigkeit. Jede Tierart hat ihre eigenen Absolut- und Relativwerte (Abb. 2). Die Absolutwerte sind beeinflusst von den stofflichen Ausgangsbedingungen der Eizelle und scheinen ökologische Relevanz zu haben. Die Relativwerte sind durch eine stärkere oder schwächere Temperaturbezogenheit gekennzeichnet. Auf späteren embryonalen Stadien werden die unterschiedlichen Kernteilungsphasen von hohen und tiefen Temperaturen sehr verschieden verändert (4, 21, 24); insgesamt wächst die Zahl der Zellteilungen exponentiell mit steigender Temperatur mit der Basis einer konstanten Verhältniszahl aktiver Zellen (4). Auf frühen Furchungsstadien ist der Temperatureinfluß abhängig von der Verfügbarkeit an Reservestoffen, wobei viel Reservestoffe geringe Abhängigkeit bedeuten. Bei fortschreitender Differenzierung und damit zunehmender Syntheseleistung der Zellen besteht zunehmende Temperaturabhängigkeit (1). Dieser Zusammenhang läßt sich auch aus den hier abgebildeten Entwicklungskurven für den Olm ablesen. Ferner können im Kaltpeßimum hochwertige



Speichersubstanzen, Proteine, die Entwicklungsgeschwindigkeit relativ konstant halten, indem sie das Fett als Energielieferant ablösen (16).*

Es sind somit mögliche zellphysiologische Mechanismen für eine ökologische Anpassung einer Art erkennbar. J. A. Moore (17) und R. Douglas (6) konnten eine Beziehung zwischen der absoluten Entwicklungsgeschwindigkeit einer Amphibienart und ihrer geographischen Verbreitung im Hinblick auf die durchschnittlichen Ökotoptemperaturen feststellen, weiterhin Moore'sche Regel genannt. In der Abbildung ist die Mehrzahl der von J. A. Moore und R. Douglas untersuchten Arten sowie weitere Arten, die uns in der Literatur zugänglich waren, einander unter dem Gesichtspunkt der Vergleichbarkeit mit den Urodelen gegenübergestellt. Die Werte von F. Kopsch (15) für *Rana temporaria* (fusca), L. Gallien (9) und G. Brugal (4) für *Pleurodeles waltl* und L. Gallien für *Triturus pyrrhogaster* fügen sich gut in die Moore'sche Regel ein. Starke Ausnahmen machen der Olm, eigene Werte (2) sowie von E. Zeller (25) und A. Vandel (23) und *Xenopus laevis*, Werte von P. D. Nieuwkoop (19); möglicherweise auch *Necturus maculosus*, Werte von A. C. Eycleshymer (8).

Bereits J. A. Moore und vor ihm andere Autoren äußerten die Vermutung, daß die Ursache für die Umkehr der temperaturbezogenen artlichen Entwicklungsgeschwindigkeit im Vergleich zu unbelebten Systemen der Faktor der Biotopverfügbarkeit sein könnte. Das Verhalten des Olms stützt diese Annahme in dem Sinne, daß bei Wegfall äußerer Einschränkungen in der Nähe des allgemeinen Lebensoptimums (A. Thienemann [22]) die Entwicklungszeit der Amphibien zu absolut hohen Werten tendiert. Daß es sich beim Olm nicht um eine höhlenspezifische Anpassung handelt, wird aus den Entwicklungszeiten für seinen nächsten Verwandten, *Necturus*, ersichtlich, die denen des Olms ähnlicher sind als denen aller anderen Amphibien. Erst die

* Aus dem Gesagten geht auch hervor, daß es ziemlich sinnlos ist, Q_{10} -Werte nach der Vant'Hoff'schen Regel als Maßzahlen für das Verhalten über große Temperaturintervalle zu verwenden.

Abb. 2. Halblogarithmische Darstellung der Entwicklungszeiten verschiedener Amphibien und dreier Wirbelloser in Abhängigkeit von der Temperatur.

Offene Zeichen: 2 — Zellstadium; halb geschlossene Zeichen: Schluß der Neuralrinne (ca. Stadium 18—19 nach L. Glaesner (10) und P. D. Nieuwkoop (19), Vergleichstabellen nach L. Gallien (9) und P. D. Nieuwkoop); gefüllte Zeichen: Stadium 34 nach L. Glaesner (Stadium 34 für den Olm 1, gestrichelte Kurve, stützt sich auf einen direkten Wert sowie auf die als parallel verlaufend angenommenen Werte eines späteren Stadiums), für *Drosophila* 20: Schlüpfen der Larve.

1 *Proteus anguinus*, 2 *Necturus maculosus*, 3 *Triturus pyrrhogaster*, 4 *Pleurodeles waltl*, 5 *Ambystoma opacum*, 6 *Ambystoma maculatum*, 7 *Ambystoma tigrinum* (*Siredon pisciformes* — Axolotl), 8 *Ambystoma jeffersonianum*, 9 *Triturus vulgaris* (*taeniatus*), 10 *Rana catesbeiana*, 11 *Rana esculenta*, 12 *Bufo bufo*, 13 *Rana clamitans*, 14 *Rana pipiens*, 15 *Rana temporaria* (fusca), 16 *Rana sylvatica*, 17 *Xenopus laevis*, 18 *Ascaris lumbricoides* (megalocephala), 19 *Paracentrotus lividus*, 20 *Drosophila melanogaster*. (Beachte Einzelmesspunkte für 4, 5, 7, 8, 9, 10!)

Werte nach: E. Zeller 1 (25), A. Vandel 1 (23), W. Briegleb 1 (2), A. C. Eycleshymer 2 (8), L. Gallien 3, 4, 9 (9), J. A. Moore 5, 6, 7, 8, 10, 13, 14, 16 (17), R. Douglas 11, 12, 15 (6), F. Kopsch 15 (15), P. D. Nieuwkoop 17 (19), B. Ephrussi 18, 19 (7), J. Davidson 20 (5).

späte Embryogenese ist bei *Necturus* gegenüber dem Olm kräftig beschleunigt, was in einem oberirdischen Wasserbiotop durchaus eine ökologische Ursache haben kann. Wenngleich nach W. H e r r e (12) die Proteiden stammesgeschichtlich in die relative Nähe der Salamandriden zu stellen sind, so könnte die lange Entwicklungszeit doch ein urtümliches Merkmal darstellen, was wir einer weiteren Überprüfung wert erachten.

So wie der Olm entgegen der M o o r e'schen Regel sicher nicht als Warmwassertier bezeichnet werden kann, so wenig läßt sich *Xenopus* als Kaltwassertier einstufen. Dessen absolut kürzeste Entwicklungszeit im Vergleich der hier aufgeführten Amphibien läßt sich ökologisch sehr leicht als Folge von extremem Kannibalismus dieser Art erklären.

Die Temperaturtoleranzen für die Entwicklung der Amphibien und von Wirbellosen, von denen in der Abb. 2 drei Vertreter aufgeführt sind, scheinen ebenfalls der M o o r e'schen Regel zu folgen (17). Für eine systematische Aussage gibt es aber wohl noch zu wenig Werte. Immerhin scheinen die Toleranzgrenzen der Meerestiere enger als die der euryöken Süßwassertiere zu sein (17). Auf der anderen Seite schwanken die Toleranzgrenzen des Seeigels stark nach der Jahreszeit (14). Beim Olm wäre die Feststellung der Toleranzgrenze ebenfalls sehr wichtig für eine vertiefte ökophysiologische Bewertung. Der hier angegebene Wert für die Entwicklung bei 5° C, — für 3° C ist er zeitlich nicht bestimmt —, gilt vorerst nur bis zur späten Blastula; hier starben die Keime aus unbekannter Ursache.

Das Beispiel des Olms zeigt, daß die M o o r e'sche Regel keine Temperaturregel sein muß. Es bestärkt die Annahme, daß die absolute Entwicklungsgeschwindigkeit der Poikilothermen eine Funktion der allgemeinen Qualität des Lebensraums darstellt. Die Bewältigung besonders hoher und tiefer Temperaturen durch die Poikilothermen, wäre, wie auch die von C. Schlieper (20) und von R. C. Newell (18 a, b) untersuchte Stoffwechselkonstanz adulter Former hierbei nur ein Spezialfall einer allgemeineren Fähigkeit sinnvoller biochemischer Anpassung der Arten.

Ergebnisse und Diskussion zum lokomotorischen Aktivitätsverhalten des Olms

Das zweite Thema, das zum ersten eine wichtige Verbindung zeigt und das im Hinblick auf den Olm abgehandelt werden soll, ist die circadiane Periodik. In der angewandten und allgemeinen Biologie unterliegen Zeitphänomene einer intensiven Erforschung. Neben den vielfältigen Erscheinungsformen zeitgesteuerter Vorgänge steht auch noch die primäre Natur von Zeitgebern zur Diskussion. In diesem Zusammenhang sind Untersuchungen an einem Höhlentier vielversprechend. Die hier vorgebrachten Befunde sollen als Basis für weitere Untersuchungen dienen, wobei wir besonders an Feldmessungen interessiert sind. Die bisherigen Messungen sind der Versuch, an zwei in Gefangenschaft gehaltenen Olmen über das sehr ausgeprägte Versteckverhalten dieser Art eine Aussage über einen möglicherweise vorhandenen Rhythmus der lokomotorischen Aktivität zu erhalten. Tatsächlich ist der Aufenthalt des Olms im Versteck nicht vollständig identisch mit körperlicher Ruhe und es ist ganz sicher, daß Olme auch außerhalb eines Verstecks eine irgendwie geartete Ruhe halten. Die Mes-

sungen zeigen, daß während des Aufenthalts im Versteck lokomotorische Unruhe für die untersuchten Tiere verschieden stark auftrat (Abb. 1 a + b). Besonders auffällig war hierbei eine Koinzidenz mit dem Durchzug von Wetterfronten. Eine statistische Aussage hierüber ist vorerst nicht möglich. — Die genaue Deutung des Versteckverhaltens ist unseres Erachtens für eine Feststellung eines tagesähnlichen Rhythmus nicht Voraussetzung. Im folgenden ist daher der Aufenthalt im Versteck, vereinfacht, mit Aktivität gleichgesetzt. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß es sich um eine Art Fluchtverhalten handelt.

Das Ergebnis der Streuungsanalyse ergab für beide Tiere eine hohe Signifikanz mit $P > 99,9\%$ für eine Zeitabhängigkeit der gemessenen Aktivität. Die

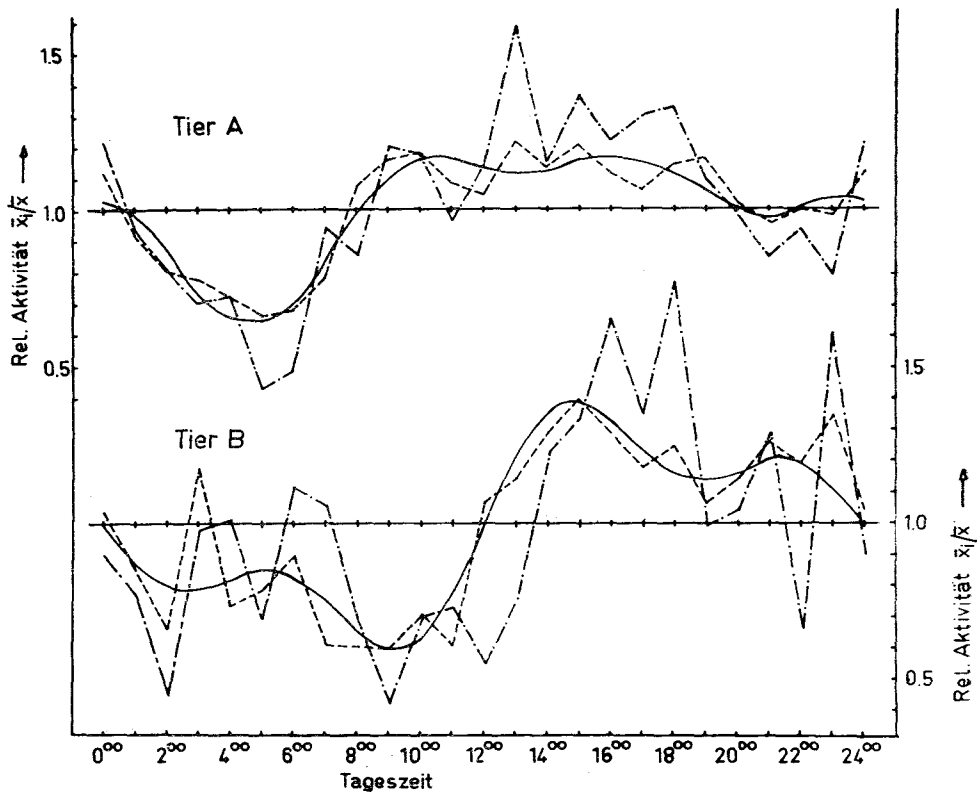


Abb. 3. Relative Aktivität x_i/x als Funktion der Zeit für 2 Olme.
 — — — Mittelwerte aus 30 Tagen bei Tier A, bzw. 60 Tagen bei Tier B
 — — — Mittelwerte aus 10 Wochenendtagen bei Tier A, bzw.
 18 Wochenendtagen bei Tier B
 Fourierdarstellung der 30 bzw. 60 Tage:

$$A: x_i/x(t) = 1 + 0,2 \sin\left(\frac{2\pi}{24}t + 40^\circ\right) + 0,1 \sin\left(\frac{2\pi}{12}t - 55^\circ\right) + 0,07 \sin\left(\frac{2\pi}{8}t + 52^\circ 30'\right)$$

$$B: x_i/x(t) = 1 - 0,3 \sin\frac{2\pi}{24}t + 0,09 \sin\frac{2\pi}{12}t - 0,12 \sin\frac{2\pi}{8}t$$

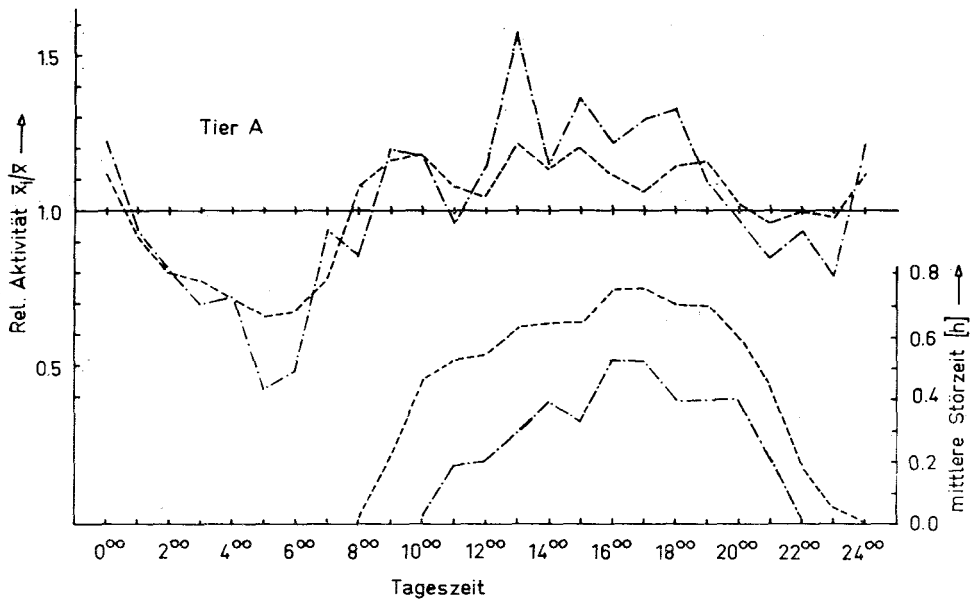


Abb. 4. Vergleich der empirischen Kurven aus Abb. 3. Tier A. mit der Störzeit (Anwesenheit des Experimentators in Versuchsraum)

anschließende Fourieranalyse (Abb. 3) ergab für beide Tiere befriedigende Übereinstimmung mit der empirischen Kurve bei Verwendung von nur drei Fourierkoeffizienten mit den Perioden von 24, 12 und 8 Stunden. Hierbei nimmt die Signifikanz mit der Periodendauer ab. Überraschenderweise besteht bei beiden Tieren ein erheblicher Unterschied der Phasen und Amplituden. Die einzige, uns bekannte vergleichbare Untersuchung an Amphibien stammt von A. C. Higginbotham (13) an zwei Krötenarten. Das Ergebnis zeigt im Vergleich mit dem Olm eine überraschende Ähnlichkeit bezüglich der Mehrgipflichkeit und Verteilung der Aktivität als auch der individuellen Verschiedenheit der Phasenlagen, nicht zuletzt unter konstanten Lichtverhältnissen einschließlich Dauerdunkel. Der Olm in Gefangenschaft scheint sich hierin nicht von oberirdischen Formen zu unterscheiden. Die nächste Frage ist natürlich, wie weit beruht die circadiane Rhythmik des Olms auf autonomen Anteilen, bzw. wie weit wird sie durch rhythmische Störungen im Versuchsraum gesteuert. Hierzu haben wir die markanteste Störgröße in unserem Versuch, die Anwesenheit des Experimentators im Versuchsraum, in Form vergleichbarer Mittelwerte den Aktivitätskurven der Versuchstiere gegenübergestellt (Abb. 4). Auf Grund der Verschiedenheit der Phasenlagen der beiden Tiere, Tier A ist gegenüber Tier B um 4–5 Stunden verschoben, wird deutlich, daß die Lage der Maxima und Minima wohl nicht von der registrierten Störung bedingt ist. Somit ist wahrscheinlich, daß der Olm wenigstens die Befähigung zur circadianen Rhythmik erblich nicht verloren hat. Weitere Untersuchungen müssen jetzt klären, ob die beobachtete Rhythmik durch äußere Zeitgeber nach dem Verbringen aus der Höhle angestoßen wurde, oder ob sie auch im Ökotope vorhanden ist.

In der Höhle sind viele denkbare äußere Zeitgeber abgeschirmt, worin sie weitgehend den Bedingungen des freien Weltraums ähnelt (Vergleiche die diesbezüglichen systematischen Vorstellungen bei [11]). Messungen in der Höhle könnten die interessante Frage klären helfen, ob die primäre Rhythmik bzw. Zeitgeber endogener oder exogener Natur sind. Hier sei auf den Zusammenhang mit dem Temperaturfaktor hingewiesen. Die Erforschung der circadianen Biorhythmik hat eine anscheinend vollständige Temperaturunabhängigkeit dieser Rhythmik erbracht, entsprechend einem $Q_{10} = 1$ (z. B. [3]). Das wird von einem Teil der Forscher als Hinweis für die exogene Natur der circadianen Rhythmik gedeutet (11), z. B. in Form einer Steuerung durch die lunaren Gezeiten. Auf der anderen Seite hat E. E. Sel'kov (20 a) sehr eingehende theoretische Vorstellungen über mögliche biochemische Uhren entwickelt und sie in allen Aspekten bejaht. Man könnte nun spekulieren, daß ja in der Ontogenese und im Zellstoffwechsel allgemein ebenfalls starke Abweichungen von der Q_{10} -Regel verwirklicht sind, mit Werten nahe 1 (Vergleiche Abschnitt C). Somit wären biochemische Mechanismen mit den Eigenschaften von Uhren entweder ein allgemeines Prinzip der Lebewesen; als zweite Möglichkeit sollte aber geprüft werden, ob völlig autonome biochemische Uhren tatsächlich existieren oder ob nicht alle biochemischen Prozesse mit einem abweichenden Q_{10} einer Kopplung oder Orientierung an einem äußeren Zeitgeber bedürfen. Zudem steht noch die Entscheidung über eine Zeitsteuerung durch Atomschwingungen oder andere atomphysikalische Gegebenheiten aus. Für die Überprüfung solcher Denkmodelle ist die Untersuchung von Höhlentieren ebenso interessant wie das Experiment im freien Weltraum.

Wir danken Frau Sinapius für Hilfe bei der statistischen Auswertung der Aktivitätsmessungen.

Povzetek

EKSTREMNI JAMSKI BIOTOP KOT VIR INFORMACIJ ZA SPLOŠNO FIZIOLOGIJO NA PRIMERU ČLOVEŠKE RIBICE (PROTEUS ANGUINUS LAUR.)

Primerjanje posebno dolge razvojne dobe embrijev pri proteidih z razvojno dobo embrijev pri drugih vrstah dvoživk kaže, da proteidi močno odstopajo od Moorejevega pravila, ki govori o obratnem sorazmerju med hitrostjo razvoja osebkov poiklotermnih organizmov in temperaturo okolja, kar velja predvsem za dvoživke. Primer človeške ribice pa kaže, da Moorejevo pravilo ne more biti pravilo o vplivu temperature na razvoj človeške ribice. Podpreti je treba domnevo, da je hitrost razvoja poiklotermnih organizmov odvisna od splošnih lastnosti življenjskega prostora. Izredna dolžina osebnega razvoja pri proteidih je starinski znak.

Z merjenji lokomotorične aktivnosti, ki jo kažejo človeške ribice v laboratorijskih razmerah, sta avtorja ugotovila signifikantni dnevni ritem z endogeno komponento. Zaporedje aktivnosti je zelo podobno zaporedju lokomotoričnih aktivnosti, kot jih opazimo pri dvoživkah, ki žive v površinskih vodah. Avtorja bosta opazovala lokomotorične aktivnosti tudi v naravnem okolju in skušala dognati genetični delež te aktivnosti.

Literatur

1. Agrell, I., 1958. The thermal dependence of the mitotic stages during the early embryonic development of the sea urchin embryo. *Ark. Zool.* 11 (22), 383—393.
2. Briegleb, W., 1962. Zur Biologie und Ökologie des Grottenolms (*Proteus anguinus* Laur. 1768). *Z. Morph. Ökol. Tiere* 51, 271—334.
3. Brown, F. A., Jr., 1965. A unified theory for biological rhythms. In Aschoff, J. (Ed.): *Circadian Clocks*. S. 231—261, North-Holland Publ. Comp., Amsterdam.
4. Brugal, G., 1971. Étude autoradiographique de l'influence de la température sur la prolifération cellulaire chez les embryons âgés de *Pleurodeles waltlii* Michah. *Wilhelm Roux' Arch.* 168, 205—225.
5. Davidson, J., 1949. On the relationship between temperature and rate development of insects at constant temperatures. *J. Anim. Ecol.* 18, 26—38.
6. Douglas, R., 1948. Temperature and rate of development of the eggs of british anura. *J. Anim. Ecol.* 17, 189—192.
7. Ephrussi, B., 1927. Sur les coefficients de température des différentes phases de la mitose des oeufs d'oursin (*Paracentrotus lividus* LK.) et de l'*Ascaris megalocephala*. *Protoplasma* 1, 105—123.
8. Eycleshymer, A. C. and J. M. Wilson, 1910. Normal plates of the development of *Necturus maculosus*. In: Keibel, F.: *Normentafeln zur Entwicklungsgeschichte der Wirbeltiere*. H. 11, Jena.
9. Gallien, L. et M. Durocher, 1957. Table chronologique du développement chez *Pleurodeles waltlii* Michah. *Bull. Biol.* 2, 97—114.
10. Glaesner, L., 1925. Normentafel zur Entwicklungsgeschichte des gemeinen Wassermolches (*Molgea vulgaris*). In: Keibel, F.: *Normentafeln zur Entwicklungsgeschichte der Wirbeltiere*. H. 14, Jena.
11. Halberg, F., 1970. Frequency spectra and cosinor for evaluating circadian rhythms in rodent data and in man during Gemini and Vostok flights. In: Vishniac, W. and F. G. Favorite (Eds.): *Life Sciences and Space Research* 8, pp. 188—214, Amsterdam—London.
12. Herre, W., 1939. Die Schwanzlurche der mitteleocaenen (oberlutetischen) Braunkohle des Geiseltales und die Phylogenie der Urodelen unter Einfluß der fossilen Formen. *Zoologica (Stuttgart)* 33, H. 87.
13. Higginbotham, A. C., 1939. Studies of amphibian activity. I. Preliminary report of the rhythmic activity of the *Bufo americanus* Holbrook and *Bufo fowleri* Hinckley. *Ecology* 20, 58—70.
14. Hörstadius, S., 1925. Temperaturanpassung bei den Eiern von *Paracentrotus lividus* LK. *Biol. Generalis* 1, 522—536.
15. Kopsch, F., 1916. Die Beziehungen zwischen Lebensalter und Körperlänge bei *Rana fusca* nebst einigen Bemerkungen über die Aufzucht der Larven und der jungen Frösche. *Int. Mschr. Anat. Phys.* 32, 1—18.
16. Lovtrup, S., 1959. Utilization of energy sources during amphibian embryogenesis at low temperatures. *J. Exp. Zool.* 140, 383—394.
17. Moore, J. A., 1939. Temperature tolerance and rates of development in the eggs of amphibia. *Ecology* 20, 459—478.
- 18 a. Newell, R. C., 1966. Effect of temperature on the metabolism of poikilotherms. *Nature* 212, 426—428.
- 18 b. Newell, R. C. and M. Walkey, 1966. Oxidative activity of mammalian liver mitochondria as a function of temperature. *Nature* 212, 428—429.
19. Nieuwkoop, P. D. and J. Faber, 1967. Normal table of *Xenopus laevis* (Daudin). Amsterdam.
20. Schlieper, C., 1950. Temperaturbezogene Regulation des Grundumsatzes bei wechselwarmen Tieren. *Biol. Zentralblatt* 69, 216—226.
- 20 a. Sel'kov, E. E. and L. A. Sozinov, 1970. Stable rhythms as a property of cell populations. In: Vishniac, W. and F. G. Favorite (Eds.), *Life Sciences and Space Research* 8, pp. 157—167, Amsterdam—London.

21. Sisken, J. E., L. Morasca and S. Kibby, 1965. Effects of temperature on the kinetics of the mitotic cycle of mammalian cells in culture. *Exp. Cell Res.* 39, 103—116.
22. Thienemann, A., 1939. Grundzüge einer allgemeinen Ökologie. *Arch. Hydrobiol.* 35, 267—285.
23. Vandel, A. et M. Bouillon, 1959. Le protéé et son intérêt biologique. *Ann. Spéléologie* 14, 112—127.
24. Wimber., D. E., 1966. Duration of the nuclear cycle in *Tradescantia* root tips at three temperatures as measured with H^3 — thymidine. *Amer. J. Bot.* 53 (1), 21—24.
25. Zeller, E., 1888. Über die Larve des *Proteus anguineus*. *Zool. Anz.* 11, 570—572.

PORABA KISIKA PRI MOČERILU (*PROTEUS ANGUINUS*)

(z 1 sliko v besedilu)

OXYGEN CONSUMPTION OF *PROTEUS ANGUINUS*

(with 1 Figure in Text)

L. ISTENIČ, A. SOJAR

(Inštitut za biologijo Biotehnične fakultete, Ljubljana)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)

Paper presented at the 6th Yugoslav Speleological Congress
(Sežana—Lipica, 10—15, October 1972)

Uvod

Raziskovanje metabolizma, ki zrcali usklajenost z okoljem, je pot do vzročne razlage za skrajno omejeno ekološko valenco močerila. Odpornost močerila na nizke koncentracije kisika v vodi (L. Istenič, 1971) kaže na nizko porabo energije, ki jo jamskim živalim pripisujemo nasploh (A. Vandel, M. Bouillon, 1959; A. Vandel, 1964). Kljub temu pa Vandel ugotavlja, da je metabolizem proteja enak metabolizmu drugih urodelov. Opira se na meritve porabe kisika eritrocitov proteja in nekaterih epigeičnih urodelov, ki so bile opravljene pri 25° C (P. A. Koržuev, 1950). Očitno je bila spregledana pestra temperaturna odvisnost metabolizma pri poikilotermnih živalih. Znano je namreč, da na temperaturno odvisnost življenjskih procesov vpliva temperaturna zgodovina živali in da se odvisnost menja s težo (K. Precht, 1955; L. B. Bishop, M. S. Gordon, 1967). Prav tako je temperaturna odvisnost različna pri različnih tkivih iste živali (A. Locker, 1958).

Zato smo začeli raziskovati metabolizem z analizo obroka porabe kisika na celih živalih. Meritve smo opravili na materialu, ki je bil adaptiran na temperaturo blizu biološki, ob hitrem zviševanju temperature po 5° C. Pri nižjih temperaturah pa jih še nismo mogli izvesti.

Material in metoda dela

Delali smo s petnajstimi močerili iz Pivškega rokava Planinske jame. Teža živali je bila od 8,7 do 21,6 g in dolžina od 16 do 24 cm. Pred meritvami so bile živali štirinajst dni v bazenu pri 11° C v temi in brez hrane.

Obrok porabe kisika smo določali z Warburgovim aparatom pri 10, 15 in 20° C. Dihalne posode s 110 ml prostornine smo polnili s po 40 ml vode, stranske oddelke pa s po 0,3 ml 10% KOH in filtrirnim papirjem. Pri vsaki temperaturi smo po polurnem uravnotežanju odčitavali spremembo pritiska eno uro v petnajstminutnih intervalih. Meritve smo izvedli z reduciranim tresenjem v temi, le za odčitavanje smo uporabili svetilko.

Rezultati in razpravljanje

Poraba kisika narašča od 7,84 $\mu\text{l g}^{-1} \text{h}^{-1}$ pri 10° C, prek 13,58 $\mu\text{l g}^{-1} \text{h}^{-1}$ pri 15° C do 20,24 $\mu\text{l g}^{-1} \text{h}^{-1}$ pri 20° C. Ker je standardna deviacija pri višjih temperaturah večja, smo upoštevali možnost, da višanje temperature različno vpliva na manjše in večje osebkke. Podatki, po teži močerilov razdeljeni v dve skupini, od katerih prva obsega živali od 12,9 g, druga pa nad 13,0 g, to potrjujejo (tabela 2). Obrok porabe kisika je pri obeh skupinah pri 10° C zelo enoten (7,38 in 7,85 μl); pri 15° C porabijo manjše živali 14,64, večje 12,87 μl ; pri 20° C pa manjše 22,92 in večje 18,45 μl kisika na enoto teže v eni uri. Podatki so prikazani

tudi na diagramu, kjer vidimo, da so razlike pri 20° C signifikantne, saj se standardne napake srednjih vrednosti ne pokrivajo (C. L. H u b b s, C. H u b b s, 1953). Ugotovitev, da dvig temperature močnejše poveča obrok porabe kisika pri manjših močerilih pot pri večjih, izraža Q_{10} (10—20° C), ki je za manjši velikostni razred 2,93, za večjega pa 2,35. Različno obnašanje večjih živali je morda v zvezi s spolnim dozorevanjem. A. L o c k e r (1958) izraža misel, da pri žabah pozimi velika zaloga jajc vpliva na zmanjšanje tkivnega dihanja. Pri sekcijah močerilov smo našli pri dolžini nad 20 cm gonade z dozorevajočimi spolnimi celicami.

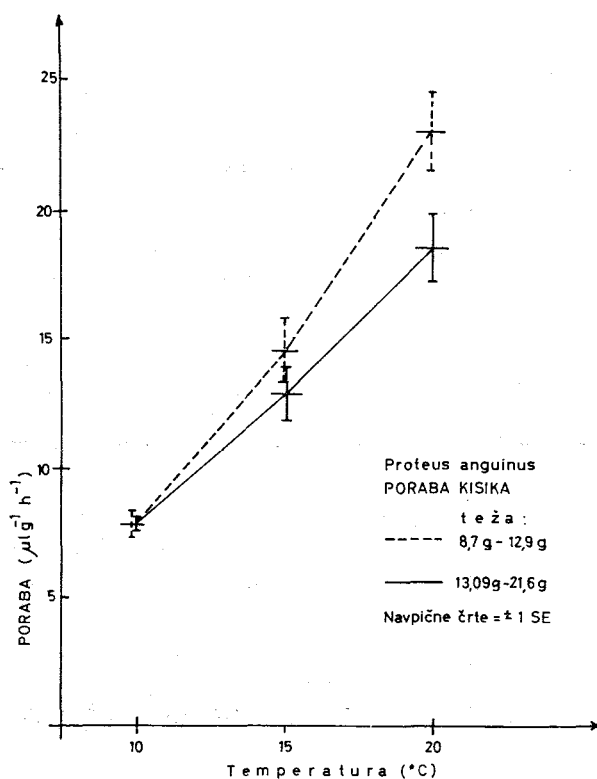
Primerjava obroka porabe kisika močerila z vrednostmi za druge urodele pokaže, da porabljajo površinski že pri nizkih temperaturah več kisika. Pri 10° C neotenični *Triturus alpestris montenegrinus* skoraj dvakrat toliko (Z. P o c r n j i c, 1962), neotehnične brezpljučne *Plethodontidae* genusa *Euricea* pa štiri do petkrat toliko (F. J. V e r n b e r g, 1952; W. E. N o r r i s, P. A. G r a n d y, W. K. D a v i s, 1963). Pri 20° C se obrok porabe kisika zviša pri črnogorskem pupku petkratno, pri ameriških vrstah pa dvainpolkratno. Med podatki o epigeičnih urodelih se samo tisti o nekturu (G u i m o n d, H u t c h i n s o n, 1972) ujemajo z našimi vrednostmi. Iz odvisnostne krivulje obrok/temperatura smo pa nektura odčitali pri 10° C vrednosti $8,32 \mu\text{l g}^{-1} \text{h}^{-1}$, izmerjene vrednosti pa so pri 5° C 5,46, pri 15° C 11,18 in pri 25° C $26,52 \mu\text{l g}^{-1} \text{h}^{-1}$.

V primerjavi s fakultativno neoteničnimi urodeli je že pri nizkih temperaturah znižana poraba kisika pri proteju in nekturu verjetno povezana s spremenjenim metabolizmom, ki ga lahko vzdržujeta le na larvalni stopnji. Raziskave procesov v tkivih bi bile zato zelo koristne.

Različno porabo kisika pri višjih temperaturah pa si razlagamo z lastnostmi dihalnih površin, ki jih dvoživke uporabljajo. Q_{10} je pri pupkih velik zaradi pljučnega dihanja (tudi A. S e l i š k a r, H. P e h a n i, 1935), pri brezpljučnih pletodontidah pa majhen zaradi kožnega. Koža in škrge so pri nekturu glavni dihalni organ, pljuča pa niso pomembna za dihanje, saj celo pri 25° C krijejo le okoli 10 % celotne preskrbe s kisikom.

Za proteja nimamo meritev o aktivnosti posameznih dihalnih površin. Poskusi pa so pokazali, da se mu v hipoksiji škrge močnejše prekrvavijo in povečajo. Znano je tudi, da imajo sveže ujeti močerili večje in močnejše prekrvavljene škrge kot tisti, ki so dalj časa v ujetništvu, v prezračeni vodi. Ker znatnih temperaturnih dvigov v protejevem naravnem okolju ne moremo pričakovati, je bohotnost škrg zaradi temperaturnega vpliva izključena. Povezana mora biti z drugimi abiotskimi dejavniki, med katerimi je deficit kisika po naši presoji zelo važen (L. I s t e n i č, 1971).

Funkcionalnost pljuč je pri močerilu že dolgo sporna. Ker smo v poskusih s hipoksijo opazili redno požiranje plina nad vodo, smo zasledovali še frekvenco inspiracije v odvisnosti od temperature vode in koncentracije kisika. Metoda je bila enaka kot pri naših poskusih o rezistenci v hipoksiji. Rezultatov še ne moremo predstaviti v popolnih in statistično potrjenih odvisnostnih krivuljah, lahko pa trdimo, da višje temperature (do 20° C) ne pospešijo pljučnega dihanja, če je v vodi dovolj kisika. Pri koncentracijah pod 2 mg O_2/l pa je frekvenca inspiracij pri 11 in 20° C okoli dvajset na uro. Žal nam za nektura odvisnost pljučnega dihanja od koncentracije kisika ni znana. Da pa tudi on prenese nizke koncentracije kisika, lahko sklepamo iz ugotovitve, da hipoksija sproži eritropoezo (A. S. G o r d o n, 1935).



Ugotovitev, da oba genusa družine *Proteidae* označuje poleg že znanih skupnih posebnosti tudi znižana poraba kisika, je toliko bolj pomembna, ker živi *Necturus* epigeično, *Proteus* pa izključno v podzemnih vodah. Biološka zgodovina obeh je torej povezana s faktorji, ki so podpirali razvoj niza prilagoditev na skromno porabo energije. Podobne pogoje najdemo verjetno tudi danes v svojem naravnem okolju.

Tabela 1

Poraba kisika ($\mu\text{l g}^{-1}\text{h}^{-1}$)

	10° C	15° C	20° C
XO ₂	7,84 ± 0,27	13,58 ± 0,79	20,24 ± 1,12
s	1,06 ± 0,19	3,05 ± 0,56	4,35 ± 0,79
KV	13,5 %	22,5 %	21,5 %

n = 15 (8,7—21,6 g)

Q₁₀ (10—20° C) = 2,58

Tabela 2

Poraba kisika ($\mu\text{l g}^{-1}\text{h}^{-1}$) v odnosu do teže

	10° C	15° C	20° C
I	$7,83 \pm 0,51$	$14,64 \pm 1,30$	$22,92 \pm 1,67$
II	$7,85 \pm 0,36$	$12,87 \pm 1,03$	$18,45 \pm 1,34$

I: 8,7 g — 12,9 g n = 6 Q_{10} I = 2,93
 II: 13,0 g — 21,6 g n = 9 Q_{10} II = 2,35

Summary

OXYGEN CONSUMPTION OF PROTEUS ANGUINUS

Our research into the metabolism of *Proteus* is a further experimental analysis of the animal's reaction norms; it has been based on the experiences and guidelines published in our previous paper. In the literature the conclusions about *Proteus*'s metabolism had been based on unsuitable measurements therefore we started our research by measuring the whole animal's rate of oxygen consumption taking into account the temperature factor.

The results of the measurements are given in table 1. At higher temperatures the standard deviation is higher so we considered that smaller and larger animals could be affected differently by the rise in temperature. Data, divided into two groups according to the weight of *Protei*, affirm it. At 10° C the rate of oxygen consumption is fairly the same for both groups; at 20° C smaller animals consume significantly more oxygen than larger ones (table 2 and diagram).

Compared to the epigeic neotenic Urodela the *Protei* have lower oxygen consumption at 10° C; at 20° C the difference is even larger. The exception is *Necturus*; in these two characteristics it corresponds to *Proteus*. The lowered oxygen consumption of both members of the family *Proteidae* at low temperatures is probably linked to the altered metabolism; this should be affirmed by research into the metabolic patterns of tissues.

Literatura

- Bishop, L. G., M. S. Gordon, 1967. Thermal adaptation of metabolism in anuran amphibians, iz Prosser, C. L., Molecular mechanisms of temperature adaptation. Washington, American Association for the Advancement of Science, pp. 263—280.
- Gordon, A. S., 1935, Effect of low pressure on the blood picture of *Necturus maculosus*. Proc. Soc. Exper. Biol. & Med. 32, 820—822.
- Guimond, R. W., V. H. Hutchison, 1972. Pulmonary, branchial and cutaneous gas exchange in the mud puppy, *Necturus maculosus maculosus* (Rafinesque). Comp. Biochem. Physiol. 42 A, 367—392.
- Hubbs, C. L., C. Hubbs, 1953. An improved graphical analysis and comparison of series of samples. Syst. Zool. 2, 49—57. (Cit. po Guimond, Hutchison, 1972).
- Istenič, L., 1971. Izhodišče za reševanje ekološke problematike človeške ribice (*Proteus anguinus* Laur. 1768). Biol. vestnik 19, 125—130.

- Koržuev, P. A., 1950. Potrebljenje kisloroda eritrocitami nekotrih amfibij (*Molge cristata* i *Proteus anguineus*). Dokladi Akademii Nauk SSSR 72 (s), 979—980.
- Locker, A., 1958. Die Gewebsatmung poikilothermer Wirbeltiere in Abhängigkeit von Körpergrösse und Temperatur. Zeit. vergl. Physiol. 41, 249—266.
- Norris, W. E. jr., P. A. Grandy, W. K. Davis, 1963. Comparative studies of the oxygen consumption of three species of neotenic salamanders as influenced by temperature, body size, and oxygen tension. Biol. Bull. 125 (3), 523—533.
- Pocrnjić, Z., 1962. Respiratorni mehanizmi i bioenergetske karakteristike nekih urodela s posebnim osvrtom na neotenuju i aktivnost štitne žljezde. Sarajevo, disertacija.
- Precht, K., 1955. Temperatur und Leben. Berlin, Springer Ver.
- Seliškar, A., H. Pehani, 1935. Limnologische Beiträge zum Problem der Amphibienneotenie. Verh. intern. Verein. theor. angew. Limnol. 7, 263—294.
- Vandel, A., M. Bouillon, 1959. Le protéte et son interet biologique. Ann. Speleol. 14 (1—2), 111—127.
- Vandel, A., 1964. Biospéologie. Gauthier-Villars Éd., Paris.
- Vernberg, F. J., 1952. The oxygen consumption of two species of salamanders at different seasons of the year. Physiol. Zoöl. 25, 243—249.

ZGODOVINSKI PREGLED KOLEOPTEROLOŠKIH
RAZISKOVANJ V JAMAH SLOVENIJE

HISTORISCHE ÜBERSICHT DER KOLEOPTEROLOGISCHEN
FORSCHUNGEN IN DEN HÖHLEN SLOWENIENS

EGON PRETNER

(Inštitut za raziskovanje krasa SAZU, Postojna)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)

Vortrag am 6. Kongreß der jugoslawischen Höhlenforscher
(Sežana—Lipica, 10.—15. Oktober, 1972)

Leta 1831 je odkril jamski vodnik Luka Čeč na Kalvariji (sedaj Veliki gori) v Postojnski jami prvega jamskega hrošča, *Leptodirus hochenwarti* Schmidt, 1832. V prirodoslovnem svetu je najdba tega čudnega hrošča vzbudila veliko pozornost in zanimanje. Nezgoda je uničila ta edini primerek. Zato je obljubil F. J. Schmidt za drugi primerek tega hrošča jamskim vodnikom nagrado 25 forintov, kar je bilo za takrat veliki znesek. Šele leta 1845 sta ga našla na istem mestu J. C. Schiödte in H. Kiesenwetter. Leta 1842 je ulovil Schmidt v jami pod Predjamskim gradom drugega jamskega hrošča, *Anophthalmus schmidtii schmidtii* Sturm, 1844, in leta 1845 v Veliki Pasici na Krimu, *A. schmidtii motschulskyi* Schmidt, 1860, in *Typhlotrechus bilimeki hacqueti* Sturm, 1853. Leta 1845 je odkril in opisal Schiödte v Postojnski jami *Bathyscymorphus bussinus bussinus* Schiödte, 1848, in tudi prve jamske zastopnike raznih živalskih rodov (*Stalita teanaria*, *Obisium spelaeum*, *Titanethes albus*, *Niphargus stygius*, *Anurophorus stillicidii*). Upravičeno lahko smatramo Postojnsko jamo za zibelko biospeleologije. Šele leta 1846 je opisal Küster *Antisphodrus schreibersi*, ki ga je našel F. J. Schmidt že leta 1832 v Postojnski jami.

Leta 1846 je ulovil D. Bilimek v Željnskih jamah pri Kočevju *Typhlotrechus bilimeki bilimeki* Sturm, 1847, in v Križni jami *T. bilimeki frigans* Jeannel, 1928, H. Freyer pa *Anophthalmus schmidtii cordicollis* Motschulsky, 1862, v jami Vratnici pri Velikih Laščah. Drugo vrsto anoftalmov, *Anophthalmus scopolii* iz jame Osojce pri Belskem v okolici Postojne, je opisal F. J. Schmidt leta 1850.

Zelo bogata je bila žetev med leti 1850 in 1860: *Bathysciotes khevenhuelleri* L. Miller, 1852, iz Postojnske jame, *Parapropus sericeus* Schmidt, 1852, iz jame »Goba dol«, kar je Slugova jama pri Globodolu, *Astagobius angustatus angustatus* Schmidt, 1852, in *Oryotus schmidtii schmidtii* L. Miller, 1856, iz Volčje jame na Nanosu, *Anophthalmus hirtus hirtus* Sturm, 1853, in *Aphaobius milleri milleri* Schmidt, 1855, iz Velike Pasice na Krimu, *Troglorrhynchus anophthalmus anophthalmus* Schmidt, 1854, iz Matjaževe jame na vznožju Šmarne gore, *Machaerites spelaeus* Schmidt, 1854, iz jame pri Strugah, kar je bržkone jama Tacerca, *Ceuthmonocharis freyeri* L. Miller, 1855, iz Dolge jame pri Domžalah, katero je žal uničil kamnolom po prvi svetovni vojni, *Sphaerobathyscia hoffmanni* Motschulsky, 1856, z najdiščem »Carniola«, *Bythoxenus subterraneus* Motschulsky, 1859, iz Velike Pasice, vrsta, ki je nismo nikoli več našli, *Bathyscymorphus globosus* L. Miller, 1855, iz Ledenice pod Taborom, ki služi sedaj kot vhod v Taborsko jamo, in *Bathyscymorphus acuminatus* L. Miller, 1855, iz Velike jame nad Trebnjem na Dolenjskem. Šele leta 1860 je opisal H. Schaum *Antisphodrus cavicola* iz jame pri Kalcah v gornji Pivki, bržkone Parske ali Drskovške golobine.

Raziskovalci minulega stoletja so torej že do leta 1860 odkrili v Sloveniji skoraj vse rodove in večino vrst jamskih hroščev. V zadnjih 30 letih minulega stoletja je bilo opisanih le malo novih vrst: *Anophthalmus pubescens pubescens* Joseph, 1870, iz jame pri Planini, kar bi mogla biti jama Mačkovića, če ni prejel Joseph te vrste iz Gmanjske jame pri Zavrhu od S. Robiča, *Oryotus, micklitz, micklitz* Reitter, 1855 in *Anophthalmus micklitz micklitz* Ganglbauer, 1913, iz Častitljive luknje na severnem pobočju Jelovice, *Aphaobius heydeni heydeni* Reiter, 1885, iz Škofjeloških jam in *Ceuthmonocharis robici robici* Ganglbauer, 1899, iz neke jame pri Dobu.

Sredi 19. stoletja je obstajal v Ljubljani krožek ljubiteljev narave, čigar člani so se posvetili tudi raziskovanju jam in njihove favne. To so bili predvsem Ferdinand Schmidt, ki so ga poznali vsi tedanji biologi Evrope, muzejski kustos H. Freyer, H. Hauffen, ki se je zanimal posebno za polže, nožar N. Hoffmann in J. Ullepitsch. Poznejši dobi pripadata J. Sever in J. Stussiner. Častno mesto zavzema duhovnik Simon Robič, saj so mu bile jame in njihova favna prav posebno pri srcu, pomagal pa mu je mežnar v Škocjanu pri Dolu, Ivan Sešek, ki je nabiral tudi za druge koleopterologe. Mnogokrat je dal hrošče iz raznih jam v eno stekleničko, kar je povzročilo zmedo pri proučevanju teh hroščev in zato so bili koleopterologi dolgo časa mnenja, da vrste rodu *Ceuthmonocharis* zelo variirajo. Šele moje raziskave domžalskih in moravskih jam so dokazale, da živijo v tem področju 3 vrste, vsaka ločeno od druge. V starem slovstvu se navaja Škocjan pri Domžalah kot najdišče vrste *Typhlotrechus bilimeki*, ki pa jih je Sešek našel bržkone v Veliki Pasici na Krimu.

Močno se je razmahnilo raziskovanje naše jamske favne v začetku tega stoletja, ko je bil J. Müller imenovan za profesorja na gimnaziji v Trstu. Z veliko vnemo in doslednostjo je raziskaval jame Tržaškega krasa, Istre in Goriškega. Ni se omejil le na lastno delo, ampak je zbiral okoli sebe mnoge prijatelje in učence. Na ta način je vzgojil vrsto entomologov, ki so skoraj vsako nedeljo in praznik z Müllerjem kot voditeljem raziskovali kraške jame. Med njimi sem bil tudi jaz kot dijak gimnazije. Žal takrat nismo nastavljali nobenih vab, zato smo le v nekaterih jamah našli hrošče. Na ekskurzije so hodili profesor Fr. Blasich, O. Chenda, E. Gridelli, ki je postal v muzeju v Trstu Müllerjev naslednik, Vl. Kodrič, J. Krekich-Strassoldo, zadnji cesarski namestnik v Trstu pred prihodom Italije v Trst, Ljudevit in Vladimir Kuščer, prof. C. Lona, C. de Mayer, Carlo in njegov sin Giorgio Ravasini, A. Schatzmayr, H. Springer in tudi še St. Gabršček.

Na Müllerjevo pobudo so začeli načrtno raziskovati kranjske jame ljubljublanski etomologi A. Gspan, M. Hafner in J. Staudacher. V začetku tega stoletja so raziskovali jame južne Štajerske v Savinjski dolini, na Dobrovljah in ob Savi Fr. Netolitzky in K. Penecke iz Gradca in H. Krauss iz Maribora. Nekaj let pred prvo svetovno vojno je nabiral A. Haucke, gozdar v Planini pri Rakeku, jame v okolici Planine, Postojne in Loža, gozdar M. Wichmann v Kočevju pa jame na Kočevskem, tu tudi Vl. Kodrič za časa svojega tamkajšnjega bivanja v letih 1936 do 1940. Večkrat sta obiskala naše kraje avstrijska entomologa A. Winkler in Ed. Knirsch.

Hrošče slovenskih jam so pred zadnjo svetovno vojno znanstveno obdelovali predvsem J. Müller, R. Jeannel, potem A. Winkler, po zadnji svetovni vojni pa E. Pretner.

Zelo je oživelo zanimanje naših biologov za jamsko favno v povojnem času. Biologi ljubljanske univerze so organizirali vrsto ekskurzij v jame vse Jugoslavije, tudi Dolenjske, kjer so jame razmeroma še malo raziskane. Sicer pa so biologi ljubljanske univerze M. Aljančič, M. Gogala, J. Matjašič, B. Sket, K. Tarman, Fr. Velkovich ter Slovenske akademije znanosti in umetnosti v Ljubljani, J. Bole, J. Carnelutti in B. Drovenik iz mnogih jam prinesli prav zanimiv material. Med biologi študenti moram posebno pohvaliti A. Novaka, I. Sivca in R. Smerduja.

S sistematičnim raziskovanjem smo odkrili nove vrste in podvrste, bolje poznamo razširjenost jamskih hroščev. Zoogeografsko zanimivo je npr., da v dinarskem delu Dolenjske manjka *Antisphodrus schreibersi* Küster, v hribovju med Postojnsko kotlino in Notranjsko Reko *Leptodirus*, da v nekaterih jamah živita skupaj dve vrsti rodu *Bathyscymorphus* in 2 vrsti *Antisphodrus* (*cavicola* in *schreibersi*), da je center »kranjske favne« pravzaprav okoli Plitvic, kajti skoraj vsi iz Slovenije opisani rodovi (*Leptodirus*, *Astagobius*, *Anopthalmus*, *Bathyscymorphus*, *Machaerites* in *Troglorrhynchus*) segajo daleč na jug preko slovensko-hrvatske meje.

Jamsko živalstvo Kranjske je uvrstil Schiödt kot prvi v štiri skupine (Skygge-Dyr, Tusmörke-Dyr, Hule-Dyr in Drypsteenhuile-Dyr), ki pa niso ustrezne. To klasifikacijo je nadomestil Schiner z boljše: trogloksene, troglobiontske živali. Ta porazdelitev je še dandanes temelj vseh poznejših razdelitev z manjšimi ali večjimi spremembami.

Prvi pregled jamske favne Postojnske in Črne jame ter jame pod Predjamskim gradom je objavil J. R. Schiner (1854), navaja pa nekatere vrste tudi iz drugih jam. Podroben seznam kranjskih in primorskih jam in njihove favne je sestavil G. Joseph (1881) v svojem delu »Erfahrungen im wissenschaftlichen Sammeln und Beobachten der den Krainer Tropfsteingrotten eigenen Arthropoden«, sistematični pregled favne teh jam pa da (1882) v »Systematisches Verzeichnis der in den Tropfsteingrotten von Krain einheimischen Arthropoden nebst Diagnosen der vom Verfasser entdeckten und bisher noch nicht beschriebenen Arten«. Kratek opis obiskanih jam pa si je olajšal na ta način, da je opise jam v širši okolici Ljubljane skoraj dobesedno posnel iz članka H. Hauffena »Beiträge zur Grottenkunde Krains« (1858), opise jam v okolici Domžal pa iz članka Robiča »Über einige Grotten und Höhlen in der Umgebung von Aich« (1862).

