

SLOVENSKA AKADEMIJA ZNANOSTI IN UMETNOSTI
ACADEMIA SCIENTIARUM ET ARTIUM SLOVENICA

RAZRED ZA NARAVOSLOVNE VEDE
CLASSIS IV: HISTORIA NATURALIS

ZNANSTVENORAZISKOVALNI CENTER SAZU
INSTITUT ZA RAZISKOVANJE KRASA * INSTITUTUM CARSOLOGICUM

ACTA CARSOLOGICA
KRASOSLOVNI ZBORNIK

XIII
1984



LJUBLJANA
1985

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 31. OKTOBRA 1985
IN NA SEJI PREDSEDSTVA
DNE 26. FEBRUARJA 1986

UREDNIŠKI ODBOR
JOŽE BOLE, IVAN GAMS, MARIO PLENIČAR,
RADO GOSPODARIČ IN PETER HABIČ

UREDILA
PETER HABIČ IN RADO GOSPODARIČ

ZAMENJAVA — EXCHANGE
BIBLIOTEKA SAZU
NOVI TRG, 5/1, 61001, P. P. 323, JUGOSLAVIJA

Tiskano s subvencijo
Raziskovalne skupnosti Slovenije in
Znanstvenoraziskovalnega centra SAZU

VSEBINA — INDEX

Gospodarič, Rado

- O speleogenezi Divaške jame in Trhlovce (s 14 slikami) 5
 On the speleogenesis of Divaška jama and Trhlovca (with 14 Figures) 34

Habič, Peter

- Vodna gladina v Notranjskem in Primorskem krasu Slovenije
 (s 14 slikami) 37
 Water table in Slovene karst of Notranjsko and Primorsko
 (with 14 Figures) 75

Sušteršič, France

- Metoda morfometrije in računalniške obdelave vrtač (s 3 slikami) . . 79
 A method of doline morphometry and computer processing
 (with 3 Figures) 97

Urbanc, Janko — Pezdič, Jože — Dolenc, Tadej — Perko, Silva

- O izotopih kisika in ogljika v jamskih vodah in sigah Slovenije
 (s 3 slikami) 99
 Isotopic composition of oxygen and carbon in cave water and speleo-
 themes of Slovenia (with 3 Figures) 112

O SPELEOGENEZI
DIVAŠKE JAME IN TRHLOVCE

(S 14 SLIKAMI)

ON THE SPELEOGENESIS OF DIVAŠKA JAMA
AND TRHLOVCA CAVE

(WITH 14 FIGURES)

RADO GOSPODARIČ

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 31. OKTOBRA 1985

Vsebina

Izvleček — Abstract	7 (3)
UVOD	7 (3)
DOSEDANJE RAZISKAVE	8 (4)
NOVA SPELEOGEODETSKA IZMERA	9 (5)
GEOLOŠKO-MORFOLOŠKI POLOŽAJ	10 (6)
SPELEOLOŠKI OPIS DIVAŠKE JAME	12 (8)
SPELEOLOŠKI OPIS TRHLOVCE	22 (18)
JAMSKI SEDIMENTI IN NJIHOVA STRATIGRAFIJA	24 (20)
PODATKI O SPELEOGENEZI	29 (25)
SKLEPNE UGOTOVITVE IN PROBLEMI	31 (27)
LITERATURA	33 (29)
ON THE SPELEOGENESIS OF DIVAŠKA JAMA AND TRHLOVCA CAVE (Summary)	34 (30)

Naslov — Address

Dr. RADO GOSPODARIĆ, dipl. ing. geol., znanstveni svetnik SAZU,izr. prof.
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

Izvleček

UDK 551.44(497.12-14)
551.793/.796(24)(497.12-14)

Gospodarič Rado: O speleogenezi Divaške jame in Trhlovce

V Divaškem krasu zavzemata Divaška jama in Trhlovca posebno mesto, ker so njuni prehodni rovi 200 m nad tokovi današnje podzemeljske Reke. Jami vsebujeta mnogo sedimentov, več generacij sig in dve skupini pasovitih ilovic, ki smo jih relativno stratigrafsko uvrstili v srednji in zgornji kvartar. Paleohidrografske so zanimive 30 m debele rjave pasovite ilovice mindelske starosti in rdeči kompleks sig in naplavin iz riškega glaciala. Domnevamo, da je jama Trhlovca bila aktivna v začetku pleistocena, Divaška jama pa v starejšem pleistocenu, medtem ko so zgornji rovi Škocjanskih jam in Kačne jame bili oblikovani šele v srednjem, spodnji rovi teh jam pa v zgornjem pleistocenu in holocenu. Domnevano je na površju Divaškega krasa nastajala terra rossa v mindel-riškem interglacialu. Poskusna geokronološka interpretacija speleogenetskih procesov Divaške jame in Trhlovce bo pomagala pri nadaljnjem preučevanju razvoja ponornega območja Notranjske Reke (Timavo) in celotnega matičnega Krasa.

Abstract

UDC 551.44(497.12-14)
551.793/.796(24)(497.12-14)

Gospodarič Rado: On the speleogenesis of Divaška jama and Trhlovca cave.