Leta 1896 je objavil O. Hamann knjigo »Europäische Höhlenfauna« s sistematskim pregledom jamske favne Evrope in z opisi posameznih živali. To delo služi tudi kot pregled tedanje jamske favne Slovenije.

Od Severjeve razprave »Die Krainer Höhlen (Grotten) und die in denselben vorkommenden Käfer« (1913) je bil objavljen le prvi del. Ker je bilo to delo malone dobesedni prepis Josephove publikacije (1881), je nadaljnjo objavo članka odreklo uredništvo revije.

Leta 1913 je izšlo klasično Müllerjevo delo »Beiträge zur Kenntnis der Höhlenfauna der Ostalpen und der Balkanhalbinsel. I. Die Gattung *Aphaeus* Abeille. II. Revision der blinden *Trechus*-Arten«. To delo obsega tudi

zemljevid z označenimi najdišči rodu *Aphaobius* ter seznam in najdišča slepih vrst rodu *Trechus*. Upoštevani so seveda tudi naši kraji.

V klasično biološko slovstvo spadajo sledeče Jeannelove publikacije: »Revision des Bathysciinae« (1911), kjer je seznam jam tudi našega ozemlja z navedbo v njih živečih batiscin, »Monographie des Bathysciinae« (1924) in »Monographie des Trechinae« (1928), v katerih so pri vsaki vrsti navedena točna naša najdišča.

Müllerjeva publikacija »I coleotteri cavernicoli italiani. Elenco geografico delle grotte con indicazioni delle specie e varietà dei coleotteri cavernicoli finora trovati in Italia« (1930) vsebuje seznam jam bivše pokrajine »Venezia Giulia«, torej tudi Istre in naše Primorske.

V letih 1934 do 1938 je izhajal Wolfov »Animalium Cavernarum Catalogus« s pregledom vse jamske favne z navedbo najdišč in slovstva za vsako žival. V tem obširnem delu je seveda upoštevana tudi jamska favna Slovenije. Ni pa mogel Wolf sam kritično preveriti vseh navedb zelo obširne literature. Zato je v delu precej napak in marsikatera jama je citirana dva- ali celo trikrat z različnimi imeni.

Zusammenfassung

HISTORISCHE ÜBERSICHT DER KOLEOPTEROLOGISCHEN FORSCHUNGEN IN DEN HÖHLEN SLOWENIENS

Der Grottenführer Luka Čeč hat im Jahre 1831 auf dem Kalvarienberg der Höhle von Postojna (Adelsberger Grotte) den ersten Höhlenkäfer entdeckt, den Ferdinand Schmidt unter dem Namen *Leptodirus hochenwarti* im Jahre 1832 beschrieb. Durch einen Unglücksfall ging das einzige Stück zugrunde und deswegen versprach Schmidt den Höhlenführern eine Belohnung von 25 Gulden, für damalige Zeiten ein großer Betrag, für das zweite Exemplar dieser Art. Doch erst im Jahre 1845 fanden J. C. Schiödtte und H. Kiesenwetter ebenda wenige weitere Exemplare.

Der Fund des ersten Höhlenkäfers erweckte bei den damaligen Entomologen ein solches Interesse, daß viele von ihnen nach Postojna reisten, um die Höhlenfauna kennenzulernen. Ich erwähne außer der beiden obgenannten noch G. Joseph aus Breslau, R. Khevenhüller-Metsch, Präsidenten des Zoologisch-botanischen Vereins in Wien, den Russen V. Motschulsky usw.

Schmidt entdeckte im Jahre 1842 in der Höhle beim Schlosse Predjama (Lueger Grotte) den zweiten Höhlenkäfer, *Anophthalmus schmidtii schmidtii* Sturm, ferner im Jahre 1845 weitere Arten, *Anophthalmus schmidtii Motschulsky* Schmidt, 1860, und *Typhlotrechus bilimeki hacqueti* Sturm, 1853, in der Höhle Velika Pasica auf dem Krim-Berg südlich von Ljubljana.

Schiödtte hat im Jahre 1845 in der Höhle von Postojna außer des Höhlenkäfers *Bathyscimorphus byssinus byssinus* Schiödtte, 1848, auch noch die ersten Höhlenvertreter verschiedener Tierordnungen entdeckt und beschrieben (*Stalita taenaria*, *Obisium spelaeum*, *Titanethes albus*, *Niphargus stygius*, *Anurophorus stillidii*). Wir können daher die Höhle von Postojna mit Recht die Wiege der Biopeläologie nennen.

Schon im Jahre 1832 hat Schmidt in der Höhle von Postojna den *Antisphodrus schreibersi schreibersi* gefunden, der erst im Jahre 1846 von Küster beschrieben worden ist. D. Bilimek hat im Jahre 1846 den *Typhlotrechus bilimeki bilimeki* Sturm, 1847, in den Höhlen Željnske jame (Seeler Grotte) bei Kočevje (Gottschée) und den *T. bilimeki frigans* Jeannel, 1928, in der Höhle Križna jama (Kreuzberg-Grotte) bei Lož (Laas), H. Freyer aber den *Anopthalmus schmidtii cordicollis* Motschulsky, 1862, in der Höhle Vratnica bei Velike Lašče (Groß-Laschitz) gefangen. F. J. Schmidt hat die zweite *Anopthalmus*-Art, den *A. scopolii scopolii*, im Jahre 1850 in der Höhle Osojca bei Belsko entdeckt und beschrieben.

Sehr reich war die Ernte in den Jahren 1850 bis 1860: *Bathysciotes khevenhülleri khevenhülleri* L. Miller, 1862, aus der Höhle von Postojna, *Parapropus sericeus sericeus* Schmidt, 1852, aus der Höhle »Goba dol« (richtig: Slugova jama bei Globodol), *Astagobius angustatus angustatus* Schmidt, 1852, und *Oryotus schmidtii schmidtii* L. Miller, 1856, aus der Volčja jama am Nanos, *Anopthalmus hirtus hirtus* Sturm, 1853, *Aphaobius milleri milleri* Schmidt, 1855, und *Bythoxenus subterraneus* Motschulsky, 1859, der in neuerer Zeit nicht mehr gefunden wurde, aus der Höhle Velika Pasica auf dem Krim-Berg, *Troglorrhynchus anopthalmus anopthalmus* Schmidt, 1854, aus der Höhle Matjaževa jama am Fuße der Šmarna gora (Großkahlenberger Höhle), *Machaerites spelaeus* Schmidt, aus der Höhle bei Struge (wahrscheinlich aus der Höhle Tacerca), *Ceuthmonocharis freyeri freyeri* L. Miller, 1855, aus der Höhle Dolga jama bei Domžale, die nach dem ersten Weltkrieg ein Steinbruch fast vollkommen vernichtet hat, *Sphaerobathyscia hoffmanni* Motschulsky, 1859, mit dem Fundort »Carniola«, *Bathyscimorphus globosus* L. Miller, 1855, aus der Eishöhle Ledenica pod Taborom, die jetzt als Eingang in die Schauhöhle Taborska jama dient, *B. acuminatus* L. Miller, 1855, aus der Höhle Velika jama oberhalb Trebnje na Dolenjskem (Treffen in Unterkrain), *Orotrechus globulipennis* Schmidt, 1860, aus der Höhle Kevderc auf dem Lubnik-Berg bei Škofja Loka, schließlich *Antisphodrus cavicola cavicola* Schaum, 1860, aus der Höhle bei Kalce (Steinberg), wohl aus den Höhlen Parska oder Drskovška globolina.

Fast alle Gattungen und die meisten Arten der Höhlenkäfer in Slowenien sind also schon bis zum Jahre 1860 entdeckt worden. Aus den letzten 30 Jahren des 19. Jahrhunderts stammen nur *Anopthalmus pubescens pubescens* Joseph, 1870, aus einer Höhle bei Planina, *Oryotus micklitzi micklitzi* Reitter, 1885, und *Anopthalmus micklitzi micklitzi* Ganglbauer, 1913, welche der Oberförster Fr. Micklitz in der Höhle Častitljiva luknja am Nordhang des Jelovica-Plateaus gefangen hat, *Aphaobius heydeni heydeni* Reitter, 1885, aus den Höhlen bei Škofja Loka (Bischoflack) und *Ceuthmonocharis robici robici* Ganglbauer, 1899, aus einer Höhle bei Dob (Aich) in der Umgebung von Domžale.

Um die Mitte des vorigen Jahrhunderts bestand in Ljubljana ein Kreis von Naturfreunden, deren Mitglieder sich auch der Höhlenforschung widmeten. Dessen Mitglieder waren vor allem F. J. Schmidt, den fast alle damaligen Biologen Europas kannten, der Musealkustos H. Freyer, dann H. Hauffen, Spezialist für Schnecken, der Messerschmied H. Hoffmann und J. Ullepitsch. Einem etwas späteren Zeitraum gehören J. Sever und J. Stussiner an. Der Pfarrer Simon Robič, der sich besonders für die Höhlenfauna interessierte, nimmt eine Ehrenstelle ein. Ihm half der Mesner in Škocjan bei Dob namens Ivan Sešek. Dieser sammelte auch für andere Koleopterologen, doch steckte er dabei oft Käfer

aus verschiedenen Höhlen in ein und dasselbe Fläschchen. Das hat eine heillose Verwirrung verursacht, nämlich dadurch, daß die Koleopterologen lange Zeit der Meinung waren, daß die Arten der Gattung *Ceuthmonocharis* sehr variieren. Erst auf Grund der Aufsammlungen Pretners wurde festgestellt, daß in diesem Gebiete drei Arten, jede von der anderen getrennt, vorkommen. In der alten Literatur wird als Fundort für *Typhlotrechus bilimeki* auch Škocjan bei Domžale angeführt, wo diese Art sicher nicht vorkommt, die I. Sešek aber wahrscheinlich in der Höhle Velika Pasica auf dem Krim-Berg gefangen hat.

Die Höhlenforschung hat der Ernennung J. Müllers zum Professor am Triester Gymnasium anfangs dieses Jahrhunderts einen großen Aufschwung zu verdanken. Zahlreiche Höhlen, darunter viele tiefe Schachthöhlen des Triester Karstes, Istriens und des Gebietes von Gorica (Görz) wurden erforscht. J. Müller sammelte seine Freunde und Schüler der Mittelschulen, zu denen auch ich zählte, um sich und hat eine Reihe von Biologen erzogen. Mitglieder dieses Entomologenkreises waren: Prof. Fr. Blasich, O. Chenda, E. Gridelli, später Müllers Nachfolger als Direktor des Triester Naturhistorischen Museums, Vl. Kodrič, J. Kreikich-Strassoldo, der letzte kaiserliche Statthalter in Triest, Ljudevit und Vladimir Kuščer, Prof. C. Lona, C. de Mayer, Carlo und dessen Sohn Giorgio Ravasini, A. Schatzmayer, H. Springer und auch St. Gabrščik.

Auch die Entomologen in Ljubljana, A. Gspan, M. Hafner und J. Staudacher begannen auf Anregung Müllers die Höhlen in Krain planmäßig zu erforschen. Fr. Netolitzky und K. Penecke aus Graz und H. Krauss aus Maribor (Marburg) haben die ersten Höhlenkäfer in Südsteiermark entdeckt, Kreikich-Strassoldo von Treuland fand den äußerst seltenen *Aphaenopidius treulandi* J. Müller, 1909. Wenige Jahre vor dem ersten Weltkriege sammelte der Förster A. Haucke in den Höhlen bei Postojna, Planina und Lož (Laas), M. Wichmann, Förster in Kočevje (Gottschee), in den Höhlen der Umgebung von Kočevje. In den Jahren 1936 bis 1940 war hier auch Vl. Kodrič tätig. Einige Male haben Ed. Knirsch und A. Winkler, bekannte österreichische Koleopterologen, die Höhlen Sloweniens besucht.

Die Höhlenkäfer Sloweniens sind vor allem von J. Müller und R. Jeannel (Paris), ferner A. Winkler (Wien) und nach dem letzten Weltkrieg vom Autor bearbeitet worden.

Das Interesse für die Höhlenfauna ist in der Nachkriegszeit bei unseren Biologen sehr aufgelebt. Die Universität in Ljubljana hat eine Reihe biospeläologischer Exkursionen in Jugoslawien organisiert, darunter auch in Höhlen Unterkrains, wo viele Gebiete noch unerforscht sind. Reiches Material ist von den Biologen der Universität M. Aljančič, M. Gogala, J. Matjašič, B. Sket, K. Tarman und Fr. Velkovich, und von der Slowenischen Akademie der Wissenschaften und Künste J. Bole, B. Drovenik und E. Pretner gesammelt worden. Ein besonderes Lob unter den Biologie-Studenten verdienen A. Novak, I. Sivec und R. Smerdu.

Durch systematische Aufsammlungen wurden neue Arten und Unterarten selbst in klassischen Gebieten, z. B. in der Umgebung von Postojna und Cerknica, entdeckt und interessante zoogeographische Ergebnisse gewonnen, z. B. daß im dinarischen Gebiet Unterkrains *Antisphodrus schreibersi* und *A. cavicola* vollkommen fehlen, daß in einigen Höhlen zwei *Bathyscymorphus*-Arten und *Antisphodrus schreibersi* und *A. cavicola* zusammen vorkommen, daß der Mittelpunkt der sogenannten »Krainer-

fauna« Plitvice in der Nordlika ist, denn fast alle aus Slowenien beschriebenen Gattungen (*Leptodirus*, *Agathobius*, *Anophthalmus*, *Bathyscimorphus*, *Machaerites*, *Trogloorhynchus*) reichen über die slowenisch-kroatische Grenze weit nach Süden hinab.

J. C. Schiödtte hat 1849 die erste Einteilung der aus Slowenien bekannten Höhlentiere vorgenommen (Skygge-Dyr — Schattentiere, Tummørke-Dyr — Dämmerungstiere, Hule-Dyr — Höhlentiere und Drypsteen-hule-Dyr — Tropfsteinhöhlentiere), die von J. R. Schiner (1854) durch eine bessere ersetzt worden ist: troglone, troglophile und troglobionte Tiere. Diese ist noch heute die Grundlage aller späteren Klassifikationen mit kleineren oder größeren Veränderungen.

Die erste Übersicht der Fauna der Höhle von Postojna, der Črna jama (Magdalenen-Grotte) und der Höhle von Predjama (Lueger-Grotte) stammt von J. R. Schiner (1854), wobei er einige Arten auch aus anderen Höhlen anführt. G. Joseph hat in seiner Arbeit »Erfahrungen im wissenschaftlichen Sammeln und Beobachten der den Krainer Tropfsteingrotten eigenen Arthropoden« (1881) ein ausführliches Verzeichnis der Höhlen Krains und des Küstenlandes und deren Fauna, in seiner zweiten Arbeit »Systematisches Verzeichnis der in den Tropfsteingrotten von Krain einheimischen Arthropoden nebst Diagnosen der vom Verfasser entdeckten und bisher noch nicht beschriebenen Arten« (1882) auch eine systematische Übersicht der Fauna dieser Höhlen verfasst. Die Beschreibung der von ihm besuchten Höhlen hat er sich auf die Weise erleichtert, daß er die Beschreibung der Höhlen in der Umgebung von Ljubljana aus Hauffens Artikel »Beiträge zur Grottenkunde Krains« (1858), in der Umgebung von Domžale aber aus dem Artikel von S. Robič »Über einige Grotten und Höhlen in der Umgegend von Aich« (1862) fast wörtlich übernommen hat.

Von dem von J. Sever verfaßten Artikel »Die Krainer Höhlen (Grotten) und die in denselben vorkommenden Käfer« (1913) ist nur der erste Teil erschienen, denn die Redaktion der Revue hat die Veröffentlichung der Fortsetzung verweigert, da J. Sever Josephs Publikation fast wörtlich abgeschrieben hatte.

O. Hamanns »Europäische Höhlenfauna« (1896) gibt eine systematische Übersicht und die Beschreibung der damals bekannten Arten, somit auch Sloweniens.

Im Jahre 1913 ist J. Müllers klassische Arbeit »Beiträge zur Kenntnis der Höhlenfauna der Ostalpen und der Balkanhalbinsel. I. Die Gattung *Aphaobius* Abeille. II. Revision der blinden *Trechus*-Arten« erschienen. Dieses Werk enthält auch eine Verbreitungskarte der Gattung *Aphaobius* und ein Fundortsverzeichnis der *Trechus*-Arten. Die besten Arbeiten R. Jeannel's sind »Revision des *Bathysciinae*« (1911) mit einem Höhlenverzeichnis mit Anführung der in jeder Höhle vorkommenden Arten, dann »Monographie des *Bathysciinae*« (1924) und »Monographie des *Trechinae*« (1928) mit genauen Fundortsangaben.

J. Müllers Publikation »I coleotteri cavernicoli italiani. Elenco geografico delle grotte con indicazioni delle specie e varietà dei coleotteri cavernicoli finora trovati in Italia« (1930) enthält das Höhlenverzeichnis der ehemaligen italienischen Provinz »Venezia Giulia«, zu der damals unser Küstenland und Istrien gehörten.

In B. Wolfs »Animalium Cavernarum Catalogus« (1934—1938) ist die Fauna Sloweniens ausführlich berücksichtigt. Allerdings konnte B. Wolf nicht alle Angaben der umfangreichen Literatur kritisch überprüfen und sind daher gar manche Fehler aus der Literatur übernommen worden und sind einige Höhlen zwei- oder sogar dreimal unter verschiedenen Namen zitiert.

Literatura

- Hamann, O., 1896. Europäische Höhlenfauna. Jena (Hermann Costenoble), 1—296.
- Jeannel, R., 1911. Revision des Bathysciinae (Coléoptères Silphides). Morphologie, Distribution géographique, Systématique. Arch. Zool. exp. génér., (5) 7: 1—641, Paris.
- 1924. Monographie des Bathysciinae. L. c., 63: 1—436.
- 1928. Monographie des Trechinae. Morphologie comparée et distribution géographique d'un groupe de Coléoptères (3^e livraison). L'Abeille, 35: 1—808, Paris.
- Joseph, G., 1881. Erfahrungen im wissenschaftlichen Sammeln und Beobachten der den Krainer Gebirgsgrotten eigenen Arthropoden. Berl. ent. Z. 25: 233—282, Berlin.
- 1882. Systematisches Verzeichnis der in den Tropfstein-Grotten von Krain einheimischen Arthropoden nebst Diagnosen der vom Verfasser entdeckten und bisher noch nicht beschriebenen Arten. L. c., 26: 1—50.
- Hauffen, H., 1858. Beiträge zur Grottenkunde Krain's. Zweites Jahreshft des krainischen Landes-Museums in Laibach, 40—53, Laibach.
- Müller, J. (G.), 1913. Beiträge zur Kenntnis der Höhlenfauna der Ostalpen und der Balkanhalbinsel. I. Die Gattung Aphaobius Abeille (Coleopt., Silphid.). II. Revision der blinden Trechus-Arten. Denkschr. math.-naturw. Kl. Akad. Wiss. 90: 1—124, Wien.
- 1930. I coleotteri cavernicoli italiani. Elenco geografico delle grotte con indicazioni delle specie e varietà dei coleotteri finora trovati in Italia. Le Grotte d'Italia (Regie Grotte Demaniali di Postumia), 4: 65—85 (sep. r. 1—23), Milano.
- Robič, S., 1863. Über einige Grotten und Höhlen in der Umgebung von Aich. Drittes Jahreshft des Vereins des krainischen Landes-Museums, 165—167, Laibach.
- Schiner J. R., 1854. Fauna der Adelsberger-, Lueger- und Magdalenen-Grotte. Apud Schmidl, A., Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Planina und Laas, 231—272 (separ. 1—40), Wien (Wilhelm Braumüller).
- Schiödte J. C., 1848. Undersøgelser over den underjordiske Fauna i Julerne i Krain og Istrien. Oversigt ov. Danske Vidensk. Selskabs Forhandlinger, 1848 (1847): 75—81, Kjöbenhavn.
- 1849. Dyrlivet i de krainiske Drypsteenshuler. Dansk. Tideskrift, 1849: 512—525, Kjöbenhavn.
- 1849. Bidrag til den underjordiske Fauna. Vidensk. Selskabs Skr., 5 Raekke, naturv. og math. Afd 2 (separ. 1—39).
- Sever, J. 1913. Die Krainer Höhlen (Grotten) und die in denselben vorkommenden Käfer und sonstige Tiere. Col. Rundschau 2: 113—118, Wien.
- Wolf, B., 1934—1938. Animalium Cavernarum Catalogus. 1. Praefatio, Introductio, Bibliographia (1934, 1935, 1937): 1—108; 2. Cavernarum Catalogus (1934—1937): 1—616; 3. Animalium Catalogus (1934—1938): 1—918, 's-Gravenhage (Dr. W. Junk).

ENOLETNO OPAZOVANJE JAMSKIH HROŠČEV
V DVEH JAMAH NA DOBROVLJAH

EINJÄHRIGE BEOBACHTUNG DER HÖHLENKÄFER IN ZWEI HÖHLEN
DES DOBROVLJE-GEBIRGES

B. DROVENIK

(Inštitut za biologijo Jovana Hadžija SAZU, Ljubljana)

Referat na 6. kongresu speleologov Jugoslavije
(Sežana—Lipica, 10.—15. oktober 1972)

Vortrag am 6. Kongreß der jugoslawischen Höhlenforscher
(Sežana—Lipica, 10.—15. Oktober 1972)

Proučevanje jamskih hroščev v Sloveniji še vedno obsega le nabiranje in opisovanje novih vrst in lokalitet. To je še vedno potrebno, ker še nismo pregledali vseh do sedaj znanih jam in brezen na našem ozemlju. Tako še danes nimamo pregleda o podzemeljski favni koleopterov na Slovenskem. Še vedno odkrivamo nove vrste, tudi v jamah, kjer smo mislili, da je že vse preiskano. Vsako jamo obiščemo navadno le dvakrat, štirikrat, včasih le enkrat. V celoti je to premalo. Pri takšnem raziskovanju pride do tega, da govorimo o zelo redkih ali redkih vrstah ali obratno o zelo pogostnih in običajnih vrstah. Tako še danes nekaj vrst jamskih hroščev poznamo le po enem primerku, ali le po posameznih primerkih npr.: *Orotrechus lucensis* Scheibel, *Anophthalmus capillatus* Joseph, *Aphaenopidius treulandi* J. Müller, *A. springeri* J. Müller, *Anophthalmus nivalis* J. Müller, *Spelaeodytes mirabilis* Miller itd. Zakaj so te vrste tako redke, nam še ni znano. Zdi se, da še ne poznamo dovolj njihovega življenja, kako velike so populacije vrst, da ne poznamo časa parjenja, prehranjevanja, kako vpliva na te živali zunanja klima in kako se spreminja tudi klima v podzemlju in podobno. Poznamo primere, ko smo leta in leta zaman iskali nekatere vrste jamskih hroščev v jamah, iz katerih so bili opisani, vendar je bil ves trud zaman. Tako smo po vojni šele čisto slučajno našli *Anophthalmus pubens sedulus* Knirsch, ki je bil opisan iz Mačkovice pri Lazah (Planina pri Postojni) pred več kot 40 leti. Ta jama je namreč *locus typicus* za to podvrsto. Te živali smo vedno iskali od pomladi do začetka jeseni, nikoli pa pozimi. Zadnje najdbe te podvrste so vezane izključno na zimski čas (november, januar), tako da že dalj časa ugotavljamo, da se nekateri podzemeljski hrošči pojavljajo periodično. To je bil tudi cilj našega dela na Dobrovljah. To področje smo si izbrali zato, ker tudi tu živi več endemnih vrst in podvrst; med temi so nekatere zelo redke. Med te spada tudi *Aphaenopidius treulandi cephalotes* Knirsch, ki je opisan iz Vračke zijalke. Poskušali smo z rednimi opazovanji jamske koleopterske favne ugotoviti, ali je ta vrsta resnično tako redka v tem področju in če mogoče obstoja tudi časovna odvisnost za bolj množično pojavljanje te vrste. Zato smo si izbrali dve jami, Vračko zijalko in Lesjakovo štabirnico, ki imata iste vrste jamskih hroščev, a pripadata dvema različnima tipoma (tab. 1 in 2). Vračka zijalka je vodoravna jama in pod njo je še danes aktiven požiralnik. Ima spodnjo in zgornjo etažo. Spodnji rov je v bistvu star požiralnik; ob dežju še danes požira vodo, ki pride iz zgornje horizontalne etaže. Lesjakova štabirnica je v bistvu brezno globoko okoli 30 m, dostopno s krajšo vrvjo ali 5 m lestvic. V obeh jamah smo imeli vse leto nastavljene kozarce z mesnimi vabami. V vsaki jami je bilo po 6 vab, ki smo jih pregledovali skoraj vsak mesec. Vabe so bile vedno na istih mestih in razmeščene po vseh prostorih obeh jam. Redno sem opazoval s pomočjo študentov biologije (R. Smerdu, N. Sivec, V. Cestnik), ki so člani entomološke sekcije in jamarji. Vse hrošče, ki so se ujeli

Pregled ulovljenih vrst

Tabela 1

Vračka zijalka:

15. 12. 1968 nastavila 6 vab N. Sivec in R. Smerdu.
 5. 1. 1969 pregledali in obnovili vabe: N. Sivec, R. Smerdu, B. Drovenik.
Anophthalmus erebus Krauss ♀.
 2. 2. 1969 pregledali in obnovili vabe: N. Sivec, R. Smerdu, B. Drovenik.
 tri larve (*Antisphodrus schreibersi* Küster).
 2. 3. 1969 pregledali in obnovili vabe: N. Sivec, R. Smerdu, B. Drovenik.
 tri larve (*Antisphodrus schreibersi* Küster).
 3. 5. 1969 pregledala in obnovila vabe: R. Smerdu, B. Drovenik.
Anophthalmus erebus erebus Krauss ♂, ♀.
Antisphodrus schreibersi Küster 9 ♂♂, 11 ♀♀.
 4. 6. 1969 pregledala in obnovila vabe: R. Smerdu, B. Drovenik.
Anophthalmus erebus erebus Krauss ♂, ♀.
Antisphodrus schreibersi Küster 16 ♂♂, 13 ♀♀.
 1. 7. 1969 pregledala in obnovila vabe: R. Smerdu, V. Cestnik.
Anophthalmus erebus erebus Krauss ♀.
Antisphodrus schreibersi Küster (29).
 26. 9. 1969 pregledali in obnovili vabe: N. Sivec, R. Smerdu, Bartol.
Anophthalmus erebus erebus Krauss 2 ♀♀.
 3. 11. 1969 pregledal in obnovil vabe R. Smerdu.
Antisphodrus schreibersi Küster ♂, 4 ♀♀.
 1. 12. 1969 pregledala in pobrala vabe: R. Smerdu, B. Drovenik.
 ličnika (*Antisphodrus schreibersi* Küster).

Lesjakova štabirnica:

5. 1. 1969 nastavili 6 vab: B. Drovenik, N. Sivec, R. Smerdu.
Anophthalmus erebus erebus Krauss ♂ (našli pod kamnom).
 2. 2. 1969 pregledali in obnovili vabe: B. Drovenik, N. Sivec, R. Smerdu.
Anophthalmus erebus erebus Krauss 3 ♂♂, 4 ♀♀.
Aphaobius milleri knirschi J. Müller 4 ♂♂, 5 ♀♀.
 2. 3. 1969 pregledali in obnovili vabe: B. Drovenik, N. Sivec, R. Smerdu.
Anophthalmus erebus erebus Krauss 6 ♀♀.
 3. 5. 1969 pregledala in obnovila vabe: B. Drovenik, R. Smerdu.
Antisphodrus schreibersi Küster 2 ♂♂, 5 ♀♀.
 4. 6. 1969 pregledala in obnovila vabe: B. Drovenik, R. Smerdu.
Antisphodrus schreibersi Küster ♂, 6 ♀♀.
 1. 7. 1969 pregledala in obnovila vabe: V. Cestnik, R. Smerdu.
Anophthalmus erebus erebus Krauss ♂.
Aphaobius milleri knirschi J. Müller 3 ♀♀.
 26. 9. 1969 pregledali in obnovili vabe: Bartol, N. Sivec, R. Smerdu.
Aphaobius milleri knirschi J. Müller ♂.
Antisphodrus schreibersi Küster ♀.
 3. 11. 1969 pregledal in obnovil vabe R. Smerdu.
Aphaobius milleri knirschi J. Müller 2 ♂♂.
Antisphodrus schreibersi Küster ♂, ♀.
 1. 12. 1969 pregledala in pobrala vabe: B. Drovenik, R. Smerdu.
Antisphodrus schreibersi Küster 2 ♀♀.

na vabe, smo vzeli in jih nismo spuščali. Beležili smo število ujetih vrst in osebkov vsak mesec in tudi razmerje med spoli istih vrst. Kljub vsem prizadevanjem nismo ujeli nobenega imaga *Aphaenopidius treulandi cephalotes* Knirsch, ampak verjetno njegovo ličinko. To bi lahko imeli za neuspeh,

smo pa zato dobili zanimive podatke za nekatere jamske hrošče, kot so *Anophthalmus erebus* Krauss, *Antisphodrus schreibersi* Küster in *Aphaobius milleri knirschi* J. Müller (glej tab. 1). Ugotovil sem, da se je v tem letu ujelo na vabe manj jamskih hroščev, tako po vrstah kot po številu primerkov. Iz E. Pretnerjevih podatkov se vidi, da je imel mnogo več uspeha pri nabiranju v obeh jamah, čeprav je imel le občasno postavljene vabe.

Koleopterska jamska favna Dobrovelj

Tabela 2

Huda luknja (kat. št. 478), Letuš.

Anophthalmus schaumii knirschi Winkler (leg. Pretner).

Antisphodrus schreibersi schreibersi Küster (leg. Pretner).

Covška prépad (kat. št. 486), Sv. Urban.

Anophthalmus schaumii knirschi Winkler (leg. Pretner).

Antisphodrus schreibersi schreibersi Küster (leg. Pretner).

Aphaobius milleri knirschi J. Müller (leg. Pretner, Drovenik).

**Aphaobiella budnar-lipoglavseki* Pretner, 1949 (leg. Pretner, Drovenik).

Vračka luknja ali zijalka (kat. št. 468), Sv. Urban.

Anophthalmus schaumii knirschi Winkler (leg. Pretner).

**Anophthalmus erebus erebus* Krauss, 1906 (leg. Krauss, Penecke, Pretner, Drovenik).

**Aphaenopidius treulandi cephalotes* Knirsch, 1926 (leg. Krauss, Kodrič, Pretner).

Antisphodrus schreibersi schreibersi Küster (leg. Krauss, Penecke, Pretner, Drovenik).

Aphaobius milleri knirschi J. Müller (leg. Pretner).

Glyptomerus cavicola J. Müller (leg. Kraus, Pretner).

Lesjakova štabirnica (kat. št. 479), Sv. Urban.

Anophthalmus schaumii knirschi Winkler (leg. Pretner).

Anophthalmus erebus erebus Krauss (leg. Pretner, Drovenik).

Aphaenopidius treulandi cephalotes Knirsch (leg. Pretner).

Antisphodrus schreibersi schreibersi Küster (leg. Pretner, Drovenik).

Aphaobius milleri knirschi J. Müller (leg. Pretner, Drovenik).

Troglorrhynchus anophthalmus anophthalmus Schmidt (leg. Pretner).

Trenklnova jama, Nazarje.

Antisphodrus schreibersi schreibersi Küster (leg. Penecke, Krauss, Nonveiller).

Leptinus testaceus J. Müller (leg. Penecke).

Lomski brlog (kat. št. 496), Krokarje (na Čreti).

Antisphodrus schreibersi schreibersi Küster (leg. Pretner).

Aphaobius milleri knirschi J. Müller (leg. Pretner).

Krapljetova jama (kat. št. 483), Čreta.

Antisphodrus schreibersi schreibersi Küster (leg. Pretner).

Aphaobius milleri knirschi J. Müller (leg. Pretner).

Tinetova jama (kat. št. 484), Čreta (Höhle Zelenjak am Čret).

Anophthalmus schaumii knirschi Winkler (leg. Pretner).

**Anophthalmus erebus kraussi* Winkler, 1923 (leg. Winkler, Pretner).

¹ Z zvezdico * je označen *locus typicus* vrste.

**Aphaenopidius treulandi treulandi* J. Müller (leg. Krekich-Strassoldo pl. Treuland, Bruno Goričar).
Antisphodrus schreibersi schreibersi Küster (leg. Pretner).
Aphaobius milleri knirschi J. Müller (leg. Pretner).

Štabirnica (kat. št. 502), Tolsti vrh.
Antisphodrus schreibersi schreibersi Küster (leg. Pretner).
Aphaobius milleri knirschi J. Müller (leg. Penecke, Krauss, Pretner).
Troglorrhynchus anophthalmus anophthalmus Schmidt (leg. Penecke).

Škadavnica (kat. št. 482), Vransko.
 **Anophthalmus schauumi knirschi* Winkler, 1912 (leg. Penecke, Krauss, Knirsch, Pretner).
Antisphodrus schreibersi schreibersi Küster (leg. Pretner).
 **Aphaobius milleri knirschi* J. Müller, 1913 (leg. Penecke, Krauss, Knirsch, Pretner).

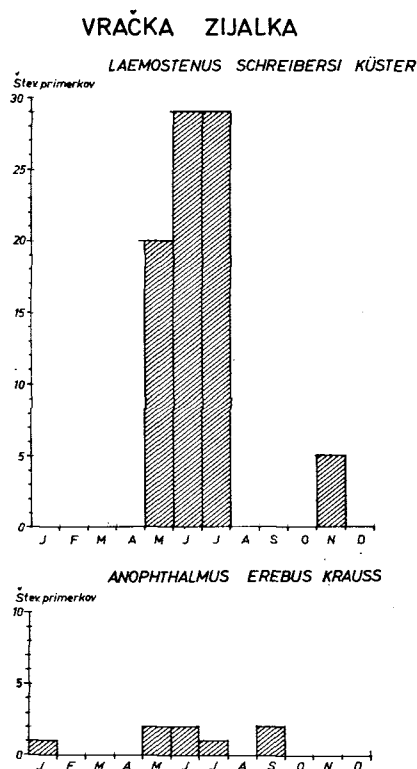
Veternica (kat. št. 539), Vransko.
Anophthalmus schauumi knirschi Winkler (leg. Pretner).
Aphaobius milleri knirschi J. Müller (leg. Pretner).

»Hlassel-Grotte« pri Braslovčah citirata Heberdey, Meixner (1933, Verh. Zool.-Bot. Ges. 83, 83) kot najdišče za
Anophthalmus erebus erebus Krauss.

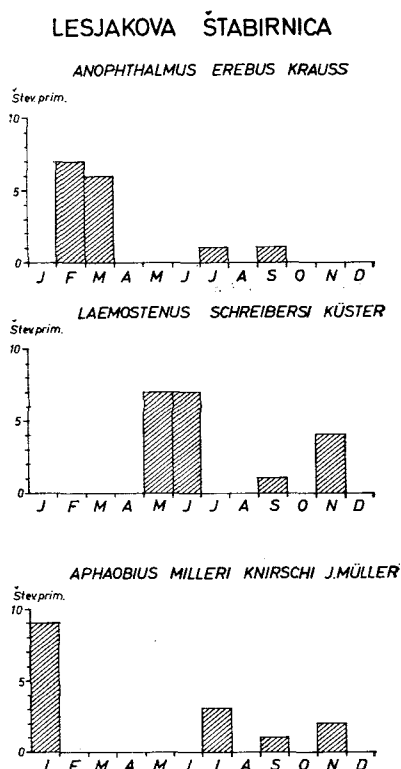
Koleopterska favna na Dobrovljah in Čreti je zelo bogata (tab. 2), posebno pogostni so hrošči iz skupine trehinov (2 rodova) in iz skupine batiscin (2 rodova). Po večini so to endemne vrste. Med endeme tega področja spadajo *Aphaenopidius treulandi treulandi* J. Müller, *A. treulandi cephalotes* Knirsch, *Anophthalmus erebus kraussi* Winkler, *A. schauumi knirschi* Winkler, *Aphaobius milleri knirschi* J. Müller in *Aphaobiella budnar-lipoglavseki* Pretner. V večini jam tega področja živi *Anophthalmus erebus erebus* Krauss, ki je tudi opisan iz Vračke zijalke, vendar živi tudi na Menini planini (B. Drogenik, 1972, 184) in v Savinjskih Alpah. Za sedaj imamo podatke za jamske hrošče le za 12 jam s tega področja. Število neraziskanih jam je neprimerno večje.

Rezultati (tab. 3 in 4), ki smo jih dobili pri enoletnem opazovanju koleopterske favne v obeh jamah, niso najbolj popolni. Vendar nam dajo nekaj novih smernic, kako naj bi ta opazovanja nadaljevali in izpopolnili. Enoletno opazovanje je po mojem mnenju odločno prekratka doba, kajti iz dosedanjega dela po drugih jamah se opaža, da poznamo tudi pri jamskih hroščih fluktuacije populacij. To je razvidno iz tega, da je E. Pretner našel v obeh jamah *Anophthalmus erebus erebus* Krauss vedno v večjem številu kot mi, pri istem načinu dela. Nam tudi ni uspelo ujeti nobenega primerka *Anophthalmus schauumi knirschi* Winkler in *Aphaenopidius treulandi cephalotes* Knirsch. To je Pretnerju uspelo v mesecu maju in juniju. Tudi prvi primerek *Aphaenopidius treulandi cephalotes* Knirsch je bil ujet poleti. Uporabne rezultate smo dobili le za *Anophthalmus erebus erebus* Krauss, *Antisphodrus schreibersi* Küster, *Aphaobius milleri knirschi* J. Müller. Za *Antisphodrus schreibersi* Küster se je izkazalo, da se imagi pojavljajo v velikem številu vedno v maju, juniju in juliju. To velja za obe jami in do podobnih rezultatov smo prišli tudi v drugih jamah na Slovenskem. Posamezne image smo našli tudi v novembru,

Tab. 3.



Tab. 4



vendar nikoli v tako velikem številu kot spomladi. Poleti in pozimi pa so bile na vabah njihove larve, vendar niso bile nikoli številne. Za *Anophthalmus erebus erebus* K r a u s s lahko trdimo le to, da ima dve generaciji. Eno poleti in drugo v zimskem času. Ličink nismo našli nikoli. Vendar, kot je razvidno iz tabel, to ni najbolj jasno in bo treba z nadaljnimi raziskovanji to še preveriti. Za *Aphaobius milleri knirschi* J. Müller imamo podatke le iz Lesjakove štabirnice. Veliko teh živali smo našli v februarju in posamezne primerke zopet v juliju, septembru in novembru. To zopet lepo kaže, da imamo opraviti z dvema generacijama, kot pri zunanjih vrstah. Tudi za drugi vrsti se lepo nakazuje periodično pojavljanje, kot pri zunanjih vrstah, čeprav so življenjske razmere v podzemlju konstantnejše kot zunaj. Pomanjkljivost našega opazovanja je bila v tem, da v nobeni od obeh jam nikoli nismo merili vlage in temperature in tako o teh faktorjih ne moremo govoriti.

To je bil le prvi poizkus takšnega opazovanja jamskih hroščev, ki ga bomo še nadaljevali, da bi prišli do popolnejših rezultatov. Ta opazovanja bomo še izboljšali z merjenjem klimatskih faktorjev v obeh jamah.

Zusammenfassung

EINJÄHRIGE BEOBACHTUNG DER HÖHLENKÄFER IN ZWEI HÖHLEN DES DOBROVLJE-GEORGES

Es werden die Resultate einer einjährigen Beobachtung der Höhlenkäfer in den Höhlen Vračka zijalka und Lesjakova štabirnica bei Sveti Urban auf dem Dobrovlje-Gebirge (westlich von Celje in Slowenien) im Jahre 1969 mitgeteilt. Es sollte festgestellt werden, ob eine gewisse Periodizität auch bei den Höhlenkäfern besteht und wie der äußerst seltene endemische *Aphaenopidius treulandi* J. Müller lebt. Leider haben wir nicht ein einziges Exemplar dieser Art gefangen, vermutlich jedoch dessen Larve.

Bei einigen Arten besteht ein Zyklus zweier Generationen wie bei den außen lebenden Käfern. *Antisphodrus schreibersi schreibersi* Küster besitzt eine Frühjahrs- generation (Mai, Juni und Juli). Im Sommer fanden wir nur wenige Larven, im Herbst aber wieder vereinzelte Imagines. Beim *Anophthalmus erebus erebus* Krauss haben wir im Sommer eine zahlreiche Generation festgestellt, in den Wintermonaten fanden wir nur vereinzelte Exemplare. Dessen Larven haben wir nicht gefunden. Die meisten *Anophthalmus*-Arten sind im Sommer immer zahlreicher vertreten. *Aphaobius milleri knirschi* J. Müller tritt in der Höhle Lesjakova štabirnica im Juli, September und November nur vereinzelt, in den Wintermonaten dagegen in größerer Anzahl auf. Temperatur und Feuchtigkeit sind leider nicht gemessen worden.

Es folgt eine Übersicht der bisher in 12 Höhlen gefundenen Koleopteren. *Aphaenopidius*, *Anophthalmus schauami knirschi*, *A. erebus kraussi*, *Aphaobius milleri knirschi* und *Aphaobiella budnar-lipoglavseki* sind bisher nur in den Höhlen des Dobrovlje-Gebirges gefangen worden.

Literatura

- Drovenik, B., 1971. *Cicindelidae* in *Carabidae* Menine planine. Biol. vestnik 19, 181—190, Ljubljana.
- Jeannel, R., 1928. Monographie des *Trechinae*. L'Abeille 33, 1—808, Paris.
- Krauss, H., 1905. Weitere Beiträge zur Kenntnis der Käferfauna der untersteirischen Höhlen. Mitteil. naturw. Ver. Steiermark 41 (1904, Vereinsangelegenheiten), 93—97, Graz.
- 1906. Über die untersteirische Höhlenfauna. L. c., 42 (1905, Vereinsangelegenheiten), 99—100.
- 1906. Zwei neue Höhlenkäfer aus dem mitteleuropäischen Faunengebiet. Wien. Ent. Ztg. 25, 257—260, Wien.
- 1908. Berg- und Höhlenwanderungen im oberen Sanntal. L. c., 44 (1907), 311—314.
- Müller, J., 1909. Sechs neue Höhlenkäfer aus den südlichen Kalkalpen, dem istro-dalmatinischen Karstgebiet und dem Balkan. Wien. Ent. Ztg. 28, 273—282, Wien.
- 1910. Diagnosen neuer Höhlensilphiden. Zool. Anz. 36, 184—186, Leipzig.
- Penecke, K., 1904. Die ersten in Steiermark aufgefundenen Höhlen-Koleopteren. Mitteil. naturw. Ver. Steiermark 40 (1903, Vereinsangelegenheiten), 40—41, Graz.
- Pretner, E., 1949. *Aphaobius* (*Aphaobiella* subgen. nov.) *budnar-lipoglavseki* spec. nov., *A. (A.) tisnicensis* spec. nov. in opis samca vrste *Pretneria saulii* G. Müller (*Coleoptera*, *Silphidae*). Razprave SAZU, razr. mat. prirodosl. medic. vede, 4, 143—158, Ljubljana.
- Winkler, A., 1912. Die Rassen von *Anophthalmus Scopolii* Sturm und *Schauami* Schmidt. Entom. Bl. 8, 243—249, Berlin. 1923. Die spezifische Umgrenzung einiger *Anophthalmus* Sturm s. str. aus den Ostalpen. Koleopt. Rundschau 10, 160—162, Wien.

FLUVIALNI SEDIMENTI V KRIŽNI JAMI

(s 27 slikami v besedilu)

FLUVIAL SEDIMENTS IN KRIŽNA JAMA

(with 27 Figures in Text)

RADO GOSPODARIČ

(Inštitut za raziskovanje krasa SAZU, Postojna)

UVOD

V skromni literaturi o Križni jami so opisane njene hidrološke razmere, kapniške tvorbe in zanimiva morfologija. A. Schmidl (1854, 284) je popisal vhodne rove in na novo odkriti del Medvedjega rova, pred njim pa je Cerar (Zörrer, 1834) objavil prvi približni načrt in opis teh rogov. Najbolj sta poudarjala nahajališča medvedjih kosti v suhem Medvedjem rovu, ki jih je nato v letih 1878 in 1879 izkopaval F. v. Hochstetter. Takrat je I. Szombathy na novo izmeril Medvedji rov in v njem s posebnimi simboli razlikoval diluvialno in recentno ilovico ter sigove kope (Arhiv JZS in Inštitut za raziskovanje krasa SAZU).

Poljudni opisi Križne jame I. Michlerja (1934, 1934 a) govorijo o podzemeljskih jezerih, kapniških skupinah in podorih Kalvariji, Križni gori in Kristalni gori, o podzemeljskem svetu, ki je povečal zanimanje za raziskovanje in večkratne obiske domačinov in članov Društva za raziskovanje jam v Ljubljani.

Navdušenost nad tem podzemljem se je po drugi svetovni vojni močno povečala (A. Šerko in I. Michler). Ohranjeni so zapiski številnih ekskurzij s podatki o odkritjih novih rogov. Do l. 1971 je bilo odkritih nad 8 km rogov. Kljub mnogim podatkom pa žal še nimamo popolnega, verodostojnega načrta vsega znanega podzemlja Križne jame. Načrt iz l. 1961 v merilu 2 : 2880 prikazuje razne odseke jame različno natančno; najmanj zanesljive so širine rogov in dvoran.

V zapisniku T. Planina z dne 30. 4. in 4. 5. 1958 so prvič omenjeni v konglomerat sprijeti sedimenti po jamskem dnu in stenah. Za nahajališče konglomerata ob Matjaževem rovu je T. Planina navedel, da se je material odložil, preden so nastale podorne dvorane in sigove kope. Alohtone in tudi druge sedimente iz Križne jame omenja še P. Habič (1963, 103), ki sicer govori še na splošno o značaju in pomenu sedimentov in oblikah akumulacij v kraških jamah.

Intenzivne speleološke raziskave okoli Cerkniškega jezera v letih 1968—1971 so zajele njegov pritočni kraški svet, kjer je Križna jama poglobitveni speleološki objekt. Pri ekskurzijah v to jamo pa smo vnovič postali pozorni na konglomerate, ki jih omenja T. Planina, in na ostali fluvialni material, ki ga v tej jami ne manjka. Zbrali smo dosti podatkov o njegovih nahajališčih, v laboratoriju pa pregledali njihovo petrografsko in granulacijsko sestavo. Raziskave so pokazale zanimive podatke o izvoru jamskih naplavin in njihovi zvezi z razvojem jamskih prostorov, ki jih doslej še nismo poznali. Zato smo zbrano gradivo podrobneje obdelali v pričujoči razpravi.

O JAMSKIH SEDIMENTIH NA SPLOŠNO

Jamski sedimenti so bili sprva zanimivi, kolikor je bilo v njih mogoče najti organske ostanke ledenodobnih živali in orodje pračloveka. Z napredkom prazgodovinskega raziskovanja po svetu in na Slovenskem krasu pa je postalo preučevanje samih sedimentov zelo potrebno pri ugotavljanju ledenodobnih klimatskih razmer in pogojev bivanja pračloveka pred jamami in v njih. Za ugotavljanje pleistocenskih klimatskih razmer so domači preučevalci paleolitika S. Brodar (1966), F. Osle (1967) in drugi zlasti analizirali grušč pri jamskih vhodih, krioturbatske pojave v sedimentih, eolske in fluvialne sedimente ter druge pojave, ki so metodološko obravnavani v klasičnem delu o jamskih sedimentih E. Schmidtove (1958).

Z razvojem speleološke znanosti in vse večjim kopičenjem znanja in podatkov o jamah so sedimenti pridobili na vrednosti in pomenu. Na oblikovanje prostorov in nastajanje sedimentov daleč od jamskih vhodov učinkujejo činitelji, ki so manj vezani na spremenljivo temperaturo, bolj pa na hidrološke in morfološke pogoje, ki tod vladajo. V tem drugačnem trodimenzionalnem sedimentacijskem okolju nastaja tako imenovani »notranji facies« sedimentov kot ga imenuje E. White (1968, 116), za razliko od »zunanega faciesa« pri jamskih vseh, kjer je opaziti odločujoč vpliv z zmrzaljo povezanega mehanskega razpadanja stropa in sten. Preučevanje »notranjega faciesa« sedimentov omogoča pojasniti nekatere speleogenetske procese v jami ter hidrološke, morfološke in geološke razmere v okolici jame, če so med najdenimi sedimenti tudi taki izvenjamskega izvora.

Jamske sedimente preučujemo z različnimi analitskimi metodami. Najbolj pogostno ugotavljamo granulacijsko in petrografsko sestavo, v posebnih primerih pa lahko opravimo še druge analize (R. Riedl, 1960). Dobljeni podatki o sedimentih so toliko bolj tehtni, kolikor jim lahko določimo še lego in razmerje do podzemeljskega prostora. Tako pridemo do podatkov o načinu transporta in odlaganju naplavin ter o njih relativni starosti v primerjavi z različnimi jamskimi prostori.

Analize omogočajo razdeliti jamske sedimente v različne skupine glede na izvor, nastanek, agregatno stanje in lego sedimentov v podzemeljskem prostoru. V monografijah o krasu in v speleoloških učbenikih najdemo več klasifikacij. Tako deli G. Kyrle (1923, 85) jamsko vsebino na avtohtono in deponirano, pri čemer je znatno bolj popolno obdelal sigo in led kot pa razne naplavljenе sedimente. Tudi G. Warwick (1953) posveča največ prostora sigi in podorom, medtem ko so klastični naplavljeni sedimenti postali predmet večjega zanimanja šele v delih zadnjih desetih let. Omeniti je treba študijo A. Böglja (1961) o jamski ilovici v jami Hölloch (Švica), ki jo najde v aktivni coni (v trajnem in občasnem vodotoku) in v inaktivni coni brez vodotokov. Po izvoru deli ilovico na alohtono, ki v jamah prevladuje, ter na avtohtono in paravtohtono. Pod le-to razume ilovico, ki je bila v jamo prestavljena pretežno po vertikalni poti skozi špranje v stropu.

Podobno je razčlenil sedimente iz Postojnske jame S. Brodar (1966). Razlikoval je alohtoni flišni nasip, paravtohtono flišno ilovico in rdečo ilovico ter avtohtono sigo in grušč. Na podlagi te razdelitve je med seboj primerjal

številne odkopane profile in sestavi razvojno shemo kraškega podzemlja ob Pivški kotlini, kakršno je bil v grobem postavil že prej (S. Brodar, 1952).

Ph. Renault (1968) je razdelil jamsko vsebino po kemičnih in fizikalnih zakonih, ki se uveljavljajo v podzemlju med kamnino in vodo, v naslednje tipe:

1. produkte korozije (ostanke dekalifikacije, sigo, jamsko mleko),
2. produkte gravitacije (ilovnate prevleke, podorne bloke in grušč),
3. produkte transporta ali vodnih tokov (gline, peske in prode).

Material je lahko eksogen (alohton) ali endogen (avtohton).

Zb. Wojcik (1966, 106) se je oprijel poenostavljene petrografske klasifikacije in razlikuje:

1. kemične usedline,
2. organske usedline,
3. klastične usedline, ki so avtohtone in alohtone.

V delu o naplavinah v tatranskih jamah podrobneje obravnava le skupino »mehanskih vodnih sedimentov«, ki je v klasifikaciji G. A. Maksimoviča (1963) uvrščena v skupino alohtonega gradiva.

Nekoliko bolj razčlenjeno petrološko razdelitev navaja E. White (1968, 116):

Klastični sedimenti

avtohtoni

podori

ostanki preperevanja

organski ostanki

alohtoni

transportirana ilovica

pesek in prod

puhlica

Kemični sedimenti

karbonati (siga)

evaporiti

železovi in manganski

hidrati

led

fosfati

Navedene razdelitve se bistveno ne razlikujejo. Videti je, da sta Ph. Renault (1968) in H. Trimel (1968) v skladu z monografskim značajem zadnjih publikacij dala splošne okvire razdelitve, kamor lahko vključimo bolj specificirane ostalih avtorjev, ki so nastale ob raziskovanju ene vrste sedimentov ali pa skupine naplavin v posameznih jamah regionalno omejenega krasa.

Iz vseh razdelitev nadalje izhaja, da so jasno izločene naplavine, ki bi jih, tako kot G. A. Maksimovič (1963), označili za mehanski vodni sediment alohtonega izvora. To so namreč ilovice, peski in prodi, ki so v raziskano jamo prispeli od drugod. V jamskem okolju so bili nato nekje cementirani v konglomerat, pokriti s sigo, spet erodirani in razkrojeni, z njimi se je pomešal razpadni material jamskih sten in stropa, tako da predstavljajo zelo pester, a koristen vir podatkov o speleogenetskih procesih v jami. Ker pa so pglavitne sestavine teh klastičnih naplavin izvenjamskega izvora, je njih vrednost za rekonstrukcijo razvoja jame glede na bližnjo in daljno okolico še toliko bolj pomembna.

Pri teh raziskavah so seveda značilni predvsem petrološki in geološki podatki o sedimentih in zakraselih kamninah ter podatki o nezakraslem svetu, od koder je pričakovati največji dotok klastičnega, v vodi netopljivega gradiva. Primerni geološki podatki in petrografska analiza so zato najbolj potrebni, če hočemo razločiti nahajališča naplavin v jami. Pri tem delu pa naletimo na več težav.

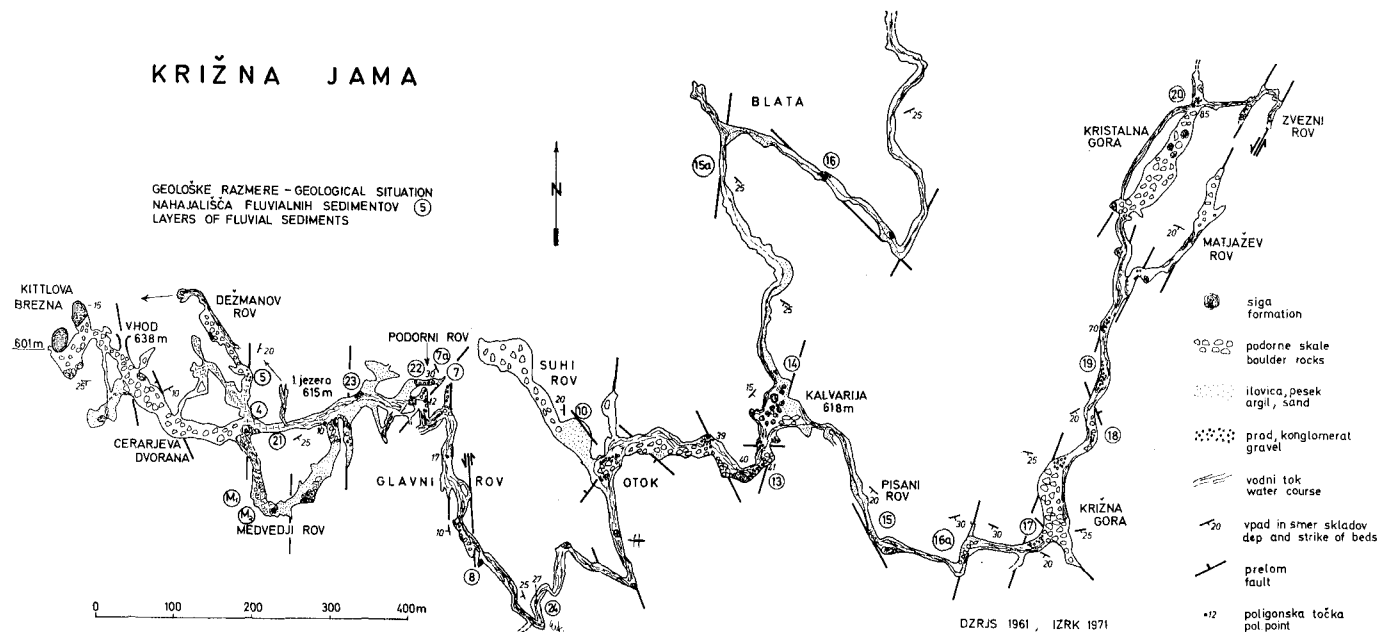
Kjer je material nevezan, vzorce lahko brez težav presejemo in analiziramo, kjer pa je s karbonatnim vezivom na pol ali docela zvezan v konglomerat, ga je težko zdrobiti na sestavne dele ali napraviti zbruske. Težava je tem večja, če so sestavni delci tudi karbonatni, ki se pri razkrajanju z 10 % HCl topijo poleg veziva. V vzorcih iz Križne jame smo vzorec poskušali drobiti mehanično in kemično, a pri tem dobivali za analizo ustrezen material le pri na pol vezanem konglomeratu, ki smo ga mogli drobiti mehanično. Pri trdno vezanem pa je bila npr. za analizo zrnivosti in procentualno petrografsko sestavo dana le možnost preštevanja kosov na različno orientiranih ploskvah vzorcev v velikosti okoli 1 dm².

Z analizami zrnivosti smo spoznali razmerje med ilovico, peskom in prodrom, s petrografskimi pa ugotovili različne kamnine in njihov odstotek v posameznem vzorcu. Razlikovali smo alohtoni, paravtohtoni in avtohtoni material in uvideli, da mešanica različnih materialov priča o različnih hidroloških razmerah. Ilovica in drobni peski npr. lahko v vodi lebdiijo (*suspended load*) in se odlagajo drugače kot pa material, ki ga voda vleče ali premika po dnu struge (*bed load*). Za razvoj jame ali skalnega dna je zelo koristna informacija o legi vzorca ali sedimenta v prostoru (na dnu, ob steni, na stropu, na sigi ali pod njo, na pritočni ali odtočni strani rova itd.) in njegova razprostranjenost (v vodi, v suhih rovih ali povsod).

MORFOLOŠKE IN GEOLOŠKE POSEBNOSTI KRIŽNE JAME

Dostopno podzemlje Križne jame je bilo doslej že večkrat opisano (I. M i c h - l e r, 1934; V. B o h i n e c, 1961; T. P l a n i n a, 1965). Zato vemo, da se splot podzemeljskih rogov v skupni dolžini 8 km razteza od vhoda proti vzhodu in da potekata končna dva rova — Blata in druga polovica Pisanega rova — proti severu do sifonov in čelnih podorov. Razlikujemo suhe in vodne rove ter več podornih dvoran. Suhi rovi so zanimivi, ker so v njih vidni peščeni in ilovnati fluvialni sedimenti in ker se v njih javljajo sige in podorne skale. Podiranje je mestoma zavzelo tak obseg, da imamo opraviti s podornimi dvoranami (Kalvarija, Kristalna gora, Križna gora itd.). Današnji vhod in oblike sosednjih rogov so povezane z rušenjem stropa in sten. Podorni rov in Suhi rov se končajo s podori. Redka siga v Križni jami se je odlagala na naplavine v obliki posameznih kop, v podornih dvoranih pa tudi v številnih stalagmitih in stalaktitih.

Med suhimi rovi je posebno zanimiv Medvedji rov. Od Cerarjeve dvorane ga deli sigova kopa, segajoča do stropa, v njem samem pa so še druge podobne sige. Prav tako so v njem ohranjeni ilovnati in peščeni sedimenti, ki kažejo na poplavni značaj nekdanje jamske reke. Takih naplavin je največ ob današnjem jamskem vhodu, kjer so tudi nekdanji vodni rovi drugače usmerjeni kot današnji. Po načrtu vidimo, da so Suhi rov, Podorni rov, Medvedji rov in Cerarjeva dvorana sestavni del nekdanjega poglavitnega vodnega kanala, ki ga je kasneje na zahodni strani, ob današnjem jamskem vhodu prekinila podorna vrtača. Zasuti suhi rovi Križne jame nam kažejo tako le del speleogenetskih procesov, to je razpadanje stropovja in sten ter nastajanje sige; morfološki elementi, ki so povezani z aktivnim vodnim tokom, so zakriti ali preoblikovani.



Sl. 1. Križna jama. Tloris z vrisanimi tektonskimi podatki in nahajališči analiziranih alohtonih sedimentov

Fig. 1. Križna jama. The ground plan with tectonical data and finding-places of analysed allohtonous sediments



Sl. 2. Križna jama, Glavni rov. Plast dolomita (zgoraj) je manj odstranjena kot plast apnenca (spodaj), kjer so oblike erozijskega in korozijskega delovanja vode. Foto P. Habič

Fig. 2. Križna jama, Glavni rov (the Principal Channel). The dolomite bed (up) is less eroded than the limestone bed (down), where the forms of erosive and corrosive water activity could be observed, Photo by P. Habič

Mnogo več izpovedujejo vodni rovi, saj smo v njih priče današnjega oblikovanja podzemeljske struge. Jamska reka korodira in erodira skalo, pogloblja strugo in razgalja fluvialne naplavine proda in konglomerata, ki so v suhih rovih pokriti s sigo, peščenimi naplavinami in podori. Pogled v razvojno pot je znatno olajšan, zadevni sklepi so bolj zanesljivi. Pri 1. jezeru nastaja prečni profil rova v obliki ležeče, proti SE nagnjene elipse. V Glavnem rovu, kjer so skladi skoraj vodoravni, imamo opraviti s kvadratnimi profili, kjer so lepo vidne erozijske police in fasetirane stene. Ob prelomih je opaziti povišani strop in nastajanje sige. Značilen je del kanala med Otokom in Kalvarijo, ki dokazuje mlajše razpadne procese ob hkratnem toku jamske reke, ki erodira dno in steno ter razgalja starejši alohtoni prod. Blata so skoraj zapolnjena z ilovico, med njihovimi bregovi pa se na skalnem dnu vendarle kažeta prav tako starejša prod in siga. Podobni

pojavi so v Pisanem rovu in prav tja do Kristalne gore in sklepnega Zveznega rova.

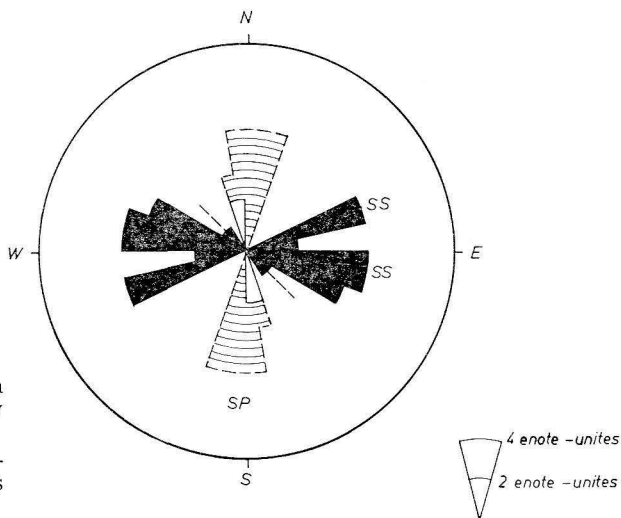
Morfologija Križne jame je v mnogočem odvisna od geološkega okolja, v katerem se giblje jamska reka, svoj pečat pa so ji dali še številni speleogenetski procesi, ki so se v njej uveljavljali v nedavni geološki preteklosti. Med te sodijo nedvoumno fluvialni alohtoni sedimenti.

V vseh dostopnih rovih Križne jame vidimo svetlosivi mikritski apnenec liasno-doggerske epohe. V meter debelih skladih apnenca so pogostna gnezda dolomita (sl. 2). Sklenjen horizont dolomita, kakršnega poznamo na površju med liasno in zgornjetriasno serijo, je opaziti le v Zveznem rovu za Kristalno goro, kjer priteka v Križno jamo voda, rovi pa niso več prehodni.

Dolomit je bolj obstojen proti eroziji in koroziji jamske reke kot apnenec. Iz apnenčevih sten vodnih rogov izstopajo dolomitna gnezda kot nekakšni roglički, kape in pokrovčki. Mikrooblike rogov so povezane s pojavljanjem dolomita med apnencem, manj pa so nanj vezane mikrooblike, prečni profili in smeri rogov. V tem pogledu so bile odločujoče smeri skladov in prelomov.

V našem diagramu (sl. 3) so združene smeri skladov in prelomov, ki smo jih merili v različnih rovih jame. Plasti so nagnjene za okoli 20° proti jugu in jugo-jugovzhodu. Odstopanja od teh smeri vidimo ob prelomih in v Glavnem rovu med 2. jezerom in Otokom, kjer so skladi položni ali nagnjeni proti zahodu in severu.

Prelomi v smeri S—J večinoma prečkajo sklade. Na njihovih drsnih ploskvah vidimo vodoravne raze, nastopajo torej zmični prelomi, kjer so se paketi drug proti drugemu premaknili vodoravno. Prelomi nastopajo pogosto v parih, ob njih je kamnina zdrobljena v brečo. Podorne dvorane in široki rovi s podornimi pobočji so dostikrat vezani na take cone (Kristalna gora, Križna gora, 1. Podorni rov). Posamezni prelomi so razgaljeni tudi v vodnih kanalih, kjer podornih pojavov ni. Iz tega sklepamo, da je dotok in učinek korodirajoče vode vezan le na te dislokacije in na tiste cone, kjer so prelomi bolj pogostni.



Sl. 3. Križna jama. Diagram smeri skladov (ss) in prelomov (sp)

Fig. 3. Križna jama. The diagram of beds (ss) and faults (sp) directions

Zanesljivo in podrobno primerjavo med tektonsko strukturo in smermi rogov bo možno napraviti, ko bomo imeli na voljo natančnejši načrt Križne jame. Za zdaj se moramo zadovoljiti z oceno, da so dostopni rovi med vhomom in Kalvarijo večinoma vzporedni z lezikami, dotočna Blata in Pisani rov z obema Gorama pa potekata prečno na smer skladov, a vzporedno s prelomi. Tu oblikovani erozijski vodni rovi imajo mnogo manjši strmec kot so nagnjeni skladi. Iz tega sklepamo, da je voda pri pretoku in oblikovanju rova zlahka premagovala geološke ovire. Med Kalvarijo in današnjim vhomom, kjer se rovi cepijo v različne smeri, pa so lokalni geološki činitelji vplivali na njen nekdanji in današnji pretok. Erozijska moč vode je bila nedvomno večja na dotočni (Blata, Pisani rov), kot na odtočni strani (Glavni rov, suhi rovi ob današnjem vhomu) zaradi proda, ki ga je v jamo prinašala voda. Do Kalvarije pa se je večina tega materiala morda že usedla, s čimer je močno oslabela nadaljnja erozijska moč jamske reke. Tudi s tega razvojnega stališča je pomembno spoznati ohranjenost nahajališča fluvialnih alohtonih sedimentov.

NAHAJALIŠČA FLUVIALNIH SEDIMENTOV V KRIŽNI JAMI

Fluvialne sedimente smo našli po vsej jami v večji ali manjši količini. Razlikovali smo naplavine peska in ilovice — v suhih, obdobjno poplavljenih in vodnih kanalih — ter prod, deloma sprijet v konglomerat v vodnih kanalih.

Posamezna preiskana nahajališča teh sedimentov smo oštevilčili na načrtu Križne jame (sl. 1), skice nahajališč pa prikazujemo posebej v večjem merilu in tudi s fotografijami (sl. 4—20).

Naplavine v suhih rovih blizu jamskega vhoda

Pod podornimi bloki Cerarjeve dvorane je rjava ilovica pomešana z gruščem in sigo. Ilovico je odložila nekdanja, v višini okoli 620 m mirujoča oziroma zajezena voda. Pri sigovi kopu Čimborasu se odcepi proti jugu rov, ki bi popeljal do Medvedjega rova, če ne bi bil v razdalji 10 m zadelan s sigovo kopo. V Medvedji rov pa lahko vstopimo iz vodnega kanala pri 1. jezeru in si ga lahko ogledamo v dolžini 325 m. V njem spoznamo, kako so sedimenti sestavljeni in kako zapolnjujejo rov. Tukajšnje naplavine, med katerimi so tudi številne kosti jamskega medveda, sta opisala M. Brodar in R. Gospodarič (1973). Ugotovila sta, da je Medvedji rov skoraj do stropa zapolnjen z alohtonim peskom in ilovico, ki ju je odložila mirujoča poplavna voda do nadm. višine 620 m, to je 15 m više od današnjega skalnega dna Glavnega rova pri 1. ponoru. Današnja valovita tla rova pa so nastala pri kasnejšem preoblikovanju, ko je prenikajoča voda odlagala sigo in izpirala ilovnato peščen sediment. Ta proces izpiranja in zasigavanja traja še danes. Kostmi jamskega medveda ležijo v vrhnjih plasteh ilovice in peska, ki so odložene med plasti sige. Iz tega sklepamo, da so jamski medvedi zahajali v rov, ko je bil suh in imel uravnana tla iz sige in strnjene ilovice. Visoka voda je le občasno zašla v rov in do neke mere ovirala njegovo trajno »poselitev«. Jamski medvedje so mogli zahajati v Medvedji rov, ko je bil ta še neposredno dostopen iz Glavnega rova. Kasneje nastala sigova kopa je to zvezo prekinila. Iz

zbranih podatkov je možno le okvirno sklepati na obdobje »poselitve« Križne jame z jamskimi medvedi in s tem na obdobja poplavl oziroma nanašanja ilovice in peska. Najbližje obdobje, ki pride v poštev, je zadnji topli sunek (W II/III) zadnjega glaciala (W III).

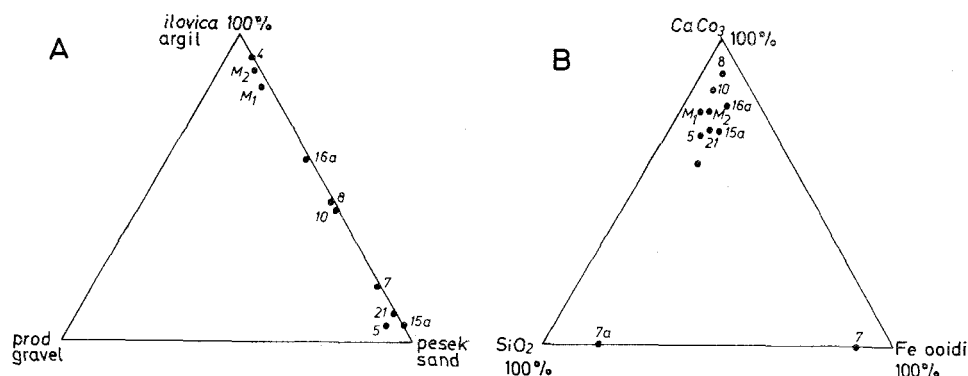
Iz drugih lokalitet v Sloveniji (F. Osole, 1967) je namreč znano, da je v zadnjem poledenitvenem sunku (W III) v naših krajih jamski medved že izumrl. Ker smo našli kosti med plastmi sige, ki odražajo dva topla sunka (verjetno WII/III in W I/II), lahko datiramo »poselitve« Križne jame nazaj do starejšega Würma. V tisti dobi je tudi še računati na poplavljanje Medvedjega rova in na drugačne hidrološke in morfološke razmere v vsej Križni jami.

Nadaljnje naplavine najdemo v Dežmanovem rovu. Vanj pridemo iz Cerarjeve dvorane, potem ko se spustimo po pobočju sigove kope Čimborasa do skalnega dna. Skalni rov ima po dnu številne sigove kotlice in nekaj stalagmitov, po stenah pa prevleke in zavesa. Naplavine so ob stenah, v skalnih špranjah, v kotlicah, precejšen kup ilovice pa se je ohranil tudi v sklepu rova.

Ob severni s sigo prevlečeni steni, meter nad strugo, je 90 % recentne ilovice, 3 % peska in 7 % koralaste sige (vzorec 4 in 5). Pesek ima 80 % oglatih, le delno zaobljenih kremenovih zrn, 18 % okroglih ooidov limonita in njegovih odkruškov ter 2 % oolitov boksita.

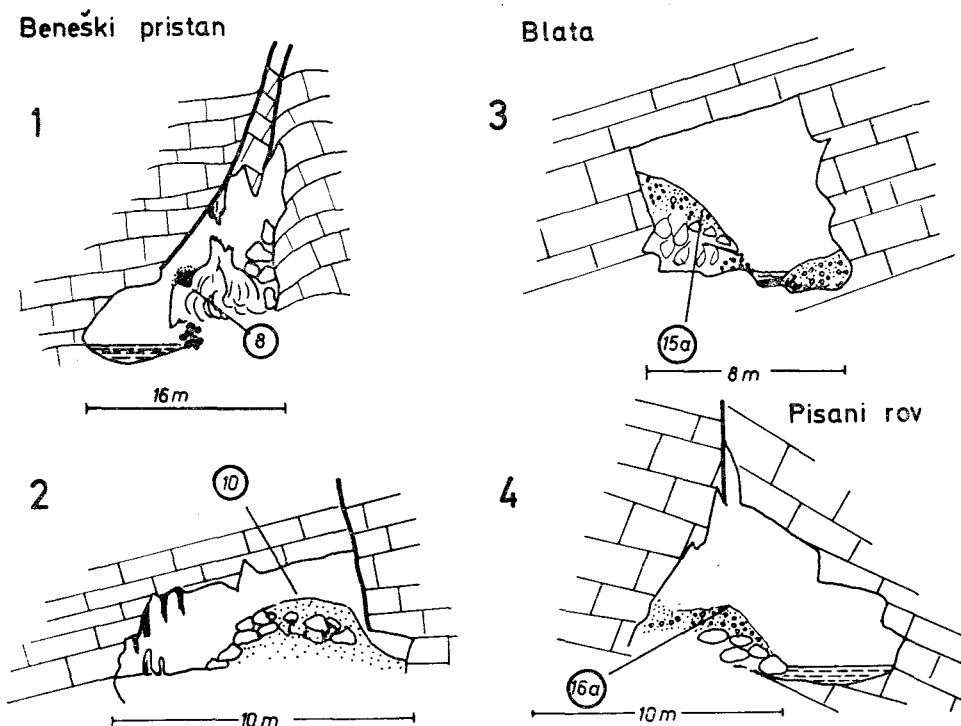
Pesek in ilovica v notranjosti jame

Sestavo peska, ki ga odlaga današnja visoka voda, spoznamo v rovu 1. ponora. V špranji južne stene, 2 m nad skalnim dnom, je vzorec 21 z 90 % peska in 10 % ilovice. Pesek ima 70 % karbonatnih snovi, kjer so vštete tudi hišice jamskih polžev, 20 % je ogatega kremenca, 10 % pa limonitnih ooidov (sl. 4). Ta pesek z ilovico je podoben pesku v Dežmanovem rovu in v Medvedjem rovu. Zrnatost kaže na lebdeči tovor, ki ga je odložila voda, ko se je v špranji ob steni umirila.



Sl. 4. Križna jama. Trikotni diagrami zrnivosti (A) in petrografske sestave (B) peskov. Vzorci M₁—M₃ so iz Medvedjega rova

Fig. 4. Križna jama. Triangle diagrams of granulation (A) and petrographic composition (B). Samples M₁—M₃ are from Medvedji rov (the Bear's Gallery)



Sl. 5. Križna jama. Prečni profili rovov z nahajališči peska
Fig. 5. Križna jama. The cross sections of the galleries with sand finding-places

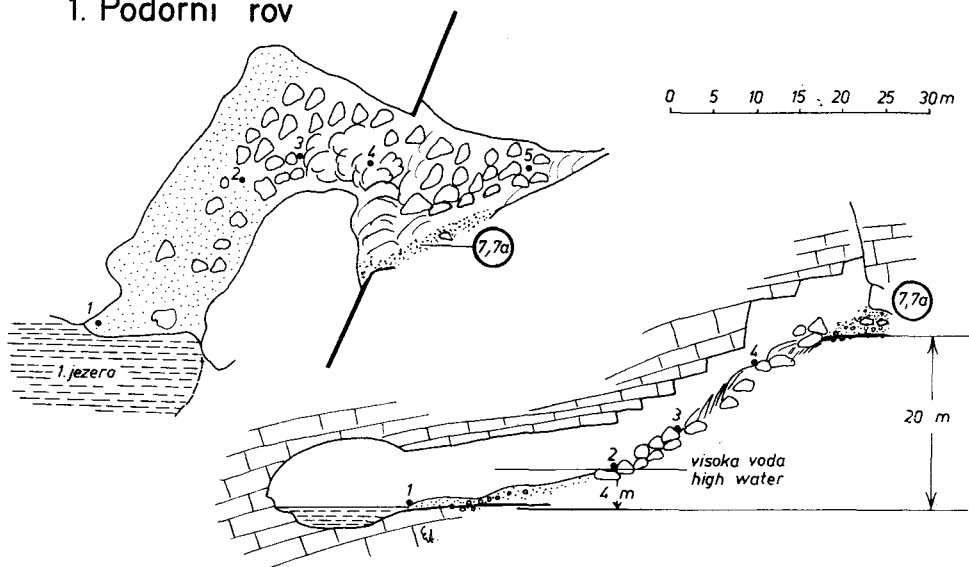
Poplavljeni material najdemo v suhih in vodnih rovih globlje v jami, npr. pri Beneškem pristanu, v Suhem rovu, v Blatih in v Pisanem rovu.

Pri Beneškem pristanu (sl. 5, profil 1) je skozi strop ob južni steni pritekala kapnica in odložila sigo v večjo kope. V ponvice ob vznožju kope pa je jamska reka odložila pesek (vzorec 8). Če izvzamemo karbonatne sestavine, je le-ta sestavljen iz oglatega kremena, limonitnih in boksitnih oolitov ter sljude. Material je odložila občasna visoka voda, ki je nastopala po nastanku sigove kope. Imela je vsaj tri metre višjo gladino kot danes. Takrat je tekla še prek skalnega praga med 1. in 2. jezerom in tudi v Dežmanov rov.

Z naplavljenim materialom je domala zapolnjen tudi Suhi rov (sl. 5, profil 2). Vzorec 10 je iz kupa peščene ilovice v prvem delu rova. Zrnavost in petrografska sestava tega materiala je podobna tistemu iz Dežmanovega rova. Med karbonati je opaziti nekaj zrn dolomita, sicer pa prevladuje oglati in zaobljeni kremen, manj je oolitov boksita in limonita. Tudi to je nekdanji lebdeči tovor, ki se je odločil v širokem jamskem prostoru, čim se je vodni tok umiril.

V Pisanem rovu (sl. 5, profil 4) je peščena ilovica odložena v višini vodne gladine, pa tudi v špranjah in razširjenih odsekih rova nad njo. V kolenastem

1. Podorni rov



Sl. 6. Križna jama, 1. Podorni rov. Tloris in vzdolžni prerez z ležiščem peska (vzorca 7 in 7 a)

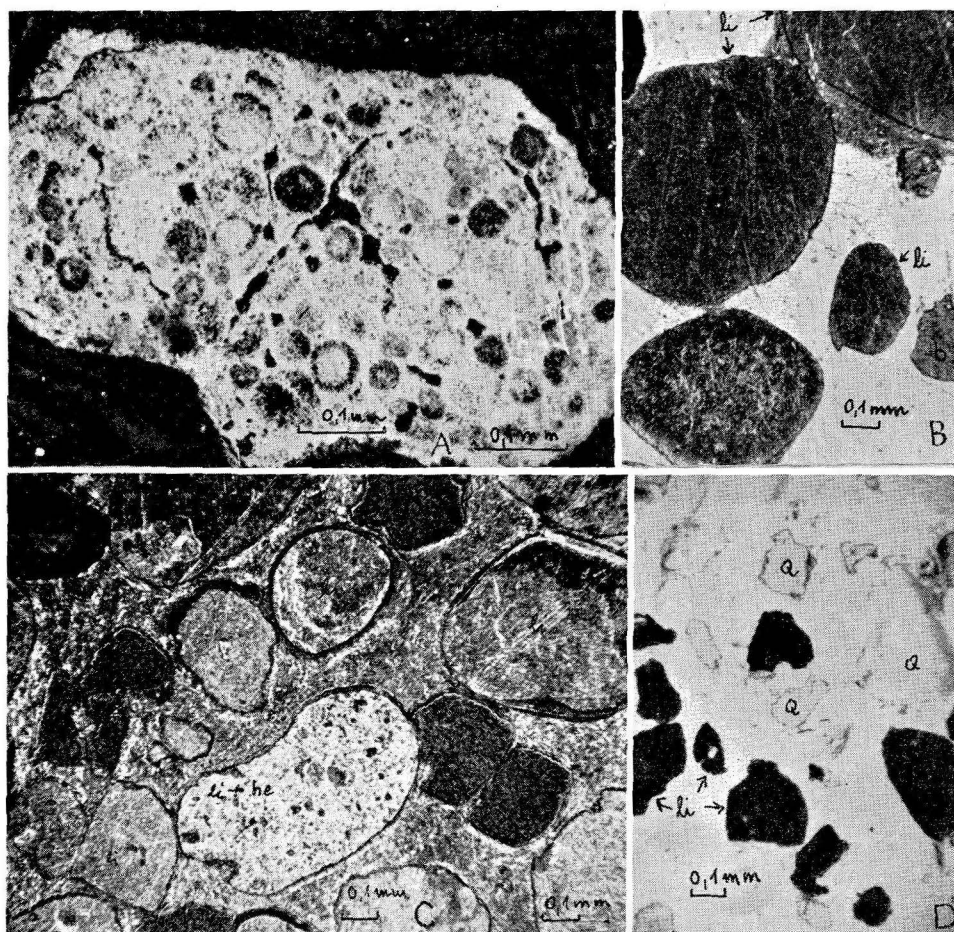
Fig. 6. Križna jama, 1. Podorni rov (the 1st Collapsed Gallery). Ground plan and longitudinal section with sand layers (samples 7 and 7 a)

odseku Pisanega rova pred Križno goro smo vzeli za analizo vzorec 16 a. V peščenih zrnih prevladuje frakcija 0,2–0,1 mm, ki vsebuje 87 % karbonata, 6 % kremenca in 7 % limonitnih oolitov. Med večjimi zrni je opaziti dolomit. Pesek s frakcijo 0,2–0,1 mm se je mogel usedati pri praktično stoječi vodi (hitrost pretoka okoli 1,5 cm/s).

Vzorec 15 a iz Blat (sl. 5, profil 3) je sestavljen iz 55 % karbonata, 15 % kremenca in 10 % limonita. V pesku prevladuje frakcija od 0,5–0,1 mm, se pravi, da ga je odložila voda z največjo hitrostjo pretoka okoli 2 cm/s. Tak material zapolnjuje skoraj polovico prostora ob stenah, sredi rova pa je ob njem izoblikovana struga. Voda odplavlja ilovico in pesek, razgalja spodnjo sigo, podorne skale in alohtoni konglomerat na skalnem dnu. V začetku Blat vidimo na skalni podlagi erozijske ostanke konglomerata (vzorec 14) in na njem zrastle meter visok stalagmit. Njegov zgornji del je prevlečen z ilovico, nastal je torej po odlaganju konglomerata in pred odložitvijo peščenoilovnate naplavine. Mlajša erozija je poglobila strugo v živo skalo, ker je lažje odnašala apnenec kot na njem odloženi in sprijeti konglomerat, erodirala pa je tudi spodnji del stalagmita.

Sediment v 1. Podornem rovu

Poseben pesek je odložen v rovu, ki se dviguje 20 m nad 1. jezerom proti severovzhodu (sl. 6). V prvem delu rova se ilovnata tla dvigajo polagoma, v drugem delu pa nenadno, ker so iz podornih blokov in sige. Sklepni najvišji



Sl. 7. Križna jama, 1. Podorni rov. Pesek vzorcev 7 in 7 a, A — zbrusek oolitnega boksita v odsevni svetlobi, B — dobro zaobljena limonitna zrna (li), delno izkristaljena v goethit (g), C — koloidna zrna limonita (li) z goethitom in hematitom (he) v odsevni svetlobi, D — peščena zrna limonita (li, črno) in kristali kremenca (Q, belo) v presevni svetlobi. Foto E. Grobelšek

Fig. 7. Križna jama, 1. Podorni rov (the 1st Collapse Gallery), samples 7 and 7 a, A — oolitic bauxite (thin section in reflex light), B — well rounded limonite grains (li), partly crystalized in goethit (g), C — colloidal limonite grains (li) with goethit and hematite (he) in reflex light, D — sand limonite grains (li, black), and quartz crystals (Q white) in transparent light. Photo by E. Grobelšek

prostor je trikotna dvorana; sredi njene južne, 2–3 m visoke stene je razgaljen meter visok in 5 m širok sloj ilovnatga peska (vzorec 7 in 7 a). Bolj in manj sprijeti pasovi imajo 65 % karbonatnega veziva, 30 % oglatih zrn in kristalov kremenca ter 5 % limonitnih ooidov. V nevezanih pasovih pa sta samo kremen

in limonitni ooidi v vseh procentualnih razmerjih. Najštevilnejša so zrna velikosti 1—0,1 mm, kjer spoznamo 90 % rumenih in rjavih ooidov limonita, 10 % oglatih zrn svetlega kremenca in nekaj boksita.

Mineraloška analiza je pokazala, da so v pesku oolitni boksit, okrogli ooidi koloidalnega limonita z izkristaljenim goethitom in zrna kremenca (sl. 7). Kemična analiza ooidov (SiO_2 22,4 %, TiO_2 0,8 %, Fe_2O_3 47,7 %, Al_2O_3 5,8 %, CaO sled, MgO 0,57 %, MnO 0,014 %, NiO —, P_2O_5 sled) in njih precejšnja žaroizguba (14,3 % pri 1000° C) govorita, da imamo opraviti z različnimi limonitnimi tvorbami.*

Na alohtoni izvor obravnavanega peska sklepamo po petrografski sestavi, ki je današnjemu okolju tuja, po jasni plastovitosti peščenih pasov in po 20 cm velikih kosih matičnega apnenca med peskom, ki so vanj padli med transportom. Tako ohranjeni sediment je mogel odložiti le nekdanji vodni tok na absolutni višini okoli 437 m, to je najmanj 20 m nad današnjo gladino vode v jami.

Iz povedanega sledi, da limonitni ooidi in kremen nista nastajala v podzemlju, ampak na površju, še preden je bil razvit današnji podzemeljski sistem Križne jame. Morda je to naplavljanje uvrstiti v stari pleistocen ali pliocen, ko je tukajšnji kras še imel površinsko hidrografsko mrežo. Prestavljanje vodotokov v podzemlje so spremljali površinski sedimenti, ki so se porazgubili po manjših in večjih podzemeljskih votlinah blizu površja. Od tam pa so jih ponekod padavine izprale v niže ležeče, mlajše rove, ponekod, npr. Podornem rovu, pa so ostali neodplavljeni. Ponornica, kakršno poznamo v Križni jami, je s svojo spremenljivo gladino prenašala tak pesek naprej po podzemlju in ga odlagala tam, kjer je zastajala, npr. v Medvedjem rovu, Suhem rovu in drugod. Dosti pa ga je tudi odnesla v še neznane podzemeljske kanale in tja med naplavine Cerkniškega jezera, h kateremu je otekala.

Limonitni ooidi so pogostni v naplavinah drugih okoliških jam, npr. v Mrzli jami pri Ložu, pa tudi ob Cerkniškem jezeru, npr. v Strmški jami in v Suhadolici ter na kraškem površju ob jezeru. Bogato so zastopani v vseh würmskih naplavinah jezera samega (R. G o s p o d a r i č, 1970).

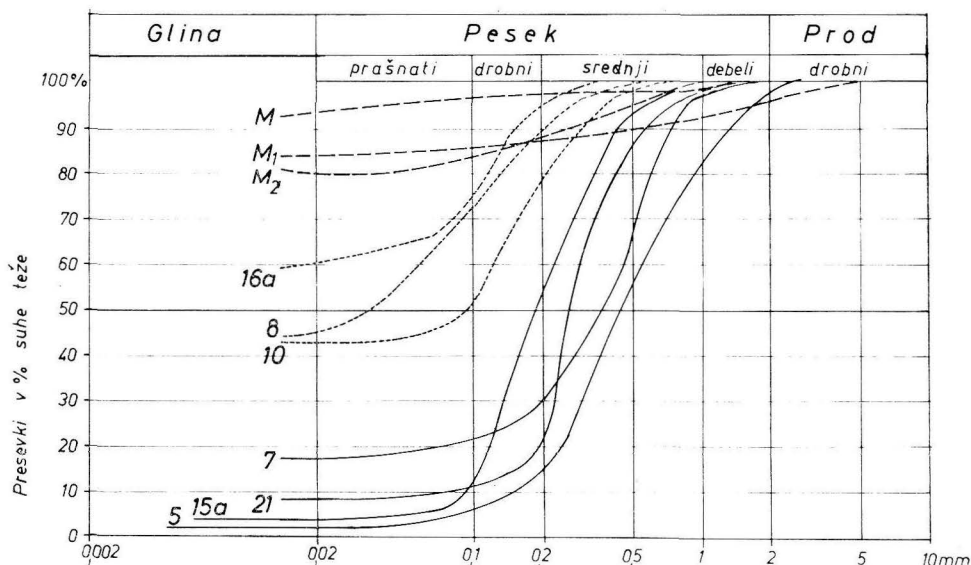
Značilnosti peska v Križni jami

Pregledani vzorci kažejo več skupnih značilnosti:

1. Petrografsko so sestavljeni iz avtohtonih karbonatov ter alohtonega kremenca in limonitnih ooidov.

2. Po zrnavosti jih lahko razdelimo v tri skupine (sl. 4 in 8). Vzorci 21, 15 a in 5 so bili odloženi v špranje pri današnjem vodotoku, ko se je voda umirila in oddala svoj lebdeči tovor. Podobna hidrološka situacija je verjetno obstajala tudi pri odlaganju peska v 1. Podornem rovu (vzorec 7) v starejši razvojni fazi Križne jame. Vzorci 8, 10 in 16 a odražajo stanje visoke vode in odlaganje v razširjenih prostorih. Material vzorcev M_1 , M_2 in 4 z vmesnimi kostmi jamskega medveda in sige pa je zapolnil Medvedji rov, Veliko in Cera-

* Analize je opravila ing. E. Grobelškova, za kar se ji na tem mestu najlepše zahvaljujem.



Sl. 8. Križna jama. Krivulje zrnivosti preiskanih vzorcev peska
Fig. 8. Križna jama. Granulation curves of examined sand samples

rjevo dvorano ter Dežmanov rov do absolutne višine 620 m. To odlaganje je starejše kot pa v Suhem rovu in današnjem vodnem koritu.

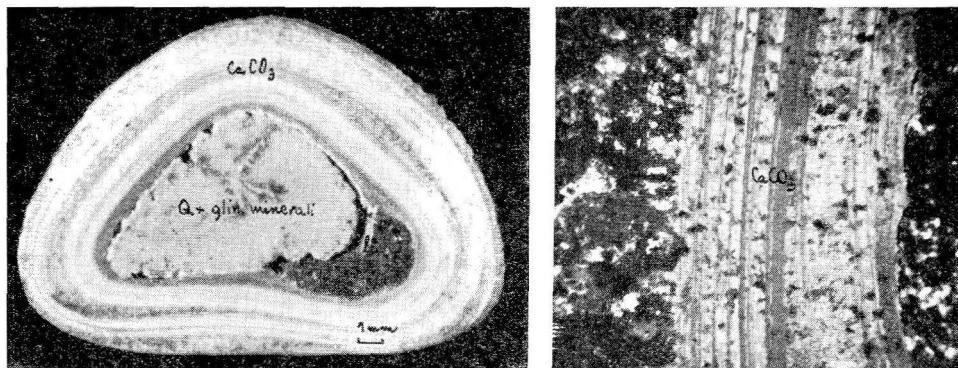
3. Po legi v rovih sodeč je pesek odložen tam, kjer se je hitrost vode zmanjšala zaradi morfoloških okoliščin. Gladina vode je bila lahko pri tem višja kot je najdeni sediment.

4. Obravnavane naplavine odražajo hidrološke situacije, ki v Križni jami zdaj ne nastopajo več. Današnji vodni pretok ima tudi ob visoki vodi vse možnosti hitrega toka po razsežni jami, in sicer s hitrostjo okoli 1 m/s. Analizirani pesek pa kaže na znatno manjše hitrosti vode, ki je nastopala ob drugačni oblikovanosti podzemeljske struge in ob drugačnih klimatskih razmerah v oklici jame.

5. Časovni reper takratnega speleogenetskega dogajanja so sedimenti s sigo in kostmi jamskega medveda v Medvedjem rovu. Če upoštevamo navedbe raziskovalcev slovenskega paleolitika (med njimi F. Osole, 1967), da je v naših krajih jamski medved že izumrl v zadnjem würmskem stadialu, so naplavine v Medvedjem rovu starejše od zadnjega würmskega interstadiala (W II/W III).

Prod in konglomerat v vodnih rovih

Na nadaljnjo skupino naplavin naletimo na različnih mestih jame med Dežmanovim rovom in njenima skrajnima točkama za Kristalno goro in Blati. Opisali bomo posamezna vzvodna najdišča, lego sedimenta v prostoru ter njegove granulacijske in petrografske lastnosti. V sigovih ponvica Dežmanovega rova smo zbrali ploščate, do 1 cm velike prodnike rdečega oolitnega

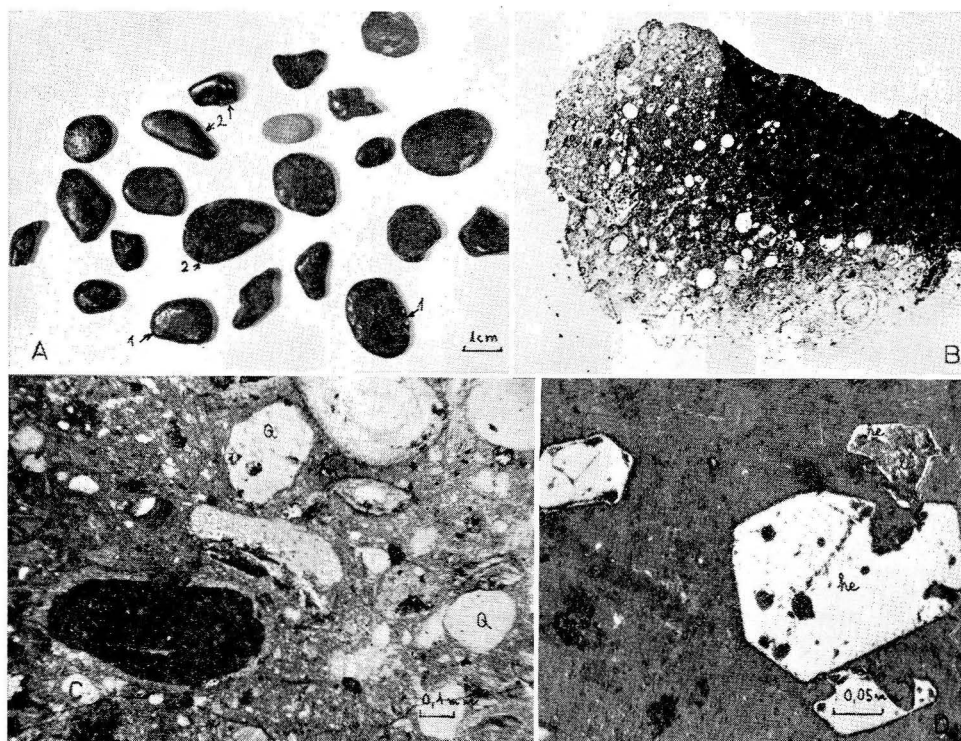


Sl. 9. Križna jama, Dežmanov rov. Zbrusek jamskega bisera v odsevni svetlobi in presek CaCO_3 obročkov, kjer vidimo preraščanje radialnih kalcitnih zrn v koncentrične obročke. Foto E. Grobelšek

Fig. 9. Križna jama, Dežmanov rov (the Dežman's Gallery). Thin section of the cave pearl in reflex light and cross section of the CaCO_3 rings, where the radial calcite grains overgrown in concentric rings are seen. Photo by E. Grobelšek

boksita. Nekateri med njimi so obdani z ovoji sige, tako da lahko govorimo o boksitnih pizolitih. Prodlike je v rov nanese še trajno tekoča voda, po njenem umiku v nižje nadstropje pa jih je oblivala kapnica in jih spremenila v »jamske bisere«. Nekaj biserov brez boksitnega jedra je analizirala E. Grobelškova (1971) in v enem izmed njih ugotovila, da ima v jedru kremen z infiltriranim limonitom in glineno snovjo. Jedro je obdano s 15 ovoji kalcita (sl. 9). Pizoliti z boksitom v jedru so bolj redki, vendar se razlikujejo od drugih po večji teži. Zgradba pizolitov iz Križne jame je delno že znana (Z. Wojcik, R. Gospodarič, 1964).

Boksitne prodlike nahajamo v vdolbinah skalnega dna po vsem Vodnem rovu. Vodni rov ima izrazito erozijsko obliko s fasetami in policami ter najbolj poglobljeno skalno dno med vsemi drugimi rovi Križne jame. Ima podobo cevi, izdelane v skali. Današnje dno je kotanjasto zaradi mlajših sigovih pregrad. V kotanjah pred pregradami so številni kupi boksita. Kot specifično težje jih more današnji tok le premetavati, ne pa odnesti, ker nima tolikšne transportne moči, da bi jih dvignil čez sigove pregrade. Sem pa jih je nekoč nanese voda iz erodiranih vzvodnih nahajališč konglomerata in proda. V prostoru Otoka je boksita največ (sl. 10). Nekaj kosov je analizirala E. Grobelškova in ugotovila za boksit značilno kemično sestavo: SiO_2 6,1 %, TiO_2 1,9 %, Fe_2O_3 19,2 %, Al_2O_3 64,4 %, CaO sled, MgO 0,06 %, MnO 0,01 %, Ni —, P_2O_5 sled. Ugotovila je nadalje, da imajo do 3 cm veliki prodniki gladko, svetlečo se in motno površino ter oolitno strukturo. Vendar zbrusek ne kaže na prave oolite z jedrom, pač pa na okroglaste koloidne tvorbe limonita. Vidimo še neenakomerno infiltriran limonit, ki je delno že kristalil v goethit, poleg pa še koloidni boehmit, hidrargilit, nekaj kremena in kaolina. V koloidni osnovi so tudi kristali hematita, kakršne smo že videli v najmanjših frakcijah zgoraj obravnavanih peskov.



Sl. 10. Križna jama, Otok. Boksitni prodniki, A — sploščeni prodniki rogličastega (1) in dobro poliranega boksita (2), B — oolitni prodnik v zbrusku, temno le limonit, C — oolitna struktura boksita v presewni svetlobi, belo so kremen in Al minerali, črno in sivo pa limonit, D — hematitni kristali v koloidni osnovi oolitnega boksita, zbrusek v odsewni svetlobi. Foto E. Grobelšek

Fig. 10. Križna jama, Otok (the Island). Bauxite pebbles, A — flattened pebbles of hornby (1) and good polished (2) bauxite, B — oolitic pebble in thin section, the dark is limonite, C — oolitic bauxite structure in transparent light, the white is quartz and Al minerals, black and grey is limonite, D — hematite crystals in colloidal basis of oolitic bauxite, thin section in reflex light. Photo by E. Grobelšek

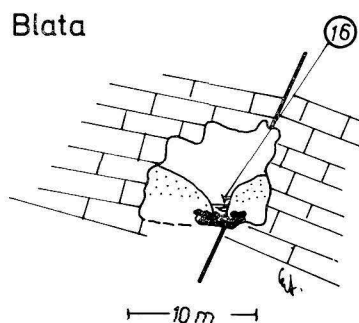
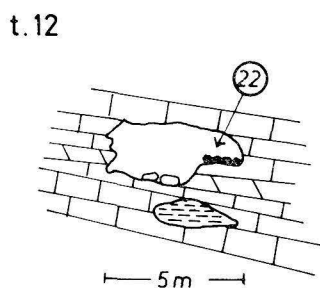
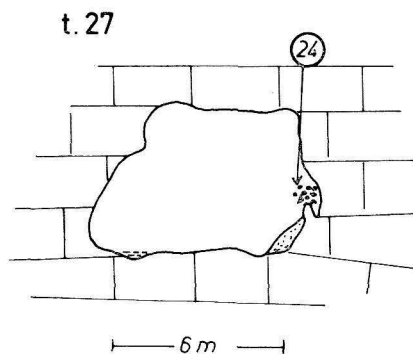
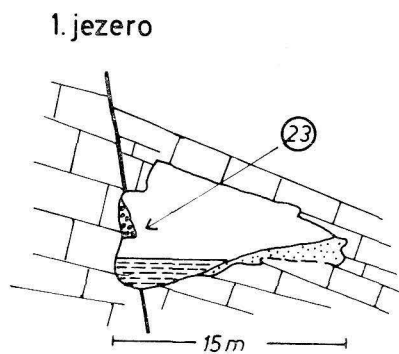
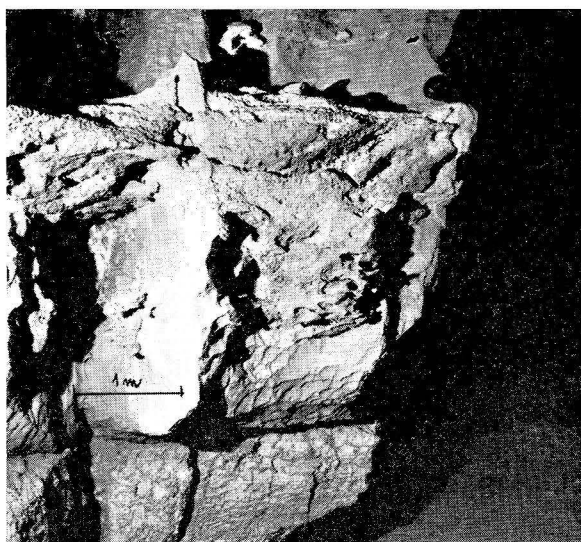
Konglomerat ob 1. jezeru

V severni steni 1. jezera je več pokončnih špranj in ovalnih prehodov med njimi. Erozijski ostanek konglomerata v velikosti 2×2 m se drži ovalne stene 2 m nad nizko gladino vode (sl. 11). Konglomerat izstopa po rumenkasti barvi od sive stene, čeprav se po stopnji erozijske izoblikovanosti med seboj ne razlikujeta. Konglomerat opazimo, če smo s čolnom tik stene. Je ostanek prodnega zasipa na nekdanjem skalnem dnu rova, ki je bilo pozneje znižano (sl. 12, profil 1).