In Divača karst Divaška jama and Trhlovca cave take special place as their accessible channels are placed 200 m above the flow of the actual underground Reka. Caves contain a lot of sediments, several flowstone generations and two groups of laminated loam, which were relatively stratigraphically dated to be Middle and Upper Quaternary. Paleohydrographically 30 m thick brown laminated loams of Mindel age and red complex of flowstone and alluvium from Riss glacial are interesting. We suppose that the cave Trhlovca was active at the beginning of Pleistocene and Divaška jama in older Pleistocene while the upper channels of Škocjanske jame and Kačna jama have been formed only in Middle and lower channels of these caves in upper Pleistocene and Holocene. Supposingly terra rossa originated on the surface of Divača karst in Mindel-Riss interglacial. Test geochronological interpretation of speleogenetic processes in Divaška jama and Trhlovca will help on further study of development of ponor region of Notranjska Reka (Timavo) and the whole classical Karst.

UVOD

V območju Divaškega krasa, kakor imenujemo zakraselo pokrajino v podaljšku Vremske doline proti severozahodu tja do Divače in Lokev, poznamo številne udornice in jame. Te nam neposredno in posredno kažejo današnjo oziroma nakazujejo nekdanje tokave ponikalnic, zlasti Notranjske Reke kot največje med njimi. V tem pogledu so najbolj informativne etažne Škocjanske jame in nastropna Kačna jama, saj se v njih razsežnih sistemih združujejo stalno in občasno aktivni vodni rovi ter nekdanji vodni rovi, ki vsebujejo fosilne fluvialne naplavine in druge jamske sedimente. Novejša preučevanja v teh jamah (R. Gospodarič, 1984, 1985; J. Kogovšek, 1984; A. Mihavec, 1984) so odkrila mnoge novosti o recentnem in fosilnem zakrasevanju Divaškega krasa, odprla pa tudi dosti nerešenih problemov, med katere uvrščamo zlasti datiranje speleogenetskih pojavov in procesov, posebej v tistih jamah tukajšnjega krasa, ki z obema omenjenima sistemoma niso neposredno povezane.

Takšna je Divaška jama, ki ima poglavitni rov v nadmorski višini med 360 in 390 m, se pravi 50 m pod vrtačastim površjem ter 100 in 200 m nad fosilnimi in aktivnimi rovi bližnje Kačne jame in nekoliko bolj oddaljenih Škocjanskih jam. V njej so tudi ohranjeni sedimenti, predvsem mogočne sige in debeli zasilji fluvialnih ilovic, kakršnih v drugih jamah obravnavanega kraša še nismo našli. Ti pojavi, ki govorijo za relativno zelo staro kraško votlino, so sicer že mnogokrat omenjeni v klasičnih speleoloških delih (E. Martel, 1894; F. Kraus, 1894) ter nekaterih strokovnih revijah (W. Putick, 1889; R. Jannel in E. Rakovitz, 1918) in časnikih konec prejšnjega in v začetku sedanjega stoletja, vendar doslej še niso bili ustrezno študirani in vključeni v razvoj Divaškega kraša.

Pri speleogeološkem preučevanju matičnega Kraša smo v letih 1983 in 1984 dosti dela posvetili prav Divaški jami. Dosežena spoznanja in rezultate obravnavamo v tej razpravi. Najprej navajamo dosedanje raziskave, nato postopek izdelave novega načrta, ki je omogočil speleološki opis dosegljivih rovv in opaženih pojavov. Podrobneje obdelujemo jamske sedimente in njihovo stratigrafijo. V sklepnih ugotovitvah poudarjamo nova spoznanja o speleogenezi in navajamo nerešene probleme zlasti datiranje speleogenetskih procesov.

DOSEDANJE RAZISKAVE

Po zapisih W. Puticka (1889) in J. Žiberne (1981) bi naj Divaško jamo odkril Gregor Žiberna-Tentava 11. maja 1884. Ta datum, vidno zapisan z rdečo barvo na skali sredi sklepne dvorane, pa verjetno pomeni le nedeljski dan neke slovesnosti, morebiti ob priložnosti zaključene turistične ureditve. Pred kratkim najdeni podpisi »H. Müller, Marinitsch in 8. 6. 1967« na sigi v sklepu jame namreč pričajo, da so raziskovalci Škocjanskih jam zašli v Divaško jamo že 17 let prej, preden so jo domačini začeli urejati, čuvati in se na različne načine truditi za njeno turistično uveljavitev. Kot piše J. Žiberna (1981) je dala divaška občina 22. maja 1886 jamo v najem avstrijskemu turističnemu klubu. Ker pa najemnik ni poravnaval svojih obveznosti, je najemno pogodbo čez štiri leta prekinila. Od takrat dalje so jamo upravljali domačini. Gregor Žiberna-Tentava, ta znani divaški posebnež in jamar pa je kot domnevni odkritelj bil njen čuvar in vodnik do svoje smrti 1929. Pri tem delu mu je največ pomagal Valentin Rešaver-Harambaša.

W. Putick (1889) je med prvimi opozoril prirodoslovce in popotnike na obsežne rove in mogočne kapnike Divaške jame. Njegove navedbe najdemo kasneje zapisane v knjigi E. Martela (1894, 473) in F. Krausa (1894, 77), kjer so poleg opisov objavljeni že posnetki visokih stalagmitov. Nad njimi sta se navduševala R. Jannel in E. Rakovitz (1918), ko sta 5. maja 1914 obiskala jamo in predvsem gledala na favno. Neugodno ju je presenetil črnkast izgled turistične steze in ob njej počrnela siga. Kot ljubitelja in poznavalca podzemlja nista bila navdušena, da so domačini posuli stezo s črnimi ugaski. Nadaljnji podatki o Divaški jami pod imenom Grotta Rodolfo in Grotte Umberto sotto Corona so objavljeni v Duemila grotte (L. V. Bertarelli in E. Boegan, 1926, 346, načrt 782), kjer ima pokazani tloris in naris dolžino okrog 600 m in globino okrog 100 m.