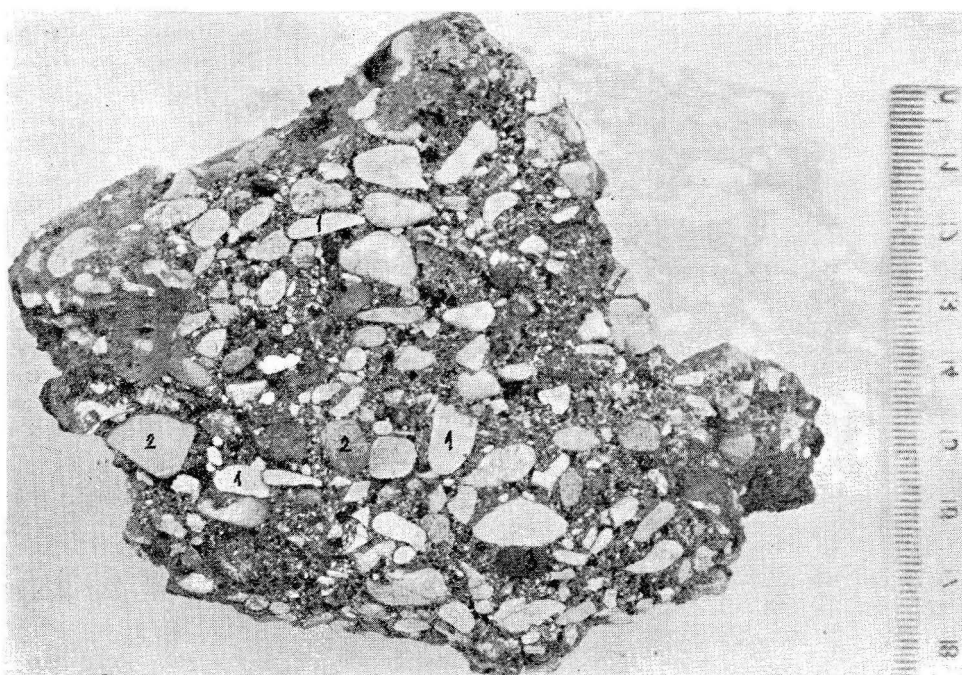
V konglomeratu (vzorec 23) so raznobarvni prodniki in peščenoilovnato sigasto vezivo v prostorninskem razmerju 1 : 1. Analiza zrnivosti je pokazala

Sl. 11. Križna jama. Konglomerat v steni nad 1. jezerom.
Foto P. Habič

Fig. 11. Križna jama. The conglomerate in the wall above the 1. jezero (the 1st Lake).
Photo by P. Habič



Sl. 12. Križna jama. Prečni profili rovov z nahajališči proda
Fig. 12. Križna jama, cross sections of the galleries with gravel finding-places



Sl. 13. Križna jama. Alohtoni konglomerat med 1. in 2. jezerom (vzorec 22), 1 — triasni dolomit, 2 — liasni dolomit, 3 — boksit. Foto C. Narobè

Fig. 13. Križna jama. Allothonous conglomerate between the 1. jezero (the 1st Lake) and 2. jezero (2nd Lake), sample 22, 1 — triassic dolomite, 2 liassic dolomite, 3 — bauxite. Photo by C. Narobè

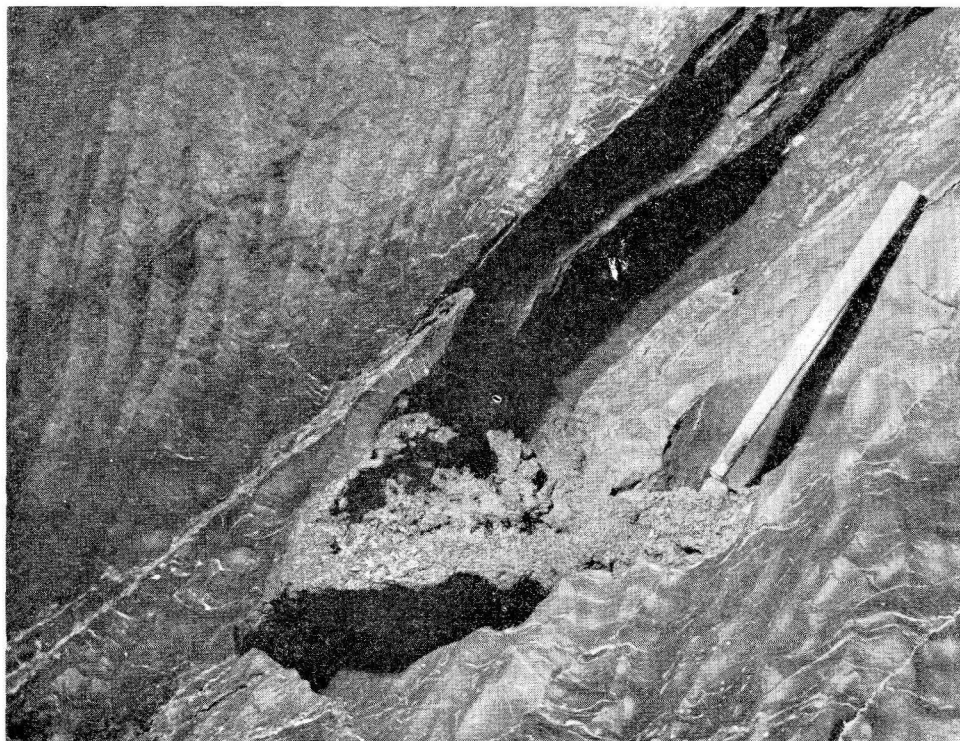
65 % proda, 22 % peska in 13 % ilovice. Prod ima 53 % triasnega dolomita, 9 % jurskega dolomita, 11 % oglatih kosov jurskega apnenca in 27 % ploščnatih kosov boksita. Prodnike triasnega dolomita spoznamo po svetlosivi barvi, drobnnozrnati strukturi in prepredenosti z drobnimi kalcitnimi žilicami. Takšne značilnosti ima zgornjetriasni dolomit na južni strani Bloškega polja. Jurski (liasni) dolomit izstopa po zrnati strukturi in rjavosivi barvi. Ti prodniki so zašli v jamo skupaj s prodniki triasnega dolomita s pomočjo vode, ki je tekla skozi mejni triasni in liasni dolomit. Nekaj jurskega dolomita lahko izhaja iz jame same, saj sega njen danes dosegljivi sklep do primarnega nahajališča tega dolomita. Oglate kose apnenca je voda pobrala med pretokom v vodnem rovu. Med kratkim transportom se niso mogli zaobliti. Dokaj zaobljeni in ploščati prodniki oolitnega boksita so brez reda pomešani med ostale prodnike. Voda jih je odložila istočasno z dolomitom, se pravi, da jih je prenašala po jami. Zato je boksit prav tako alohtonega izvora, njegovo primarno ležišče je iskati na površju v hidrografskem zaledju Križne jame.

Vezivo obravnavanega vzorca 23 je peščeno, ilovnato in apneno. V njem je 60 % karbonata, 25 % kremenovih delno zaobljenih zrn, 10 % limonitnih ooidov

in 5 % oolitov boksita. Karbonati so avtohtoni. Nekaj zaobljenih zrn rdečega kremena kaže na dolg transport in izvor v triasnih kamninah izven jame. Limonitni ooidi so po naravi svojega nastanka okrogli ali vsaj ploščnati, prav tako ooliti boksita, ki so delci večjih prodnikov. Peščeno ilovnato vezivo pa je podobno pesku, kakršnega smo analizirali v suhih in občasno poplavljenih odsekih rovov.

Med 1. in 2. jezerom pri poligonski točki 12 (sl. 12) je na skalnem pragu viden erozijski kanal iz razvojne faze, ko je jamska reka stalno tekla 2—3 m višje kot danes, ko teče v nedostopnem rovu, ki je sifonski in trajno zalit z vodo. Prestavitev v sifonski tok je morda povezana s tukajšnjo geološko zgradbo. Med dobro vidnimi skladi apnenca je meter debel sklad dolomitiziranega apnenca, pod njim si je voda izdolbla današnjo pot. V starejši razvojni fazi pa je uspešno premagovala to petrografsko oviro, ker je imela večjo transportno in erozijsko moč.

V obravnavanem kanalu je 1—2 dm debela plast konglomerata (vzorec 22) tu in tam obdana s sigo. Prod je bil odložen na nekdanje dno rova, ki ga je naknadna erozija po sredini poglobila za meter.



Sl. 14. Križna jama, Vodni rov, v skalni špranji ohranjen erozijski ostanek sprijetega proda in peska. Foto P. Habič

Fig. 14. Križna jama, Vodni rov (the Water Channel). The erosional gravel and sand rests are conserved in the rocky fissure. Photo by P. Habič

Analizirani vzorec konglomerata ima 68 % proda, 13 % peska in 19 % ilovice, je torej sestavljen podobno kot najbližji vzorec 23. Prodna frakcija ima dobro zaobljene, bolj ploščnate kot okrogle kose. Videti je paralelno odlaganje enkrat večjih, drugih manjših prodnikov. Prodniki so s sigovim vezivom slabo sprijeti (sl. 13).

V prodni frakciji so kosi triasnega in jurskega dolomita, razmeroma dosti je oglatega in zaobljenega raznobarvnega roženca, ki zanj sodimo, da ima primarno ležišče v triasnih kameninah. Roženec je prestal podobno transportno pot kot triasni dolomit. Oolitni boksit nastopa v manjših prodnikih in količini kot v vzorcu 23. Kaže, da se je specifično težji boksit usedal iz vode pred ostalimi prodniki, saj ga je več v nižjih kot v višjih plasteh. V največji frakciji proda so redno kosi dolomita, apnenca in roženca, boksit pa je šele v naslednjih manjših frakcijah. Pri nekdanjem, pa tudi današnjem vodnem transportu je treba računati na odlaganje materiala različne specifične teže. Peščena frakcija ima podobno sestavo kot pri vzorcu 23.

Erozijske ostanke konglomerata najdemo v vijugavem Vodnem rovu še 3 m nad skalnim dnom pri poligonski točki 17, 2,5 m nad vodo pri točki 27 (sl. 12, profil 3 in sl. 14). Tukajšnji vzorec (sl. 14) pa je sestavljen le iz močno zasiganega debelega peska. Skoraj ves ostali prod, ki je bil nedvomno odložen po skalnem dnu je erodiran.

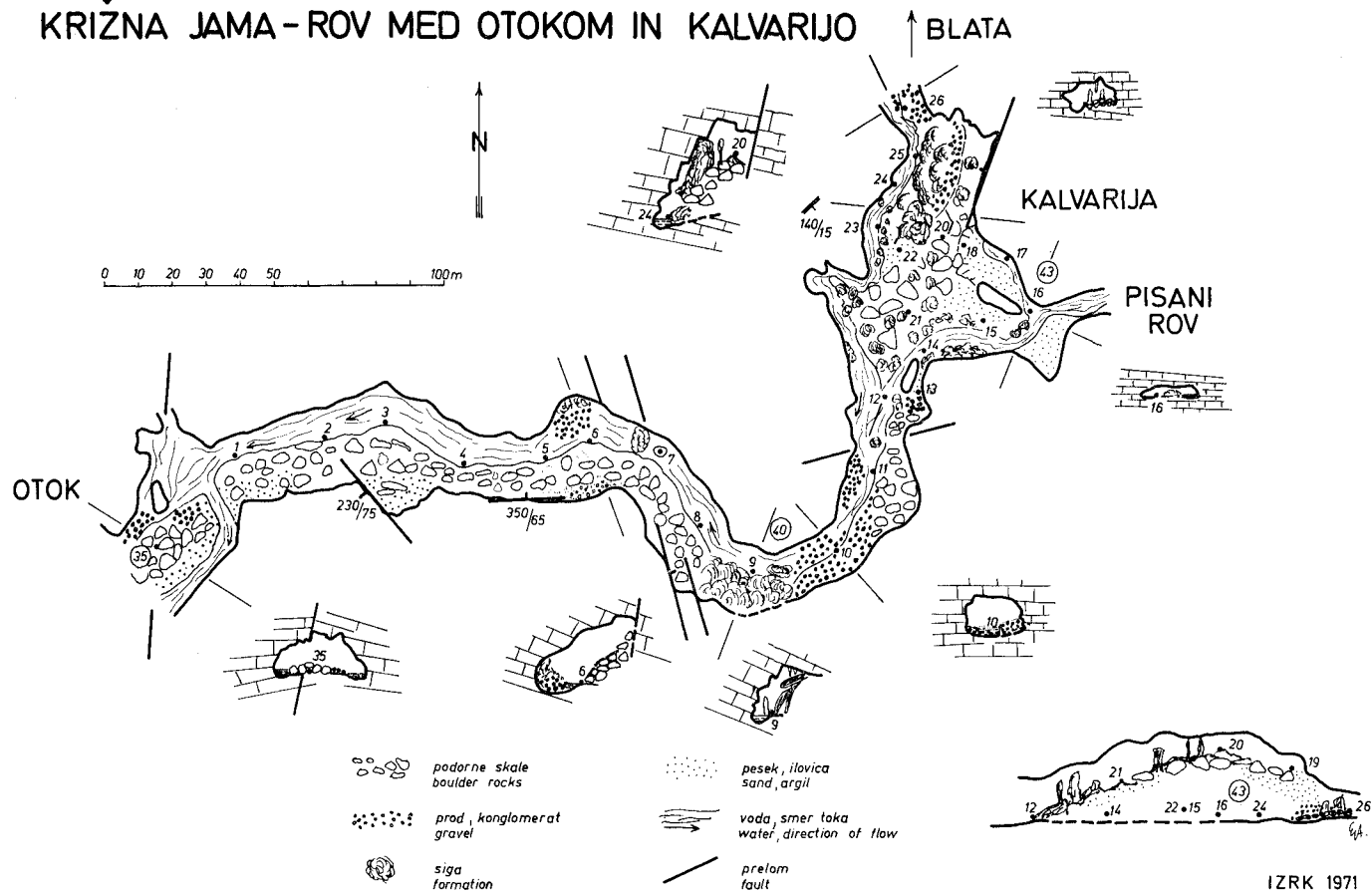
Konglomerat okoli Kalvarije

Glavni rov med Otokom in Kalvarijo se razlikuje od zgoraj obravnavanih po dvakrat večji razsežnosti in po podornem materialu ob južni steni (sl. 15). Proti jugovzhodu položno nagnjeni, pol metra debeli skladi so presekani in pretrti ob prelomih. Podorne skale so delno prekrite s poplavnim peskom in ilovico tudi do 20 m nad današnjim vodnim tokom. Skozi pretrti strop prenikajoča voda je odložila sigo le pri pol. t. 40, kjer baldahini sige zapolnjujejo južno polovico rova. Današnja voda spodjeda bloke in sigo, da se lomijo v vodno korito, pa tudi erodira skalno dno in odnaša stari prod in konglomerat. Ta se je ohranil tam, kjer ga je siga trdno sprijela s skalo (pri t. 39) in povsod tam, kjer ga je obvarovala pred erozijo (sl. 16). Tako si razlagamo obsežno ohranjenost nahajališče konglomerata v prostoru pred Kalvarijo. Siga in podorni bloki so zavirali tok vode in pospešili usedanje njenega plazečega tovara (proda) na skalno dno in ga tudi kasneje delno obvarovali pred erozijo.

Vzorca 13 a in 13 b sta iz konglomerata v nahajališču pri pol. t. 40. Prodniki so bili odloženi v različno debelih plasteh, kjer so enkrat bolj, drugič manj povezani s peščenoilovnatim vezivom (sl. 17). Ploščnati delci so odloženi paralelno, vidimo pa tudi njihove pokončne lege. Plazeči tovor je odložila ob skalnem dnu različno hitro tekoča voda.

Oba analizirana vzorca se razlikujeta po količini dolomitnih prodnikov. Vrhnja konglomeratna plast ima več dolomita (85 %) kot spodnja (55 %), tu je pa zato več zaobljenega roženca in kremena (40 %). Med delci so tudi oglati kosi matičnega sivega apnenca. V obeh vzorcih je 60 % peščenoilovnatega veziva.

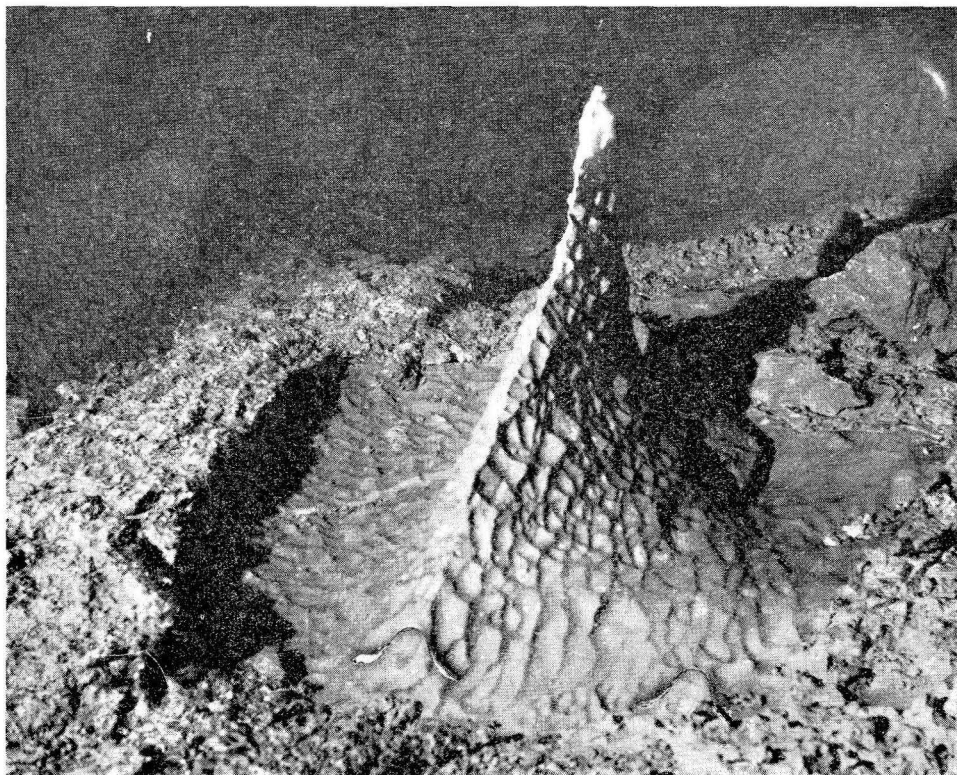
KRIŽNA JAMA - ROV MED OTOKOM IN KALVARIJO



IZRK 1971

Sl. 15. Križna jama, rov med Otokom in Kalvarijo z nahajališči alohtonega proda in konglomerata

Fig. 15. Križna jama, the channel between Otok (the Island) and Kalvarija (the Calvary) with finding-places of allohtonous gravel and conglomerate



Sl. 16. Križna jama, Otok, na skalnem dnu okrog skalne čeri ohranjeni konglomerat.
Foto P. Habič

Fig. 16. Križna jama, Otok (the Island). The conglomerate conserved on the rocky bottom around the rocky reef. Photo by P. Habič

Prod ob Kalvariji se je odložil in ohranil zaradi posebne morfološke situacije, ki je pogojena s strukturo okoliške kamnine. Sigova kopa in podori so vplivali na potek sedimentacije, kakršno lahko vidimo tudi na področju Blat za podorno Kalvarijo. Tudi tamkajšnji podor je zaviral pretok vode in omogočil odlaganje plazečega tovara, ki sta ga kasneje pokrila siga ter poplavna ilovica in pesek.

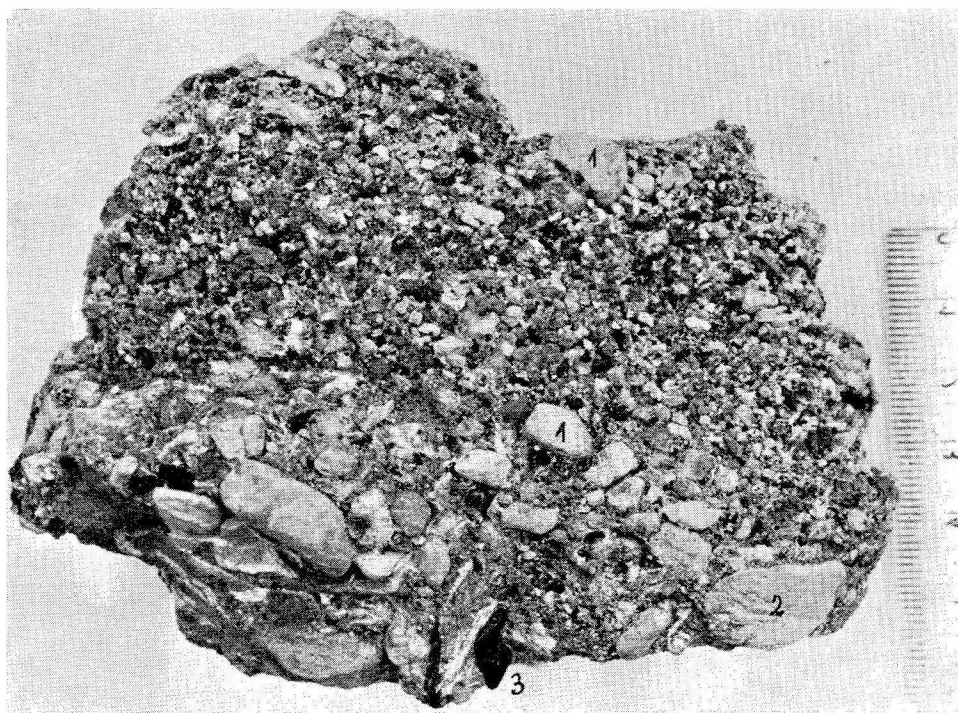
Vzorec 16 smo vzeli med Medvodjem in Ključem v Blatih (sl. 12, profil 4). Nekaj dm debela plast leži na skalni podlagi pod poplavno ilovico in peskom. Med ilovnatimi bregovi teče voda v pol metra široki, v skalno podlago vdeleni strugi. Razkrit konglomerat je slabo vezan s peščenim vezivom, ki ga je v primerjavi s prodniki skoraj polovica.

Prod je sestavljen iz 80 % triasnega in jurskega dolomita, 15 % zaobljenih in oglatih, črnih ter belih kosov roženca in 5 % boksitnih zrn. Zaobljeni prodniki dolomita so odloženi paralelno. Sestava kaže na zaledje, sestavljeno iz dolomita in kamnine, ki ima dosti roženca. V tem primeru bi bile to lahko

zgornjetriasne kamnine Blok. Odsotnost boksitnih zrn lahko tolmačimo s tem, da tam ni boksitnih ležišč. V vzorcu manjkajo tudi kosi matičnega apnenca. Sklepamo, da je bila transportna pot skozi kompaktni rov brez podorov kratka. V enakomerno širokem in visokem rovu Blat je kamnina dejansko malo pretrta. Zanimivo je, da je analizirani vzorec zelo podoben zgornjemu delu konglomeratne plasti (13 b) pri Kalvariji. Kaže, da sta bila odložena istočasno ob podobnih hidroloških razmerah. Z rastjo podora Kalvarije ali pa morfoloških sprememb v zaledju pa je bila dotočna vloga Blat zavrta in prekinjena. Voda je zastajala in nanašala le še ilovnato peščen sediment, kot smo ga spoznali pri vzorcu 15 a. Kasnejša oživljena erozija je začela spodjedati podorni grič in omogočila vnovično vodno funkcijo Blat, ki ima danes 1,5 m nižje skalno dno kot sosednji Pisani rov.

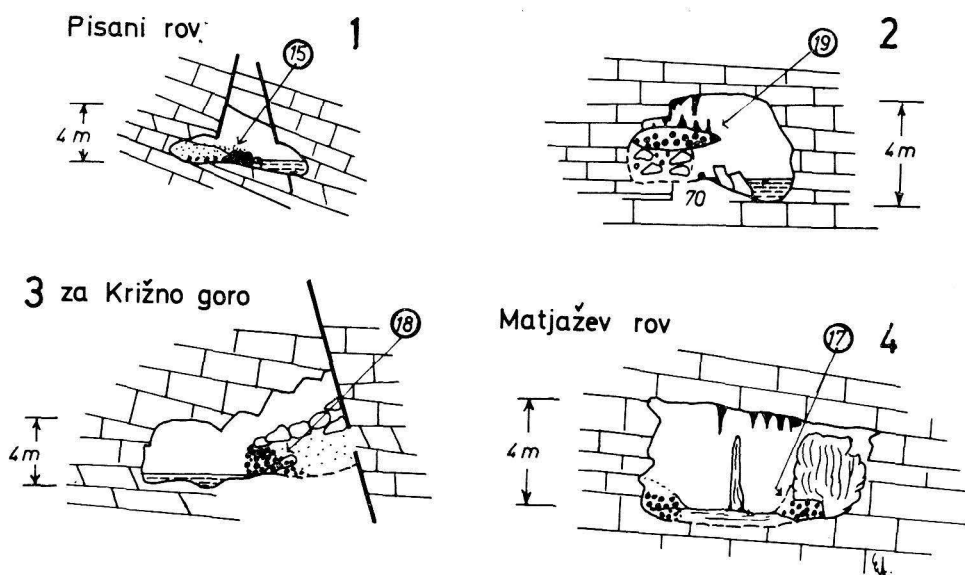
Prod in konglomerat v Pisanem rovu in ob Križni gori

Med Kalvarijo in Križno goro je Pisani rov, ki ga označuje predvsem nizki začetni del takoj za podorom Kalvarije. Ob stenah, ki so zaradi nizkega stropa zelo neizrazite, so se vendarle ohranili nanosi ilovice in peska, na nekem



Sl. 17. Križna jama, Kalvarija. Alohtoni konglomerat (vzorec 13), 1 — triasni dolomit, 2 — liasni dolomit, 3 — boksit. Foto C. Narobè

Fig. 17. Križna jama, Kalvarija (the Calvary). The allothonous conglomerate (sample 13), 1 — triassic dolomite, 2 — liassic dolomite, 3 — bauxite. Photo by C. Narobè



Sl. 18. Križna jama, prečni profili rovov z nahajališči proda
Fig. 18. Križna jama, cross section of the galleries with gravel finding-places

mestu pa stoje celo trije kapniki, katerih podnožje je zalito z vodo. Nedvomno so zrastle na suhem, kasneje pa jih je zalila voda, občasno prav do vrhnje konice, ki je 2 m nad današnjo nizko gladino vode. Pod ilovico pa smo vseeno lahko videli 2—3 dm debelo konglomeratno plast vzorca 15 (sl. 18, profil 1) na starejšem skalnem dnu, ki je meter višji od današnjega. Voda še vedno znižuje recentno skalno dno ob jugozahodni steni, na konglomerat ob severovzhodni steni pa odlaga, kadar je visoka, ilovico in pesek.

Vzorec 15 ima 55 % proda, 35 % peska in 10 % ilovice. Peščenoilovnatega veziva je manj kot zlepljenih delcev. Zrnavost je dokaj enakomerna, krivulja pa strma v odseku srednjega in delno drobnega proda. Tu prevladujejo zgornje-triasni in liasni dolomitni prod (65 %) in kosi (20 %) sivga, belega in celo rdečega roženca, ostali sestavini pa sta boksit in matični apnenec (sl. 19).

V decimeter debelem vzorcu je videti štiri proge različne zrnivosti. V vrhnji progi so večji kosi dolomita ($30 \times 14 \times 6$ mm) in boksita ($20 \times 17 \times 5$ mm) kot pa v spodnjih, drugi in tretji progi. Večji prodniki dolomita so zopet v najspodnejši četrti progi ($13 \times 10 \times 5$ mm). Tako vidimo tudi tu značilno spremenljivo sedimentacijo plazječega tovara, ki ga je odlagala voda po dnu rova.

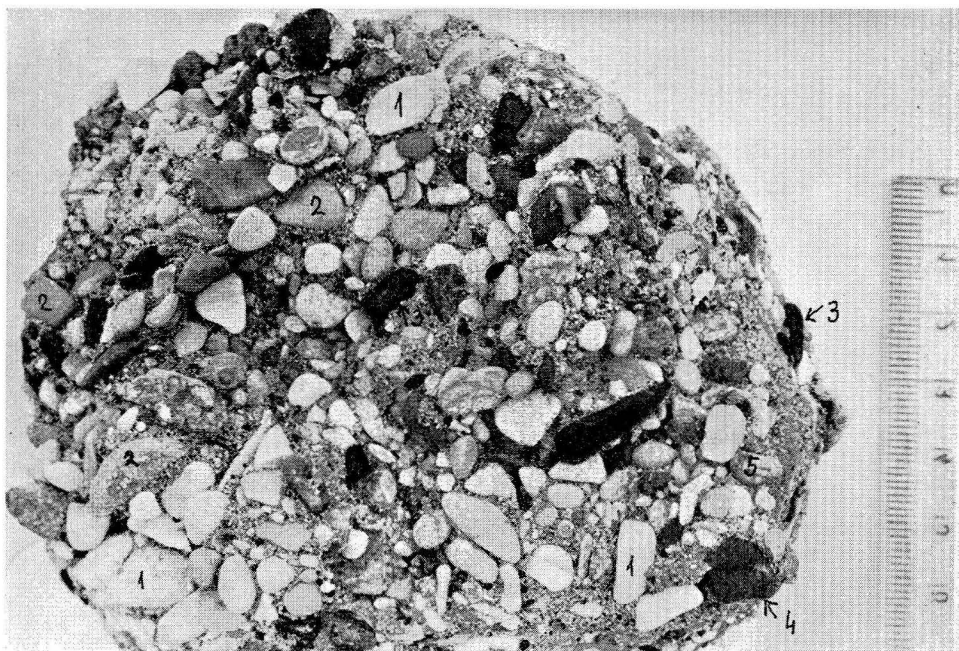
Omeniti je treba rdečkasto karbonatno in peščeno vezivo, ki ga v doslej obravnavanih vzorcih še nismo srečali. Takšne barve je ilovica, ki jo naplavlja v vodni rov skozi strop prenikajoča voda.

To dokazuje, da se je podobno prenikanje skozi strop dogajalo tudi v času sedimentacije proda in da je obstajala »terra rossa« v stropnih špranjah, morda

celo na površju nad jamo. V peščeni frakciji veziva se prvič pojavlja precej oolitov boksita, ki ga je v vseh nadaljnjih vzorcih iz območja Križne gore in Kristalne gore neprimerno več kot v Blatih. Sklepati smemo, da je prinašala tekoča voda skozi ta krak Križne jame večino boksita, ki ga v jami srečamo.

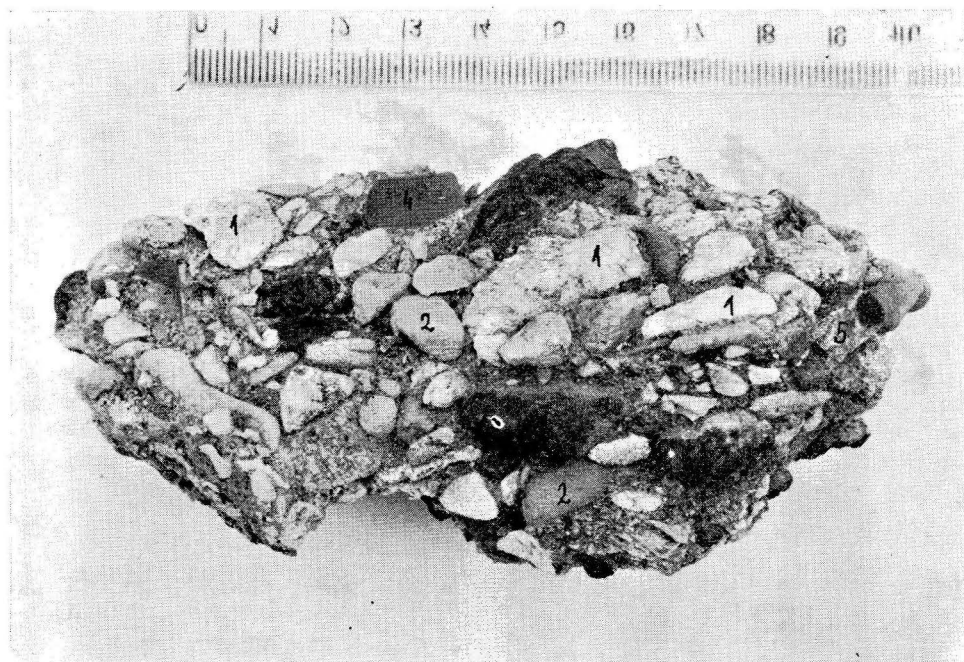
Tudi vzorec 17 (sl. 20), vzet iz nahajališča konglomerata ob severni steni Križne gore, ima razmeroma mnogo boksita. Pol metra debela plast konglomerata pokriva živo skalo malo nad vodno gladino. Vzorec kaže še zrna dolomita in roženca v rdečkastem ilovnatem peščenem vezivu, ki zavzema več kot polovico prostorninske teže vzorca.

Med dolomitnimi prodniki je največ jurskih. Številni oglati kosi matičnega apnenca pa so v zvezi z bližino podorne Križne gore. Tako sestavo sedimenta in njegovo odlaganje si razlagamo tako, da je vodni tok izpiral manjše kose apnenca med podornimi bloki in jih skupaj z ostalim materialom odložil za podorom v razširjenem prostoru, kjer je izgubil transportno moč. Podorna Križna gora je nastajala tako med transportom alohtonega materiala. Rov pa takrat seveda še ni mogel biti tako prekinjen s podornimi bloki kot danes, ko teče voda skozi neprehodne špranje.



Sl. 19. Križna jama, konglomerat iz Pisanega rova (vzorec 15), 1 — triasni dolomit, 2 — liasni dolomit, 3 — boksit, 4 — liasno doggerski apnenec, 5 — triasni roženec. Foto C. Narobè

Fig. 19. Križna jama, conglomerate from Pisani rov (the Gay Coloured Channel), sample 15, 1 — trassic dolomite, 2 liassic dolomite, 3 — bauxite, 4 — liassic-dogger limestone, 5 — triassic chert. Photo by C. Narobè



Sl. 20. Križna jama, Križna gora. Alohtoni konglomerat (vzorec 17), 1 — triasni dolomit, 2 — liasni dolomit, 3 — boksit, 4 — liasnodoggerski apnenec, 5 — triasni roženec.
Foto C. Narobe

Fig. 20. Križna jama, Križna gora (the Cress Mountain). The allochthonous conglomerate, sample 17, 1 — triassic dolomite, 2 — liassic dolomite, 3 — bauxite, 4 — liassic-dogger limestone, 5 — triassic chert. Photo by C. Narobe

Naplavine na obeh straneh podora Križne gore so različno sprijete. Onkraj podora so kupi proda, tostran podora po kupi konglomerata. Razlika v sprijetosti je povezana z dotokom kapnice. Skozi pretrti strop pritekajoča voda je ob stiku z jamsko reko nizvodno odložila sigo in povezala prod v konglomerat.

Za Križno goro (sl. 18, profil 3) smo analizirali prod vzorca 18. Prod (45 %), pesek (38 %) in ilovica (17 %) so odloženi v meter debeli plasti na skalni blok, 2 m nad današnjo gladino vode. Ker smo lahko analizirali nesprijeti material, dobljeni podatki odražajo pravo, tipično sestavo prodnate naplavine, ki lahko z njo primerjamo vse ostale vzorce konglomerata po jami. V obeh trikotnih diagramih in krivuljah zrnivosti (sl. 24 in 25) se vzorec 18 lepo vključuje med ostale vzorce. V meter debeli plasti sedimenta so svetlejše in temnejše proge nenakomerno odloženih prodnikov in peska. Vzeli smo tri poprečne vzorce (18 a, 18 b, 18 c) iz 35 cm debelih plasti, ki se mikroskopsko razlikujejo. Analiza je pokazala, da ima srednja plast dosti več delno zaobljenega roženca kot spodnja in zgornja plast, kjer prevladujejo prodniki jurskega dolomita. V vrhnji plasti nastopajo v prodni in peščeni frakciji namesto rožencev boksiti, prodniki triasne dolomita pa manjkajo. Za peščeno frakcijo srednje plasti velja omeniti

majhen odstotek kremenca (5 %) in rdečkasti videz plasti zaradi rdeče ilovice v vezivu. V taki sestavi vidimo različno mehanično razpadanje materiala v porečju takratne ponikalnice in tudi spremembe v njenih površinskih tokovih. Erozijska je bila osredotočena na neposredno okolico ponorov in jame, kjer prevladujeta jurski dolomit in apnenec ter boksit v njem.

Vzorec 19 smo vzeli s pol metra debele konglomeratne plasti, ki je ohranjena ob zahodni steni pri pol. t. 70, preden se Pisanemu rovu priključi Matjažev rov (sl. 18, profil 2). Na skalni podlagi so podorni bloki z nevezanim sedimentom, navzgor pa je trdna plast konglomerata pokrita s sigovo skorjo. Sedimente spodjeda jamska reka, ki sicer teče ob vzhodni steni in pogloblja skalno strugo. Verjetno je nekdanj segla prodna plast čez ves rov. Skorja sige vrh naplavin kaže na razvojno obdobje, ko je bil pretok vode zmanjšan na najmanjšo možno mero. Poplavni pesek na sigo pa odraža poplavno vodo, ki je ob normalnem vodnem stanju močnejše erodirala kot naplavljala. Speleogenetski procesi so se odvijali v sledečem vrstnem redu:

- poglobljanje vodnega korita, erozija;
- obdobje pogostnih poplav in zastojev pretoka vode;
- odlaganje sige, suha doba;
- večkratno odlaganje proda na podorne bloke in med nje;
- poglobljanje skalnega dna in erodiranje sten, podiranje stropa;
- nastajanje širokega in nizkega rova ob lezikah.

Konglomerat vzorca 19 ima 50 % prodnate, 35 % peščene in 15 % ilovnate frakcije; zadnji dve frakciji sta zajeti v vezivu skupaj s 50 % sige. V produ so kosi liasnega in zgornjetriasnega dolomita, boksita in roženca oziroma kremenca. V peščeni frakciji so poleg karbonatov še delno zaobljen kremen, limonitni ooidi in ooliti boksita.

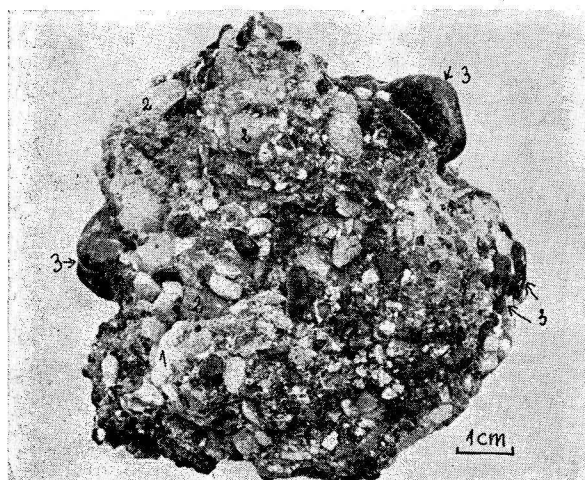
Prod in konglomerat okrog Kristalne gore

Konglomerat je ohranjen v obliki erozijskih ostankov ob stenah prav do podnožja Kristalne gore, kjer smo ga videli celo 5 m nad današnjo vodno gladino. Zasigan prod je v Zveznem rovu; prav pod stropom so do 2 cm veliki prodniki. Delno sprijeto naplavino v 4 m visoki plasti smo opazili konec Zveznega rova tam, kjer je možen sestop v Koralni rov in na Kristalno goro. Ta sediment vzorca 20 (sl. 21) ima sledeče karakteristike:

Makroskopsko ni opaziti nobene plastovitosti, vse je pomešano brez reda. Rdečkastega veziva je 50 %. Prodnata frakcija ima odločno največ boksita, nekaj zaobljenega roženca in liasnega apnenca. Podobno je sestavljena peščena frakcija, kjer je prav tako med vsemi do sedaj obravnavanimi vzorci najmanj karbonata in največ boksita, ni pa limonitnih ooidov. Po tej sestavi je vzorec dokaj drugačen od ostalih.

Konglomerat pod sigovo prevleko na stropu srečamo še prav v sklepu Zveznega rova onkraj gore. Tudi v njem je največ boksita v drobnem produ.

Možnost za tolmačenje ostalih nahajališč proda v nizvodnem vodnem kanalu pa vidimo v pojavu Matjaževega rova in v njem nastopajočega proda oziroma konglomerata (sl. 18, profil 4). Ta rov se danes le izjemoma spremeni v vodni rov. Večinoma je suh z zasiganimi tlemi, ki so meter višja od današnje



Sl. 21. Križna jama, Koralni rov. Alohtoni konglomerat, vzorec 20, 1 — triasni dolomit, 2 — liasni dolomit, 3 — boksit.
Foto C. Narobè

Fig. 21. Križna jama, Koralni rov (the Coral Gallery). The allochthonous conglomerate, sample 20, 1 — triassic dolomite, 2 — liassic dolomite, 3 — bauxite. Photo by C. Narobè

vodne gladine v Pisanem rovu. Voda je skozenj pritekala takrat, ko se je v jami odlagal prod. Ta je odložen v Matjaževem rovu v višini sigovih tal in nad njimi. Prod je celo pod mogočnim, v spodnjem delu delno erodiranim stebrom sige. Iz medsebojnega prepletanja teh pojavov sklepamo na:

- recentno rast sige;
- občasno zatišje z visoko vodo, odlaganje blata;
- erodiranje starejše sige in proda, poglobljanje struge;
- odlaganje sige in
- odlaganje proda po skalnem dnu hkrati z erozijo v rovu.

Medtem ko se je poglobljanje struge v Pisanem rovu nadaljevalo (sl. 22), je Matjažev rov z vsem svojim starejšim inventarjem ostal na »suhem«. Prestavitev vodotoka v Zvezni rov je morda povzročilo vse bolj intenzivno podiranje Kristalne gore, ki je z manjšimi razsežnostmi že obstajala v dobi aktivnosti Matjaževega rova. To dokazujejo med prodom nastopajoče podorne skale pri Koralnem rovu in v začetku Zveznega rova (sl. 23).

Značilnosti proda v Križni jami

V skupnem pregledu proda in konglomeratov pridemo do sledečih sklepov:

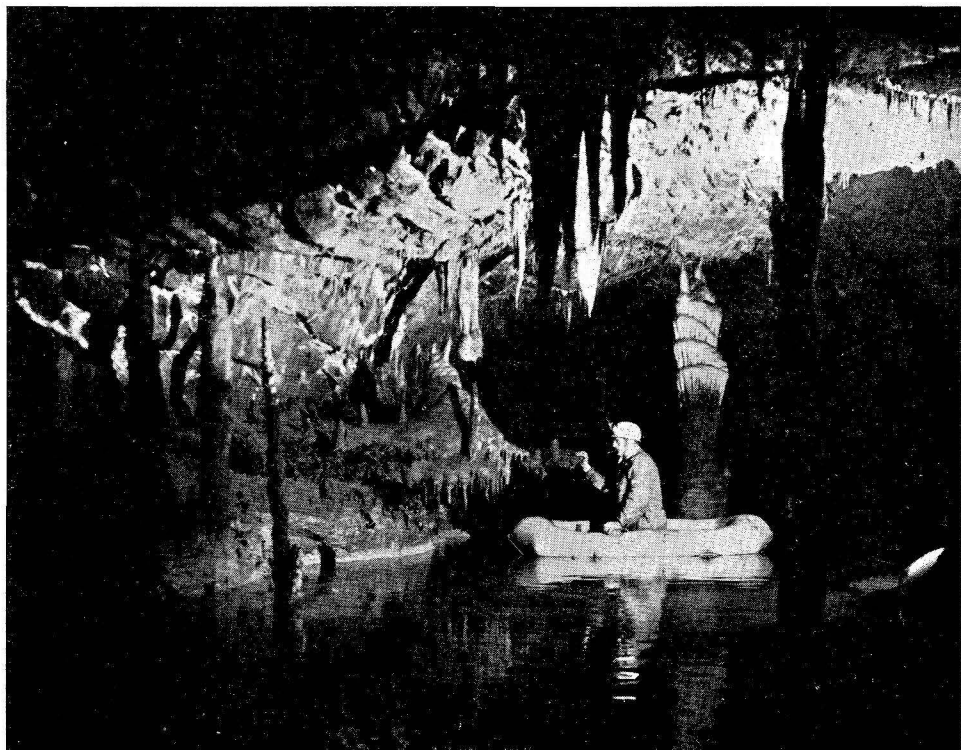
1. Prod in konglomerat nahajamo v vodnih rovih po vsej jami. Verjetno sta tudi v obdobju poplavljenih in suhih rovih, vendar ju pokrivajo mlajše, peščenoilovnate naplavine, siga in podori.

2. Več tega sedimenta je ohranjenega ob stenah in na skalnem dnu okoli Kalvarije, Kristalne gore in Križne gore, kar si razlagamo z morfologijo podzemeljskega prostora. Voda se je tod bolj ustavljala in odlagala več materiala kot drugod.

3. Razmerje med prodom, peskom in ilovico je precej stalno. Krivulje zrnivosti poedinih vzorcev se med seboj le malo razlikujejo.

4. Med konglomeratom na pritočni in odtočni steni Križne jame so razlike v sprijetosti. Na pritočni strani je več rahlo vezanega materiala, medtem ko so na odtočni strani ohranjeni manjši ostanki trdnih konglomeratov. Različna sprijetost je precej odvisna od tega, kje so bili prodniki odloženi in kako so jih poznejši speleogenetski procesi ohranili pred sigotvorno vodo ali pred erozijo.

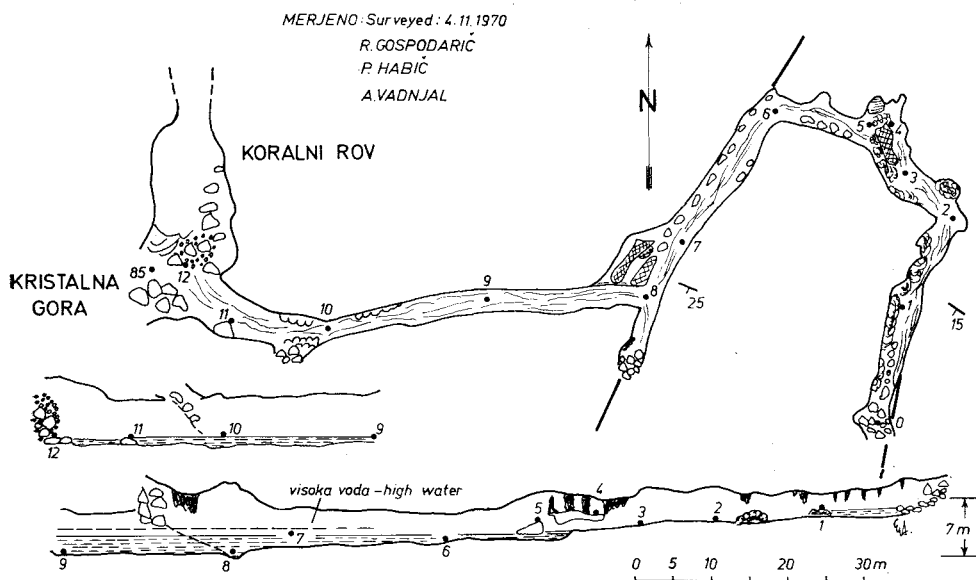
5. Zrnavost proda se po jami bolj spreminja kot zrnavost peska. Prod s kamninami različne specifične teže je bil odložen ob neenakomernih hidroloških pogojih. Sloji konglomerata in proda so sestavljeni iz bolj prodnatih in manj prodnatih plasti, kjer vidimo ponekod dobro, drugod pa slabo plastovitost, zrnavost se spreminja po vertikali in horizontali.



Sl. 22. Križna jama, pred Kristalno goro. Vodni rov krasijo številni kapniki. Siga je nastajala še v suhem rovu vrh alohtonega proda, ki je bil kasneje erodiran, kopa sige (v sredini slike) pa je obvisela ob steni. Voda je zalila rov in na sigo odložila poplavno ilovico. Foto P. Habič

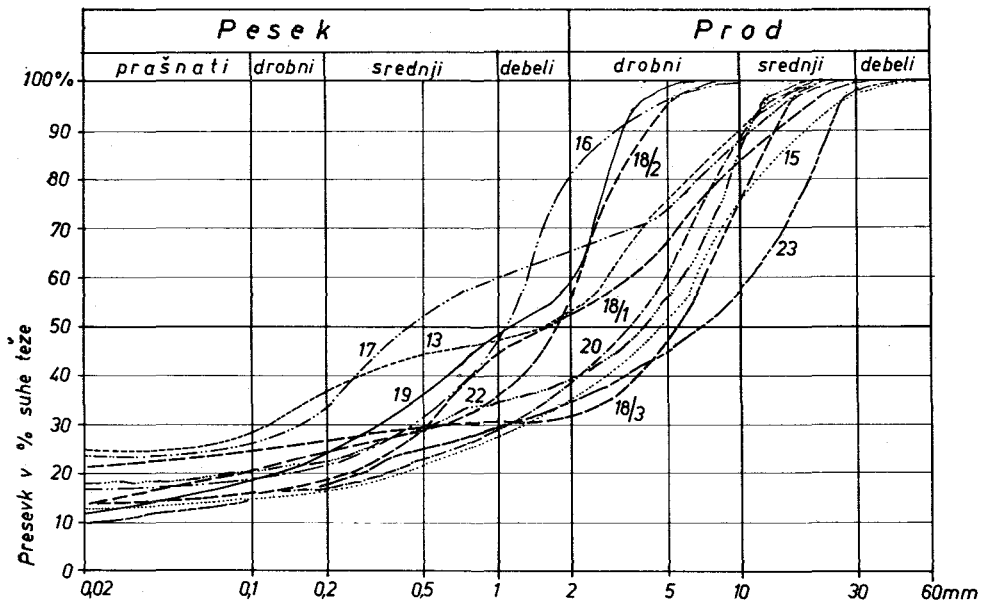
Fig. 22. Križna jama, before Kristalna gora (the Crystal Mountain). The Water channel is decorated by numerous concretions. The flowstone originated in the dry gallery above the allothonous gravel, which have been eroded later, and the concretion's stack (in the middle of the photo) remains hanging on the wall. The water has inundated the channel and deposited inundation loam above the concretions. Photo by P. Habič

KRIŽNA JAMA – Zvezni rov



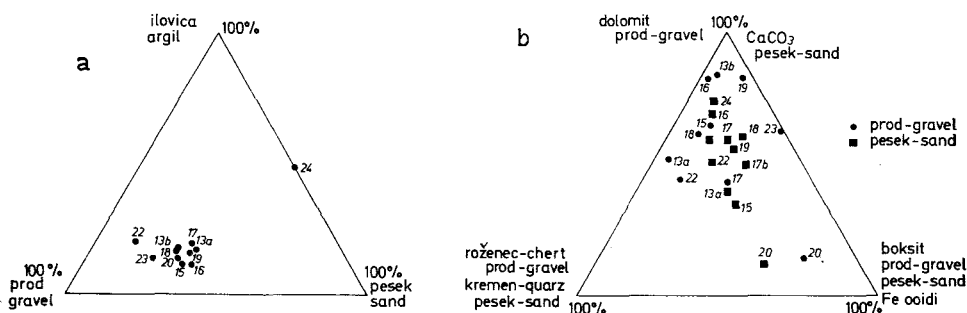
Sl. 23. Križna jama, Zvezni rov. Tloris

Fig. 23. Križna jama, the Union Gallery. Groundplane



Sl. 24. Križna jama. Krivulje zrnivosti preiskanih vzorcev proda

Fig. 24. Križna jama, the granulation curves of examined gravel samples



Sl. 25. Križna jama. Trikotnika zrnivosti (a) in petrografske sestave (b) proda
Fig. 25. Križna jama, triangles of granulation (a) and petrographic composition (b) of the gravel

6. Petrografska sestava je pokazala, da sta zgornjetriasi in liasni dolomit poglavitna sestavina proda, nato sledita boksit in roženec ter delno kremen. Najmanj je dolomita v prodru ob Kristalni gori (vzorec 20), kjer pa prevladuje boksit (sl. 25).

7. Petrografska sestava peska v konglomeratu se odlikuje po enakih odstotkih ooidov, delno zaobljenih zrn kremenca in po različni količini dolomitnih oziroma kalcitnih vključkov. Njihov odstotek se spreminja med 10–60 %.

8. Pesek analiziranih vzorcev konglomerata in proda se petrografsko ujema s peskom v suhih in obdobjno poplavljenih rovih.

Mehanizem odlaganja proda in peska

Preiskave so pokazale, da se je alohtoni material odlagal na dva različna načina: kot plazeči in lebdeči tovor.

Na skalno dno in stene se je odlagal prod v eni razvojni fazi. Tedaj je morala teči po jami reka s hitrostjo najmanj 1 m/s, da je lahko prenašala alohtoni material in ga prestavljala po skalnem dnu. Ta mejna hitrost velja za okoli 10 mm velike prodnike, kakor je razvidno iz krivulje mejnih hitrosti za odlaganje plazečega tovara (E. White, 1968, 124). Ob spremenljivi hitrosti vode so se premikali včasih večji, včasih le manjši kosi, tako da je neenakomerno odlaganje po skalnem dnu povsem razumljivo. Specifično težji in enako veliki prodniki boksita so se ob določeni hitrosti vode manj premikali in hitreje odložili kot specifično lažji, a enako veliki prodniki dolomita in roženca. Zato tudi najdemo v nekaterih vzorcih več boksita, v drugih pa več dolomita.

Poleg proda je voda prenašala tudi pesek in ilovico. Pesek se je usedal skupaj s prodrom, kolikor bolj se je približeval prodni frakciji, a lebdel in potoval z vodo, če je bil drobnejši. Pri sedimentiranju proda pa je bila hitrost pretoka mnogo večja. Lebdeči material se je mogel usedati le v rovih, kjer je takratna voda zastajala, ne pa v rovih, kjer se je odlagal prod. V tisti dobi ni moglo priti do večjih akumulacij ilovnatga peska, lebdeči tovor je voda odnesla s seboj v neznane podzemeljske prostore in v Cerkniško jezero.

Hidrološke razmere so se spremenile potem, ko se je konglomerat že zacementiral in bil delno prekrit s sigo. Nikjer namreč nismo opazovali neposrednega prehoda prodnih plasti v peščene ali ilovnate, ki bi kazale na postopno zmanjševanje hitrosti vode.

Pri odložitvi proda in sige smo priče hidrološkim razmeram, ki se odlikujejo z velikimi količinami suspendiranega peska in ilovice. Gladina tedanje podzemelske reke se je spreminjala in dosegla celo višine celotne evakuacije rovov v skali. Ko se je prilagajala morfološko različnim rovom, pa je spreminjala hitrost in transportno moč ter tako oddajala lebdeči tovor v široke prostore in rove, na podore in sigo. Tedaj so se zapolnili Suhi rov, Medvedji rov, Cerarjeva in Velika dvorana ter sklep Dežmanovega rova.

Ta faza, ki gotovo odraža spremembo v površinski klimi, pa ni trajala do danes. V nekem obdobju je voda začela erodirati, odnašati ilovnato peščeno naplavino, sigo in konglomerat pod njo ter navsezadnje še poglobljati staro skalno dno. V kamnini si je poiskala boljše prevodne poti skozi Zvezni rov ob Kristalni gori, skozi Glavni rov med Otokom in 1. jezerom ter skozi Dežmanov rov. Prav tako je pustila ob strani današnje suhe rove. Sifoni med 1. in 2. jezerom ter med 1. ponorom in Dežmanovim rovom in Šulcejevo razpoko so le nadaljevanje te erozijske faze. Primer Matjaževega rova kaže, da je vmes nastajala še siga in da so se razvijali podori.

Izvor fluvialnih sedimentov

Petrografska preiskava je pokazala, da so vrodu in konglomeratu štiri poglavitne sestavine:

1. prodniki zgornjetriasnega in liasnega dolomita,
2. prodniki in grušč roženca,
3. prodniki oolitnega boksita in
4. grušč liasnega apnenca, to je matične kamnine.

V vezivu sta poglavitni sestavini kremen in limonitni ooidi.

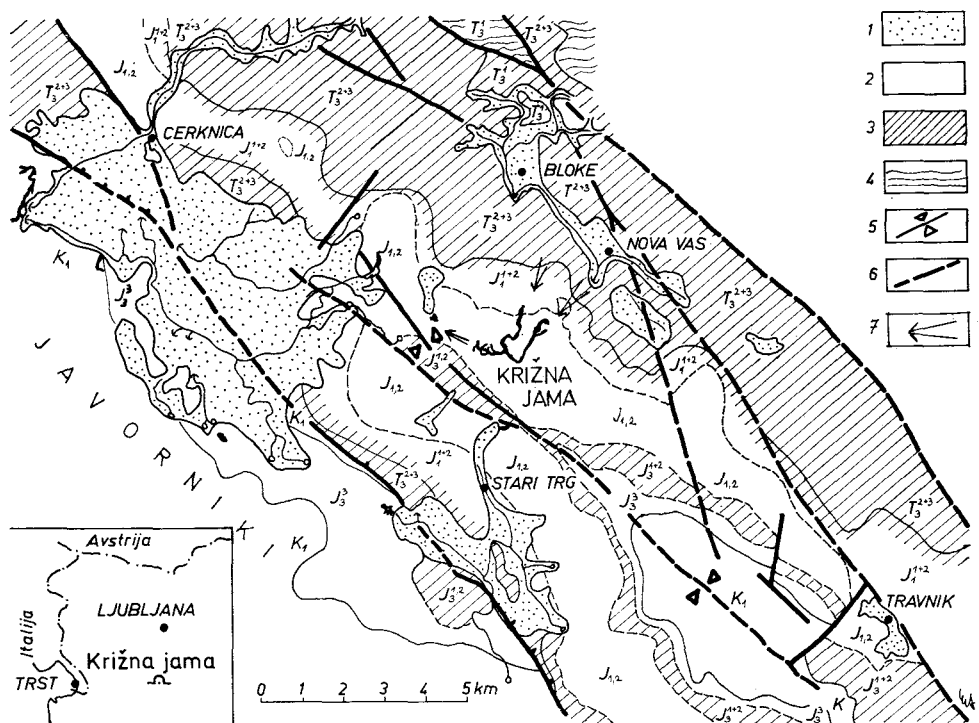
Oglat grušč matičnega apnenca je avtohton, lahko bi rekli tudi paravtohton, ker je doživel le kratek transport. Jamska reka je apnenec odtrgala iz okoliških podornih skal, sten in dna. Takih vključkov je več okoli podornih dvoran Kalvarije, Križne in Kristalne gore, manj pa v Blatih, kjer podorov ni.

Naslednji po dolžini transporta je liasni dolomit. Zaobljenost prodnikov govori, da je prispel v danes znana nahajališča iz prostorov, ki so izvotljeni v litološkem horizontu, kjer liasni apnenec konkordantno prehaja navzdol v zgornjetriasni dolomit. Tega prehoda v jami ne moremo doseči.

Prodniki zgornjetriasnega dolomita so alohtoni. Zelo zaobljeni imajo dostikrat milimetrski prepereli ovoji. Morda so kot prodniki že obstajali v površinskem povirju.

Med alohtone spadajo tudi raznobarvni roženci. Zaobljeni in oglati kažejo na prepereli material v izvenjamskih nahajališčih. V poštev prihajajo zgornjetriasni skrilavci, peščenjaki in dolomiti z roženci, ki jih geološka karta kaže severno od Bloškega polja. Tam je tudi največ zgornjetriasnega dolomita. Omenjene alohtone prodnike je v jamo naplavila voda z Bloškega polja in okolice. Od tod prihaja voda v Križno jamo še danes.

Naslednjo skupino alohtonih naplavin sestavljajo oolitni boksiti. V konglomeratu nastopajo kot prodniki, v pesku pa kot posamični ooliti. Boksiti so skoraj v vseh vzorcih. Njih količina pa nizvodno od Kristalne gore proti Kalvariji in Dežmanovemu rovu pada. Ker v Blatih boksita nismo našli, se zdi, da se podzemeljski prostori onkraj Kristalne gore približujejo primarnim boksitnim ležiščem v jurskih in drugih apnencih. V bližini Križne jame poznamo boksitne prodnike v Mrzli jami pri Ložu (R. Gospodarič, 1971), ki je nekoč delovala kot izvirna vodna jama. Po njeni legi in razsežnosti sodimo, da je mogla odvajati kraške vode neposrednega zaledja, krasa vzhodno od Loža tja do Loškega

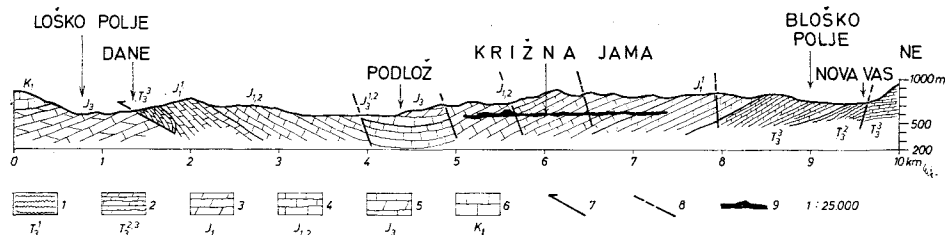


Sl. 26. Skica geološke zgradbe okolice Križne jame, sestavljena po geol. karti listov Postojna in Ribnica 1 : 100 000.

- | | |
|-------------------|---------------------------|
| 1 — kraška polja, | 5 — sinklinala, |
| 2 — apnenec | 6 — prelom, |
| 3 — dolomit | 7 — podzemeljski tok vode |
| 4 — skrilavec | |

Fig. 26. The sketch of the geological structure in the vicinity of Križna jama, composed after Geological map, sheets Postojna and Ribnica 1 : 100 000.

- | | |
|---------------------|------------------------------|
| 1 — karstic poljes, | 5 — syncline, |
| 2 — limestone | 6 — fault, |
| 3 — dolomite | 7 — underground water course |
| 4 — schist | |



Sl. 27. Vzdolžni geološki profil med Bloškim in Loškim poljem s položajem Križne jame.

1 skrilavec, 2 dolomit-zg. trias, 3 dolomit-las, 3 apnenec, las-dogger, 5 apnenec in dolomit, malm, 6 apnenec, sp. kreda, 7 predjamski nariv, 8 prelom, 9 podzemeljski rovi Križne jame

Fig. 27. Longitudinal geological profile between Bloško and Loško poljes, the situation of Križna jama drawn in.

1 — schist, 2 — dolomite, Upper Triassic, 3 — dolomite, Liassic, 4 — limestone, Liassic-Dogger, 5 — limestone and dolomite, Malm, 6 — limestone, Lower Cretaceous, 7 — Predjama over-thrust, 8 — fault, 9 — underground channels of Križna jama

potoka. Ta svet sestavljajo jurske in kredne kamenine, kjer so možna primarna nahajališča boksita. Od tod je lahko voda prinesla boksit tudi v Križno jamo, oziroma v njen Zvezni in Pisani rov, ne pa tudi v Blata, kjer ga kakor rečeno, ni. Če je voda prinašala v Križno jamo različen prod, je še lažje dovajala kremenov pesek in ilovico z okoliškega kraškega površja in Bloškega polja. Kraško površje širše okolice jame je še danes tu in tam pokrito z ilovicami in peski, ki kažejo na nekdanje bolj obsežne krpe klastičnega materiala bodi fluvialnega, bodi eolskega izvora. Mnogo takega materiala so izprale v podzemlje tudi padavine. V to skupino spadajo tudi alohtoni limonitni ooidi.

Geološko zgradbo okolice Križne jame prikazuje sl. 26. Iz nje je razvidno, da je v jami ohranjeni prod mogel zaiti v podzemlje z nekraškega sveta Bloškega polja.

Najstarejše kamnine v okolici Križne jame so razgaljene na Bloškem polju. To so kamnine ladinske in karnijske stopnje: peščenjak, tufski lapor in glinasti skrilavec, dolomiti s plastmi in gomolji roženca, dolomitne breče, skrilavci in peščenjaki z Fe boksitno rudo. Norijsko in retsko stopnjo zastopajo pasasti in zrnati dolomiti. Ta, tako imenovani glavni dolomit, sestavlja tudi dno Loškega polja in se v ozkem pasu vleče proti severozahodu k Cerkniškemu jezeru ter proti jugovzhodu proti Pudoču. Omenjeni dolomit je le relativna hidrogeološka bariera za vode, ki se iz Bloškega polja podzemeljsko prebijajo v jurski apnenec in dolomit okolice Križne jame.

Triasni dolomit prehaja zvezno v liasni dolomit pri Bloški polici in na Loškem polju. Stratigrafsko debelino tega dolomita cenijo na 200 m, prehaja pa v skladoviti in oolitni apnenec srednjega liasa z vodilnimi litiotidnimi školjkami.

Više ležeče, debeloskladoviti oolitni apnenec z gnezdi dolomita zgornjega liasa in doggerja vsebuje tekstularije, odlomke mehkužcev in krinoidov, torej nobenih vodilnih mikrofossilov. Ker za eno ali drugo kronostratigrafsko opredelitev vzorcev tudi vnovične preiskave apnenca med Bloško polico in Ložem niso

dale novih podatkov, uvrščamo kamnine v ožji okolici Križne jame v nerazčlenjeno liasnodoggersko serijo.

Favnistično je na območju Križne gore (856 m) zanimiv zrnati dolomit s polami apnenca ($J_3^{1,2}$). Apnenec vsebuje spodnjemalmske taumatoporele, tekstularije in troholine.

Vzhodno od Starega trga in na ponorni strani Loškega polja prikazuje geološka karta apnenec zgornjega malma z vodilnimi klipinami iz spodnje krede.

V tektonskem pogledu sestavljajo kamnine obravnavanega ozemlja plutvo, simetrično sinklinalo (sl. 27), ki sega proti NW do Cerknice, proti SE pa se južno od Travnika podaljšuje v sinklinalo Racne gore. Tam se v jedru gube spodnjekredne, v območju Križne gore pa malmske plasti. S številnimi navpičnimi prelomi je guba razdeljena v pakete, ki so med seboj večinoma vodoravno premaknjeni. V jedru gube izstopa prelom NW — SE smeri kjer je pretrgana malmska serija. Pogostni so vzdolžni prelomi ob Bloškem polju, kjer se sinklinala stika z Bloško-rakitniško grudo. Med Gorenjim jezerom, Danami in Kozarščami na Loškem polju pa je SW-krilo sinklinale narinjeno na jurske in kredne kamnine Javornikov. Za razlago nastanka Križne jame je pomembno spoznanje, da je kras okolice Križne jame omejen na NE in SW strani z manj prepustnim dolomitom, da so najbolj razsežni in dostopni rovi Križne jame izdelani v severovzhodnem krilu sinklinale in da voda odteka vzporedno s sinklinalno osjo proti severozahodu k izviru Podsteberščice.

SKLEPI IN NADALJNI PROBLEMI

S preučevanjem alohtonih sedimentov v Križni jami smo želeli spoznati njih razširjenost, razmerje do avtohtonih sedimentov in lego do skalnih rogov, nadalje smo hoteli ugotoviti, kako in kakšne kamnine je jamska reka prenašala in odlagala po podzemeljskih prostorih v geološki zgodovini jame. Dobljene rezultate in sklepe lahko strnemo v naslednjem.

1. Dosedanja literatura razen v dveh, treh noticah ne obravnava zanimivih alohtonih sedimentov v Križni jami. Izjema so le podatki o diluvialnih ilovicah v Medvedjem rovu te jame, ki jih je opisal F. v. Hochstetter. Dosedanje poznavanje morfoloških, geoloških in hidroloških značilnosti Križne jame temelji na delnih deskriptivnih podatkih brez podrobnejših prikazov in analiz fluvialnih sedimentov kot enega izmed najbolj bistvenih pokazateljev speleogenetskega razvoja vsakega podzemlja. Iz obravnavanih geoloških in morfoloških razmer pa smo spoznali, da je prav v sedimentih iskati ključ za zanesljivejšo razlago nastanka in razvoja Križne jame med Bloškim, Loškim in Cerkniškim poljem.

2. Ostanki fluvialnih sedimentov so ohranjeni po vsej jami, tako da lahko gotovo sklepamo na nekdanj mnogo bolj zapolnjeno in manj prehodno jamo kot jo poznamo danes. Medvedji rov, Suhi rov in del Glavnega rova med jamskim vhomom in Vodnim rovom še dokazujeta to staro, s sedimenti zapolnjeno podobno Križne jame. Današnje vodne rove je mlajša erozija večinoma ponovno izpraznila, voda je nekje razgalila prodni sediment, ki je v določeni starejši razvojni dobi pomagal oblikovati podzemeljski prostor, razkrila je skalno dno in začela oblikovati nižje sifonske pretoke po jami, drugod pa je sigo in sedimente zalila. Zaporedje speleogenetskih procesov smo poskušali razčleniti na

primerih v Medvedjem rovu, okrog Kalvarije in ob Matjaževem rovu s pripombo, da bo za popolnejšo razvojno sliko treba v prihodnje zbrati še več ustreznih podatkov.

3. Posebej smo preučili nekaj nasipov peska. Petrografska in granulacijska analiza kažeta na mlajši poplavni pesek v vodnih rovih in na pesek v suhih rovih, ki ga je voda odlagala kot svoj lebdeči tovor tam, kjer je zastajala. Petrografske je pregledani pesek sestavljen iz zrn kremena, limonita in boksita, to je mineralov, ki jih ne manjka v starejših podornih plasteh in ki so ohranjeni v starejših votlinah, tudi 30 m nad današnjimi vodnimi rovi. Pesek v 1. Podornem rovu odraža po vsej verjetnosti fluvialni nastanek v posebnih geomorfoloških okoliščinah na kraškem površju nad jamo še tedaj, ko jam v današnjem obsegu še ni bilo. Podoben pesek je ohranjen sicer še v okoliških jamah, pa tudi v würmskih naplavinah Cerkniskega jezera ga srečamo povsod.

4. Prodne naplavine v 10 analiziranih vzorcih po vsej jami kažejo na plazeči tovor, ki ga je voda prenašala po nekdanjem skalnem dnu. Po velikosti raznovrstnih prodnikov je moč domnevati na najmanjšo hitrost jamske reke 1 m/s, da je lahko prod še prenašala in z njim erodirala. Ta hitrost je bila nekajkrat večja od danes ugotovljene. Prod je bil po odložitvi zasigan, kasneje pa marsikje erodiran. V danes znanih rovih so nizvodna nahajališča vedno redkejša, ker jih je zadenjska erozija najmočnejše odnašala. Takšno erozijo je možno predpostaviti, ker med najbolj skrajnima nahajališčema proda pri 1. jezeru in okrog Kristalne gore nismo ugotovili padajoče zrnatosti, kakršna bi sicer nastajala ob odlaganju materiala v obliki »vršaja«, se pravi, da bi bila jamska reka bliže svojemu izvirnemu mestu odložila debelejši, bolj grob prod, bliže ponornemu mestu pa bolj droben in zaobljen prod.

5. Prod je sestavljen iz različnih kamnin: triasnega dolomita in roženca, liasnega dolomita in apnenca, oolitnega boksita in liasno-doggerskega apnenca.

Triasne in liasne kamnine gradijo porečje ponikalnic okrog Bloškega polja ter del podzemeljske poti med njihovimi požiralniki in dotočnimi sifoni v sklepu Blat in Zveznega rova. Liasno-doggerski apnenec kot matična kamnina vrodu dokazuje dokajšnjo erozijo jamskega prostora med odlaganjem proda. Apnenčevi avtohtoni kosi so oglati, ostali alohtoni pa zaobljeni.

Posebno mesto zavzemajo prodniki oolitnega boksita, ki zanj menimo, da ga je nanese voda iz ustreznih površinskih nahajališč na kraškem površju iz severnega in vzhodnega zaledja Križne jame. Poglavitni boksit je zahajal v jamo skozi Pisani rov, se pravi s ponikalnico, ki je južno od Nove vasi na Bloškem polju zahajala v podzemlje. Takšna hidrološka zveza je znana danes. Ne bi pa smeli izključiti možnosti, da je takratna jamska reka prinašala oolitni boksit iz vzhodnega kraškega zaledja Križne jame, se pravi s področja Rane gore, kamor bi se podzemlje Križne jame lahko razširjalo. Treba bo podrobneje preučiti kras zaledja Križne jame in nato ugotoviti razliko med triasnimi boksiti sedimentacijskega izvora in boksiti rudnih teles na kraških terenih. V pomoč nadaljnjemu preučevanju naj rabijo mineraloške analize v jami najdenega boksita z ustrežno dokumentacijo, ki jo navajamo.

6. Izvor fluvialnega proda v Križni jami je možno razložiti z znano geološko zgradbo ter hidrogeološkimi ter geomorfološkimi razmerami širše okolice, način odlaganja raznovrstnega in različno oblikovanega proda pa s hidrološkimi in klimatskimi razmerami, ki so na tukajšnjem krasu vladale v pleistocenu.

Bolj zapleteno pa bo ugotavljanje primarnih ležišč raznovrstnega peska, ker je bil v jami večkrat presedimentiran po vertikalni in horizontalni poti. Tu bo treba še dosti temeljitega, predvsem petrografskega raziskovanja.

7. V razpravi smo se komajda dotaknili vprašanja, v katerih obdobjih pleistocena se je odlagal fluvialni material, kdaj so nastajali ustrezni podzemeljski prostori in se odvijali ugotovljeni speleogenetski procesi. Iz posameznih nahajališč smo mogli razporediti le relativno zaporedje erozije in akumulacije v podzemlju Križne jame, absolutnih podatkov pa nimamo.

Kot dovolj oprijemljiv podatek relativne datacije smo uporabili pojavljanje kosti jamskega medveda v Medvedjem rovu te jame, ki nastopajo med dvema generacijama sige ter naplavljenimi peski in ilovico. Te kosti namreč ne morejo biti mlajše od zadnjega würmskega stadiala W III, saj je takrat po splošni sodbi naših paleolitikov jamski medved v naših krajih že izumrl. Križna jama bi tedaj bila verjetno s sedimenti že zapolnjena v zadnjem würmskem interstadialu (W II/III). Iz tega nadalje sledi, da je mlajša erozija povezana z zadnjim würmskim stadialom, odlaganje sedimentov in sige vrh njih pa s procesi v srednjem in starejšem würmu oziroma ostalem delu mlajšega pleistocena. Bolj zanesljive podatke glede relativne starosti procesov lahko nudijo primerjalne raziskave s sedimentov bogatimi kraškimi jamami drugod v porečju Ljubljane. Mnogo lahko koristi tudi absolutno datiranje jamske sige in organskih ostankov v naplavinah Cerkniškega jezera, kjer je za vode Križne jame vedno bila lokalna erozijska baza.

Summary

FLUVIAL SEDIMENTS IN KRIŽNA JAMA

As one of more important caves of the slovene karst with the underground water, the Križna jama (The Cross Cave) among the Cerknica, Lož and Bloke karstic poljes can be considered. The cave is important by its rich exploring history from 1834 (J. Zörrer, 1834; A. Schmidl, 1854; F. v. Hochstetter, 1881; I. Michler, 1934, 1934 a; A. Šerko, I. Michler, 1948; T. Planina, 1965), and by its largeness of channels and length of about 8 km. of its till now known galleries, as well as by its interesting morphology and hydrology. In the cave the world famous finding-place of cave bear bones is situated; in 1971 the bones have been excavated again and their stratigraphic position between the autothous and allothous sediments have been studied (M. Brodar, R. Gospodarič, 1973). By the speleogenetical point of view very important allothous sediments have been stated. As they were only partially known (R. Gospodarič, Zb. Wojcik, 1965) we studied them in detail and we bring the results in that study.

In the initial chapters the general particulars about the cave sediments (G. Kyrle, 1939; G. Warwick, 1953; E. Schmid, 1958; H. Riedl, 1960; H. Bögli, 1961; P. Habič, 1961; S. Brodar, 1952, 1966; F. Osole, 1967; H. Trimmel, 1968) and previous classification of their »interior facies« are done (G. A. Maksimovič, 1963; Zb. Wojcik, 1966; Ph. Renault, 1968; E. White, 1968). The description of the cave geological and morphological structure (Fig. 1, 2, 3), the fin-

ding-places, analyses and origin of fluvial cave sediments are treated later (Fig. 4 till 25).

In the whole cave the rests of the fluvial sediments are conserved therefore it could be stated that previously the cave has been much more filled and less open as it is today.

By Medvedji rov (The Bear's Gallery), Suhi rov (The Dry Gallery) and by the part of Glavni rov (The Principal Channel) between the entrance to the cave and Vodni rov (The Water Channel) the ancient picture of Križna jama, filled by sediments, is proved. By the younger erosion the recent water channels have been mostly reevacuated, the water denuded gravel sediment by which the underground spaces have been formed in the ancient development phase. The rocky bottom have been denuded and the lower siphon's transfuses across the cave have been formed, while in the other parts the concretions and sediments have been overflowed. By the example of the Medvedji rov, vicinity of Kalvarija (The Calvary) and Matjažev rov (The Matthew's Gallery) the succession of speleogenetical processes has been tried to be analysed.

Some sand dams have been separately studied. In the water channels the younger flooded sand and in the dry galleries the sand, deposited as the suspended load by the stagnant water have been proved by petrographical and granulative analyses (Fig. 4, 5, 6, 7, 8). Petrographically the examined sand is composed by the quartz, limonite and bauxite grain, thus by minerals, which are not found in the older collapsed beds, but preserved in the older caverns, even till 30 m. above today's water channels.

The sand in the 1. Podorni rov (The 1st Collapsed Gallery) in all probability represents the fluvial origin in special geomorphological conditions on the karstic surface above the cave in the time when there no caves in today's dimensions existed. Otherwise the similar sand is found in the near caves (R. Gospodarič, 1971) as well as in the würm alluvions of the Cerkljnsko jezero (The Lake of Cerkljnica).

The gravel alluvions in 10 analysed samples indicate the bedload, which have been transported on the ancient rocky bottom by the water (Fig. 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25). After the largeness of different pebbles the smallest speedness of 1 m/s of the underground river could be supposed, because the water transported the gravel and eroded with it.

The speedness of cave river was several times greater than today's. After the deposition the gravel has been concreted and some-where eroded later. In today's known channels the downstreams finding-places are more rare, because the back erosion succeeded to displace them. Such erosion could be supposed while, between the extreme gravel finding-places at the 1. jezero (The 1st Lake) and around Kristalna gora (The Crystall Mountain) we have not found the declined granulation, which would be formed at the deposition of the material in the form of »alluvial fan«, that is to say, that near the sources of the underground river larger, more rough gravel, and near the ponor places thinner, and more rounded gravel could be deposited. The gravel is composed by different rocks: triassic dolomite and chert, liassic dolomite and limestone, oolitic bauxite and liassic-dogger limestone.

The water basin of sinking rivers around Bloško polje and a part of the underground conduct among their ponors and inflow siphons at crossing of Blata (The Mud) and Zvezni rov (The Unite Gallery) are composed by triassic and liassic rocks. Liassic-dogger limestone proves, as the maternal rock in the gravel, considerable

erosion of the underground space during the gravel's deposition. Limestone autothonous pieces are rough, while the other allothonous are rounded.

The special place is taken by the pebbles of oolitic bauxite, which have been deposited by the water from the karstic surface in the north and east hinterlands of Križna jama, as we suppose. The majority of bauxite came into the cave by Pisani rov (The Gay Coloured Channel), that is to say, by the sinking river south of Nova vas on Bloško polje. That hydrological connection is known today. However the possibility, that the pleistocene underground river transported the colithic bauxite from the eastern karstic hinterland of Križna jama, that is to say, from the region of Racna gora where the underground of Križna jama could be extended, can not be excluded. The karstic hinterland of Križna jama have to be studied in detail in order to state the difference between triassic bauxites of sedimental origin and ore bauxites on the karstic terrains. Mineralogical analyses of the bauxite, found in the cave, together with cited documentation can help the further studies.

The origin of fluvial gravel in Križna jama could be explained by the known geological structure and hydrogeological and geomorphological conditions of the surroundings (Fig. 26, 27) by the way of deposition of various and differently shaped pebbles and by particular hydrological and climatical conditions which prevailed in this part of the karst in Pleistocene. To state the primary layers of various sand which have been presedimented in the vertical and horizontal way in the cave is much more complicated. A lot of profound, specially petrographic explorations are still necessary.

The questions in which period of Pleistocene the fluvial material have been deposited, when the nowadays underground spaces had taken their origin and when the stated speleogenetical processes have been unrolled are just touched in that study. From the singular finding-places the continuance of erosion and accumulation in the underground of Križna jama can be just relatively disposed, but we have no absolute dates. The appearance of the cave bear bones in the Medvedji rov of that cave we have taken as enough sure date of relative datation. The bones were found between two generations of flowstone among deposited sands and clay. These bones could not be younger from the last würm stadial W III, because in that age after general opinion of our paleolithics the cave bear in our regions already became extinct. Križna jama has been already filled up by the sediments in the late würm interstadial (W II/III). And so it follows, that the younger erosion is connected by the last würm stadial, while the deposition of sediments and the flowstone above them by the processes in the middle and older würm, or well in other periods of younger Pleistocene. More sure dates about the relative age of processes can give us the comparative explorations of karstic caves, rich by sediments, which are situated in the other parts of water basin of Ljubljana. The absolute datation of cave concretions and organic rests in the alluvions of Cerknjsko polje, which have represented a local erosive base for the waters of Križna jama, can help us a lot.

In the Križna jama the rich rests of the fluvial sediments are conserved, showing the hydrographic conditions in Quaternary. The formation of the channels has been closely connected by the transport and accumulation of the sediments in the cave; therefore the sediments represent the important fact for the speleogenetical studies and morphological, stratigraphical and genetical correlation with the other longer caves of Dinaric karst is rendered possible.

Viri in literatura

- Arhiv Inštituta za raziskovanje krasi SAZU, Postojna.
 Arhiv Jamarske zveze Slovenije, Ljubljana.
 Bohinec, W., 1963. Die Križna jama bei Lož, Slowenien. *Dritter Intern. Kong. Spel.* 2, 211—214, Wien.
 Bögli, A., 1961: Die Höhlenlehme. *Memoria. Rassegna Spel. Ital.* 5, 1—21, Como.
 Brodar, M., R. Gospodarič, 1973. Medvedji rov v Križni jami in tamkajšnji ostanki jamskega medveda. *Mladinski raziskovalni tabori (1971—1972)*, 30—46, Ljubljana.
 Brodar, S., 1952. Prispevek k stratigrafiji kraških jam Pivške kotline, posebej Parske golobine. *Geogr. vestnik* 24, 43—76, Ljubljana.
 — 1966. Pleistocenski sedimenti in paleolitska najdišča v Postojnski jami. *Acta carsologica* 4, 55—138, Ljubljana.
 Cerar (Zörner), J., 1838. Beschreibung einer Berghöhle bei Heiligen Kreuz unweit Laas im Adelsberger Kreise nebst dem Grundrisse und Situation des Planes, Beiträge zur Naturgeschichte, Landwirtschaft und Topographie des Herzogthums Krain. 1, 76—88, Ljubljana.
 Gospodarič, R., 1971. O nekaterih jamah ob Cerkniškem jezeru. *Mladinski raziskovalni tabori*. 1971, 49—64, Ljubljana.
 Gospodarič, R., Z. Wojcik, 1965. Pripombe o nekaterih jamskih biserih iz jugoslovanskih jam. *Naše jame* 6 (1964), 30—34, Ljubljana.
 Habič, P., 1961. Nekaj oblik akumulacije in značaj sedimentov v kraških jamah. *Drugi jug. spel. kongres*, 101—106, Zagreb.
 Hochstetter, F. v., 1881. Die Kreuzberghöhle bei Laas in Krain. *Denkschriften d. mathem.-naturw. Kl. Akad. d. Wissensch. Wien*, 43, 1—18, Wien.
 Kyrle, G., 1921. Grundriss der Theoretischen Speläologie. 1, 1—339, Wien.
 Maksimovič, G. A., 1963. Osnovi karstovedenja. 1. Perm.
 Michler, I., 1934. Križna jama. *Proteus* 1/V, 97—102, Ljubljana.
 — 1934 a. Nova odkritja v Križni jami. *Proteus* 1/V, 188—195, Ljubljana.
 Osolc, F., 1967. Zakajeni spodmol, jamska paleolitska postaja. *Arheološki vestnik* 18, 25—42, Ljubljana.
 Planina, T., 1965. Križna jama, projekt. Turistična zveza Cerknica.
 Renault, Ph., 1968. Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. *Annales de Spéléologie* 23/III, 529—596, Lons-le-Saunier.
 Riedl, H., 1961. Grundsätzliche Bemerkungen zu feldmässigen Untersuchungen von Höhlensedimenten. *Memoria. Rassegna Spel. Ital.* 5, 3—9, Como.
 Schmid, E., 1958. Höhlenforschung und Sediment-Analyse. Basel.
 Schmidl, A., 1854. Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas. Gedruckt, bei Leop. Sommer, Wien.
 Šerko, A., I. Michler, 1948. Postojnska jama in druge zanimivosti krasi. 1—66, Postojna — Ljubljana.
 Trimmel, H., 1968. Höhlenkunde. Braunschweig.
 Warwick, G., 1953. Cave Formations and Deposits. *British Caving* 62—82, London.
 Wojcik, Z., 1966. Geneza i wiek klastycznych osadów jaskin tatrzańskich. *Prace Muzeum ziemi* 9, 1—130, Warszawa.
 White, L. E., W. B. White, 1968. Dynamics of Sediment Transport in Limestone Cave. *Bull. NSS* 30/IV, 115—129, Arlington.

NEKAJ O VODNIH RAZMERAH
NA KOČEVSKEM POLJU

(z 9 slikami v besedilu)

SUR LA HYDROGRAPHIE DU POLJÉ DE KOČEVJE

(avec 9 figures en texte)

DUŠAN NOVAK

(Geološki zavod v Ljubljani)

Uvod

Kočevsko polje postaja pomembno predvsem zaradi naraščajoče potrebe po vodi. Naraščajo naselja, razvijajo se nekatere veje industrije, preskrba z vodo pa potrebam novejšega časa ne more zadostiti. Z druge strani je območje Kočevskega polja in Dolenjskega krasa pomembno zaradi menjavanja globokega in plitvega krasa, kjer se drži podzemeljska voda ponekod le nekaj metrov pod površjem, pomembno je tudi zaradi izdatnejših izvirov kraških podzemeljskih voda, predvsem ob Krki in Kolpi, ki jih napaja in so važni kot viri za preskrbo s pitno in industrijsko vodo. Ti izviri zbirajo vodo z obravnavanega ozemlja.

V nekaterih odsekih je razvodnica med posameznimi porečji še nedoločena, neznan je pa bil njen potek ter režim podzemeljske vode ob različnih stanjih vode.

Kakovosti podzemeljske vode škodujejo razni činitelji, med njimi velika dela na površju in onesnažene površinske vode. Voda je na kraškem svetu dragocena in jo moramo, predvsem na površju, ohraniti čisto, da ne onesnažimo že tako redkih izvirov, ki se pojavljajo na obrobju kraških masivov in so čisti le še na videz (D. Novak, 1969). Zato je potrebno, da poznamo zaledje izvirov in njihove lastnosti, da bi jih mogli zavarovati pred onesnaženjem. Pričujoči prispevek je nastal ob študiju regionalnih hidrogeoloških razmer na krasu, kasneje pa je bil dopolnjen s podrobnejšim študijem na samem Kočevskem polju. Pri terenskem delu je sodelovala jamarska sekcija PD »Železničar« iz Ljubljane, omeniti pa je predvsem njene člane A. Kranjca, T. Jančigaja in I. Žitka.

Kratek pregled dosedanjih raziskovanj

Kot prvega raziskovalca Kočevskega polja bi kazalo omeniti J. V. Valvasorja, ki je že leta 1689 poročal o Željnskih jamah pri Kočevju in o izviru Bilpi, ki jo je ponazoril s sliko. Pridružil se je domnevam, da priteka njena voda iz Rinže pri Kočevju.

Poznejši opisovalci kraških razmer na Kočevskem so C. Deschmann (1862, 1866), E. Graf (1882) in S. Schwalba (1887). Med pomembnejšimi deli iz prvega desetletja našega stoletja bi omenili poročilo o vodnih razmerah na Dolenjskem L. Waagena (1914). Manj kot na Notranjskem je na Dolenjskem raziskoval W. Putick (1892, F. Jenko 1959). Na tem območju zasledimo tudi dejavnost A. E. Forsterja (1922). Z geološkimi vprašanji so se ukvarjali kasneje še M. Salopek, J. Žurga (1930), F. Uršič, H. Protzen in Ivan Simonič (1939).

H. Protzen (1932) je obdelal v glavnem terciarno kadunjo in deloma z novimi najdbami in podatki popravil dotedanje mnenje o starosti apnenca in dolomita.

H. Protzen (1932) in F. Uršič (1932) sta na podlagi fosilne favne sklepala, da je v okolici Kočevja zastopana cenomanska in turonska stopnja zgornje krede. C. Germovšek (1953) je na obrobju Kočevskega Roga ugotovil več krednih sinklinal v katerih jedru so bili odloženi zgornjekredni klastični sedimenti, ter jih je prišteval v senonsko stopnjo. Ta trditev je bila kasneje potrjena tudi s fosili (M. Pleničar, 1965).

Z geomorfologijo tega območja so se ukvarjali J. Rus (1921, 1926), A. Melik (1931, 1959), Č. Nagode (1931), E. Lehmann (1933) in I. Simonič (1939), kot povzema v novejšem času A. Kranjc (1972). M. Pleničar je l. 1956 napisal obsežnejše poročilo o geoloških in hidrogeoloških razmerah na Dolenjskem. V tem poročilu je zajel vse do takrat dostopne podatke. V letih 1961–1965 je bila ponovno izdelana geološka karta, list Ribnica, ki pa zajema le severni del obravnavanega ozemlja (S. Buser, 1965).

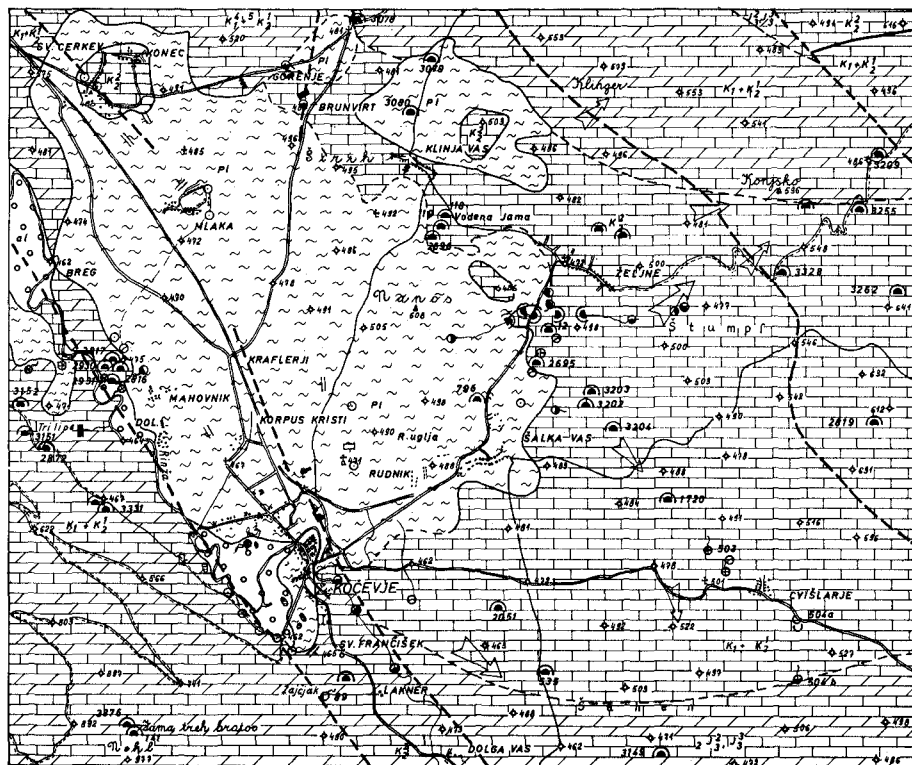
O krasu na Dolenjskem je bilo napisano že mnogo krajših sestavkov (E. Pretner, 1954) in notic. Kljub temu je to ozemlje speleološko še vedno dokaj slabo poznano. Podzemeljski pojavi iz okolice Kočevja so v starejši literaturi sicer često opisani, npr. A. Pischek (1873), W. Putick (1892), R. Wenedikter (1930) in F. Uršič (1939) itd., deloma pa so v seznamih Uršiča, Kodriča in Dolarja, ki so vsi v rokopisu. Več je podatkov v katastru Inštituta za raziskovanje krasa, ki je črpal iz dognanj Jamarske sekcije PD »Železničar« in Jamarskih enot iz Kočevja in Ribnice. Novejša literatura nam nudi več podatkov. Pomembni so prispevki M. Raztresena o karakteristiki kraških objektov na Kočevskem (1961), D. Novakove ugotovitve v Breznih pri Treh križih (1962), kjer so bili vidni sledovi odtekanja podzemeljske Rinže ob visoki vodi, N. Čadeževe o odtekanju vode iz Željnskih jam (1963) in raziskave A. Kranjca (1968, 1969, 1972), ki jih naj ta sestavek dopolni.

Samo v območju, ki ga zajema priložena karta (sl. 1.) je v Arhivu Inštituta za raziskovanje krasa SAZU zabeleženih okoli 30 kraških jam, brezen ali izvirov.

Splošne značilnosti raziskanega ozemlja

Orografija in geomorfologija

Kočevsko polje je nadaljevanje velikega kraškega podolja med Notranjsko in Dolenjsko. Ribniško podolje se prek nizkih vzpetin podaljšuje proti jugovzhodu na Kočevsko polje. Od severozahoda proti jugovzhodu usmerjena dinarska zasnova je vidna že na prvi pogled. Proti jugovzhodu se znižuje tudi dno podolja. Pri Ložinah je na severozahodni strani dno polja v nadm. višini 473 do 480 m, ob Rinži v osrednjem delu pa v višini 460 m nad morjem. Kotlina leži med strmimi pobočji Stojne na zahodu in položnimi bregovi Male gore in Roga na severni in vzhodni strani. Dno Kočevskega polja je razgibano in rodovitno. Pust in zakrasel je le svet Šahna med Cvišlerji in Mozljem v nadaljevanju polja proti jugovzhodu. Polje se konča na jugu pri Mozlju odkoder se podolje samo v dinarski smeri še nadaljuje proti Kolpi. Na to se opira domneva, da je nekdaj



LEGENDA:

- 1 a1 NANOS REK IN POTOKOV
- 2 p1 RDEČA IN RJAVA GLINA, DROBN KREMENOV PROD, PESEK
- 3 K₂² BEL RADIOLITNI APNENEC
- 4 K₁+K₂¹ SIV BITUMINOZEN APNENEC Z VLOŽKI BITUMINOZNEGA DOLOMITA
- 5 K₄+5 K₁¹ TEMNOSIV BITUMINOZEN APNENEC Z POREDKIM VLOŽKI BITUMINOZNEGA DOLOMITA
- 6 J₂², J₃³ BEL APNENEC V MENJAVI Z ZRNATIM DOLOMITOM
- 7 PERIODIČNO MOČILO
- 8 VODNJAK
- 9 KAL
- 10 IZVIR 0.1 - 1 l/s
- 11 IZVIR DO 0.1 l/s
- 12 POŽIRALNIK
- 13 JAMA
- 14 JAMA Z VODO
- 15 ZAJETJE PO STAREM
- 16 SMER PODZEMELJSKEGA ODTOKA
- 17 PRELOM
- 18 ZAJETJE

Sl. 1. Hidrogeološka skica območja Kočevskega polja

s Kočevskega polja po površju odtekala h Kolpi reka, in sicer približno vzdolž pasu najnižjega sveta mimo vasi Ferderb in Ferdrenk (A. Melik 1931, 1959).

Glede na stopnjo zakraselosti je A. Kranjc (1972) ozemlje razdelil v sledeče kategorije:

1. Nekraško območje Šibja in osrednjega pliocenskega bazena s površinskim odtokom.

2. Površinsko in podzemeljsko malo zakraseli svet ob površinski Rinži.

3. Površinsko zelo zakraseli Šahen, ki pa je podzemeljsko razmeroma slabo prevotljen; v njem prevladuje plitev vertikalni odtok vode.

4. Površinsko malo zakraselo območje v višinah med 500—520 m; v podzemlju je ta svet zelo prevotljen. Značilno je plitvo vertikalno in horizontalno odtekanje vode.

5. Močno zakraselo ozemlje Velike in Male gore z globokim vertikalnim odtekanjem vode.

Na tem območju so se razvili različni tipi površja od erozijskega na neprepustnem svetu do izrazito kraškega.

Hidrografija

Na Kočevskem polju je glavni vodni tok Rinža, ki jo napajajo izpod Stojne pritekajoče vode. Ponikuje že v Kočevju. Njene ponikve in požiralniki se vrste tja do Črnega potoka in Mozlja.

Pomembnejša stalna površinska potoka sta še Rudniški in Željnski potok, ki odtekata od rudnika proti Šalki vasi in ponikujeta v Željnske jame. Rinžo napajajo še manjša močila z južnega dela terciarnega območja pri Mlakah. Podrobnejši opis sledi v naslednjih poglavjih.

Hidrogeološke razmere

Litološki in stratigrafski opis kamnin

Najstarejše kamnine, ki grade ožje območje Kočevskega polja, so kredni sedimenti. Spodnjo kredno zastopajo apnenci in dolomiti, ki jim sledi rekvienjski in ploščasti apnenci. Za zgornjo kredno so značilni radiolitni in hipuritni apnenci. Pri Željnah omenjata F. Uršič (1932) in M. Pleničar (1960, 1965) v belem apnencu najdbe zgornjekrednih fosilov. A. Nosan (1958) omenja, da so v kamnolomih našli školjke rodov *Chara* in preseke rudistov, ki dokazujejo zgornjekredno starost apnencev.

Jugovzhodno od Stare Cerkve leže na turonskem apnencu beli zrnati apnenci, ki se pričenjajo v spodnjem delu z apnenčevimi brečami.

Kredni apnenci grade osrednji del Kočevskega polja, medtem ko se bolj zahodno pojavlja v Stojni debelo zrnat temen dolomit in na njem temnosiv jedrnat, neskladovit in deloma ooliten apnenec. Segata do Mestnega vrha. Pri Dolgi vasi izdanja v podnožju Stojne že bituminozen dolomit. Oba lahko prištevamo juri.

V podlagi Stojne je najti tudi ozke vložke glinastih skrilavcev in peščenjakov (I. Simonič, 1939), ki so za razvoj vodnih razmer dokaj pomembni.

Južni del obrobja v območju Črnega potoka in Mozlja je zgrajen iz zgornje-triadnega dolomita (C. Germovšek, 1961), ki se v pasu vleče še dalje proti jugovzhodu in prehaja globlje v jurske plasti. Iz zgornjekrednih apnencev in dolomitov je zgrajen večji del kočevske Male in Velike gore. V območju, ki ga grade apnenci in dolomiti je odtok podzemeljski; voda odteka po kraških podzemeljskih poteh.

Na krednih apnencih leže pri Šalki vasi terciarni sedimenti. V terciaru je nastalo na prostoru Kočevskega polja jezero, kjer so se odlagali premogovni sloji, ki so med seboj ločeni z vložki glin in laporjev. A. Budnar-Tregubov (1961) je ugotovila srednjepliocensko starost teh plasti. Krovna premogovih plasti so raznobarvne glin, ki prehajajo v pesek in droben prod z vložki laporja (A. Nosa, 1958). Na ostanke teh sedimentov naletimo mnogokje na širokem področju, kar dokazuje, da je jezero v končni fazi imelo zelo velik obseg.

V zgornjem delu krednih plasti naletimo še na druge klastične sedimente. Laporje in breče so našli v krpah v Logu, pri Kunčah, pri Grintovcu itd. Prištevamo jih zgornji kredi, deloma pa na podlagi fosilov že eocenu (C. Germovšek, 1953, M. Pleničar, 1965). Padavinska voda odteka z območja teh plasti po površju.

Kvartar zastopajo preperine in naplavine ob Rinži, pretežno so to glin in meljaste glin. V Kočevju je teh sedimentov ponekod celo nekaj metrov na debelo. Sem bi lahko prištevali še blato, odloženo v območju Željnskih jam.

Tektonika

Polje je sinklinalno zasnovano ob prelomih, ki potekajo vzdolž Stojne, Male gore in Roga. Tektonske linije so dinarsko usmerjene. Ob robu Stojne poteka prelom, vzdolž katerega se je dvignil zahodni del ozemlja. Tudi skozi premogovno kadunjo poteka močan prelom, važen za nastanek s terciarnimi sedimenti zapolnjene depresije (A. Nosa, 1958). Ob tem prelomu segajo neprepustne plasti v globino, kjer ločijo podzemeljske vode porečij Krke in Kolpe. Vzdolž Male gore in nižjega dela Roga nahajamo manjši tektonski jarek, ki je del Roga ločil od glavne grude.

Pogostni so tudi prečni prelomi, predvsem v smereh N-S, ki so pomembni kot pretrte cone, ob katerih odteka podzemeljske vode.

Vodne razmere v podrobnostih

Glavni vodni tok je Rinža, ki izvira v Mrtvicah pri Ložinah. Vendar ti izviri delujejo le ob višjem stanju vode. Ob povodnji priteka do požiralnikov pod Jasnico in okoli nje tudi površinska Rakitnica, nakar odteka z vodami Ribnice in Bistrice po Zadnji Rinži. Tako se pridružijo vodam Kočevskega polja in s tem porečju Kolpe, kolikor ne izginejo v požiralnike v strugi že v območju Ložin.

Glavni stalni izviri Rinže so izviri pod Stojno, Reberski studenec in Obrh, ki je zajet za vodovod, M. Obrh, periodični Zajčjak, zajeti izvir pri Treh lipah, občasni izvir pri Sv. Frančišku, zajeti Livoldski studenec in nekaj izvirov na obrobju polja pri Zajčjem polju in Črnem potoku. Črni potok ponikne pod mlinom v vasi Črni potok (glej tudi A. Kranjc, 1972). Glavne vode Rinže izvirajo ob prelomu, ki poteka na jugozahodnem kraju polja. Ob tem prelomu pa je tudi prvi požiralnik pod Kočevjem. Že tudi v Prednji Rinži, ki jo napajajo

periodični izviri pri Ložinah, so požiralniki. Doslej nam še ni znano, kam odvajajo podzemeljsko vodo požiralniki v Prednji in Zadnji Rinži, katerega izmed izvirov napajajo in kje se podzemeljska voda izogne terciarni pregraji.

Rinža ponikne kmalu za mestom in teče ob visoki vodi po površju mimo Dolge vasi tja do Črnega potoka in Mozlja. Odtod poteka proti Kolpi značilna suha dolina. Ta velja za sled terciarnega površinskega toka Rinže. Ob strugi je vrsta požiralnikov pri Dolgi vasi, pri Livoldu, pod Mozljem in pod Rogatim Hribom. V območju nad izviri Rinže je bilo odkritih nekaj manjših, manj pomembnih kraških jam.

Kat. št.: 2872 — Jama nad Rosenbrunnom

Lega: 2200 m NW od Kočevja, 300 m SW od zajetja pri Treh lipah, 800 m W od D. Mahovnika.

Nadm. višina: ok. 510 m.

Globina brezna: 33 m.

Raziskal in opisal: J. K. Kočevje, 1968.

Kot. št.: 3151 — Odkopano brezno

Lega: 2300 m NW od Kočevja, 400 m W od zajetja pri Treh lipah, 1 km od D. Mahovnika.

Globina: 12 m.

Opis: J. K. Kočevje, 1968.

Kat. št.: 3152 — Žabnica

Lega: 2400 m od Kočevja, 900 m W od D. Mahovnika.

Nad. višina: 500 m.

Globina: 31 m, dolžina ok. 45 m.

Razširjene razpoke.

Opis: J. K. Kočevje, 1968.

Kat. št.: 3331 — Brezno pri Marofu

Lega: 1 km W od Kočevja.

Nadm. višina: 477 m.

Opis: brezno, globoko 28 m.

Izmera: J. K. Kočevje, 1969.

Kat. št.: 89 — Merešloh

Lega: 900 m SE od Kočevja, pri znamenju Sv. Frančiška.

Nadm. višina: 465 m.

Opis: star požiralnik, rahlo proti jugu zavijajoč vodni rov, dolg ok. 100 m.

Opis in raziskave: 1927, Pretner; 1928, Kenk; skica; 1930, Kenk; 1936, Pretner; 1960, JSPDŽ; načrt; 1962, Pretner, Bole; 1967, J. K. Kočevje.

Ljudje se še spominjajo, kako so dijaki v času pred prvo svetovno vojno s hipermanganom barvali vodo v tej jami. Obarvana voda se je pojavila v Dolgi vasi (verjetno v bruhalniku Kessel).

Odtokanje podzemeljske Rinže proti Kolpi je dokazalo barvanje leta 1956. S tem je bilo tudi ugotovljeno, da je kraški podzemeljski odtok obdržal smer predkraškega površinskega odtoka. Podzemeljska Rinža odteka po apnencu skozi Šahen in vzdolž prelomne cone do Mozlja, nakar preide v manj prepustni dolomit, po katerem teče do izvira Bilpa. Visoka voda odteka skozi Šahen in od

Livolda dalje po stiku apnenca z dolomitom proti Kobilji jami in v višji coni verjetno deloma tudi proti Kotnici pri Žagi ob Kolpi. Leta 1956 se je pol ure po začetku barvanja pojavila obarvana voda v bližnji vrtači, imenovani Koruzarjeva jama, po 24 urah pa v Jami v Šahnu, kjer teče podzemeljski potok okoli 20 m pod površjem. Na izviru Bilpi se je pojavila po 43 in pol dneh. Dolgo potovanje na le 17 km zračne razdalje je posledica sušnega obdobja in upadajočega vodnega stanja, pa tudi manj prepustnega ozemlja. Nagel upad koncentracije v zelo razvlečenem valu obarvanja je povzročilo nenadno deževje v začetku jeseni (Iz poročila N. Č a d e ž e v e v arhivu HMZ).