Po osvoboditvi 1945 so Divaško jamo izmerili sodelavci Inštituta za raziskovanje krasa SAZU iz Postojne, opisala pa sta jo A. Šerko in I. Michler (1952). V jamskem katastru ohranjen original v merilu 1 : 1000 (izrisal ga je F. Hribar) ima 32 poligonskih točk skupne dolžine 670 m in 120 m višinske razlike med jamskim vhodom in najnižjo doseženo točko tal.

Arhivsko znanje o Divaški jami je zbrano v Speleološki karti Slovenije (P. Habič, R. Gospodarič, I. Kenda, A. Kranjc, 1975), sicer pa večkrat omenjeno pri geomorfoloških opisih Divaškega krasa. Tako je P. Habič (1972, 29) imel Divaško jamo za fosilni podzemeljski rov Reke v 1. nivoju na višini 350—320 m, F. Šušteršič (1973) pa za del rovov, ki so jih izoblikovale združene ponikalnice s flišnega ozemlja. Pri tej trditvi se Šušteršič opira na »flišne prodnike« v bližnji, manjši Trhlovci, ki bi naj bila šolski primer delno zasutega požiralnika z značilnimi prečnimi rezi. Večkrat omenja Divaško jamo tudi I. Gams (1974; 99, 180, 183, 186, 197, 201, 277). Obsežni rovi mu dokazujejo precejšnjo prevotljenost Divaškega krasa. Številni kapniki so po njegovem počrneli zaradi osvetljevanja z baklami in svečami, ne pa zaradi črnega prahu ugaskov, s katerimi so pred prvo in po drugi svetovni vojni posipavali turistično stezo.

Opis in načrt ter nekateri speleogenetski podatki o jami Trhlovci so zbrani v zapisniku z dne 23. 2. 1970, ki ga je skupaj z ljubljanskimi jamarji sestavil F. Šušteršič. Tu so zabeleženi v dnu jame ohranjeni datumski in osebni podpisi nekaterih obiskovalcev od 1902 dalje (Franc Pajk iz Ljubljane, Sisseck Leopold iz Gradca, Schimek z Dunaja z dne 19. 7. 1902; Dr. Franc Megušar in K. Johann Wind. z dne 2. 9. 1909; J. Halenda Achenfeld 1915; Kellner Norbes, Brünn 1915; Garstdorfer, Wolfsburg, 26. 12. 1915; Faghraszy SAG 1936, in drugi). Navedene so tudi starejše objave imena in načrta te jame v Duemila grotte (1926) in sicer Grotta fra Cornale e Divaccia št. 325 VG, Grotta della Civetta št. 1128 VG z načrtom št. 705.

Ljubljanski jamarji so sestavili zelo uporaben načrt Trhlovce, pri tem pa svetovali tudi arheološka izkopavanja pod vhodno skalno steno. Temu navetu so arheologi sledili in po 1974 tod izkopali številne neolitske najdbe (F. Leben, 1979).

Dosedaj objavljeno znanje o Divaški jami in Trhlovci govori o njuni prirodno-turistični pomembnosti, manj pa pojasnjuje njuno speleogenezo v primerjavi z bližnjimi, bolj preučeni sistemi Kačne jame in Škocjanskih jam. Tovrstno preučevanje tudi ni moglo biti zadovoljivo opravljeno, ker obstoječi načrti niso verno prikazovali stvarnih razsežnosti, posebej pa niso razlikovali skalnih sten od mogočnih sigovih kop in stalagmitov, ki stene obdajajo.

NOVA SPELEOGODETSKA IZMERA

Za opise, pojasnila in speleogenetske preučitve smo potrebovali bolj stvaren načrt Divaške jame, kajti na obstoječe načrte in protislovne podatke o dolžinah, širinah in višinah rovov nismo mogli zanesljivo opreti našega raziskovanja. Novo izmero jame je zastavil, vodil in izvednotil I. Kenda, načrte pa izrisal L. Dramé. V merilni ekipi so delali R. Gospodarič, J. Hajna, B. Kafil, M. Kranjc in S. Morel.

Osnovni poligon jame smo utrdili z 21 poligonskimi točkami in jih v ro-
vih stabilizirali z žebli, zalitimi v beton. Merili smo s kompasnim teodolitom
znamke »Fennel Kassel« in jeklenim, 50 m dolgim trakom. Iz vsake točke smo
merili naprej in nazaj po dva kota ter s srednjo vrednostjo ugotovili smerne
kote poligonskih stranic. Vertikalne kote smo odčitali na krogu z 10 minutno
razdelbo. Iz točke s koordinatami $y = 5418\ 620,00$, $x = 5059\ 537,00$ in $z =$
 $426,00$, ki je vrh vhodnega brezna identična s točko na osnovni karti 1 : 5000,
smo izračunali vse druge koordinate poligona. Dolžine poligonskih stranic so
merjene s centimetrsko natančnostjo.