V Šahnu je podzemeljski tok razmeroma plitev. V Jami v Šahnu je okoli 20 m pod površjem (M. Raztresen, 1961). V Breznu pri Treh križih je bila odkrita visoka voda v globini okoli 60 m (D. Novak, 1962). Ob izredno visoki vodi se vse razpoke ob Rinži napolnijo z vodo skoraj do površja. Šahen je napolnjen z vodo (Golobja jama), Rinža sama pa teče po površju do Črnega potoka in pod Mozelj.

Kat. št.: 535 — J a m a v Š a h n u

Lega: 1900 m SE od Kočevja, 1700 m SES od Šalke vasi.

Nadm. višina: 465 m.

Dolžina okoli 70 m.

Opis in načrti: 1937, A. Šerko; skica; 1958, JSPD Železničar; načrt; 1962, Enakomerno proti podzemeljskemu jezeru nagnjena votlina. Globina ok. 30 m, Pretner, Bole; 1969, Pretner, Bole; 1968, J. K. Kočevje, načrt.

Kat. št.: 2051 — B r e z n o v Š a h n u

Lega: 1500 m ESE od Kočevja.

Nadm. višina: 471 m.

Raziskano: 1956, JS PDŽ.

Kat. št.: 3149 — B r e z n o p r i Š t a n t u

Lega: 3000 m SE od Kočevja, 1500 m SW od Cvišlerjev, 1,5 km NE od Dolge vasi.

Nadm. višina: 476 m.

Globina 26 m, dolžina 12 m.

Takoj za vhodnim breznom pridemo v dvorano. Na dnu blato in voda.

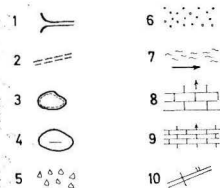
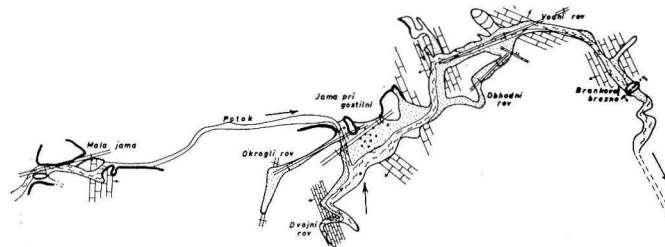
Opis: J. K. Kočevje, 1968.

Terciarni sedimenti premogovnega bazena so za podzemeljske vode izrazita bariera. Z gričevja, ki je zgrajeno iz laporjev, peskov, glin in rjave ilovice, se stekajo vode površinsko na eno stran proti Mlakam in Rinži, na drugo stran pa na sever proti Šalki vasi in Željnam. Z Nanosa (508 m) se terciarne plasti polagoma spuščajo proti vzhodu in v njih so vode oblikovale plitve dolinice, po katerih odtekajo na površju do stika z apnencem (A. Kranjc, 1970 a). Na stiku z apnencem, ki je zelo razpokan, poniknejo tako na eni kot na drugi strani. Na severni strani se pri Šalki vasi stekata dva potoka. Rudniški potok odmaka območje separacije premogovnika in je zelo obremenjen s premogovim prahom. Potok deloma ponikuje na stiku z apnencem že pod hribom severno od Šalke vasi, glavni del vode pa je speljan po kanalu proti Jami pod Šalko vasjo, kjer izginja v višini okoli 642 m nad morjem ves v podzemlje.

Željski potok se steka z odvalin dnevnega kopa bolj severno izpod Nanosa in ponikuje v Malo jamo, kjer predre ozek hrbet apnenca in izgine v Jamo

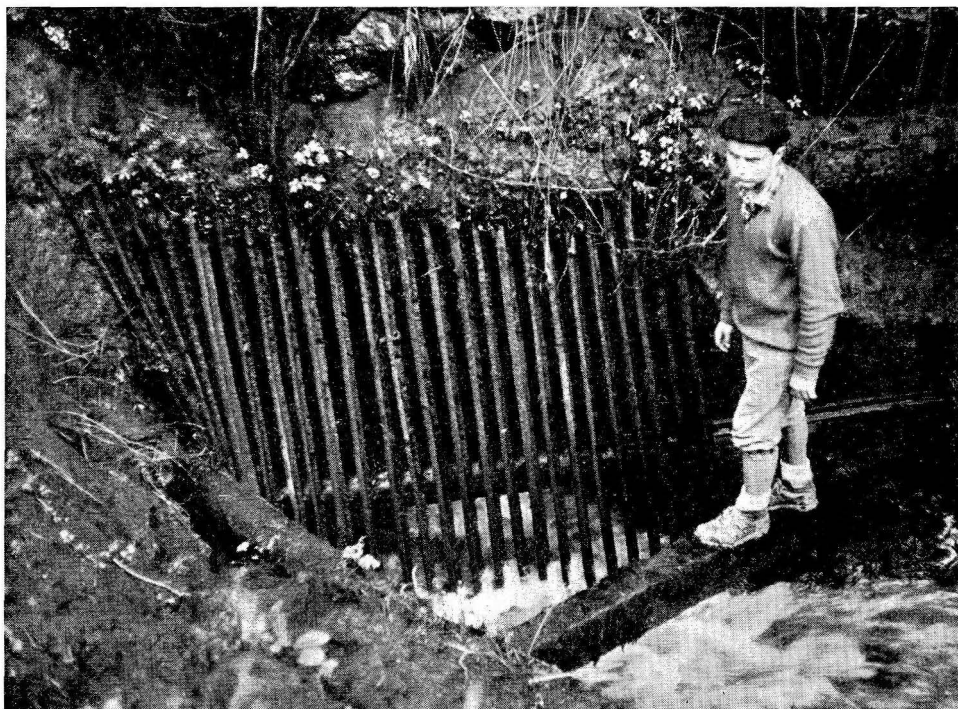
12 — ŽELJNSKE JAME

0 10 20 30 40 50 60 m



Sl. 2. Skica Željnskih jam

Legenda: 1 — vhodni deli jame, 2 — predpostavljena povezava, 3 — udorne vrtače s povezavo z jamo, 4 — vrtače; 5 — podorni grušč, 6 — prod in pesek, 7 — vodni tok, 8 — skladovit apnenec s smerjo vpada plasti, 9 — plastovit apnenec, 10 — prelomi in razpoke



Sl. 3. Požiralnik pri Remihovem mlinu. Fot. N. Čadež

pri gostilni, okrog 100 m od gostišča pred Željnami. Podzemeljski sistem Željnskih jam (sl. 2) zbira vode v enoten tok. Nekdaj so bile te jame skupen požiralnik vode s površja terciarne kadunje (A. Kranjc, 1970 a), po denudaciji pa se je odtok razbil in postal difuzen. Močvirje, ki se razteza ob cesti med Željnam in Klinjo vasjo, odmaka manjši potok, ki se izgublja v požiralnikih pod kamnolomom pri Ciganskih jamah, ob začetku dolinice, ki zavija proti jugu. Črni Rudniški potok ponovno zasledimo vzhodno odtod, kjer po kratkem površinskem toku v dnu večje vrtače ponikne v požiralnikih pri nekdanjem Remihovem mlinu (sl. 3, 4).

Te vode se pojavijo znova na površju v izviru Radeščice pri Podturnu (N. Čadež, 1963) verjetno pa tudi v sosednjih izvirih, na kar kažejo izsledki sedimentološke analize naplavine v izvirih.

Kat. št.: 12 — Željnske jame

Lega: 2430 m NE od Kočevja.

Dolžina ok. 1800 m, globina ok. 6 m, nadm. višina okoli 470 m.

Sistem Željnskih jam obsega več členov: Malo jamo na zahodu, le okoli 25 m dolg rov, s katerim je potok presekala greben apnenca, Jamo pri Šalki vasi, kamor ponikuje s premogom obteženi Rudniški potok, z rovi proti vzhodu,



Sl. 4. Vhod v Željnske jame. Fot. N. Čadež

Jamo pri gostilni, razčlenjen sistem podzemeljskih kanalov, ki je v zvezi z Jamo pri Šalki vasi, in Ciganske jame, še bolj razvejan sistem podzemeljskih rogov. Prav na jugu je še Brezno pri Šalki vasi, ki je od drugih členov Željnskih jam najbolj ločen. Na tem mestu se bom omejil le na opis hidrografskih značilnosti sistema Željnskih jam. Njegova morfologija je že opisana in je tudi podrobneje razvidna iz skice (D. Novak, 1956).

Od zahoda priteka Potok, ki se zbira v terciarnih plasteh in teče skozi Malo jamo. Nato izgine v Jamo pri gostilni in teče po podzemeljskem Vodnem rovu proti vzhodu. Že v prvi dvorani dobi dvoje pritokov. Prvi priteka z juga iz Dvojnega rova, na sotočju obeh voda pa izvira še Studenec, ki so ga primitivno zajeli in ima zelo nizko temperaturo. Tretji pritok je v Vodnem rovu, slaboten curek vode, ki priteče Potoku z zahodne strani. Za Brankovim breznom se rov zablati, tako da globoko blato onemogoča nadaljnje prodiranje po podzemeljskem rovu, ki drži proti jugovzhodu. Okoli 60 m jugovzhodno odtod zasledimo ta potok znova v Jami pod Šalko vasjo. Tu se izliva vanj črni Rudniški potok. Kakor že omenjeno, priteka iz rudniške separacije in prinaša s seboj premog v gosti suspenziji. Nanos pred jamo je prepojen s premogovim blatom in tudi rovi v jami so črni od tega sedimenta. Potoku smo pred leti lahko sledili po vijugavem rovu nekaj deset metrov proti vzhodu, nakar se rov sifonsko zapre. Pred sifonom priteka od juga po špranji skromen čist studenec.

Ponovno naletimo na ta potok kakih 20 m bolj severno v Črnem rovu v Ciganskih jamah, kjer je črno obarval celo od stropa viseče stalaktite. Tik pred izhodom iz jame je potok predrl še dvojne sten, nakar se je združil z mrzlo in čisto vodo iz Korita. Umazani potok še nekaj časa vijuga po aluvialni ravnici pod Cigansko vasjo, nakar izgine SE od Željna v ponor pri Remihovem mlinu (sl. 3). Voda se ponovno pojavi v Radeščici pri Poturnu. Odkod priteka voda v Rov pri Koritu? V dolinici pred Ciganskimi jamami je v naplavini izkopano zajetje za studenec z razmeroma dobro vodo. Nekaj desetih metrov severno od obokanih Ciganskih jam pa poteka po špranji proti vzhodu Blatni rov. Na kraju tega rova teče potoček čiste vode. Po smeri toka sklepamo, da voda, ki ponikuje pod kamnolomom, kjer je požiralnik manjšega potoka, ki odmaka močvirnato polje, teče podzemeljsko skozi Blatni rov v Rov pri koritu.

Raziskave: Opis in načrt D. Novak, M. Raztresen, 1956/66, JS PD Železničar. Glej tudi Proteus 1956/4, 79—81, Turistični vestnik 1956/12, V. Jugosl. speleol. kongres, Skopje 1968.

Kat. št.: 2695 — Brezno pri Šalki vasi

Lega: 50° 2150 m NE od Kočevja, 58° 1800 m SE od Klinje vasi.

Nadm. višina: 482 m.

Dolžina 104 m, globina okoli 12—15 m. Prva stopnja je 6,5 m globoka, na dnu je večja dvorana. Proti severovzhodu vodi nizek rov v drugo dvorano. Obe sta usmerjeni v dinarski smeri.

Prva je dolga okrog 20 m in široka 10 m, druga je široka 18 m, v podolžni smeri pa dolga okrog 30 m. V skrajnem severnem delu druge dvorane sta dva stranska oddelka, kjer v dnu zopet naletimo na blato umazano s premogom, in na podzemeljski potok, ki teče proti vzhodu. V osrednjem delu druge dvorane je udor, kjer na dnu teče črn potok proti severu. To so sledovi podzemeljske vode, ki je usmerjena od požiralnikov na južni strani griča proti izviru na severnem podnožju vzpetine, prav nasproti vhodu v Jamo pod Šalko vasjo.

Opis: T. Jančigaj, 1967, JS PD Železničar.

Kat. št. 796 — Lisičja jama pri Kočevju

Lega: Ob cesti Kočevje—Željne, levo od ceste.

Po seznamu Mirka Kodriča: »Jame in prepadi Kočevskega sreza«, št. 34, je nizka, zelo blatna, labirint rogov. Po novejših podatkih je že zasuta (1969). Morda pa je identična z Malo jamo (?).

V območju Željna drugih površinskih tokov ni, pač pa je podzemeljska voda zelo plitvo pod površjem. Okrog 300 m severno od cerkve pri Željnah je v svetlosivem apnencu manjši udor. V tem udoru je špranja, kjer naletimo na manjši podzemeljski vodni tok, okrog 4 m pod površjem. Studenec se imenuje Bližnji studenec. Le nekaj deset metrov vzhodno odtod je Daljnji studenec, potok v dnu večje vrtače, 5 m pod povprečno višino površja v tem območju. V prvem primeru odteka voda lokalno proti severu, v drugem, v Daljnem studencu, pa proti jugu.

Večje število vodoravnih jam v tem območju je znak odtekanja vode plitvo pod površjem. Območje tega plitvega krasa v smeri proti Rogu težko omejimo, ker so tu znani le redki kraški objekti.

Kat št.: 3209 — Mirkovo brezno

Lega: 5200 m NE od Kočevja, ob cesti na Rog.

Nadm. višina: 470 m.

Opis: Sprva proti W nagnjen rov, potem brezno, 41 m. Skupna globina 55,6 m. J. S. PDŽ, 1968.

Kat. št.: 3255 — Brezno na prelazu (Rog)

Lega: 4900 m NE od Kočevja, 600 m ESE od kote 596 Konjsko, ob cesti na Rog. Nadm. višina: 505 m.

Opis: razvejano brezno, globina ca. 40 m. J. S. PDŽ, 1968.

Kat. št. 3328: Kunje brezno

Lega: 1,5 km E od Željna, pod koto 596 m — Konjsko.

Nadm. višina: 540 m.

Globina: 18 m.

Opis in načrt.: 1968, J. S. PDŽ; 1969, J. K. Kočevje.

Kat. št. 3262 — Jama v rudniškem lagerju

Lega: 2000 m E od Željna.

Še ni raziskana.

Registrirano: 1966, J. K. PD Železničar.

Jugovzhodno od Željna in vzhodno od Šalke vasi je bil v zadnjem času odkrit še en manjši sistem podzemeljskega odtekanja, ki je v sedanjem stanju. že ločen od sistema Željskih jam. V tem sistemu razlikujemo štiri člene (sl. 5).

Kat. št. 3202 — Mala Stankova jama

Lega: 580 m NE od cerkve v Šalki vasi, 1020 m S od cerkve v Željnah. Nadmorska višina vhoda je okoli 478 m.

Opis: Dolžina ok. 142 m, globina ok. 14 m.

Vodni rov je ozek in poteka plitvo pod površjem proti NW. Na koncu rova se špranja odpira na površje.

Opis, meritev: 1967, 1968, A. Kranjc in D. Novak, Jamarska sekcija PDŽ.

Kat. št. 3203 — Velika Stankova jama

Lega: 980 m S od cerkve v Željnah, 700 m NE od cerkve v Šalki vasi, nadmorska višina vhoda okoli 472 m.

Opis: Dolžina 416 m, globina 18 m.

Dva vodna rova, ozka, špranjasta, ki segata od E proti W in proti SW. Podzemeljski potok teče proti NE. Jama je verjetno povezana z Malo Stankovo jamo.

Meritve in opis: 1968, A. Kranjc, Jamarska sekcija PDŽ.

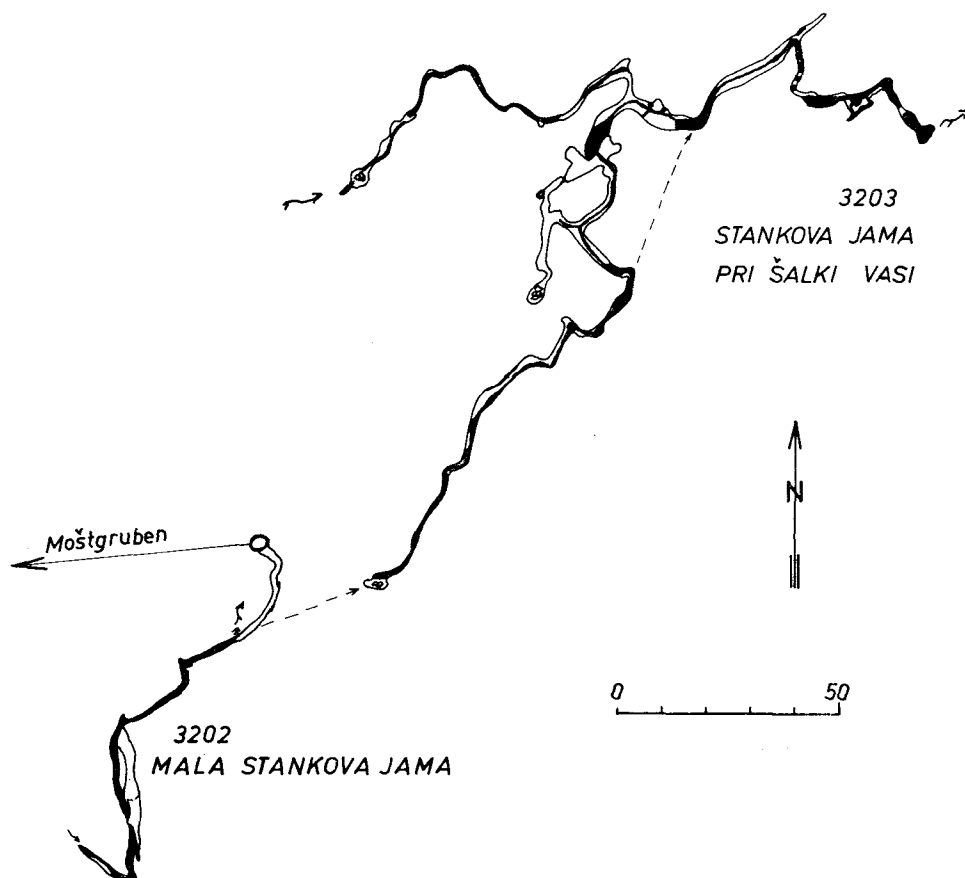
Kat. št.: 3204 — Jama v grmovju

Lega: okoli 800 m ENE od Šalke vasi, 1200 m SES od Željna.

Jama je v nadm. višini okoli 477 m, na SE pobočju doline, ki se zajeda E od Šalke vasi proti severu.

Opis: ozek, špranjast vodni rov, po katerem odteka podzemeljski potok proti SE. Meritve in opis: 1968, D. Novak in J. Žitko, Jamarska sekcija PD Železničar.

Mošt gruben je vrtača, v katere dnu se severovzhodno od Šalke vasi pojavlja voda. Priteka iz razpoke na južni strani in po 1,5 m dolgem površinskem toku proti



Sl. 5. Mala in Velika Stankova jama

severu zopet izgine v podzemlje. Pretok vode se spreminja. Vodni tok je v višini okoli 475 m.

Kat. št.: 2819 — Pokrito brezno

Lega: 2000 m vzhodno od Šalke vasi v Šahnu.

Nadm. višina: 406,40 m.

Opis: Brezno globoko 42 m, dalje pa je neprehodno.

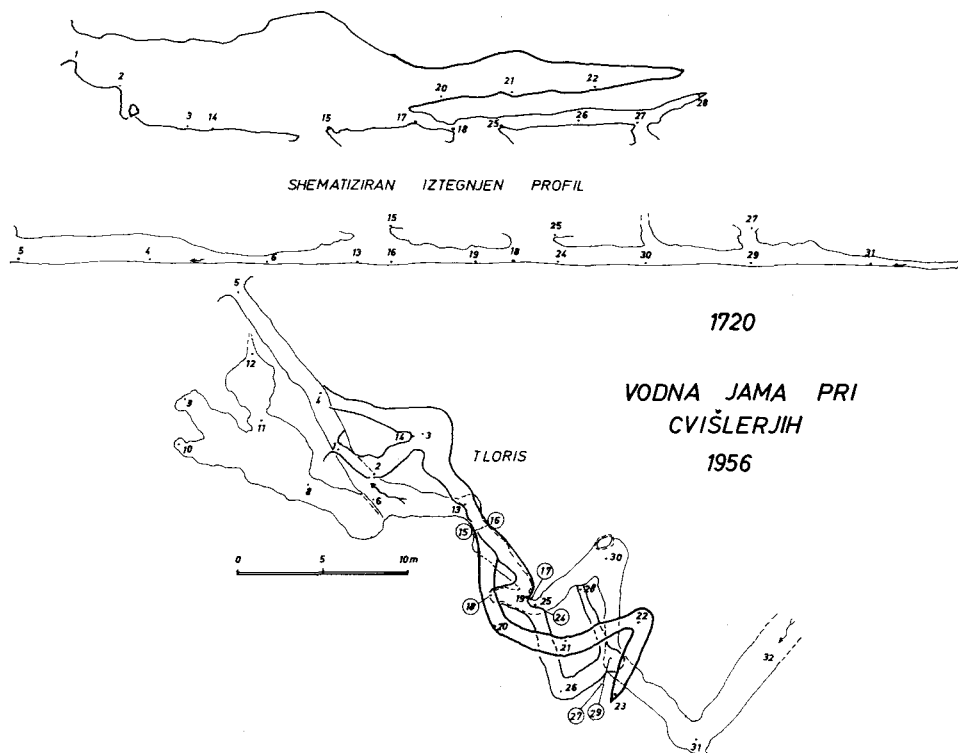
Kat. št.: 1720 — Vodna jama pri Cvišlerjih (sl. 6)

Lega: 1250 m SE od Šalke vasi nad Cvišlerji.

Nadm. višina: 474 m.

Vodni rov, špranjast, v dveh etažah. Iz jame priteka manjša količina vode, ki ponikne kmalu za izvirom. Zgornja etaža je suha in zasigana.

Opis in meritve: 1956, J. Šubelj, M. Podobnikar; 1969, J. K. Kočevje.



Sl. 6. Vodna jama pri Cvišlerjih

Le-ta objekt značilno dokazuje, da se voda lokalno pretaka po posameznih manj prepustnih plasteh v različnih višinah. V območju severnega obrobja Šahna, ob cesti proti Cvišlerjem in Oneku, so med plastmi apnenca pogostnejše plasti dolomita, po katerih pritekajo na površje manjše količine vode, da je tu več studencev in močil neznatne izdatnosti. Z druge strani pa je ta jama priča postopnega zniževanja erozijske osnove in faz zakrasevanja, ki so temu sledile. To opazujemo tudi pri Željnskih jamah (glej tudi A. K r a n j c, 1972).

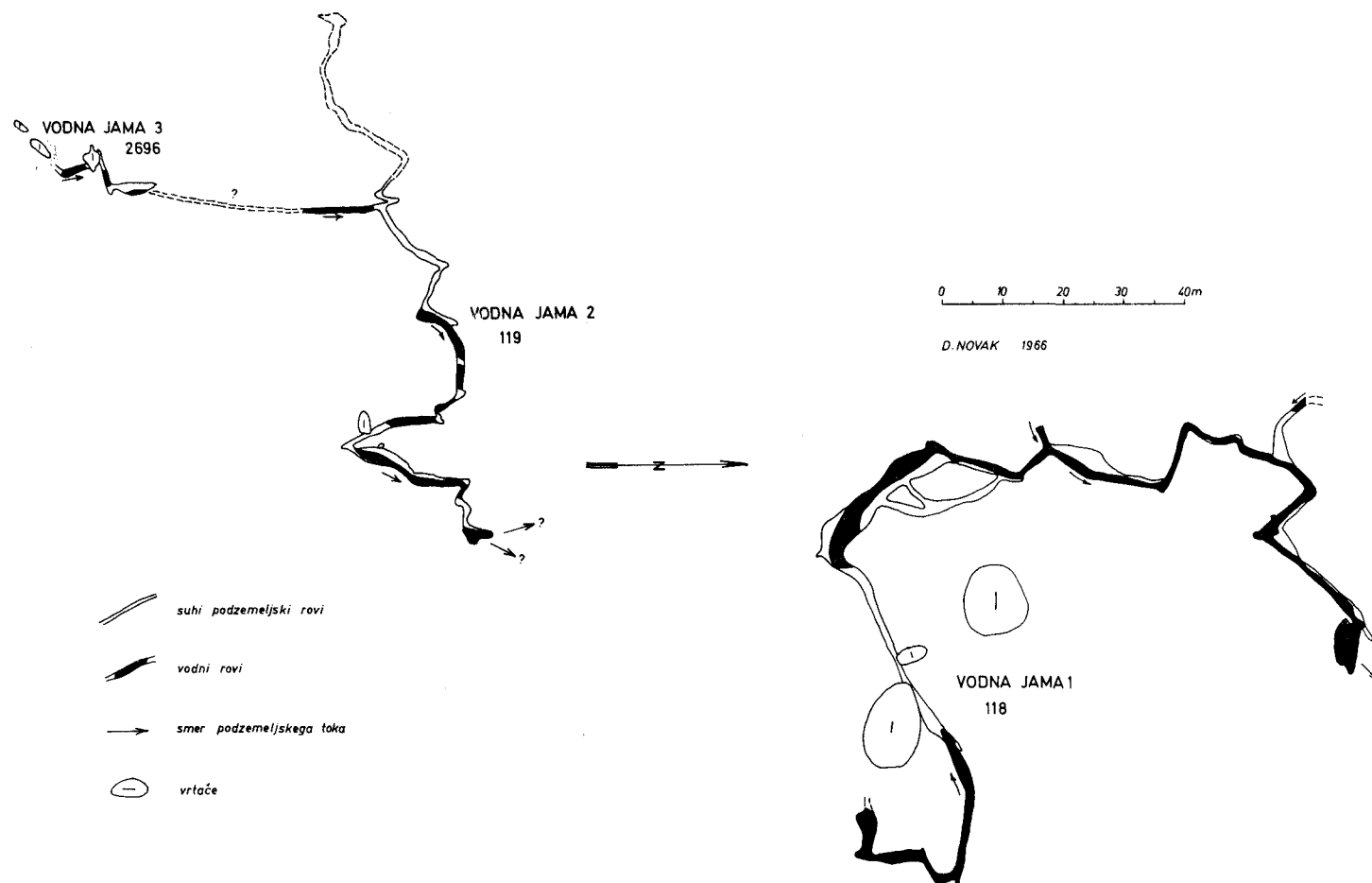
Severno od Kočevja leži Klinja vas. Vas oskrbujejo s stalno vodo vodnjaki. Ravnina med Željnyami in Klinjo vasjo je prekrita s plitvo odejo terciarnih in kvartarnih plasti, izpod katere že marsikod štrlijo golice apnenca, se pojavljajo vrtače in mestoma tudi jame. V njih, ki leže le nekaj metrov pod površjem, nahajamo aktivne, v enotnem sistemu proti severu usmerjene vodne tokove (sl. 7, 8).

Kat. št.: 118 — V o d n a j a m a I

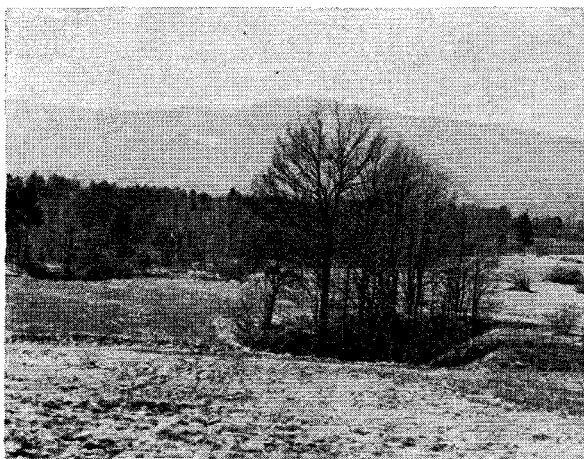
Lega: 54°, 500 m SE od Klinje vasi (482 m), 81° 200 m SW od kote 487 m.

Nadm. višina vhoda okoli 470 m, dolžina 270 m, globina ca. 8 m.

Opis in načrt: 1962, A. K r a n j c; 1965, D. N o v a k.



Sl. 7. Vodne jame pri Klinji vasi



Sl. 8. Vhod v Vodno jamo pri
Klinji vasi

Podzemeljski sistem se odpira v dnu vrtače s strmimi stenami. Vrtača je porasla s travo in grmovjem.

Od vzhoda priteče majhen potok in odteka proti NE. Rov je 2–3 m visok, 1–2 m širok. Na nekaj mestih se zniža strop skoraj do 1 m nad vodo, nekajkrat pa se rov zoži in razpoka seže skoraj do površja. Stene so gole in značilno korodirane, robovi so ostri. Okrog 20 m proti SW se rov razširi in zavije proti severu. V severni steni je ozek stranski rov. Od zahoda priteče v ta odsek po zasiganem in težko pristopnem rovu hladen in čist potok. V razdalji kakih 100 m od vhoda priteka iz iste smeri drug potok iz stranskega rova, ki je močno zarušen in ozek. Ta rov poteka sprva proti zahodu, nato pa zavije proti severu. Glavni rov od sotočja dalje zavije proti vzhodu. Tu je tudi pritočni sifon.

Nizdol se rov razširi in je nižji. Sprva se vije proti NE, nato zavije proti E, okoli 40 m od vhoda se obrne proti jugu, nato pa še proti zahodu, kjer se konča z nizkim sifonom. Oba rova sta skupno dolga okoli 270 m in sledita številnim razpokam v apnenčevih plasteh.

Kat. št.: 119 — Vodna jama II pri Klinji vasi

Lega: 53°, 300 m SW od kote 487 m in 67°, 600 m SE od Klinje vasi (482 m).

Nadmorska višina okoli 470 m, dolžina 152 m, globina 6–7 m.

Opis in načrt: 1965, D. Novak.

Vhod v jamo je v močno zaraščeni vrtači. V dnu vrtače priteka iz ozkega podzemeljskega rova podzemeljski potok. Rov se vije sprva proti severu, nato pa zavije proti vzhodu. Nekaj deset metrov daleč v notranjosti priteka od juga po ozkem rovu čist in hladen potok z manjšo količino vode. Glavni rov se nadaljuje proti zahodu, mestoma je suh in zelo ozek.

Kat. št.: 2696 — Vodna jama III pri Klinji vasi

Lega: 69°, 640 m SE od Klinje vasi (482 m), 53°, 340 m SW od kote 487 m.

Nadmorska višina okoli 470 m, dolžina 31 m, globina 3–4 m.

Opis in skica: 1965, D. Novak.

Tik pod pobočjem Nanosa je na stiku s terciarnimi plastmi nekaj udornih vrtač. V dveh od teh udorov naletimo na podzemeljski tok. V podzemeljskem sistemu odteka voda v smeri od juga proti severu. Proti jugu vodi ozek in nizek rov z značilnim okroglim profilom, proti vzhodu pa ozka špranja, ki se po nekaj metrih razširi v rov, usmerjen proti severu. V tem rovu se voda pretaka le ob višjem stanju vode.

Sistem odvaja vodo severnega roba terciarne kadunje. Podzemeljski vodni tok je v višini okoli 470 m n. m. Voda priteka iz jame III v jamo II in odtod v jamo I. Ne vemo še, kako odteka voda dalje v smeri proti Rogu. V tem območju so bile odkrite še tri jame, ki pa niso nudile pomembnejših podatkov o odtekanju podzemeljske vode.

Kat. št.: 3078 — Brunvirtske brezno

Lega: 1000 m NE od Klinje vasi.

Nadmorska višina: 480 m.

Opis: globina 16,5 m.

Opis in izmera: 1967, J. K. Kočevje; 1969, J. S. PD Železničar.

Kat. št.: 3079 — Pasje brezno

Lega: 900 m N od Klinje vasi.

Nadm. viš.: 471 m.

Opis: globina 38 m; odpira se pod tenko odejo terciarnih naplavin; na dnu, kljub nadm. v. 435 m, ni sledov tekoče podzemeljske vode.

Meritev: 1967, J. K. Kočevje.

Kat. št.: 3080 — Odpadno brezno

Lega: 400 m N od Klinje vasi.

Nadm. višina: 476 m.

Opis: Ob prelomnici v smeri N-S podaljšana špranja, globoka do 14 m.

Izmera: 1967, J. K. Kočevje; 1969, PD Železničar.

Pri Koblerjih na severnem in severozahodnem obrobju terciarnega bazena nahajamo vodo plitvo pod površjem v dnu nekaterih vrtač. V sami vasi je voda iz take vrtače zajeta v korito in leži le 4–5 m pod površjem. Vodnega pretoka ni opaziti. Pri Stari cerkvi, na severnem in severozahodnem robu pliocenskega bazena, so vodnjaki prav tako zajeli plitvo ležečo podzemeljsko vodo. V Mlakah je voda le okrog 1 m pod površjem. Preperelo površje terciarnih sedimentov in peščenjaka pa se površinsko odmakla v številna močila in potoke, ki odvajajo vodo proti Bregu, kjer izginja v požiralnike v apnencu v podnožju Kofla ob Rinži.

Kofel (475 m) pri Mahovniku je nizek, malo obsežen grič. V njem je bilo okritih 5 jam s skupno 670 m podzemeljskih rogov (A. Kranjc, 1969, 1970 a). Jame so v dveh etažah. Vodni tok, ki se začne v požiralniku ob cesti pod kamnolomom, se usmerja v manjši izvir tik ob Rinži. Le kakih 100 m jugovzhodno odtod izvira pri G. Mahovniku potoček, ki odvaja vodo kraškega ravnika z zaledjem tja do Kraflerjev, kjer so prav tako našli podzemeljsko vodo v globini le okoli 4 m.

V vasi Gorenje so štirje vodnjaki s stalno vodo, pod vasjo pa izvira na zahodni strani voda, ki teče do železniške proge in izgine v močvirju. Vzhodno

pod vasjo je v dnu vrtače manjši izvir v špranji v apnencu, ki je še prekrit z odejo terciarnih sedimentov. Voda priteka v količini okoli 0,2 l/sek in ponikne v požiralnik na drugi, južni strani vrtače. Okoli 800 m južno se voda znova pojavi v dolini pri Brunvirtu. Tudi ta voda izgine v požiralnik po dobrih 10 m površinskega toka. V naplavini obeh potokov je kremenčev pesek, ki ga voda spira s površja. Podzemeljski vodni tok je v nadaljevanju bržkone usmerjen v območje Vodne jame pri Klinji vasi.

Natančnejši višinski odnosi med posameznimi izviri in podzemeljskimi vodnimi tokovi niso znani, vendar lahko sklepamo glede na medsebojno lego, da so v območju Kočevskega polja sledeči podzemeljski vodni sistemi:

— vodni tok od izvira pri Gorenjem proti izviru pri Brunvirtu (482 m) tik ob robu terciarnih plasti. Nadaljevanje podzemeljskega toka lahko pričakujemo v ne preveč oddaljenem območju Vodne jame I (470 m). Ta sistem je cona horizontalnega odtoka v plitvem krasu.

— cono horizontalnega odtoka predstavlja tudi sistem Željnskih in Stankovih jam. Ob pričetku denudacije je bil to še enoten sistem na območju bolj razprostranjene cone aktivnih požiralnikov. Padeč je v tem območju majhen. Požiralniki Rudniškega potoka so v višini okoli 469 m, voda v Jami pri gostilni pri 467 m, požiralnik pri Remihovem mlinu pa v višini okoli 455 m. V ta sistem se že pri njegovem koncu stekajo podzemeljske vode Moštgrubna (475 m) in Stankovih jam (468 m). Vode Bližnjega in Daljnega studenca pri Željnah (465 m) odtekaajo v podzemeljsko kraško vodo vsaka zase.

— voda Jame v grmovju odteka proti jugu proti studencu v Cvišlerjih in v območje Rinže. Temu sistemu pripada ves jugovzhodni del Kočevskega polja.

— posebej je omeniti osamljeno območje Kofla pri Mahovniku, ki prevaja vodo, ki površinsko priteče od Mlak in Kraflerjev. Barvanja bi verjetno potrdila te predpostavke.

Fizikalno-kemične lastnosti podzemeljskih voda

Že v začetku raziskovanj v sistemu Željnskih jam smo pričeli z merjenjem temperature, trdot in drugih kemičnih lastnosti podzemeljskih voda. V obdobju 1956—1960 so analize vode v sistemu Željnskih jam pokazale sledeče:

Razmeroma topli Rudniški potok ohlaja zelo hladen pritok iz Dvojnega rova (5,2° C). Potok se v podzemlju še dalje ohlaja in je pri izstopu iz jame še za dve stopinji hladnejši. Spreminjajo se tudi trdote. Visoko karbonatno trdoto imajo pritok iz Dvojnega rova (14,1° dH), Studenec pred Ciganskimi jamami (18°) in zato tudi Studenec pri Koritu (12,88°), ki pa zdaj žal, ni več dostopen. Potok ima v Mali jami trdoto 12,5°. Karbonatne trdote so bile najvišje v zimskih in sušnih mesecih. Najvišje so bile v decembru: Potok 16,9°, Studenec pred Ciganskimi jamami 18,7°, Studenec pri Koritu 17,5°, najnižje pa ob visoki vodi in v maju in juniju (Potok 9,8°, potok v Črnem rovu 7,2°). Kasnejše analize trdote in vsebnosti Cl in drugih lastnosti v sistemu Željnskih jam (1965—66) izpričujejo, da je v Dvojnem rovu in v Studencu v Vodnem rovu ista voda. Višja celokupna trdota in količina Cl kažeta, da odteka voda s

terciarnega ozemlja in s kvartarnih plasti, podobno kot voda v izviri pri Gorenju in Brunvirtu:

celokupna trdota

Vodni rov

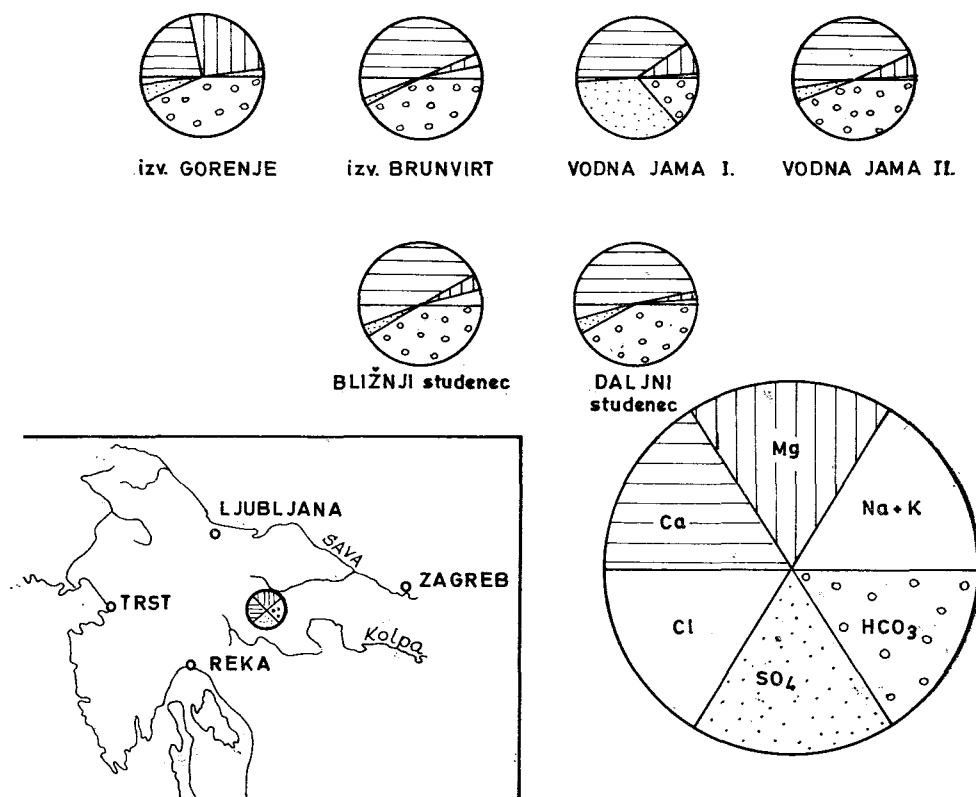
Studenec v Vodnem rovu

65,0° dH (deloma odpadna voda

44,0° Rudniškega potoka)

Rudniški potok odvaja v Vodni rov odplake in vodo s separacije, kar je mogoče slediti še skozi ves sistem do Remihovega mlina. Visoka celokupna trdota je deloma značilna za odpadne vode. Podoben primer je tudi v glavnem toku Vodne jame I, kjer doseže celokupna trdota 74° dH! Voda vsebuje velike količine Fe in Mn. Po tipu je voda v Vodni jami I sulfatna.

V sledeči tabeli podajamo glavne značilnosti kemičnega sestava voda na Kočevskem polju (sl. 9), tip vode po V. A. Aleksandrovu, celotno trdoto in odstotke mg ekv komponent, ki odstopajo od običajnega povprečka:



Sl. 9. Značilnosti kemične sestave vod na Kočevskem polju

	Tip	Cel. trd. dH	Značilne komponente ‰ mg ekv
Gorenje	CaMgHCO ₃	13,2	10 ‰ SO ₄
Brunvirt	CaHCO ₃	15,7	11 ‰ Cl
Vodna j. I	Ca SO ₄	74	18,9 ‰ Fe, 14,5 ‰ Mn
Vodna j. II	CaHCO ₃	12,6	
Daljni stud.	CaHCO ₃	17	11,4 ‰ Na, 12,1 ‰ Mg
Bližnji st.	CaHCO ₃	18,2	11 ‰ Cl
Moštgruben	CaHCO ₃	16,2	

Podrobnejše analize hrani Geološki zavod v Ljubljani. Analize je izdelal analitski laboratorij Kemičnega inštituta »Boris Kidrič«.

Sklepi in povzetek

Območje Kočevskega polja na jugu Slovenije je eden izmed členov dinarskega krasa. Ozemlje leži med visokimi kraškimi masivi Male gore in Roga na eni strani ter Velike gore in Stojne na drugi strani. Zgrajeno je v glavnem iz krednih in jurskih apnencev s pasovi dolomita in je ob prelomih, ki so usmerjeni v glavnem v dinarski smeri, močno razkosano. Značilen in važen dejavnik v hidrogeoloških razmerah je tudi globoko segajoča gruda neprepustnih terciarnih sedimentov, kjer obstaja že starejši premogovnik. Ta gruda je močna bariera-razvodnica za podzemeljske vode, ki odteka ob južnem robu podzemeljsko v smeri predkraškega površinskega potoka proti Kolpi v izvir Bilpo, na severni strani pa proti Krki v izvire proti Podturnu.

Rinža se napaja iz stalnih izvirov v podnožju Stojne. V izvir Obrh pri Slovenski vasi podzemeljsko doteka tudi del vode, ki se ob višjem stanju vode preliva iz Loškega potoka in hrani izvir Rakitnice. Ob višji vodi pritekajo po površju okrog Jasnice v Zadnjo Rinžo in se pojavljajo tudi v Prednji Rinži pri Ložinah še vode Ribniške doline, ki sicer podzemeljsko odteka proti Krki. V tem območju je torej primer horizontalne razvodnice, kjer odteka z istega ozemlja podzemeljske kraške vode v eno porečje, površinske pa v drugo.

V območju neprepustnih kamnin je potek razvodnice med Krko in Kolpo jasen. Manj pa je dognana razvodnica na obrobem ozemlju, v območju pretakanja površinskih visokih vod in med Željnam in Šahnom.

Prvi požiralniki v Rinži so že pod Ložinami v Prednji in v Zadnji Rinži. Tu še ni jasno, ali odteka njihova podzemeljska voda vzdolž Rinže v Kolpo ali pa obide podzemeljsko terciarno bariero proti severu in odteka v Krko.

Barvanje Rinže leta 1956 je dokazalo, da odteka Rinža iz Kočevja v izvir Bilpo ob Kolpi.

Na severni strani terciarnega bazena je pas plitvega krasa s podzemeljskimi jamami in vodnimi tokovi plitvo pod površino. Glavna objekta tega območja sta sistem Vodne jame pri Klinji vasi in sistem Željnskih jam, ki drenira vse vode iz obrobja Željn in Šalke vasi. Vzhodno odtod sta še Stankovi

jami in Jama v grmovju. V vseh naletimo na manjše podzemeljske vodne tokove. Voda iz Jame v grmovju že odteka v sistem podzemeljske Rinže, medtem ko se vode izvira Moštgruben in Stankovih jam verjetno priključijo odtoku Željnskih jam.

V plitvem krasu severnega obrobja Kočevskega polja nahajamo vodo le 6—10 m globoko pod površjem. V območju severno od Želj in Klinje vasi pa preide voda hitro v večjo globino. To območje bi lahko imeli za prehodno med cono vertikalnega odtoka in cono horizontalnega odtoka. Nasprotno pa štejemo območje podzemeljske Rinže v cono horizontalnega odtoka, dasi obstaja sklenjen horizont podzemeljske vode le za časa višjega stanja vode in odtekajo vode ob nižjem stanju ločeno v posameznih tokovih. Coni horizontalnega odtoka prištejemo lahko še območje Kofla pri Mahovniku. Več podzemeljske vode zbirata globoki kras Roga in Kočevske Male gore in morda tudi območje Stojne.

Iz omenjenih podatkov bi mogli sklepati tudi na razvoj kraške hidrografske mreže, ki je bila zasnovana na obrobju iz neprepustnih kamnin zgrajenega ozemlja, in na zniževanje piezometričnega nivoja proti vzhodu in jugu. Tod nahajamo sprva prenikanje vode v apnencu in plitev horizontalen odtok. V tej fazi so nastale večje podzemeljske jame npr. Željnske jame, jame pri Klinji vasi, jame v Koflu itd. O postopnem, vendar počasnem zniževanju erozijske osnove pričajo tudi vodoravne jame v obrobju polja s sledovi horizontalnega odtekanja, ki pa jih sedaj ne dosežejo več niti poplave (A. Kranjc, 1972).

Dalje je na obrobju večjih karbonatnih grud in masivov globokega krasa opaziti hitro spuščanje voda v večjo globino in s tem do večjih izvirov, ki leže sorazmeroma nizko in je njihova povezava s površinskimi vodami Kočevsko-ribniškega polja dokazana. V to smer kažejo tudi sledovi nekdanjega površinskega odtekanja. V smeri proti Kolpi sledimo staro suho podolje, proti Krki pa so tudi vidni še ostanki suhe doline (A. Kranjc, 1972). Proti Kolpi teče podzemeljska voda precej časa razmeroma plitvo in zdrsne šele v večji oddaljenosti v cono globljega in horizontalnega odtekanja. Postopno zniževanje erozijske baze nam kaže tudi razporeditev podzemeljskih rogov v območju izvira Bilpe.

Intenzivnejši razvoj kraškega procesa lahko postavljamo v čas, ko je obravnavano območje razpadlo v posamezne grude in sta bili zasnovani erozijski osnovi ob Krki in Kolpi z udorom Krške kotline in Bele krajine. Postopnemu poglobljanju oziroma relativnemu dviganju ozemlja je sledila kraška erozija, o čemer nam zgovorno pričajo tudi trojne etaže v Željnskih jamah in v Studencu pri Cvišlerjih.

Pas plitvega krasa v obrobju bazena neprepustnih kamnin je le posledica krčenja območja teh plasti, ki je za njim sledilo prestavljanje površinskega odtekanja v podzemlje, ko so površinske vode postajale vse krajše in so ostala na površju le še povirja. Za tem procesom bo sledilo še nadaljnje sicer nenakomerno zniževanje gladine podzemeljske kraške vode proti Krki in Kolpi, skladno s postopnim zakrasovanjem ozemlja, ki bo intenzivnejše predvsem v območju večjih prelomnih con.

Razlikovali smo tudi fizikalno-kemične značilnosti voda. Ugotovili smo, da so vode zmerno trde do zelo trde. Z značilnostmi odpadnih vod izstopata vodi v

Vodnem rovu Željnskih jam in Studenca v Vodnem rovu (cel. trdota 75° oz. 44° dH) ter voda v glavnem rovu Vodne jame I (cel. trd. 74° dH). Druge značilnosti kemičnega sestava so podane v tabeli v glavnem besedilu in to: facija po V. A. Aleksandrovu, celokupna trdota in morebitne višje značilne količine posameznih komponent. Vode so vse kalcijevo hidrokarbonatne z izjemo vode v Vodni jami I, ki je kalcijevo sulfatna.

To je potrebno vedeti pri obravnavanju vzrokov in izvirov onečiščenja podzemeljskih voda.

Počasi tekoča podzemeljska voda se onečeja predvsem zaradi odkladališča materiala in odpadkov ob cesti proti Oneku. Eden od virov onečiščenja podzemeljske vode je tudi rudniška separacija, odkoder odteka s premogom obremenjena voda po Rudniškem potoku v Jamo pod Šalko vasjo. Voda z odvalin dnevnega kopa se pojavlja v Vodni jami I, da ne omenjamo kakovosti same Rinže.

Navedeni vzroki občutno zmanjšujejo vrednost podzemeljskih kraških voda in izvirov v obrobju ter so zato potrebne čistilnice pri vsakem industrijskem obratu. Poznavanje vodnih razmer na razmeroma majhnem območju dolenskih kraških polj, zlasti v območju požiralnikov Rinže je pomembno za bodoče načrtovanje zajemanja izvirov vode za potrebe obrobne kraškega sveta ob Kolpi in Krki. V tem primeru je potrebno poznati zaledje izvirov, da se izognemo morebitnemu nenadejanemu onečiščenju vode.

Perspektivni viri vode za območje Ribniško-kočevskega polja pa so lahko le kraški izviri na obrobju Velike gore.

R é s u m é

SUR LA HYDROGRAPHIE DU POLJÉ DE KOČEVJE

La région du poljé de Kočevje dans le sud de la Slovénie représente une des parties du karst dinarique. La région se trouve entre hauts massifs karstiques de Mala gora et Rog d'un côté et Velika gora et Stojna de l'autre côté. Elle s'est, en général, développée sur les calcaires crétacés et jurassiques avec les bandes de dolomie fort démembrées par des failles dans le sens dinarique. Le facteur très caractéristique et important pour les conditions hydrogéologiques représente aussi le morceau profond des sédiments tertiaires imperméables, où se trouve l'ancienne houillère. Ces sédiments représentent une forte barrière — ligne de partage d'eaux souterraines. Du côté sud elles se drainent en direction du ruisseau superficiel prékarstique vers la rivière Kolpa — dans la source Bilpa, tandis que du côté nord, vers la rivière Krka, dans les sources près de Podturn.

La rivière de la Rinža prend ses eaux dans les sources perennes au pied de Mt. Stojna. Dans la source karstique de l'Obrh près de Slovenska vas s'écoule souterrainement une partie d'eau qui se verse pendant la crue de Loški potok et alimente la source de la Rakitnica. Pendant les crues les eaux du poljé de Ribnica coulent superficiellement lenent autour la Jasnica dans la Zadnja Rinža et paraissent aussi dans la Prednja Rinža près Ložine, bien qu'elles s'écoulent pendant l'étiage souterrainement vers la Krka. On trouve dans cette région l'exemple de ligne de partage horizontale

où les conduites karstiques souterraines s'écoulent vers un bassin et celles de surface vers l'autre.

Dans la région des roches imperméables la ligne de partage entre la Krka et la Kolpa est claire. Mais dans les parties marginales, dans la région d'écoulement des crues superficielles et entre Željne et Šahen elle est beaucoup moins connue.

Les premières pertes de la Rinža se trouvent déjà au-dessous Ložine dans la Prednja et la Zadnja Rinža. On n'a pas encore prouvé si ses eaux souterraines s'écoulent le long de la Rinža vers la Kolpa, où bien elles évitent la barrière souterraine tertiaire au nord et s'écoulent vers la Krka.

Les colorations de la Rinža en 1956 ont prouvé que la rivière s'écoule de Kočevje vers la source Bilpa près de la Kolpa.

Dans la partie nord du bassin tertiaire se trouve la bande du karst peu profond avec les grottes et conduites d'eau à faible profondeur au-dessous la surface. Les objets principaux de cette région sont le réseau karstique des Vodne jame près de Klinja vas et le réseau de Željnske jame qui draine les alentours de Željne et Šalka vas. Plus à l'est se trouvent Stankova jama et Jama v grmovju. Dans toutes ces grottes on y trouve des petits cours souterrains. L'eau de Jama v grmovju s'écoule déjà dans le cours souterrain de la Rinža, tandis que les eaux de la source Moštgruben et de Stankova jama se joignent à l'écoulement de Željnske jame.

Dans le karst peu profond de la bordure nord du poljé de Kočevje on y trouve l'eau seulement 6—10 m au-dessous de la surface. Dans la région au nord de Željne et Klinja vas l'eau passe en profondeur. Cette région peut être considérée comme la région transitoire entre zone d'écoulement vertical et zone d'écoulement horizontal. D'autre part la région de Rinža souterraine est considérée comme zone d'écoulement horizontal bien que l'horizon ininterrompu de l'eau souterraine existe seulement pendant la période de crue, tandis que pendant l'étiage les eaux s'écoulent par les conduites séparées. La région de Kofel près Mahovnik peut être ajoutée à la zone d'écoulement horizontal. Le karst profond de Rog et Mala gora et peut être aussi la région de Stojna accumulent les quantités considérables d'eaux souterraines.

Des données mentionnées on peut faire des suppositions sur le développement du réseau hydrographique karstique sur le terrain marginal imperméable et sur l'abaissement du niveau piézométrique vers l'est et vers le sud. Dans la première phase on s'y trouvaient la percolation d'eau à travers les calcaires et écoulement horizontal dans la faible profondeur. De cette phase originent des grandes grottes comme par exemple Željnske jame, les grottes près de Klinja vas, les grottes dans Kofel etc. Les grottes horizontales au bord du poljé avec les traces d'écoulement horizontal, mais aujourd'hui sèches (A. Kranjc, 1972) témoignent d'abaissement graduel et lent de la base d'érosion.

De plus, au bord des grands massifs calcaires et du karst profond l'eau descend vite dans la profondeur et alimente les grandes sources qui sont situées à l'altitude relativement basse et dont la communications avec les eaux superficielles de Kočevje—Ribnica poljé est prouvé. Cette direction est confirmée aussi par les traces d'ancien drainage superficiel. Dans la direction vers la Kolpa on suit l'ancienne vallée sèche et aussi vers la Krka on aperçoit les traces d'une telle vallée (A. Kranjc, 1972). Vers la Kolpa l'eau souterraine coule assez longtemps dans la faible profondeur et ne descend dans la zone d'écoulement profond et horizontal

que plus loin. L'abaissement graduel de la base d'érosion est montré aussi par la disposition des galeries souterraines au-dessus de la source de la Bilpa.

L'intensification du processus karstique peut être placée dans la période quand la région traitée a été démembrée en des massifs particuliers et deux bases d'érosion ont été faites près de la Krka et la Kolpa à cause de l'enfoncement de la vallée de la Krka et du plateau karstique de la Bela krajina. L'abaissement graduel où bien l'élévation relative du terrain sont été suivis de l'érosion karstique bien prouvée par trois étages dans Željske jame et dans Studenec près de Cvišlerji.

La ceinture du karst peu profond au bord du bassin des roches imperméables est le résultat du fait, que ces couches ont été emportées de la région ce qui était suivi par déplacement d'écoulement de la surface vers le souterrain, les cours superficiels devenant de plus en plus courts; seulement les parties supérieures sont restées à la surface. Après ce processus suivrait l'abaissement continu, d'ailleurs inégal, du niveau de l'eau souterraine karstique vers la Krka et la Kolpa, correspondant à la karstification graduelle de la région; l'abaissement serait plus intensif surtout dans les zones des grandes accidents tectoniques.

Aussi les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau on été étudié. On a constaté que les eaux sont de dureté moyenne jusqu'à dureté forte. Les eaux de Vodni rov à Željske jame et Studenec dans Vodni rov (75° ou bien 44° dH) et dans la galerie principale de Vodna jama I. 74° dH) se distinguent par des caractéristiques des eaux résiduelles. Les autres caractéristiques de structure chimique sont mentionnées sur le tableau dans le texte slovène comme il suit: faciès après V. A. Aleksandrovič, la dureté totale et les quantités caractéristiques plus hautes des composants particulières éventuelles. Toutes les eaux sont calcium-hydrocarbonatées, sauf l'eau dans Vodna jama I. qui est calcium-sulfatée.

En ce qui concerne les raisons et causes de pollution des eaux souterraines, il semble, que l'eau souterraine qui coule lentement se pollue surtout par la déposition des matériaux et ordures près de la route vers Onk. Un des raisons de la pollution d'eau souterraine et aussi la séparation de la houillère d'où l'eau saturée de charbon coule par Rudniški potok dans la Jama pod Šalko vasjo. L'eau de dépôt de la houillère à ciel ouvert apparaît dans Vodna jama I., sans y mentionner la qualité d'eau de la Rinža.

Les raisons mentionnées diminuent fortement la qualité des eaux et des sources karstiques. Il faut donc installer les filtres chez chaque exploitation industrielle. La connaissance des conditions hydrographiques dans la région relativement restreinte des poljes karstiques de la Basse Carniole et surtout dans la région de pertes de la Rinža est très importante quant aux plans futurs de l'approvisionnement de l'eau des régions karstiques marginales près de la Kolpa et la Krka. Il faut donc connaître l'arrière-pays des sources afin d'éviter la pollution éventuelle imprévue. Les sources perspectives pour la région des poljes de Ribnica et Kočevje peuvent être seulement les sources karstiques au pied de Velika gora.

Literatura

- Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa, SAZU, Postojna;
Arhiv Jamarske sekcije PD »Železničar«, Ljubljana.
Bole, J., 1965. Varstvo podzemeljskega živalstva. Varstvo narave 4 (1966), Ljubljana.
— 1967. Ohranimo podzemeljski svet nedotaknjen. Proteus 29/9—10, 272—273, Ljubljana.

- Budnar-Tregubov, A., 1961. Mikropaleobotanička istraživanja uglja iz Kočevja i Kanižarice. Vesnik 19, Zavod za geol. geofiz. ist., Beograd.
- Buser, S., 1965. Tolmač k osnovni geološki karti SFRJ, list Ribnica, 1 : 100 000. Arhiv GZ, Ljubljana.
- Čadež, N., 1963. Hidrografsko zaledje Radeščice. Geografski vestnik 24 (1962), 139—141, Ljubljana.
- Deschmann, Carl, 1862. Bericht über die bei den monatlichen Versammlungen der Mitglieder des Museal-Vereines gehaltenen Vorträge in den Jahren 1858 und 1859. Drittes Jahresh. des Ver. d. krain. Landes-Museums, Laibach (1862).
- 1866. Zusammenstellung der bisher in Krain gemachten Höhenmessungen. Mitt. d. Musealvereins f. Krain 1, Laibach.
- Germovšek, C., 1953. Zgornjekredni klastični sedimenti na Kočevskem in v bližnji okolici. Geologija 1, 120—134, Ljubljana.
- 1954. Geološka zgodovina Dolenjske. Turistični vestnik 11/4, Ljubljana.
- 1961. O mlajše paleozojskih in sosednjih mezozojskih skladih južno od Kočevja. Geologija 7, 85—100, Ljubljana.
- Habič, P., 1969. Delovna območja jamarskih klubov v Sloveniji. Naše jame 10 (1968), 83—87, Ljubljana.
- 1969. Hidrografska rajonizacija krasi v Sloveniji. Krš Jugoslavije 6, 79—61, Zagreb.
- Hrovat, A., 1959. Kraško polje pri Žalni. Naše jame 2/2, 53—58, Ljubljana.
- Jenko, F., 1959. Hidrogeologija in vodno gospodarstvo krasi, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1969. O delu in problemih nekega kluba. Ob 15. obletnici ustanovitve JK »Jamarska sekcija PD Železničar«. Naše jame 10 (1968), 93—100, Ljubljana.
- 1970. Speleološka odkritja na Kočevskem polju. Naše jame 11 (1969), 45—50, Ljubljana.
- 1970 a. Speleološke značilnosti Kočevskega polja. V. Jugosl. speleološki kongres, Skopje.
- 1972. Kraški svet Kočevskega polja in izraba njegovih tal. Geografski zbornik 13 (1972), Ljubljana.
- Lehmann, E., 1933. Das Gottscheer Hochland. Grundlinien einer Landeskunde. Leipzig.
- Melik, A., 1959. Slovenija, II/3, Posavska Slovenija. Ljubljana.
- 1931. Hidrografski in morfološki razvoj na srednjem Dolenjskem. Geografski vestnik, 66—100, Ljubljana.
- Nagode, Č., 1931. Étude géologique et géographique relative au réseau ferroviaire projeté en Yougoslavie occidentale. Rév. Géogr. Phys. Geol. Dynamique, Paris.
- Novak, D., 1955. Nekaj jam iz okolice Mozlja na Kočevskem. Speleolog 3/3—4, Zagreb.
- 1956. Željske jame. Proteus 19/4, 79—81, Ljubljana.
- 1962. Brezni pri Treh križih. Naše jame 4/1—2, 23—25, Ljubljana.
- 1963. Prepadna jama pri Suhorju. Naše jame 5, 30—36, Ljubljana.
- 1969. Bakteriološke lastnosti podzemeljskih voda na Slovenskem krasu. Nova proizvodnja 20, 1—2, 26—27, Ljubljana.
- Nosan, A., 1958. Geološki izleti po Sloveniji. Izlet Kočevje—Fridrihštajn—Željne—Kočevje. Ljubljana.
- Pleničar, M., 1956. Hidrogeološke razmere v porečju Krke in Kolpe. Arhiv GZ, Ljubljana.
- 1960. Stratigrafski razvoj krednih plasti na južnem Primorskem in Notranjskem. Ljubljana.
- 1962. Kaprinide in rod Radiotella v krednih skladih jugozahodne Slovenije. Razprave 4. raz. SAZU 5, Ljubljana.
- 1965. O novih najdbah rudistov na območju Kočevskega Roga. Geologija 8, 92—101, Geologija 6, 22—145, Ljubljana.
- Pischek, A., 1874. Grotten in der Umgebung von Gottschee mit besonderer Berücksichtigung der topographischen und geognostischen Verhältnisse, 1873. Jahresbericht Gymn. Gottschee.
- Pretner, E., 1954. Jame na Dolenjskem in Kočevskem. Turistični vestnik 11/4, Ljubljana.

- Protzen, H., 1932. Das Tertiärbecken von Gottschee in Unterkrain und seine morphologische Bedeutung. Vestnik Geol. inst. kr. Jugoslavije, 64—123, Beograd.
- Putick, W., Zur Entwässerung der Kesselthäler von Reifnitz und Gottschee. Laibacher Zeitung 111/51 in 52, 3. in 4. 3. 1892, Laibach.
- Raztresen, M., 1961. Karakteristika kraških objektov na Kočevskem. II. Jugosl. speleol. kongres, Split, 1958, 111—119, Zagreb.
- Rus, Jože, 1921. Ribnica in Kočevje. Glasnik geogr. društva 5, Beograd.
- 1926. Ribnica in Kočevje. Glasnik geogr. društva 12, Beograd.
- Uršič, F., 1932. Stratigrafski pregled slojeva u okolini Kočevja u Dravskoj banovini. Vestnik Geol. zavoda kralj. Jugosl. 2, Beograd.
- 1933. Čarobne Željske jame. Slovenski narod 66, 15. 8. 1933, Ljubljana.
- 1939. Vodne razmere na Kočevskem. Kočevski Slovenec, 18—26. Kočevje.
- Simonič, Ivan. Geografski pregled kočevskega jezikovno mešanega ozemlja. Geološko-geomorfološki opis. Kočevski zbornik, Ljubljana, 1939.
- Waagen, L., 1914. Karsthydrographische Mitteilungen aus Unterkrain. Verh. geol. R. A., 102—121; Wien.
- Wenedikter, R., 1930. Die Seeler Grotte. Eine Beschreibung aus dem Jahre 1749. Gottscheer Jubiläums-Festbuch 1930, 117—128, Gottschee.
- Žurga, J., 1936. Nekoliko iz geologije Dolenjske. Trgov. list., 8—26, Ljubljana.

GEOFIZIKALNE RAZISKAVE NA KRASU

(s 13 slikami v besedilu)

GEOPHYSICAL EXPLORATIONS IN KARST

(with 13 Figures in Text)

JANEZ LAPAJNE

(Geološki zavod v Ljubljani)

Uvod

Predmet geofizikalnih raziskav na krasu je ugotavljanje reliefa podlage kraških polj, kotlin in kotanj, globine vrtač, debeline preperine in nanosov, prelomnih con, smeri prevladujoče razpokanosti, con močnejše zakraselosti, globine zakraselosti, iskanje praznih in zapolnjenih kraških jam, boksitnih in drugih teles, sledenje podzemeljskih vodnih poti in kanalov, ugotavljanje smeri gibanja vode, ocenjevanje hitrosti filtracije vode, določevanje mest iztekanja vode iz kraških polj oziroma jezer in akumulacijskih bazenov, raziskovanje zaledja izvirov ipd.

Ob takšni raznolikosti problemov ni mogoče predpisati splošnega načina raziskovalnega dela. Na podlagi teoretičnih izsledkov in praktičnih izkušenj je mogoče v splošnem samo ocenjevati uporabnost posameznih raziskovalnih metod, sicer pa je treba obravnavati vsako nalogo glede na konkretne geološke in geofizikalne pogoje.

Pri predpripravah so koristni predhodni izsledki modeliranja. Da lahko modelne rezultate npr. v obliki krivulj smiselno uporabimo, moramo najprej postavljeni raziskovalni problem čim bolj formulirati in sicer v mejah, ki jih postavljajo razpoložljivi podatki.

Teoretično je dokaj dobro obdelan problem ugotavljanja kraških jam ter drugih teles in tudi mi smo mu v preteklih letih posvetili več pozornosti, o čemer bomo obširneje govorili v okviru modelnih raziskav. Poglejmo si, kako v praksi oblikujemo problem ugotavljanja takšnih teles.

Rezultati modeliranja jasno kažejo, da je mogoče kraške votline in rudna telesa neposredno ugotavljati le v sorazmerno majhnih globinah. Po drugi strani pa so nekateri rezultati terenskih raziskav navidezno v nasprotju s tem izsledkom; maksimalne vrednosti terenskih anomalij so namreč često nekajkrat večje od teoretičnih. Marsikdaj dobivamo močne anomalije od globoko ležečih teles, od katerih sploh ne bi pričakovali merljivih anomalij.

Za terenski profil s sl. 4 je mogoče hitro oceniti, da bi dana jama v najboljšem primeru povzročila spremembo navidezne specifične upornosti na geoelektričnem profilu Wennerjeve razvrstitve za kakih 10 %. Kot je znano, mora merljiva sprememba določene fizikalne količine presegati dvakratno vrednost merske napake, ki v tem primeru prav gotovo ni manjša od 5 %. Zato takšne spremembe pri razgibanem in nehomogenem terenu ne moremo niti kvalitativno vrednotiti. Očitno izražena možna anomalija v tem in mnogih drugih primerih terja zato neko sprejemljivo razlago.

Problem ugotavljanja raznih teles moremo dokaj jasno, čeprav morda ne povsem zadovoljivo formulirati v splošni obliki.

Geofizikalno ugotavljanje nekaterih kraških teles, ki leže pod površino, je mogoče razdeliti na:

1. Neposredno ugotavljanje, če povzroča anomalijo iskano telo samo; pri obdelavi in vrednotenju se poslužimo laboratorijskega in matematičnega modeliranja.

2. Posredno ugotavljanje — anomalijo povzroča »telo«, ki obsega poleg iskanega telesa še precejšen del njegove okolice; često je namreč prisotnost iskanega telesa povezana s tolikšno spremembo obdajajočih kamenin, da pravzaprav le-te skupaj z vodo, glino ipd. predstavljajo »anomalno telo«, ki ima lahko bistveno večje razsežnosti kot iskano telo samo; često je prispevek iskanega telesa k anomaliji zanemarljiv.

V kolikor gre za neposredno ugotavljanje, je mogoče podati kvantitativne podatke o občutljivosti in globinski dosegljivosti metode za splošen primer.

Pri posrednem ugotavljanju ne moremo ničesar napovedati vnaprej, ker je uspešnost metode odvisna od konkretnih terenskih razmer.

Večinoma so razmere ravno takšne, da gre lahko kvečjemu za posredno ugotavljanje. V tem primeru je treba za razlago anomalije zadovoljivo opisati omenjeno »anomalno telo« in nikakor ni umestna primerjava izmerjene anomalije z anomalijo nekega modela, ki sploh ne ustreza razmeram v naravi. Načeloma je mogoče tudi v tem primeru problem obravnavati z modeliranjem, velikokrat pa so terenske razmere takšne, da je mogoče podati le kvalitativen opis »anomalnega telesa« glede na tehnične, časovne in ekonomske omejitve. Če gre samo za določitev lokacije, kvalitativna slika običajno zadostuje.

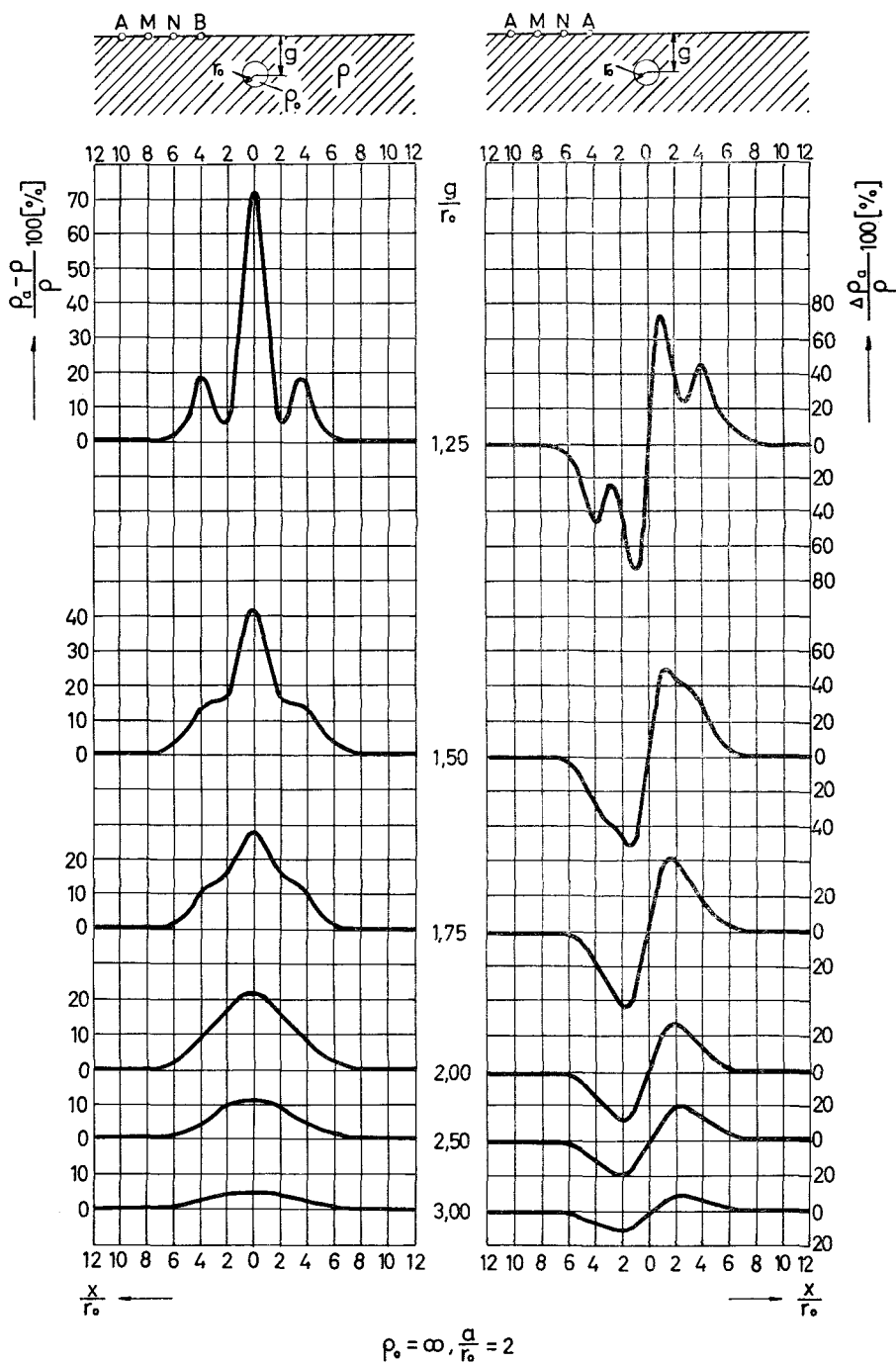
GEOELEKTRIČNE MODELNE RAZISKAVE

Osnovna naloga uporabne geofizike je oblikovanje predstave oz. slike raziskovanega terena na podlagi podatkov terenskih meritev. Iz danih meritev je torej treba izračunati fizikalne in geometrijske parametre geološke strukture. Ta problem v splošnem ni rešljiv zaradi dveh osnovnih vzrokov.

Prvi je neenoličnost rešitve, kar pomeni, da lahko ustreza določeni množici merskih vrednosti več možnih različnih geoloških konfiguracij, drugi vzrok pa je nekorektnost danega problema, kar pomeni, da lahko poljubno majhnim merskim napakam ustrezajo poljubno velike napake v rešitvi. Ti zapreki lahko uspešno odstranimo samo z dodatnimi informacijami, ki niso vsebovane v merjeni količini. Te informacije dobimo iz geoloških in vrtnih del, deloma pa z ugotavljanjem drugih geofizikalnih parametrov, ki so neodvisni od že ugotovljenih.

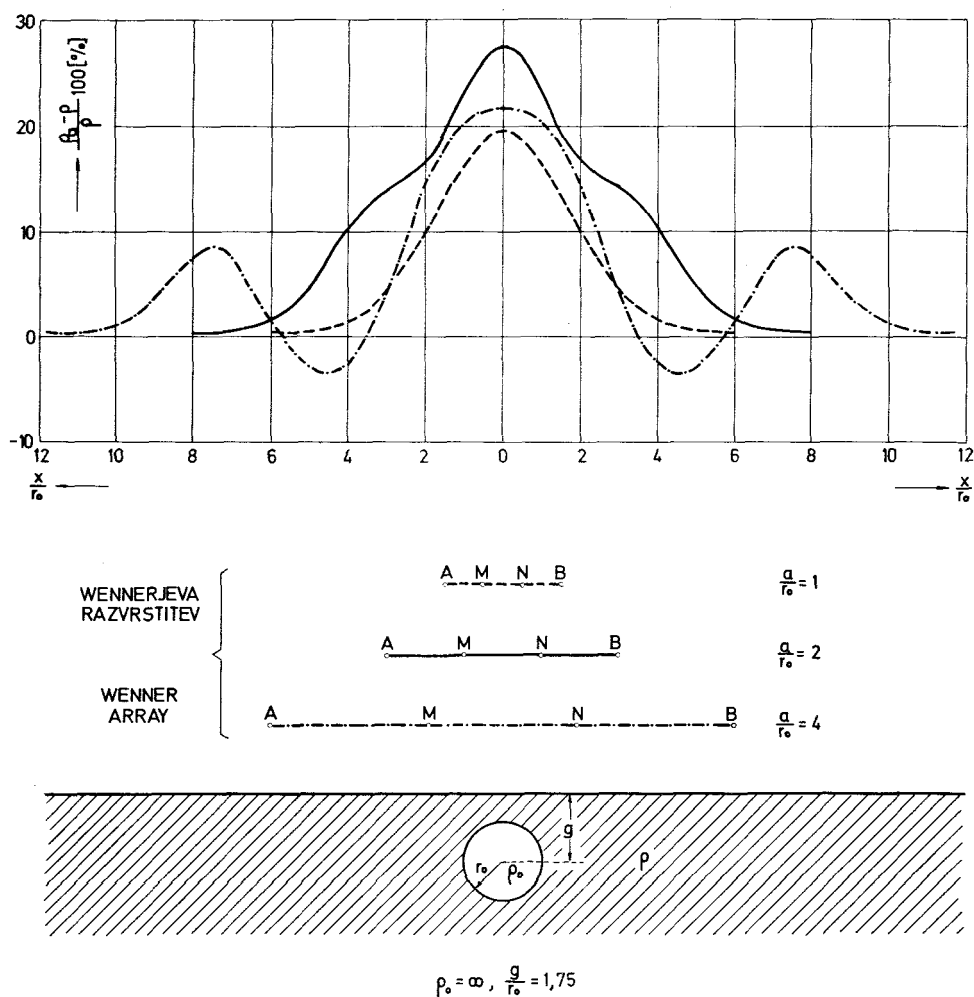
Način reševanja postavljene naloge poteka običajno posredno s pomočjo modeliranja. Glede na merske podatke se na nek način napravi model raziskovanega terena. Nato se izračuna učinek oz. polje tega modela in se le-to primerja z merskim poljem. Po potrebi se vnese popravek v model in se ponovno izračuna polje itd. Tako se postopoma približujemo neki možni rešitvi, ki se zdi zadovoljiva. Z dodatnimi informacijami poskrbimo, da je dobljena rešitev čim vernejša podoba razmer v naravi.

Razlikujemo laboratorijsko in matematično modeliranje. Izbira med enim in drugim je odvisna od omejitev enega in drugega, od cene in potrebnega časa. Za nekatere probleme je primernejše prvo, za nekatere drugo. S prihodom hitrih



Sl. 1. Laboratorijske modelne krivulje za valj v homogenem izotropnem polprostoru.
Upornostne krivulje za razne globine valja

Fig. 1. Laboratory model curves for cylinder in homogeneous isotropic halfspace.
Resistivity curves for several cylinder depths



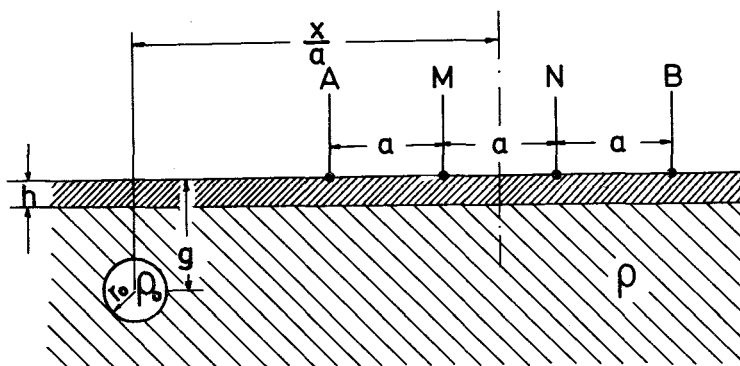
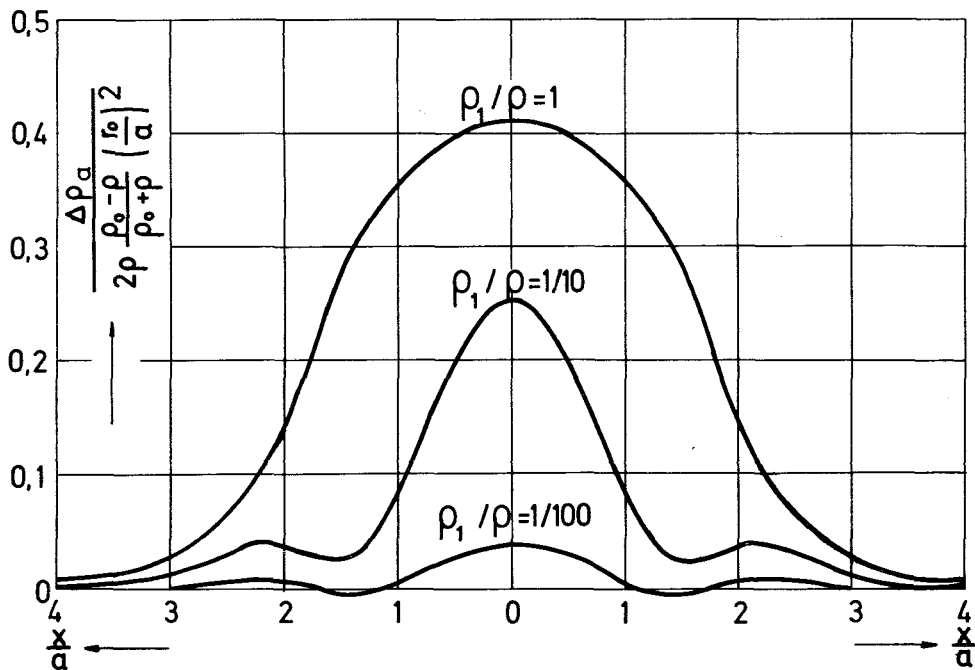
Sl. 2. Laboratorijske modelne krivulje za valj v homogenem polprostoru. Upornostne krivulje za različne dolžine Wennerjeve razvrstitve

Fig. 2. Laboratory model curves for cylinder in homogeneous isotropic halfspace. Resistivity curves for different dimensions of Wenner array

elektronskih računalnikov se je težišče pomaknilo na računalniško modeliranje, ki postaja eden najuporabnejših postopkov v procesu vrednotenja.

Za programiranje raziskovalnih del in oceno uporabnosti neke metode ter za samo vrednotenje so zelo koristne vnaprej izračunane ali izmerjene modelne krivulje. Često so to povsem zadovoljiv pripomoček za vrednotenje.

Na Geološkem zavodu v Ljubljani smo se intenzivneje bavili z modeliranjem kraške problematike v obdobju od 1963. leta, ko smo pričeli z laboratorij-



$$h/a = 1/4$$

$$g/a = 1$$

$$\Delta \rho_a = \rho_a(\rho, \rho_1, \rho_0) - \rho_a(\rho, \rho_1)$$

$$r_0/g \leq 1$$

$$\rho_1/\rho = 1, 1/10, 1/100$$

Sl. 3. Matematične modelne krivulje za valj v dvoplastnem polprostoru. Upornostne krivulje za različne vrednosti specifične električne upornosti površinske plasti

Fig. 3. Mathematical model curves for cylinder in twolayer halfspace. Resistivity curves for various resistivities of overburden

skimi modelnimi raziskavami, pa do leta 1968. V tem času smo izvajali meritve na modelih po metodi navidezne specifične upornosti, inducirane polarizacije in z elektromagnetno metodo z galvanskim napajanjem, ki je pravzaprav metoda električno nabitega telesa. Zaradi težav pri izbiri modelnih materialov in konstrukciji modelov smo se omejili na enostavne modele kraških jam in kanalov ter rudnih teles.

Osnovno sredstvo, v katerem smo merili, je bila običajna voda, v katero smo potopili model. Kot modeli so služile v večini primerov krogle in valji iz medenine (»neskončna« prevodnost) in juvidurja (»neskončna« upornost).

Z običajno dvopolno in enopolno *Wennerjevo* elektrodno razvrstitevjo smo izmerili (oz. posneli) večje število modelnih krivulj. Kot spremenljivki sta služili globina modela in razsežnost razvrstitve (ter premer krogle oz. valja). Sl. 1 prikazuje nekaj takšnih krivulj za »neskončno« uporen valj. Iz slike je razvidno, kako je anomalija odvisna od globine telesa.

Mimogrede naj omenimo, da je mogoče dobiti modelne krivulje za trielektrodno razvrstitev enostavno s seštevanjem anomalij enopolne in dvopolne razvrstitve.

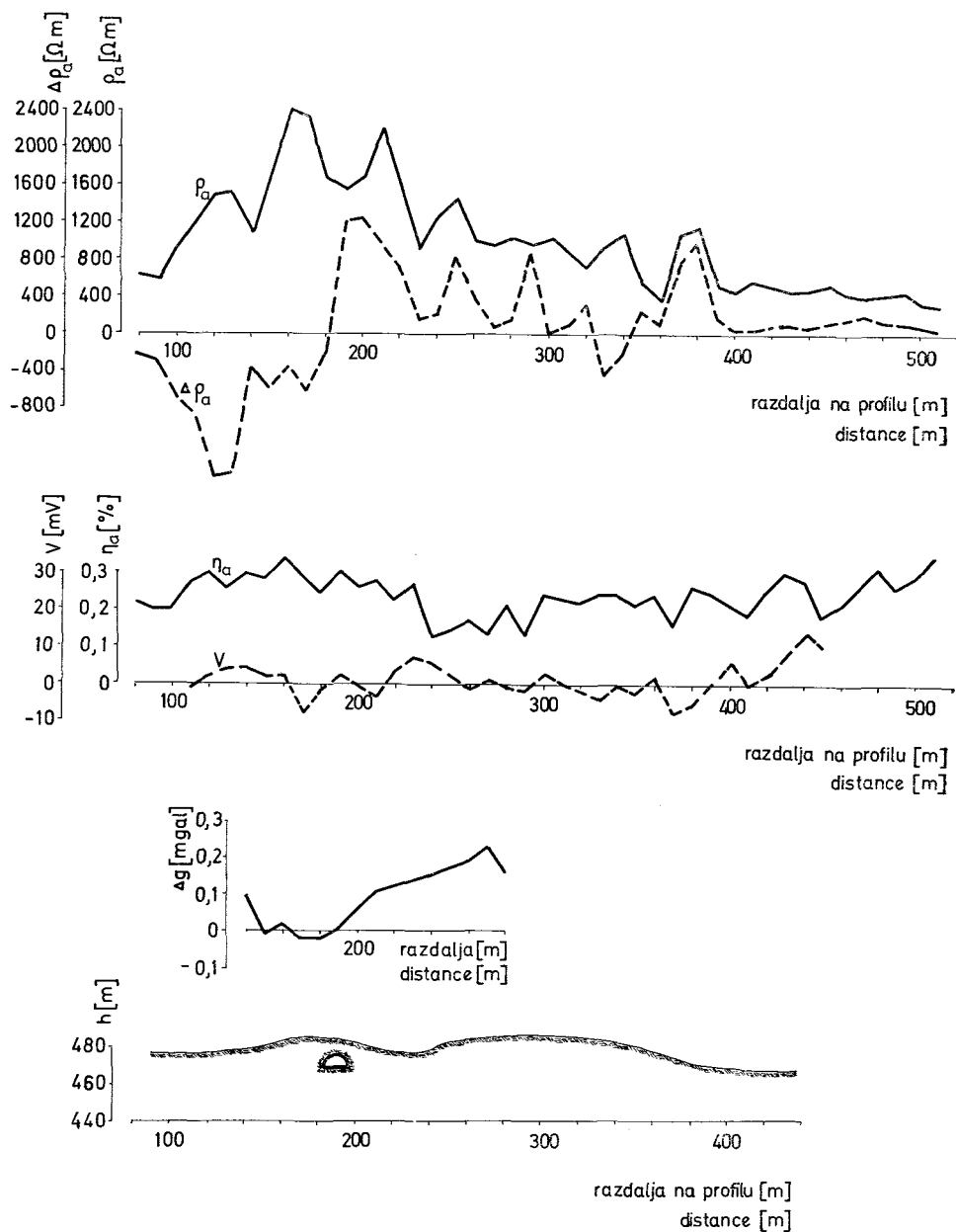
Modelne raziskave nudijo možnost raznih analiz, ki nam koristijo v konkretnih raziskavah oz. v pripravi nanje.

Tako smo z merjenjem pri različnih razsežnostih elektrodne razvrstitve študirali vpliv velikosti razvrstitve na velikost dobljene anomalije. Sl. 2 jasno kaže, da obstaja neka optimalna dimenzija razvrstitve, pri kateri je maksimum anomalije največji. Če povečamo ali zmanjšamo razvrstitev, bo merski učinek slabši. Optimalna razsežnost je seveda pri različnih terenskih (geometričnih) razmerah različna.

Meritve smo izvedli na modelih v razmeroma majhnih globinah. Praktično rezultati iz večjih globin niso več zanimivi, ker, kot smo videli iz sl. 1, občutljivost metode z globino hitro pada. Poleg tega z uporabljenimi laboratorijsko tehniko nismo mogli registrirati šibkejših anomalij. Za večje globine je mogoče razmeroma enostavno izračunati modelne krivulje, ker lahko uporabimo aproksimacije, ki zelo olajšajo matematično modeliranje.

Kot smo že omenili, šibke anomalije, ki jih iz terenskih meritev niti ne moremo izluščiti, nimajo neposredne praktične vrednosti, utegnejo pa nam kako drugače koristiti. Tako smo izračun takšnih anomalij izkoristili za oceno vpliva nizkouporne površinske plasti pri geoelektričnem ugotavljanju praznih ali zapolnjenih kraških jam in rudnih teles (*J. Lapajne*, 1968). Sl. 3 prikazuje matematične modelne krivulje, ki kažejo, da nizkouporna površinska plast bistveno poslabša občutljivost geoelektrične metode. Laboratorijsko bi takšen problem zelo težko modelirali.

V grobem moremo smatrati za modelne raziskave tudi terenske meritve na že dobro poznanem objektu. Slaba stran takšnega modela je to, da ne moremo poljubno spreminjati parametrov modela, niti dovolj učinkovito kontrolirati raznih stranskih vplivov, temveč smo vezani na dane terenske razmere, dobra stran pa je v tem, da preizkusimo uporabnost neke metode v naravnih pogojih. Iz podanega pregleda geofizikalnih raziskav je razvidno, da smo se večkrat zatekali k meritvam na »naravnih modelih«. Kot tipičen primer takšnih raziskav naj omenimo meritve na območju Željnskih jam pri Kočevju. Del podatkov teh raziskav podaja sl. 4. Nad skico profila terena so dani geoelektrični profili na-



Sl. 4. Profil navidezne upornosti, inducirane polarizacije, lastnega potenciala in Bouguerjevih vrednosti težnosti ter ustrezni prerez terena (Željnske jame pri Kočevju)

Fig. 4. Resistivity, induced polarisation, self potential and Bouguer gravity profiles and the corresponding field cross section (Željne caves near Kočevje)

videzne specifične upornosti, inducirane polarizacije in lastnega potenciala ter gravimetrični profil. Našteti profili dajejo več ali manj jasne anomalije nad položajem jame; najizrazitejše so v tem primeru upornostne anomalije.

Med terenskimi modelnimi raziskavami zavzemajo posebno važno mesto poskusne raziskave, ki se po potrebi izvajajo pred planiranjem širših geofizikalnih raziskovalnih del. Takšne meritve izvajamo na terenu z enakimi ali podobnimi karakteristikami, kot jih ima teren, ki je predviden za širše raziskave. Model lahko predstavlja tudi območje, kjer smo že po izvršenih meritvah le-te kontrolirali z vrtanjem. Raziskave, katere smo programirali na podlagi predhodnih poskusnih raziskav in katere spremlja kontrolno vrtanje, imajo zagantirano smiselnost in v primeru geološke pogojenosti tudi uspeh. Kot takšne sistematične raziskave lahko štejemo npr. raziskave na Planinskem polju leta 1955 in 1956 ter raziskave boksitov v Istri leta 1966.

OBČUTLJIVOST GEOELEKTRIČNIH METOD

Rezultati laboratorijskih in matematičnih modelnih raziskav nedvoumno kažejo, da je globinska dosegljivost geoelektrične upornostne metode, h kateri se raziskovalci zaradi interpretacijskih, tehničnih in ekonomskih razlogov najraje zatekajo, razmeroma majhna, če gre za neposredno ugotavljanje raznih teles. V okviru upornostnih meritev je sicer zelo važno, kakšno mersko razvrstitev izberemo (pri tem je pomembna dolžina razvrstitve, način razmestitve elektrod v razvrstitvi — npr. Schlumbergerjeva razvrstitev je praviloma bolj občutljiva kot Wennerjeva, diferencialne razvrstitve so bolj občutljive kot integralne ipd.), izbira neke optimalne razvrstitve pa omogoča samo to, da se čimbolj približamo danim omejitvam, ne moremo pa jih bistveno omiliti ali odstraniti.

Na srečo so geološke in hidrogeološke razmere na terenu često takšne, da dopuščajo neposredno ugotavljanje. V takšnih pogojih izmerimo neko anomalijo, ki je ni povzročilo samo telo, ki ga iščemo, temveč predvsem njegova okolica oziroma krovina. Včasih je namreč prisotnost oz. nastanek raziskovanega telesa v taki meri povezan s spremembo (ali pa tudi z nastankom) neposredne okolice, da se opazno spremenijo povprečne fizikalne lastnosti obdajajočih kamenin oziroma krovine. Tako je okolica neke kraške jame običajno močnejše skrasela kot kamenine dlje od nje. »Anomalno telo«, ki zajema poleg raziskovanega telesa še večji ali manjši del njene okolice, je lahko bistveno večjih razsežnosti kot samo iskano telo in lahko povzroča merljivo anomalijo, ki nam odkrije sicer neugotovljiv objekt.

Gornje ugotovitve o mejah globinske dosegljivosti ne veljajo v primeru, če se raziskovano telo v umetno ustvarjenem primarnem električnem polju tako močno polarizira, da ustvari merljivo sekundarno polje. Ta pojav izkoriščamo pri metodi inducirane polarizacije, kjer merimo ugašanje sekundarnega polja po izključitvi napajanja, se pravi primarnega polja. Kako globoko lahko ugotavljamo takšna telesa, je odvisno predvsem od njihove polarizivnosti.

Občutljivost neposrednega ugotavljanja lahko povečamo še na ta način, da izvedemo ustvarjanje električnega ali elektromagnetnega polja neposredno

v samem objektu raziskovanja. Praktično napravimo to tako, da eno elektrodo ozemljimo direktno v izdanek tega telesa (npr. v nek izvir, vrtino in podobno, če gre za ugotavljanje podzemeljskega vodnega toka). Takšnemu merskemu postopku pravimo metoda električno nabitega telesa.

Iz gornjega lahko povzamemo, da lahko globinsko občutljivost geoelektričnih metod pri primernih geoloških pogojih bistveno povečamo na tri načine:

- s posrednim ugotavljanjem,
- z merjenjem sekundarnega polja in
- z neposrednim uvajanjem električnega toka v raziskovano telo.

V praktičnih primerih moremo posredno ugotavljati predvsem rudna telesa (npr. boksit) in kraške jame, inducirana polarizacija je lahko uspešna pri iskanju z glino zapolnjenih votlin in razpokanih con, pri ugotavljanju vodnih tokov pa je običajno najuporabnejša metoda električno nabitega telesa.

Kakšna je možna globina ugotavljanja, je odvisno od konkretnih razmer na terenu. Pripomnimo naj le to, da med površinskimi raziskavami v okviru iskanja raznih kraških teles verjetno obetajo največ ravno naštetih trije merski postopki, predvsem metoda električno nabitega telesa. Pri tem se moramo zavesti, da so anomalije od globoko ležečih teles zelo razvlečene, ali drugače povedano — anomalne merske vrednosti so zelo razpršene.

Za plitve raziskave utegne biti zelo uporabno krožno merjenje lastnega potenciala, s pomočjo katerega moramo ugotavljati smer vodnega toka in filtracije ter relativno oceniti jakost vodnega toka. Metoda daje dobre rezultate na terenih, kjer ni električnih motenj. Na območjih, kjer so razni industrijski objekti, daljnovodi, električna železnica ipd., pa metoda odpove. Morda bi se dalo te težave obiti s primernim diferencialnim merjenjem in predvsem dobrim filtriranjem, bi pa bilo treba instrumentalno tehniko šele razviti. Če bi ta problem uspešno rešili, bi lahko npr. študirali podzemeljski vodni režim in iztekanje vode na Cerknškem in drugih kraških poljih, kjer zaenkrat onemogoča takšno merjenje bližina električne železnice.

PREGLED GEOFIZIKALNIH RAZISKAV NA SLOVENSKEM KRASU

Prve geofizikalne meritve na našem krasu in menda na krasu sploh so stare že okoli 40 let. Takrat se je uporabna geofizika ravno začela uveljavljati pri reševanju problemov praktične geologije.

Leta 1931 sta nemška geofizika A. Löhnberg in W. Stern sondirala po metodi navidezne specifične električne upornosti na Cerknškem polju. Namen njunih raziskav je bil določevanje podzemeljskih vodnih tokov v dnu polja.

Tri leta pozneje je V. Šlebinger na Dolenjskem krasu z elektromagnetno metodo ugotavljal podzemeljski tok reke Temenice v Lukanjski dolini severno od Novega mesta v dolžini 6 km.

V povojnem obdobju je z geofizikalnimi raziskavami v Sloveniji začel R. Vodušek. V letu 1948 je izvedel poskusne gravitacijske in geoelektrične upornostne meritve na Planinskem polju.

Na Geološkem zavodu smo pričeli s sistematskimi terenskimi raziskavami pred 20 leti. Prva naloga je bila leta 1953 geoelektrično (profiliranje in sondiranje po metodi nav. spec. upornosti) ugotavljanje podzemeljskih vodnih tokov med Postojno in Staro vasjo za potrebe postojnskega vodovoda. Rezultate raziskav bi bilo potrebno preveriti z vrtanjem, vendar do tega ni prišlo.

Leta 1954 smo pričeli načrtneje študirati in ugotavljati uporabnost geofizikalnih metod za razreševanje praktičnih problemov na krasu. Nad poznanim podzemeljskim potokom Šice v Račni pri Grosuplju smo preizkusili gravimetrično in geoelektrično metodo. Obe metodi sta dali sicer šibke, vendar razmeroma jasne indikacije. Isto leto smo tudi prvič geoelektrično sondirali na Cerkniskem polju.

Prve večje raziskave na krasu smo izvedli leta 1955 in 1956 na Planinskem polju. Najprej smo na delu terena, kjer so bile na voljo vrtine, izvedli poskusne geoelektrične meritve. Na podlagi teh je bil izdelan program, po katerem smo nato celotno polje detajlno profilirali in sondirali. S skrbnim vrednotenjem in primerjavo z rezultati kontrolnih vrtin smo dokaj natančno določili relief karbonatne podlage.

Naslednje leto smo napravili preizkus uporabnosti geoelektričnih metod — navidezne specifične upornosti, lastnega (naravnega) potenciala in elektromagnetne Turam metode na Cerkniskem in Planinskem polju. Pri galvanskem napajanju je dala elektromagnetna metoda dobre rezultate. Merjenje naravnega potenciala v glavnem ni uspelo zaradi motenj električne železnice.

Po nekajletnem presledku smo v letu 1962 nadaljevali z geofizikalnimi meritvami za razreševanje kraške problematike. V tem letu smo spet raziskovali na Planinskem in Cerkniskem polju in v Račni. To so bile pretežno poskusne raziskave za ugotavljanje podzemeljskih vodnih poti z metodo navidezne specifične upornosti, inducirane polarizacije in naravnega potenciala. Poleg tega smo z geoelektričnim sondiranjem določevali globino zakrasedlosti.

Z metodo inducirane polarizacije in navidezne specifične upornosti smo v letu 1964 in deloma 1965 skušali ugotoviti podzemeljski vodni tok med Veliko Karlovico in Rakovim Škocjanom. Raziskave niso imele uspeha, ker so terenske razmere na tem območju zelo neugodne za takšne raziskave.

Leta 1966 smo v Ribnici za potrebe kanalizacije z zelo skromnim obsegom meritev (profiliranje po metodi navidezne specifične upornosti) uspešno določili lokacijo, ki služi kot požiralnik za odtočno vodo.

V okviru raziskav za avtocesto smo v letu 1967 med Dervišami in Postojno določevali z geoelektričnim profiliranjem prelomne cone, podzemeljske jame in druge nehomogenosti.

Leta 1967 smo z geoelektričnim profiliranjem in merjenjem vertikalne komponente magnetnega polja raziskovali območje med Kozino in Podgradom, da bi odkrili morebitna boksitna telesa. Kompleksne geološko-geofizikalne raziskave so dale glede obstoja dovolj velikih boksitnih teles negativen odgovor.

Vzporedno z gornjimi raziskavami smo od leta 1965 do 1968 v širšem obsegu študijsko razvijali geofizikalne metode za ugotavljanje vodnih kanalov na krasu. Najprej smo napravili poskusne terenske meritve na območju Željnskih jam pri Kočevju. Te jame so služile kot naravni model, na katerem smo ugotavljali določljivost gravimetrije in geoelektrike. Od geoelektričnih metod smo pre-

izkusili metodo navidezne specifične upornosti, inducirano polarizacijo in lastni potencial. Vzporedno smo delali po metodi navidezne specifične upornosti meritve na modelih v laboratoriju, nekatere probleme pa smo reševali z matematičnim modeliranjem. Študijsko smo obdelali električno polje vodnega toka in filtracije. Za zaključek smo preizkusili metodo navidezne specifične upornosti in lastni potencial na Cerkniškem polju.

Metodo električno nabitega telesa smo uporabili za ugotavljanje podzemeljskih vodnih poti leta 1969 pri Žejah v okolici Pivke. Tem raziskavam, ki niso dale željenih rezultatov, so sledile naslednje leto uspešne meritve po isti metodi v okviru raziskav za določitev lokacije zajetja vode za oskrbo Postojne v zaledju izvirov Malni.

V letu 1971 smo izvedli na območju predvidenega akumulacijskega bazena ČE Požarje pri Zagorju podobne raziskave kot leta 1955 in 1956 na Planinskem polju, le da v precej manjšem obsegu. Z geoelektričnim sondiranjem in profiliranjem smo ob pomoči kontrolnih vrtin ugotavljali debelino glinaste preperine.

Poleg naštetih raziskav na območju slovenskega krasa smo v precej manjšem obsegu raziskovali tudi na območju hrvaškega krasa. Tako smo leta 1966 prvič geofizikalno ugotavljali rudna telesa na krasu. Takrat smo v okolici Karojbe v Istri raziskovali boksitna nahajališča. Izbira merske metode na podlagi poskusnih raziskav in sprotne primerjava geoloških podatkov in geoelektričnih profilov ter kontrolnega vrtanja je dala glede na dane terenske razmere zelo dobre rezultate.

Naslednje leto smo v zaledju vrulje Golubinke pri Zadru geoelektrično ugotavljali cone najmočnejše zakraselosti in smeri prevladujoče razpokanosti, da bi ugotovili morebitni večji podzemeljski tok. Na podlagi geoloških in geofizikalnih raziskav ter kontrolnih vrtin ni bilo mogoče sklepati na kak pomembnejši podzemeljski vodni tok.

Zelo zanimive raziskave smo še isto leto opravili na Korčuli, kjer smo iskali mesta iztekanja talne vode iz Blatnega in Velega polja. Kompleksne geoelektrične meritve po metodi navidezne specifične upornosti (profiliranje in sondiranje), inducirane polarizacije (profiliranje in sondiranje), lastnega potenciala (profilno in krožno merjenje) in metodi električno nabitega telesa so dale zelo lepo sliko. Žal do predvidenega kontrolnega vrtanja ni prišlo.

Zaradi zaokroženosti naj omenimo še gravitacijske in magnetne meritve na območju primorskega in dolenskega krasa v letih od 1959 do 1965 ter globoko geoelektrično sondiranje od leta 1961 do leta 1968. Rezultati teh izmer podajajo regionalno strukturo in tektonsko sliko raziskovanega ozemlja.

Iz gornjega je razvidno, da je bilo težišče lokalnih raziskav na geoelektričnih metodah. Gravimetrija je sicer zelo primerna, so pa zahteve po natančnosti takšne, da kraška morfologija omejuje uporabnost te metode. Poskusne magnetne meritve na območju boksitnih nahajališč v Istri niso dale pametnih rezultatov in smo se je zato posluževali v omejenem obsegu. Plitvo refrakcijsko seizmiko smo na krasu uporabili samo za določevanje hitrosti longitudinalnih valov za ugotavljanje možnosti ripanja (Anhovo, 1970 in Postojna, 1970) in konstrukcijskih zahtev (Rijeka, 1970). V okviru regionalnih raziskav je bila poleg gravimetrije, magnetometrije in geoelektrike uporabljena tudi reflektivna seizmika; reflektivne seizmične meritve je na Slovenskem krasu izvajal Zavod za geološka i geofizička istraživanja iz Beograda.