Obrise podzemeljskih prostorov in značilne pojave njegove zapolnitve
smo locirali z 249 detajlnimi točkami, pravtako s pomočjo kompasnega teo-
dolita in jeklenega traku, skice v merilu 1 : 250 pa smo sproti risali ob mer-
jenju v jami. S priročnim merilnikom smo ugotavljali tudi višino stropovja,
njegovo debelino pa smo spoznali s prenosom jamskega poligona na površje.

Poprečna napaka merjenja smernih kotov je 2,89 minute. Smerni kot med
vhodno in končno točko $V_{zo-1} = 225^{\circ} 57'$, dolžina pa 407,67 m. Iz tega sledi
napaka $\Delta y = 0,147$ m in $\Delta x = 0,144$ m. Poprečna napaka merjenja vertikal-
nih kotov je 6,13 minut. Naklon med vhodno in končno točko je $6^{\circ} 35'$, dol-
žina znaša 410,39 m z napako $\Delta z = 0,436$ m. Po veljavnem pravilu diskonti-
nuitete je Divaška jama dolga 707,5 m, globoka pa 75,12 m (višinska razlika
med točkama 20 in 4.9). Glavni poligon je dolg 611,38 m, turistična steza po
jami pa ima 965 m dolžine.

Po meritvah smo sestavili tloris jame v merilu 1 : 250, ki je razdeljen na
5 oziroma 6 koordinatnih listov, če štejemo k Divaški jami še Trhlovco. Ta
osnovni tloris smo pomanjšali na merilo 1 : 2000 in takega ga objavljamo in
obravnavamo (sl. 1).

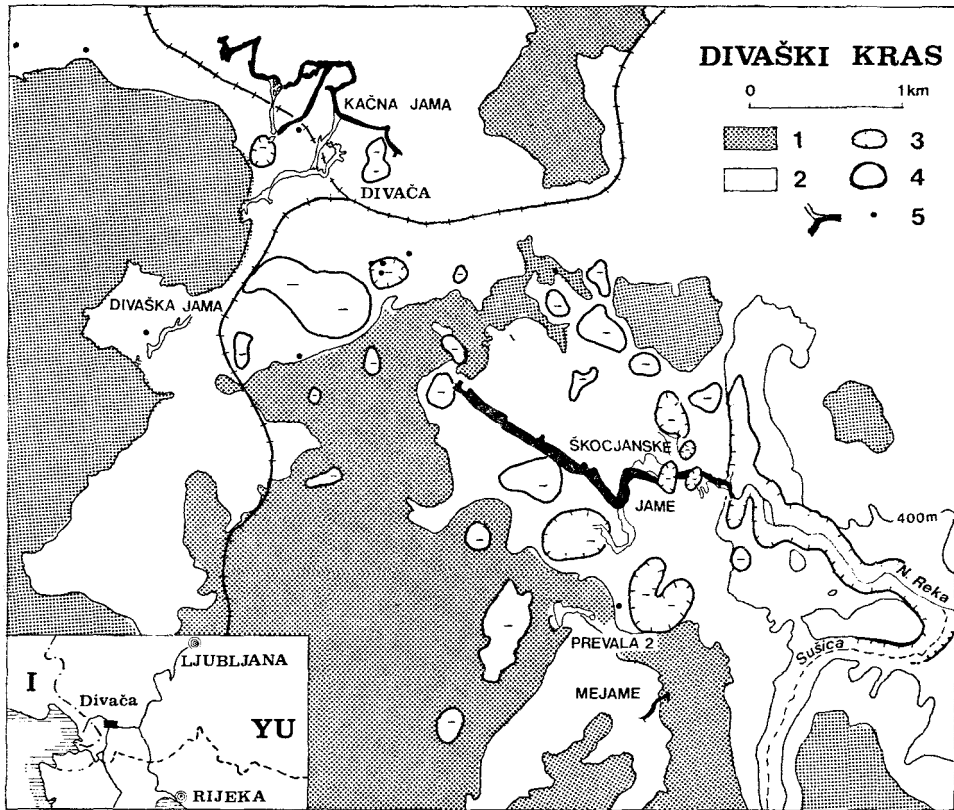
Naris smo začrtali po sredini rovov od ene do druge poligonske, ponekod
tudi pomožne točke. Po njem vidimo, da so prehodni prostori največ 20 m vi-
soki, z izjemo dvorane pri t. 10, kjer je zaradi znižanih tal viden 35 m visok
prostor, in pot t. 4, kjer lahko sestopimo še v 18 m globoko brezno. Strop je
najtanši v dvorani t. 7 (17 m) in najdebelejši (60 m) nad sklepom jame pri
t. 2.8.

Pri opisovanju smo pogrešali imena za značilne jamske prostore. J. Ži-
berna (1981) sicer pravi, da je G. Žibera izbral svetopisemska imena za
posamezne kapniške skupine, sklepno dvorano pa imenoval Kalvarijo. Ker
pa ta imena niso natančneje zapisana, niti kako drugače ohranjena, smo jih
nadomestili z novimi. Za nekatere izrazite odseke smo izbrali opisna imena,
dvorane pa krstili s priimki jamarjev Žiberne in Rešaverja iz Divače ter
Pretnerja in Modrijana iz Postojne, ki sta pred leti v ekipi Inštituta sodelovala
in raziskovala Divaško jamo.

Podobno kot Divaško jamo smo na novo premerili tudi jamo Trhlovco,
predvsem zaradi enakovredne primerjave njunih nadmorskih višin.

MORFOLOŠKI IN GEOLOŠKI POLOŽAJ

Divaška jama in Trhlovca sta pod vrtačastim površjem zahodno od ceste
Divača—Lokev in železnice Divača—Sežana, ki mu domačini pravijo Ravni.
Ta ravan (445 m) se na severni strani vzpenja v Kožlek (517 m), na jugoza-



Sl. 2. Morfološka skica Divaškega krasa z legami Divaške jame in Trhlovce, Kačne jame in Škocjanskih jam. 1 — nad 450 m, 2 — med 450 in 400 m, 3 — mlajše udornice, 4 — starejše udornice, 5 — jamski sistemi z vodnimi (črno) in suhimi rovi ter druge jame.

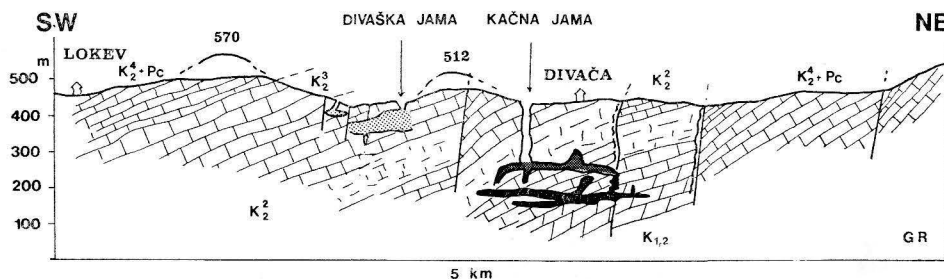
Fig. 2. Morphological sketch of Divača karst, location of Divaška jama, Trhlovca, Kačna jama and Škocjanske jame drawn in 1 — above 450 m, 2 — between 450 and 400 m, 3 — younger collapse dolines, 4 — older collapse dolines, 5 — cave system with active (black) and passive channels and other caves

hodni v Klemen (569 m), na zahodni pa podaljšuje v nekoliko više ležeče Topoličje (sl. 2). Proti jugu in vzhodu se Ravni nekoliko znižajo v Male griže. Tako je reliefno izražen nekakšen širok zatrep s številnimi 50–100 m širokimi in 10–20 m globokimi ovalnimi vrtačami. Med njimi se le vrtača pri jami Trhlovci kaže kot udorna, vse druge imajo blaga pobočja z ravnimi, nekoč obdelanimi tlemi. V eni takih vrtač sta izoblikovana vhoda v Divaško jama.

Širše območje Divaške jame gradijo mikritni in sparni apnenci turonijske starosti, kakršni sestavljajo tukajšnji del tržaško-komenskega antiklinorija oziroma reškega sinklinorija. Skladi vpadajo za okoli 20° proti jugu in jugozahodu, tako da proti Lokvi že prehajajo v paleocenske apnence, pri Divači

pa so ob divaškem prelomu s paleocenskimi apnenci v tektonskem stiku (sl. 3). Obravnavani skladi so počez razkopani in prelomljeni, vendar zelo malo zdrobljeni.

Dostopno podzemlje Divaške jame je v skladnatih apnencih, ki so v prvi polovici jame nagnjeni za 15–20° proti jugozahodu, v drugi polovici pa za prav toliko proti jugu. Razen v Hodniku, kjer je zožen rov vzporeden slemenitvi in vzdolžni razpoki, so drugi prostori usmerjeni prečno na slemenitev in tudi skoraj vzporedno s prelomi N–S smeri. Ta navezava na strukturo pa velja samo za zgornje, vidne dele podorno deformiranih dostopnih prostorov med skalnim stropom in nasipnimi in s sigo pokritimi tlemi, ne vemo pa, kako so strukturi prilagojeni zasuti, spodnji deli jame. Ker skalni profili Divaške jame niso nikjer v celoti razgaljeni, je težavno spoznati tudi razsežnosti in



Sl. 3 Geološki prerez med Divačo in Lokvijo z Divaško jamo, Trhlovcem in Kačno jamo, sestavljen na podlagi geološke karte Gorica in podatki novejšega kartiranja.

K_{1,2} — bituminozen zrnat dolomit

K₂ — skladnat in neskladnat apnenc z rudisti

K₃ — debeloskladnat apnenc z rudisti

K₄ + Pc — skladnat apnenc z makro in mikrofavno

Fig. 3. Geological section between Divača and Lokev with Divaška jama, Trhlovcem and Kačna jama composed on the base of Geological Map Gorica with additional data of recent mapping

K_{1,2} — bituminous grained dolomite,

K₂ — bedded and unbedded limestone with rudists,

K₃ — thick bedded limestone with rudists,

K₄ + Pc — bedded limestone with macro- and microfauna

oblike skalne izvotlitve. Mnogo bolj kot primarne, so razvidne sekundarne zapolnitve in ponovne izvotlitve podzemlja, ki so nastajale v zakraseli coni med sekundarnim vhodom na 426 m in doseženimi jamskimi tlemi na 350 m nadmorske višine. V primerjavi z 700 m oddaljeno Kačno jamo, ki ima suhe skalne rove na 250 m, obdobjno poplavljenane na 200 m, aktivne kanale pa na 160 m (A. Mihevc, 1984, P. Habič, 1984) je torej Divaška jama izvotljena znatno višje.