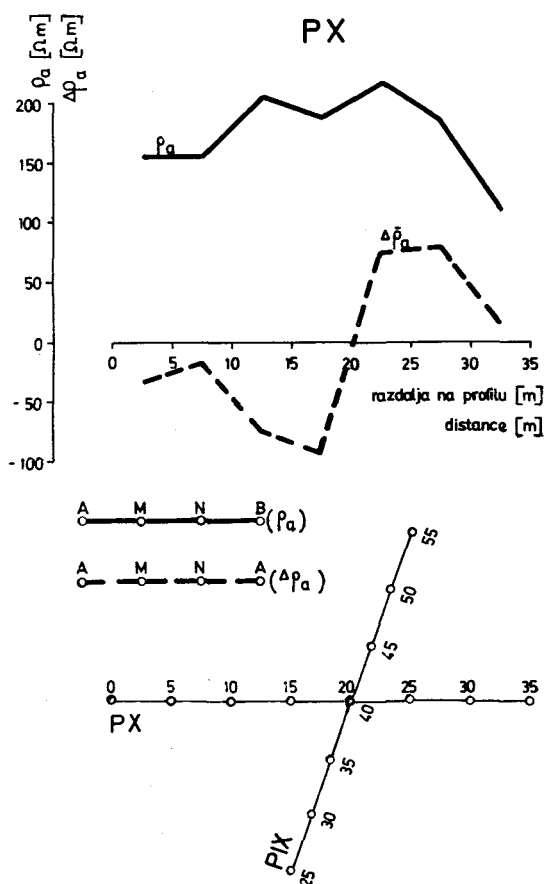
PRIMERI TERENSKIH RAZISKAV

Iskanje pokritih kraških jam v Ribnici

Leta 1966 smo v Ribnici za potrebe kanalizacije nove šole iskali primerno kraško jamo, ki bi lahko služila kot požiralnik za odtočno vodo. Teren, ki smo ga raziskovali, tvori apnenec, pokrit z neenakomerno razmeroma tanko plastjo zemlje. Pod površino se nahajajo tu in tam kraške jame, razpoke in podobno.

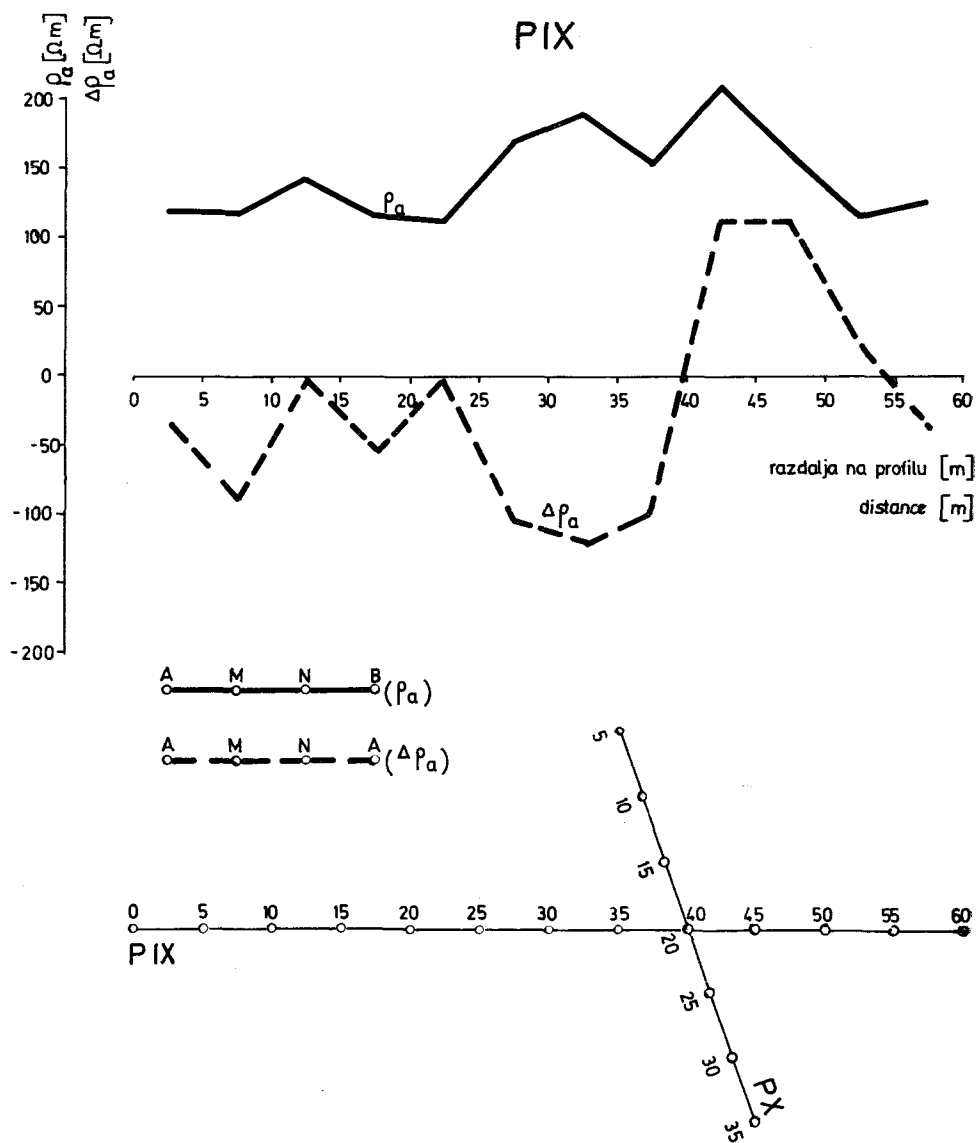
Zaradi zelo skromnih finančnih sredstev smo lahko napravili le majhno število meritev. Kljub temu smo odkrili štiri anomalna mesta, od katerih smo dva priporočili kot najverjetnejši lokaciji jam. Že pri kopanju na prvem izbranem območju so našli več manjših odprtin. Gradbeniki so se zadovoljili z ugotovitvijo, da odprtine dovolj hitro požirajo odtočno vodo in niso posebej skušali ugotoviti kaj več.

Sl. 5 in sl. 6 prikazujeta geoelektrična profila preko izbrane lokacije. Uporabljali smo Wennerjevo enopolno in dvopolno razvrstitev z elektrodnim



Sl. 6. Profil navidezne upornosti (Kraške kaverne v Ribnici)

Fig. 6. Resistivity profile (Karst cavernes in Ribnica)



Sl. 5. Profil navidezne upornosti (Kraške kaverne v Ribnici)
Fig. 5. Resistivity profile (Karst caverns in Ribnica)

razmikom 5 m; zlasti s prvo smo dobili zelo lepe anomalije. Merska profila sta se sekala na mestu anomalije približno pod kotom 70°, kar so pogojile razmere na terenu, ker smo profile razmestili med raznimi gradbenimi objekti.

Mimogrede naj omenimo, da v šestih letih uporabe ni bilo še nobenih težav niti ni bilo potrebno čiščenje. V koliko je takšen način odstranjevanja odpadnih vod primeren, je drugo vprašanje.

Geoelektrične raziskave boksitnih nahajališč v Istri

Te raziskave so bile deloma obravnavane že v posebnem članku (Lapajne, 1969), zato bomo podali predvsem dodatne informacije.

Boksitna nahajališča smo prvič raziskovali na območju Karojbe v Istri leta 1966.

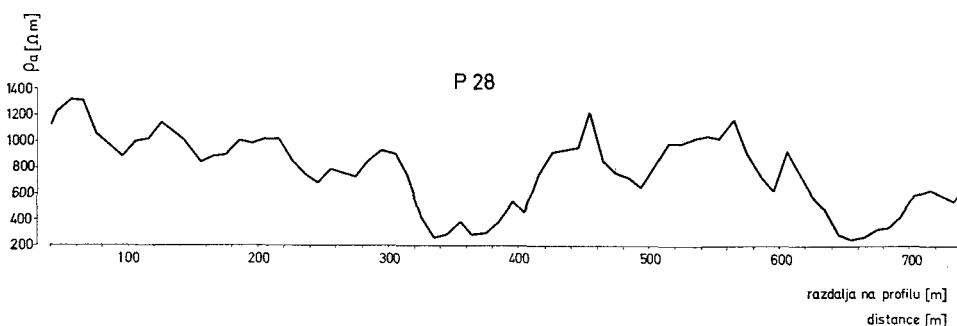
Boksiti v Istri se nahajajo v žepih krednega apnenca, njihova krovina pa je eocenski apnenec. Pregled že odkritih boksitnih teles je pokazal, da le-teh povečini ni mogoče neposredno ugotavljati. Poleg tega so bila plitvo ležeča telesa ugotovljena najprej in so zato praktično že vsa izkopana.

Zato smo s poskusnimi raziskavami preverili možnost posrednega ugotavljanja. Sl. 2 omenjenega članka kaže rezultate poskusnega upornostnega profiliranja, iz česar moremo sklepati na ugodne pogoje za posredno določevanje verjetnih lokacij boksitnih teles.

Iz poskusnih meritev smo tudi ugotovili, da niso potrebne meritve različno velikih elektrodnih razvrstitev, ker to v danem primeru ne poveča bistveno količine vsebovanih informacij (prispevek boksitnega telesa samega k anomaliji je povečini itak zanemarljiv), poveča pa stroške raziskav. Zato smo se več elektrodnih razvrstitev poslužili samo v toliko, da smo določili primerno velik elektrodni razmik.

Na podlagi primerjave geoelektričnih profilov in geoloških podatkov, ki smo jih črpali iz odkopanih, deloma odkopanih in odkritih boksitnih teles oz. žepov smo si lahko ustvarili zadovoljivo razlago anomalij oz. »anomalnih teles«.

Kljub dokaj jasni predhodni predstavi raziskovalnega problema je bilo vrednotenje geoelektričnih meritev zelo zahtevno in precej negotovo. Težavnost



Sl. 7. Profil navidezne upornosti (Boksitna telesa v Istri)
Fig. 7. Resistivity profile (Bauxite bodies in Istria)

in negotovost vrednotenja ilustrira za raziskovani teren povsem običajen geoelektrični profil, ki ga podaja sl. 7. Iz samega diagrama nikakor ne bi mogli zaključiti, da bi na dolžini 500 m na profilu lahko bila pozitivna anomalija. In vendar smo na tem mestu odkrili manjšo količino boksita. Iz diagrama prav tako ni razvidno, da poteka merski profil deloma po krednem, deloma po eocenskem apnencu; slika je praktično ista na enem in drugem območju. Kolikor toliko uspešno vrednotenje takšnih geoelektričnih profilov je možno samo ob skrbni primerjavi vseh razpoložljivih geoloških in geofizikalnih podatkov in izsledkov.

Pri vrednotenju smo ubrali takšno pot, da smo najprej izločili vse anomalije, katere smo mogli pripisati nezaželenim površinskim vplivom, kot so npr. zaplnitve vrtač in podobno ter močnejši topografski vplivi. Debelino terra rosse oz. glinaste preperine slabše izraženih kotanj in vrtač smo ocenjevali z ročnim vrtanjem s pomočjo »baramine« in izločili anomalije na vseh lokacijah, kjer je debelina nizkouporne površinske plasti presegala 2 m (to je bila globina, ki smo jo dosegli z ročnim vrtanjem; kaj več si v danih finančnih okvirih nismo mogli privoščiti). Kjer je prišlo slučajno do prekrivanja koristnih in nekoristnih anomalij, smo na ta način verjetno spregledali marsikatero boksitno telo. To smo morali sprejeti kot nujno zlo, ker bi bilo vrtanje na vseh anomalijah ekonomsko nesmiselno.

Za preostale anomalije je obstajala že dokaj večja verjetnost, da imajo vzrok v strukturah, ki bi utegnile skrivati boksitna telesa. Na teh anomalijah smo raziskave po potrebi dopolnili z dodatnimi profili, ki so potekali vzporedno ali pravokotno na prvotne. Tako smo zaradi večje sigurnosti obdelali tudi nekatere anomalije, ki smo jih sicer lahko pripisali razgibani topografiji ali pa vplivu terra rosse, glin ali humusa na površini.

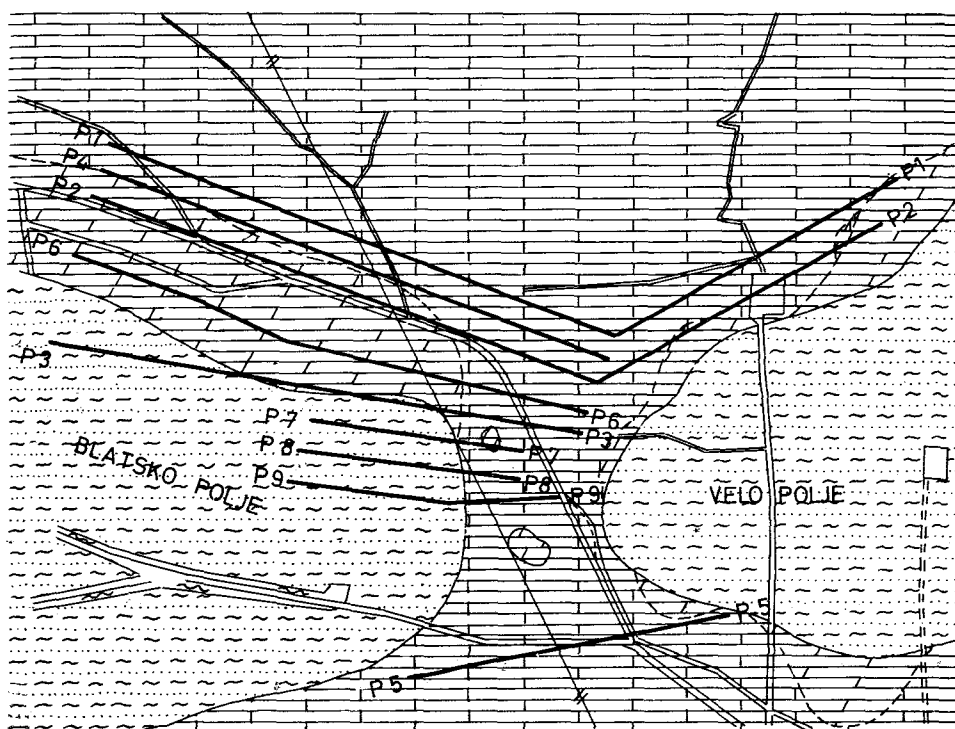
S pomočjo diagramov in lokalnih kart izoohm (primer takšne karte podaja J. Lapajne, 1969, sl. 3) smo na izbranih mestih locirali raziskovalne vrtine. Del izbranih območij je imel tudi potrditev v površinski geologiji. Od 75 izvrtanih geofizikalnih lokacij je bilo 19 lokacij z boksitom, 39 z glino, 17 anomalij pa so povzročili drugi faktorji. 7 boksitnih teles je bilo ugotovljenih samo na podlagi geofizike. Poleg gornjih 75 lokacij je bilo izvrtanih na podlagi geoloških raziskav še 13 lokacij, ki niso imele potrditve v geofiziki; vseh 13 lokacij je bilo negativnih.

Vzporedno z geoelektričnimi raziskavami smo preizkusili uporabnost magnetometrije. Iz opravljenih meritev ni bilo mogoče izluščiti jasne povezave med boksitnimi telesi in spremembami vertikalne magnetne intenzitete.

Geoelektrične raziskave na Korčuli

Leta 1967 smo na Blatskem in Velem polju na Korčuli geoelektrično ugotavljali iztekanje talne vode iz tega območja. Geofizikalnim raziskavam žal iz razlogov, ki niso bili geološke narave, ni sledilo predvideno vrtanje. Zato dobljeni rezultati niso preverjeni. Kljub temu smo se namenili, da damo kratek opis teh raziskav zaradi zanimivih izsledkov.

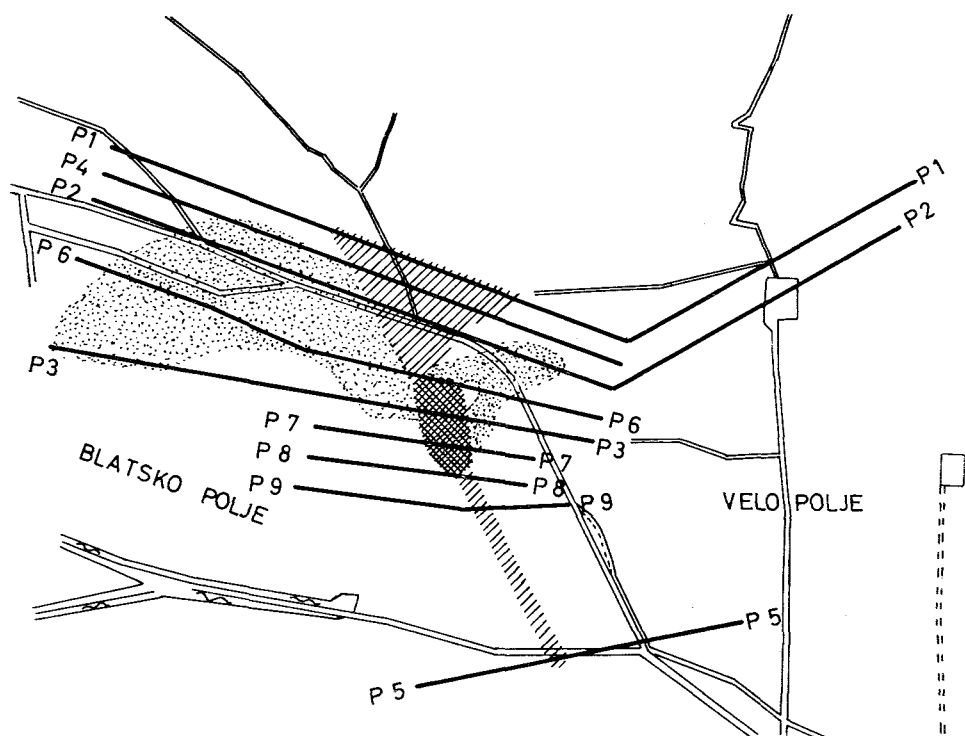
Območje Blatskega in Velega polja je pokrito s kvartarnimi glinasto peščenimi nanosi. Debelina teh nanosov po razpoložljivih podatkih na Blatnem polju ne presega 5 m, na Velem polju pa doseže kvečjemu 3 m. Obe polji ob-



LEGENDA - LEGEND:

-  Glinasto-peščeni nanos - Clayey sand
 -  Apnenec - Limestone
 -  Dolomit - Dolomite
 -  Geološka meja - Geological boundary
 -  Postopni prehod - Gradual transition
 -  Fotogeol. ugotovljen prelom - Photogeological determined
 -  P9 - Geoelektrični profil - Geoelectrical profile
- 50 0 50 100 m

Sl. 8. Geološka karta in situacija geoelektričnih profilov (Blato na Korčuli)
 Fig. 8. Geological map and geoelectrical profile sites (Blato on the Korčula island)



LEGENDA - LEGEND :

P9 — Geoelektrični profil - Geoelectrical profile

Prelomna cona - Faulting zone

Območje s povečano kol. gline - Zone with increased amount of clay

Obm. moč. podpovršinskih tokov - Zone of stronger underground streams

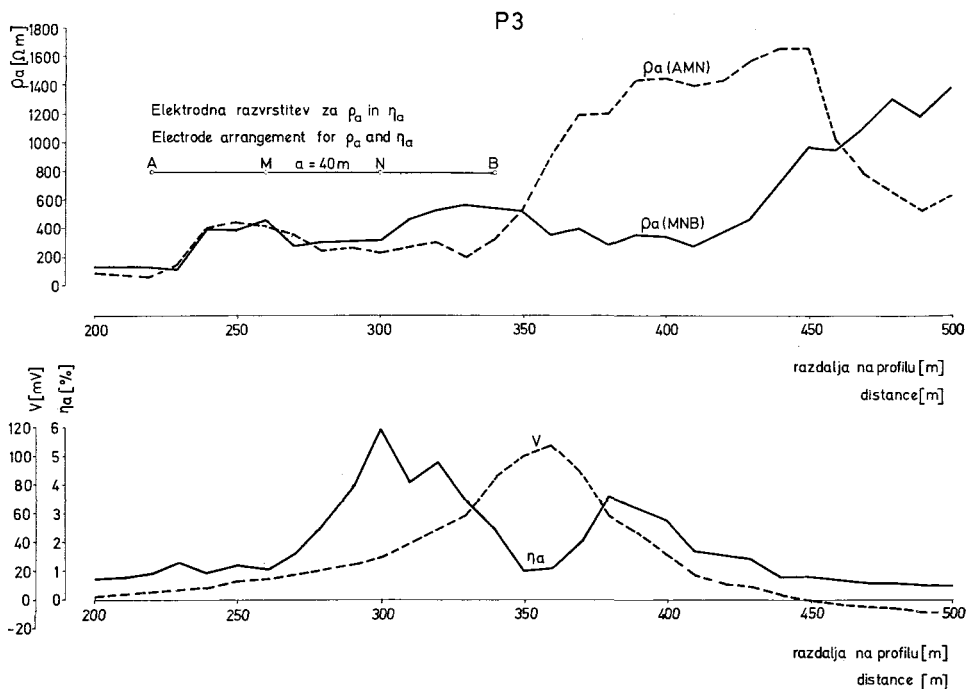
50 0 50 100 m

Sl. 9. Vrednotenje geoelektričnih raziskav (Blato na Korčuli)

Fig. 9. Interpretation of geoelectrical exploration (Blato on the Korčula island)

roblja dolomit in apnenec zgornje krede. Fotogeološki podatki kažejo na prelom med obema poljema. Iz meritev razpok je mogoče sklepati, da je smer prevladujoče razpokanosti severozahod-jugovzhod, kar je tudi smer fotogeološko ugotovljenega preloma. Sl. 8 prikazuje geološko karto raziskovanega območja in situacijo geoelektričnih meritev.

Območje geofizikalnih raziskav je bilo izbrano na podlagi predhodnih hidrogeoloških raziskav. Raziskovalne metode so bile profiliranje in sondiranje po metodi navidezne specifične upornosti in inducirane polarizacije, profiliranje in



Sl. 10. Profili navidezne upornosti, inducirane polarizacije in lastnega potenciala (Blato na Korčuli)

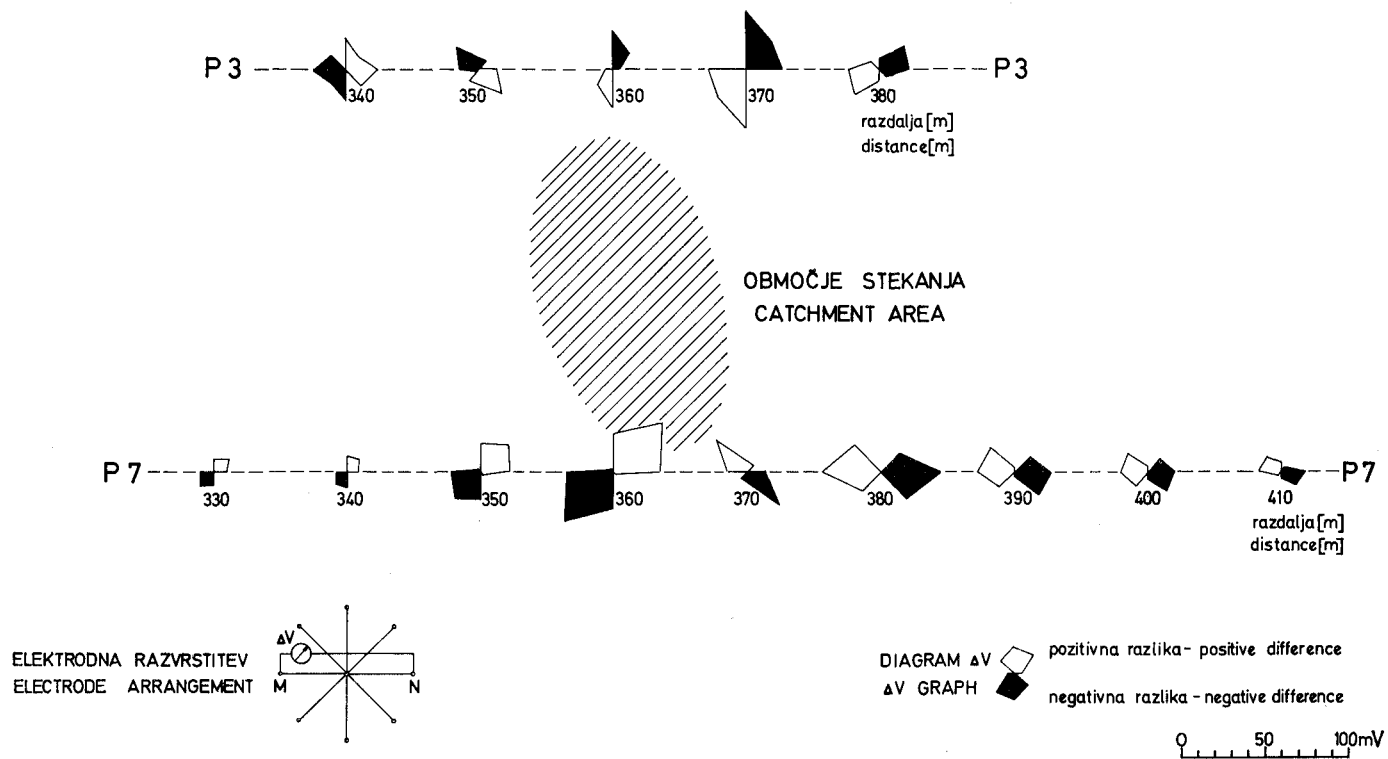
Fig. 10. Resistivity, induced polarisation and self potential profiles (Blato on the Korčula island)

krožno merjenje lastnega potenciala ter metoda električno nabitega telesa. Od naštetih raziskav bomo podali nekatere zanimive izsledke.

S profiliranjem in sondiranjem po metodi navidezne specifične upornosti je ugotovljena dokajšnja nehomogenost terena, kar odgovarja bolj ali manj intenzivni zakrasedlosti. Potrjena je prelomna cona, ugotovljena na podlagi avio-posnetkov. Metoda inducirane polarizacije je izdvojila zaglinjena območja, iz meritev lastnega potenciala pa smo sklepali na močnejše podzemeljske tokove oz. filtracijo vode. Z metodo električno nabitega telesa smo ugotavljali smer in ocenjevali hitrost gibanja vode v okolici enega od vodnjakov.

Sl. 9 prikazuje rezultate vrednotenja, sl. 10 pa najzanimivejši del geo-električnega profila P 3 z ustreznimi diagrami navidezne specifične upornosti, inducirane polarizacije in lastnega potenciala. Lastni potencial zavzema največje vrednosti tam, kjer moremo iz geoloških podatkov in navidezne specifične električne upornosti sklepati na prelomno cono. Povečane vrednosti inducirane polarizacije so običajno v okolici anomalij lastnega potenciala; na profilu P 3 spremljata anomalijo lastnega potenciala na obeh straneh po ena anomalija inducirane polarizacije.

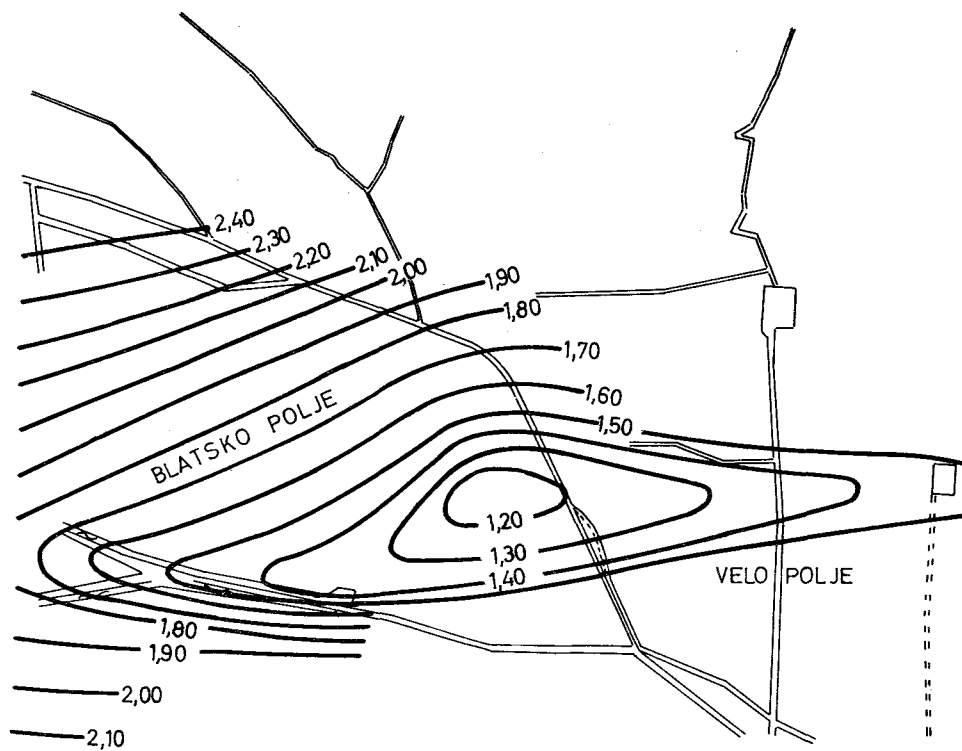
Rezultati omenjenih raziskav dovoljujejo naslednje sklepanje. Na območju anomalnih vrednosti lastnega potenciala je gibanje vode intenzivnejše; to se



Sl. 11. Krožno merjenje lastnega potenciala (Blato na Korčuli)
 Fig. 11. Circular measurements of self potential (Blato on the Korčula island)

sklada tudi z ugotovitvijo, da sovpada to območje s prelomno cono oz. delom le-te. Povečano inducirano polarizacijo verjetno povzroča fino granulirana peščena glina, katero je voda pri iztekanju iz enega in drugega polja odnašala s seboj in odlagala na svoji poti. S tem si je verjetno zapirala obstoječe poti in si iskala nove. Zato lahko območja povečane inducirane polarizacije smatramo kot nekdanja mesta intenzivnejšega pretakanja vode, lahko pa so to še danes, če gre le za delno zapolnitev z glino.

Da bi dobili popolnejšo predstavbo, smo s krožnim merjenjem lastnega (oz. naravnega) potenciala poskusili določiti smer filtracije in podzemeljskih tokov vode. Te meritve smo izvedli na območju, kjer smo z običajnim merjenjem dobili maksimalne vrednosti naravnega potenciala. Situacijo teh meritev

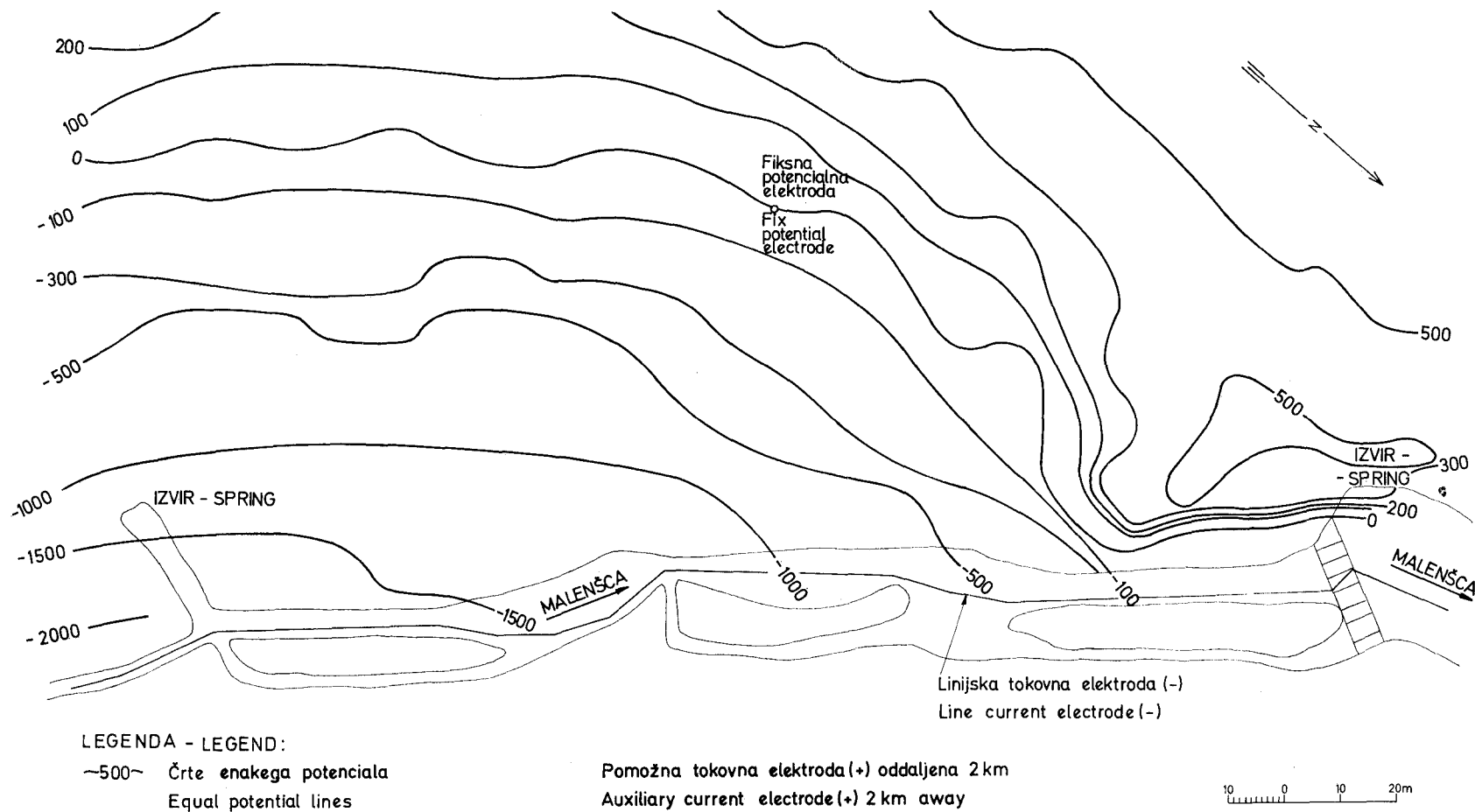


LEGENDA - LEGEND:

—1.40— Hidroizohipse (23. 8. 1966) - Hydroisohipses (8 / 23 / 1966)

50 0 50 100 m

Sl. 12. Hidroizohipse (Blato na Korčuli)
Fig. 12. Water table contours (Blato on the Korčula island)



Sl. 13. Električni potencial linijske elektrode (Izviri Malni)
Fig. 13. Potential of line current electrode (Malni springs)

ter izmerjene potencialne razlike podaja sl. 11. Potentialne razlike smo merili v štirih smereh na vsakem merskem stališču. Dobljene vrednosti smo povezali tako, da smo dobili simetrične figure, od katerih so polovice, kjer so vrednosti naravnega potenciala negativne glede na središčno točko (mersko stališče) izpolnjene temno. Pričakuje se, da odgovarja smer od negativnih k pozitivnim vrednostim lastnega potenciala smeri gibanja vode. Glede na velikost opisanih figur lahko kvalitativno sklepamo na jakost podzemeljskih tokov. Sl. 11 skoraj sili k zaključku, da se večina vode steka proti enemu mestu; na sliki je to mesto šrafirano. Na tem mestu moremo pričakovati iztekanje vode iz polja.

Za primerjavo podajamo v sl. 12 karto vodostajev, izmerjenih v sušnem obdobju leta 1966. Na podlagi krožnega merjenja lastnega potenciala ugotovljeno mesto iztekanja ne sovпада popolnoma z najnižjimi vodostaji v tej karti, temveč se nahaja nekaj 10 m bolj severno.

Geoelektrične raziskave na območju izvirov Malni

V okviru raziskav za določitev lokacije zajetja vode za oskrbo Postojne v zaledju izvirov Malni smo v letu 1970 izvedli geofizikalne meritve po metodi električno nabitega telesa.

Na območju Malnov lahko govorimo predvsem o treh sistemih izvirov v krednem apnencu. V sušnem obdobju dva od teh presahneti.

Najprej smo ugotavljali porazdelitev električnega polja okoli vsakega sistema izvirov tako, da smo eno tokovno elektrodo potopili v izvir, drugo pa tako daleč, da ni vplivala na oblikovanje polja v okolici izvira. Kot najzanimivejše se je pokazalo območje med spodnjim in srednjim izvirom. Zato smo v tem predelu izvedli še meritve z linijsko ozemljitvijo, ki smo jo izvedli vzdolž Malenščice; linijsko elektrodo smo enostavno potopili v potok. Pomožna elektroda je bila tudi v tem primeru tako daleč, da praktično ni vplivala na oblikovanje polja na raziskovalnem območju.

Rezultate meritev z linijsko ozemljitvijo prikazuje sl. 13. Najzanimivejša je neposredna okolica spodnjega izvira oz. predel med staro črpalko in tem izvirom, kjer smo dobili močno anomalijo. Na tem mestu smo predlagali vrtnanje in najprimernejšo lokacijo novega črpališča. Izbira lokacije se je pokazala kot zelo primerna.

ZAKLJUČEK

V članku smo podali nekaj teoretičnih izsledkov in pregled lokalnih geofizikalnih raziskav na slovenskem krasu ter nekaj meritev na območju hrvaškega krasa.

Geološki zavod iz Ljubljane, ki je izvajal ta dela, je uporabljal predvsem geoelektrične metode in sicer merjenje navidezne specifične upornosti, inducirane polarizacije in lastnega potenciala, v manjšem obsegu pa se je posluževal gravimetrije, magnetometrije in plitve refrakcijske seizmike.

Na podlagi večletnih izkušenj smatramo, da je za večino raziskovalnih problemov na območju krasa najprimernejša ravno geoelektrika. Električno polje je še najbolj občutljivo za kraške nehomogenosti. Razni raziskovalci si veliko obetajo od izredno natančnih in občutljivih meritev težnosti, žal pa razgibana

kraška morfologija zelo omejuje uporabnost gravimetrije. Iz magnetnih meritev običajno ni mogoče izluščiti nedvoumne povezanosti z raziskovanimi objekti in je zato magnetometrija malokdaj primerna za razreševanje problematike na krasu. Večina raziskovalnih nalog je takšna, da tudi plitve refrakcijske seizmike ne moremo uporabiti v večjem obsegu. Morda bi mogli koristneje vključiti plitvo reflektivno seizmiko, katere instrumentalna tehnika je še v razvijanju in izpopolnjevanju.

Za konec naj poudarimo, da je treba vedno težiti k temu, da se pred vsakim večjim obsegom geofizikalnih raziskav izvršijo poskusne meritve na enakem ali podobnem znanem terenu. Šele rezultati in izsledki predhodnih poskusnih raziskav omogočajo pametno programiranje nadaljnjih raziskav. Smotrne raziskave naj spremlja kontrolno vrtnanje, predvsem pa plodno vzporejanje vseh razpoložljivih geoloških, hidrogeoloških, geofizikalnih in drugih podatkov in izsledkov. Pametno bi bilo da bi na raziskovanem terenu meritve večkrat ponovili, da bi dobili sliko v različnih obdobjih; najmanj, kar bi morali imeti, bi bili merski sliko terena v deževnem in sušnem obdobju, koristno pa bi bilo tudi kakšno vmesno merjenje. V okviru ekonomskih in drugih možnosti ter vrednosti dobljenih podatkov bi morali stremeti k temu, da bi se tudi geofizikalne meritve izvajale podobno kot hidrogeološka in hidrološka opazovanja.

Summary

GEOPHYSICAL EXPLORATION IN KARST

The author wants to inform geologists, hydrogeologists, speleologists and other specialists in karst research of the so far carried-out geophysical investigations — above all in the Slovene and, in some instances, in the Croat Karst —, of the various methods and their usefulness, the emphasis being on geoelectrical methods.

The paper comprises five parts. In the introduction a formulation of the research problem is given. The second part deals with mathematical and laboratory modelling and with the exploration of natural models. In the next part some possibilities of increasing the sensitivity and depth determination of geoelectrical methods are listed. The fourth part is a brief of the geophysical investigations performed by the Geological Survey of Ljubljana. In the final part four field examples are shortly described.

Literatura

- Lapajne, J., 1969. Geoelektrične raziskave boksitnih nahajališč (Geoelectrical Exploration of Bauxite Deposits). *Geologija* 12, 153—159, Ljubljana.
- 1968. Vpliv nizkouporne površinske plasti pri geoelektričnem ugotavljanju rudnih teles (Influence of the Low Resistivity Surface Layer in Geoelectric Mining Prospecting). *Rudarsko-metalurški zbornik* 3, 271—276, Ljubljana.
- Löhnberg, A., 1934. Zur Hydrographie der Zirknitzer Beckens (Ein Beitrag zur Karstforschung). *Mémoires de la Société de Géographie de Beograd*, 3, 114, Beograd — Göttingen.

- Löhnberg, A., W. Stern, 1932. Ein neuer Weg der Karsthydrologischen Forschung durch Anwendung geoelektrischer Methoden. Zeitschrift für Geophysik 8/6—7, 283—305.
- Miklič, F., 1955. Geofizikalne meritve pri Postojni (Geophysical Surveys in the Vicinity of Postojna). C. R. Congr. Yougoslave Speleol., 112—116.

Poročila

(Tipkopisi v arhivu Geološkega zavoda Ljubljana)

- Buser, S., J. Lapajne, E. Lukacs, 1967. Boksiti — Poročilo o geološko-geofizikalnih raziskavah v okolici Karojbe (Srednja Istra), 1966—67.
- 1967. Poročilo o geološko-geofizikalnih raziskavah na boksitih Slovenije, 1966—67.
- Georgievski, P., 1967. Izveštaj o probnim ispitivanjima elektromagnetnom »Turam« metodom u cilju otkrivanja podzemnih kanala u karstnim terenima Cerkniškog i Planinskog polja N. R. Slovenije. Zavod za geološka, geofizička i rudarska istraživanja u Beogradu, 1967.
- Lapajne, J., 1970. Anhovo — Seizmične meritve, 1970.
- 1967. Geoelektrična ispitivanja — Blato na Korčuli, 1967.
- 1967. Geofizička istraživanja — Zadar. Istraživanja u zaledju »Golubinke«, 1967.
- 1966. Geofizikalne raziskave v Ribnici — Pokrite kraške jame, 1966.
- 1965. Modelne laboratorijske raziskave — metoda inducirane električne polarizacije, 1964—65.
- 1965. Modelne laboratorijske raziskave — metoda navidezne specifične električne upornosti, 1964—65.
- 1966. Modelne laboratorijske raziskave — metoda navidezne specifične električne upornosti, 1965—66.
- 1970. Postojna — Refrakcijska seizmika, 1970.
- 1970. Raziskave za določitev lokacije zajetja vode za oskrbo Postojne v zaledju izvirov Malni, 1970.
- 1970. Rijeka — Gornja Vežica, Seizmične meritve, 1970.
- Lapajne, J., A. Kelhar, 1968. Razvijanje geofizikalnih metod za ugotavljanje vodnih kanalov na krasu (II), 1967—68.
- Lapajne, J., A. Kelhar, F. Pušnik, 1971. ČE Požarje — Geofizikalne raziskave, 1970.
- 1969. Pivka — Geoelektrične raziskave, 1969.
- Miklič, F., 1954. Geoelektrično sondiranje na severnem delu Cerkniškega polja. Predhodno poročilo, 1954.
- 1953. Poročilo o geoelektričnem raziskovanju na Kočevski Reki, 1953.
- 1954. Poročilo o meritvah navideznega specifičnega upora pri Stari vasi — Postojna, 1953.
- Ravnik, D., 1957. Geoelektrične meritve na Planinskem polju, 1955—56.
- 1967. Geoelektrične raziskave na trasi hitre ceste med Dervišami in Postojno, 1967.
- 1954. Geoelektrične meritve pri Račni, 1954.
- 1962. Geofizikalne raziskave na krasu — električno sondiranje, 1962.
- 1958. Poizkusne geoelektrične meritve na Cerkniškem polju, 1957.
- Ravnik, D., B. Čibej, J. Lapajne, 1967. Razvijanje geofizikalnih metod za ugotavljanje vodnih kanalov na Krasu (I), 1965—67.
- Ravnik, D., D. Vovk, J. Lapajne, 1968. Elektromagnetne metode geofizikalnih raziskav, 1967—68.
- Slebinger, V., 1934. Strokovno poročilo o podzemeljskih pritokih Lukanjske doline z ozirom na izrabljivost vodnih sil, 1934.
- Šumi, F., 1962. Geofizikalne raziskave na krasu — nagnjeni geološki stik, 1962.
- 1963. Geofizikalne raziskave na krasu — podzemeljski vodni tokovi, 1962.
- 1965. Geofizikalne raziskave na krasu — podzemeljski vodni tokovi, 1964—65.
- 1964. Modelne raziskave v geoelektriki z metodo inducirane polarizacije in navidezne specifične upornosti, 1963.
- Urš, I., 1954. Gravimetrično raziskovanje kraške jame pri Račni — Grosuplje, 1954.

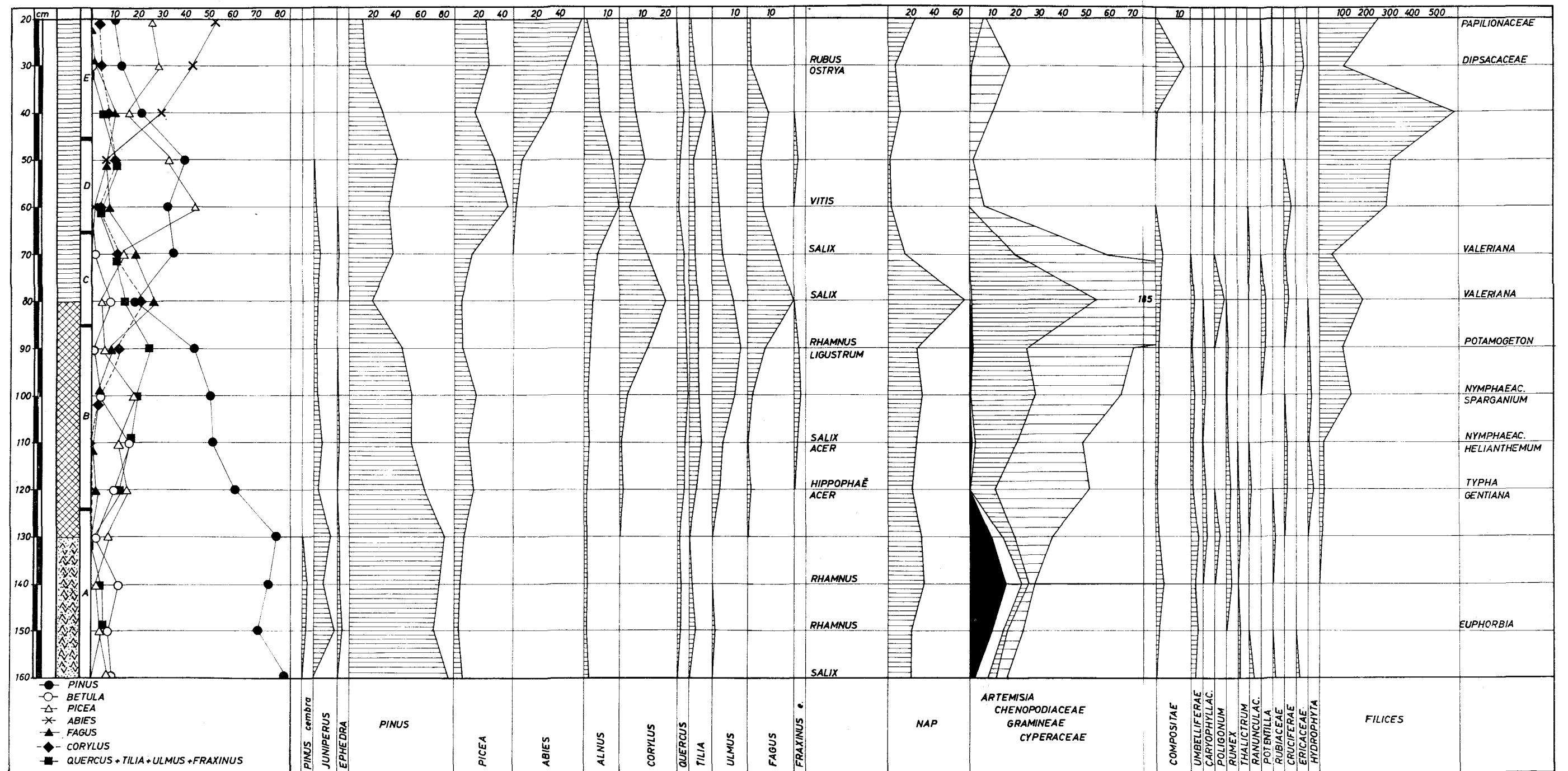


Diagram 1. Pelodni diagram kasnoglacialnih in holocenskih sedimentov Cerkniškega jezera

A Pollen Diagram of Late-Glacial and Holocene sediments of the Lake of Cerknica near the village Gornje Jezero

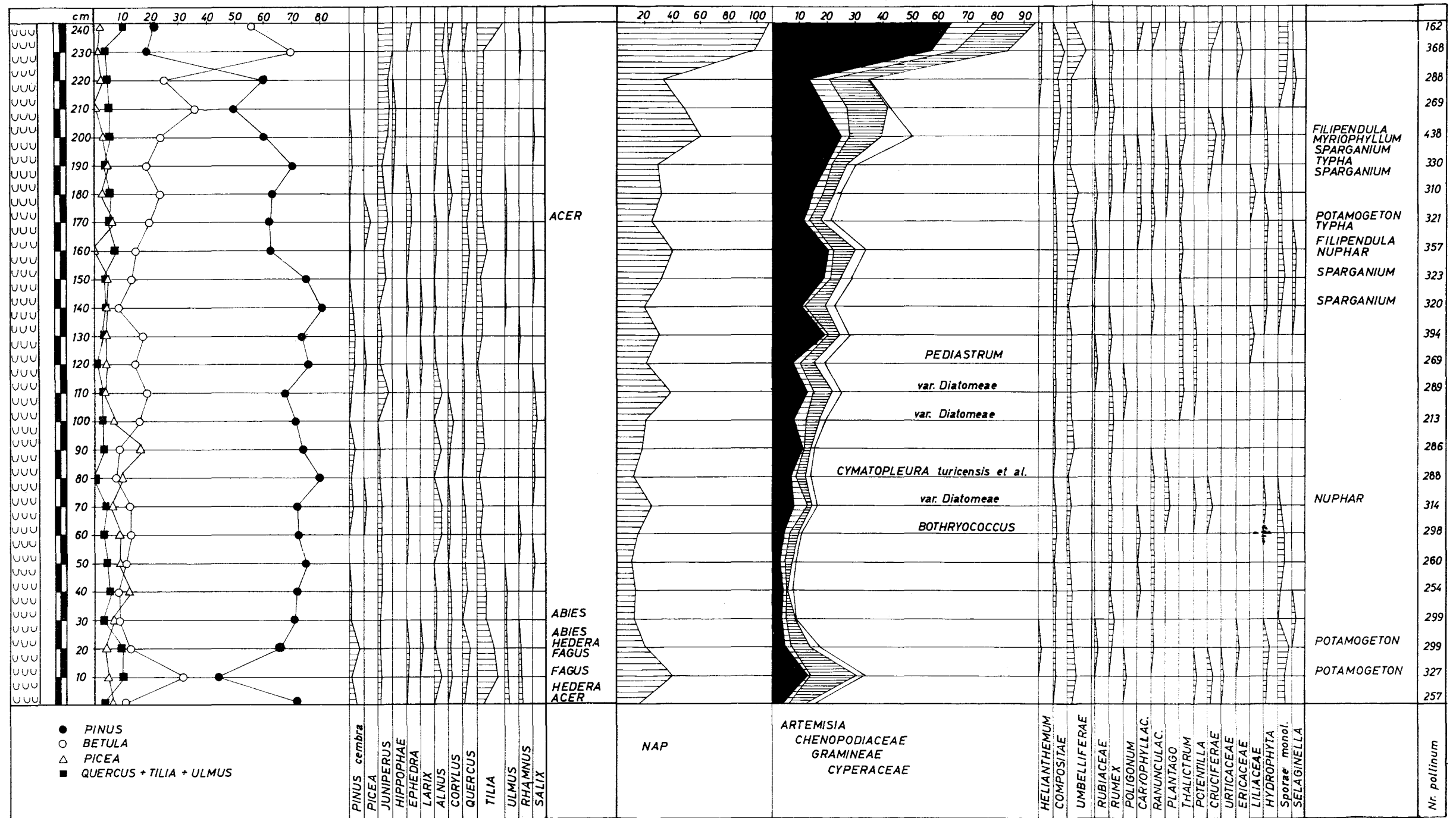


Diagram 2. Pelodni diagram wümskega jezera na Cerkniskem polju
A Pollen Diagram of a Würm-stadial Lake on Cerknisko polje