SPELEOLOŠKI OPIS DIVAŠKE JAME

V Divaško jamo vstopimo skozi dva vhoda, skozi prvega v 10 m široki in 15 m globoki vrtači, kjer pridemo najprej na podorni grič in nato pod plastnato sigo v Vhodno dvorano, ter skozi drugega v 25 m globokem poševnem



Sl. 4 Divaška jama, Rešaverjeva dvorana. Na sigovih tleh leži podrti kapnik »Harambaša«, za njim pa stojijo cipresasti in svečasti stalagmiti, ki še večno rastejo. Foto: P. Habič

Fig. 4. Divaška jama, Rešaver Hall. On flowstone floor the collapsed stalagmite »Harambaša« lies, behind it cypress and candlelike stalagmites are still growing

breznu ob robu omenjene vrtače, kjer pravtako dosežemo Vhodno dvorano (sl. 1 v prilogi).

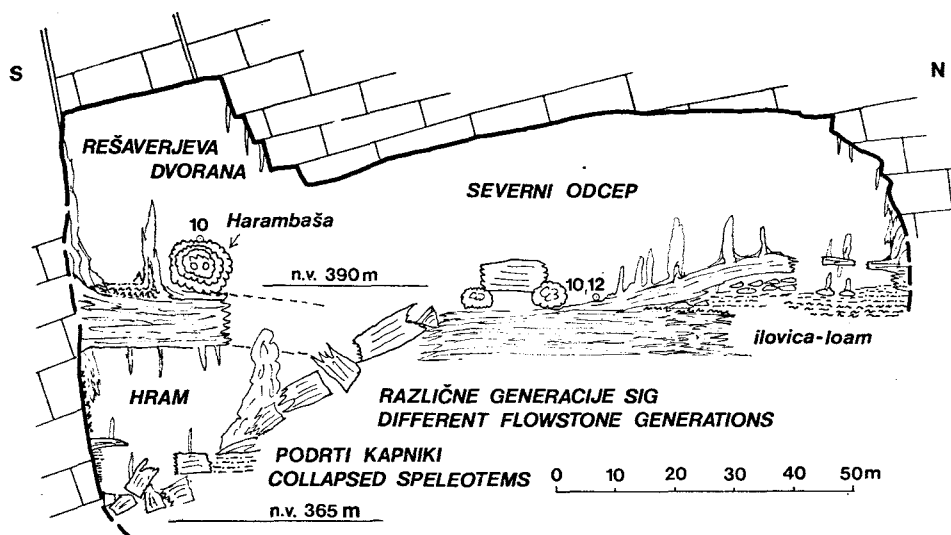
V **Vhodno dvorano** še sega dnevna svetloba. V njej že vidimo del 17 m širokega in 15 m visokega podzemeljskega rova, kakršnega v takih razsežnostih spoznavamo vse do 700 m oddaljenega sklepa jame. Tla dvorane so sprva delno umetno poravnana, v nadaljevanju pa sestavljena iz sigovih kop, ki se vzpenjajo na severozahodno skalno steno ali pa gradijo debele stalagmite, od katerih sta vsaj dva v podnožju prelomljena in nagnjena. Preden skozi Obhod vstopimo v Modrijanovo dvorano, so po znižanih tleh podorne skale, v njih pa korozijske luknje, povzročene po kapnici, ki tod curlja iz pretrtega stropa. Tod se pozimi zadržuje tako hladen zrak, da kapljice zmrznejo v ledene stalagmite.

Obhod je očiten ostanek skalnega rova v višini 395 m ob strani poglavitnega rova (t. 14) **Modrijanove dvorane**, ki ima skalno dno sicer precej niže od Obhoda. Da smo v tej dvorani že v pravem jamskem okolju, pričajo toplejši zrak pozimi in proti izhodu usmerjen veter poleti, pa seveda tudi številne kope, ciprese in sveče sige, ki segajo domala do 10 m visokega stropa. V širšem delu Modrijanove dvorane so stalagmiti s koralastimi izrastki, v pobočjih sige pa so oblikovane večje in manjše ponvice, kjer se nabira prenicujoča voda. Med kapniki in pod njimi vidimo skale stropovja, kar pomeni, da imamo opraviti z zasiganim podornim gričem. Prelomljeni podrti stalagmiti in stebri ter tu in tam prelomno posedena tla kažejo na posedanje tega griča, verjetno zaradi izpiranja ilovnatih naplavin pod njim. Ta pojav ponovne izvotlitve zasutega skalnega rova smo spoznali že v Vhodni dvorani, še bolj izrazito pa je uveljavljen v naslednji Rešaverjevi dvorani, njenem Hramu in Severnem odcepu pa tudi v Hodniku, kamor se jama nadaljuje.

Podrti stalagmit — **Harambaša** (domače ime za V. Rešaverja) je najbolj izrazit pojav **Rešaverjeve dvorane** (sl. 4). Gre za 12 m visok in v podnožju 4,5 m debel kapnik, ki se je prelomil in prevrnil proti jugovzhodu na zasigana tla. Če bi ga mogli postaviti v prvotno lego, bi z vrhom skoraj dosegli skalni strop dvorane!

Zanimivo je, da so na mestu, kjer je prvotno stal prevrnjeni Harambaša, že zrastle novi svečasti kapniki, poleg pa še drugi, tudi do 10 m visoki cipresasti stalagmiti. To pomeni, da moramo v dvorani računati s trajnim dotokom prenicujoče vode, ki je v odvisnosti od zasičenosti izmenično odlagalo sigo, hkrati pa izpirala fluvialne naplavine. Očitno pa je vsaj v mlajši razpadni fazi prevladalo izpiranje nad sigotvornostjo, saj drugače ne bi mogel biti pod 5 m debelo sigovo ploščo ponovno izvotljen 15 m visok in do 10 m širok Hram. V tem **Hramu** imamo dosti podrte stare sige, ki se je sem navalila iz dvorane, poleg nje pa tudi dosti rastoče sige, ki to podrtje pokriva. Iz Hrama so bile skoraj v celoti izprane fluvialne naplavine, predvsem rjavkasta pasovita ilovica. Njeni skromni ostanki so tod še ohranjeni ob skalnih stenah in pod sigo do višine 390 m. Delno je bila izprana tudi mlajša naplavina rdeče ilovice, ki je bila v Hramu in drugod odložena, preden jo je pokrila siga mlajše generacije. Manj intenzivno so znižana nasipna tla v Severnem odcepu kot je razvidno na prečnem prerezu (sl. 5).

V območju Rešaverjeve dvorane so torej po eni strani razkriti jamski sedimenti, kakršni zapolnjujejo ali so zapolnjevali Divaško jamo, po drugi



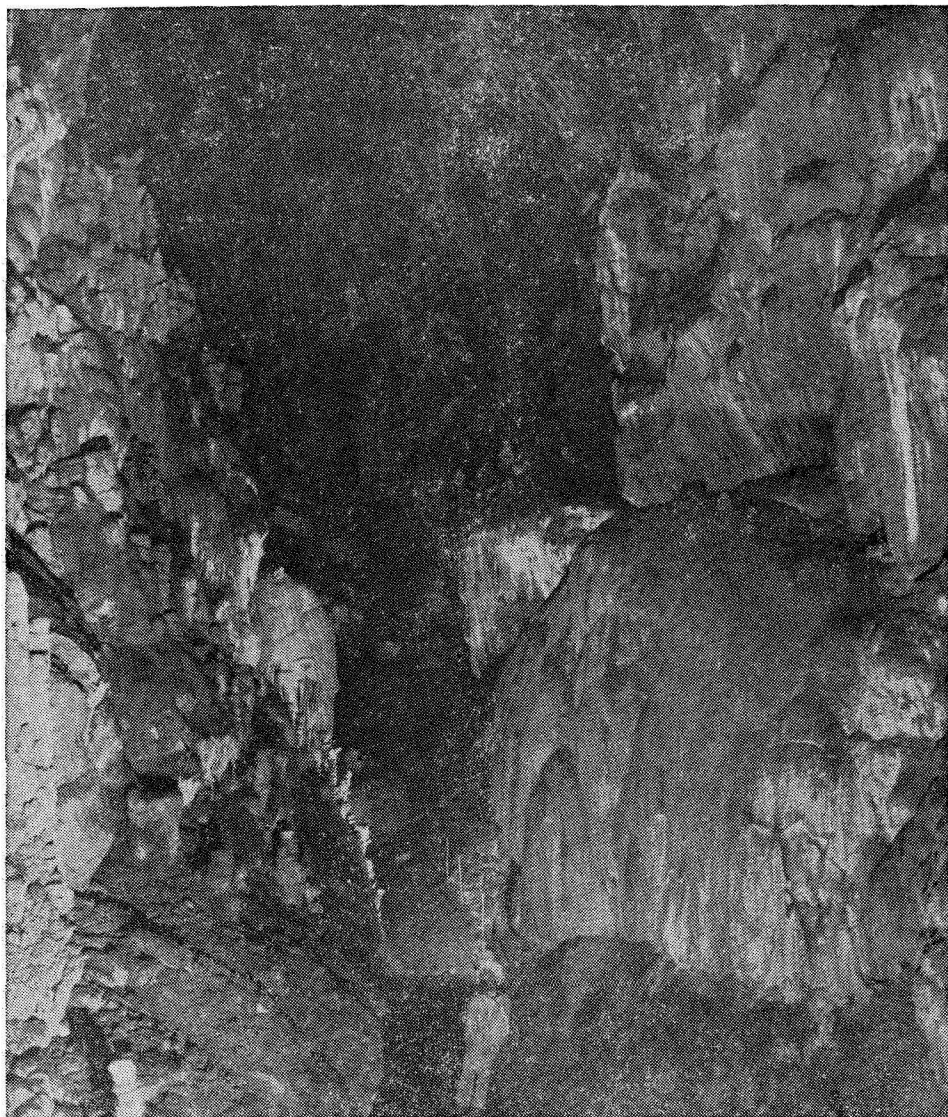
Sl. 5 Divaška jama, vzdolžni prerez Rešaverjeve dvorane, Hrama in Severnega odcepa

Fig. 5. Divaška jama, longitudinal section of Rešaver Hall, Hram and Severni odcep (Northern Branch)

strani pa vidne posledice izpiranja teh sedimentov, izražene v ponovno izvotljenem rovu ter v podrti in posedeni sigi. To, do neke mere povezano speleogenetsko dogajanje kaže, da se je v najmanj 30 m visok skalni rov odložila najprej rjava pasovita ilovica v debelini najmanj 20 m, neravna ilovnata tla pa so pokrile najmanj 5 m debela plošča sige in njene kope. Sledilo je izpiranje rjave ilovice, kar je imelo za posledico, da se je siga posedala in lomila. Ko je voda naplavila rdečo pasovito ilovico in pesek, ki se po barvi in sestavi tako jasno loči od rjave pasovite ilovice, in na nje odložila novo sigo, je bilo izpiranje prekinjeno, nato pa pri izvotlitvi Hrama vnovič uveljavljeno. V tako izoblikovanem prostoru je zrastle in še raste najmlajša siga. Navedeno zaporedje speleogenetskih procesov bomo poskušali natančneje razčleniti, ko bomo spoznali še druge podobne pojave v obravnavani jami.

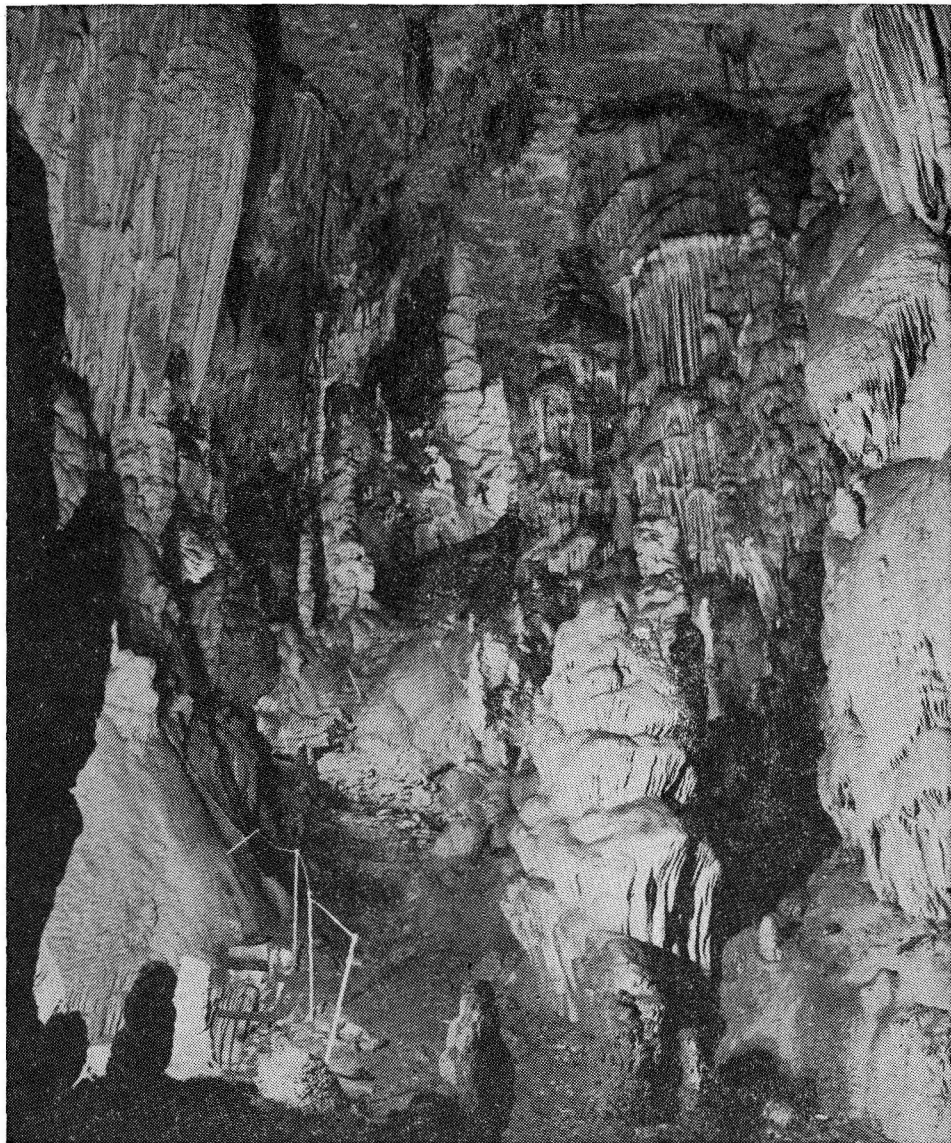
Med Rešaverjevo dvorano in nadaljnjo Pretnerjevo dvorano je 15 m visok in na najožjem mestu 5 m širok **Hodnik**, ki pa izraža le zgornjo polovico skalnega rova; spodnja polovica v podaljškju zgoraj obravnavanega Hrama je namreč zasuta z naplavinami in kopasto sigo. Koliko se da videti, prehaja skalni Hodnik iz zgornjega ovalnega širšega kanala na višini 400–385 m v spodnji, pokončni, ožji kanal, katerega skalno dno je domnevno pod 370 m višine. Zgornji del kanala je morfološko starejši in verjetno preostanek erozijskega rova, ki je sicer drugod po jami podorno deformiran (sl. 6).

Prehodni del Hodnika je vzporeden vzdolžni špranji v položnih skladih, kjer so ob lezikah izdelane police. Na njih so ostanki rjave in na tej rdeče ilovice. Rdeča ilovica je ohranjena med rebri stalagmita pri t. 9, kar pomeni, da moramo med obema akumulacijama računati s sigotvorno fazo.



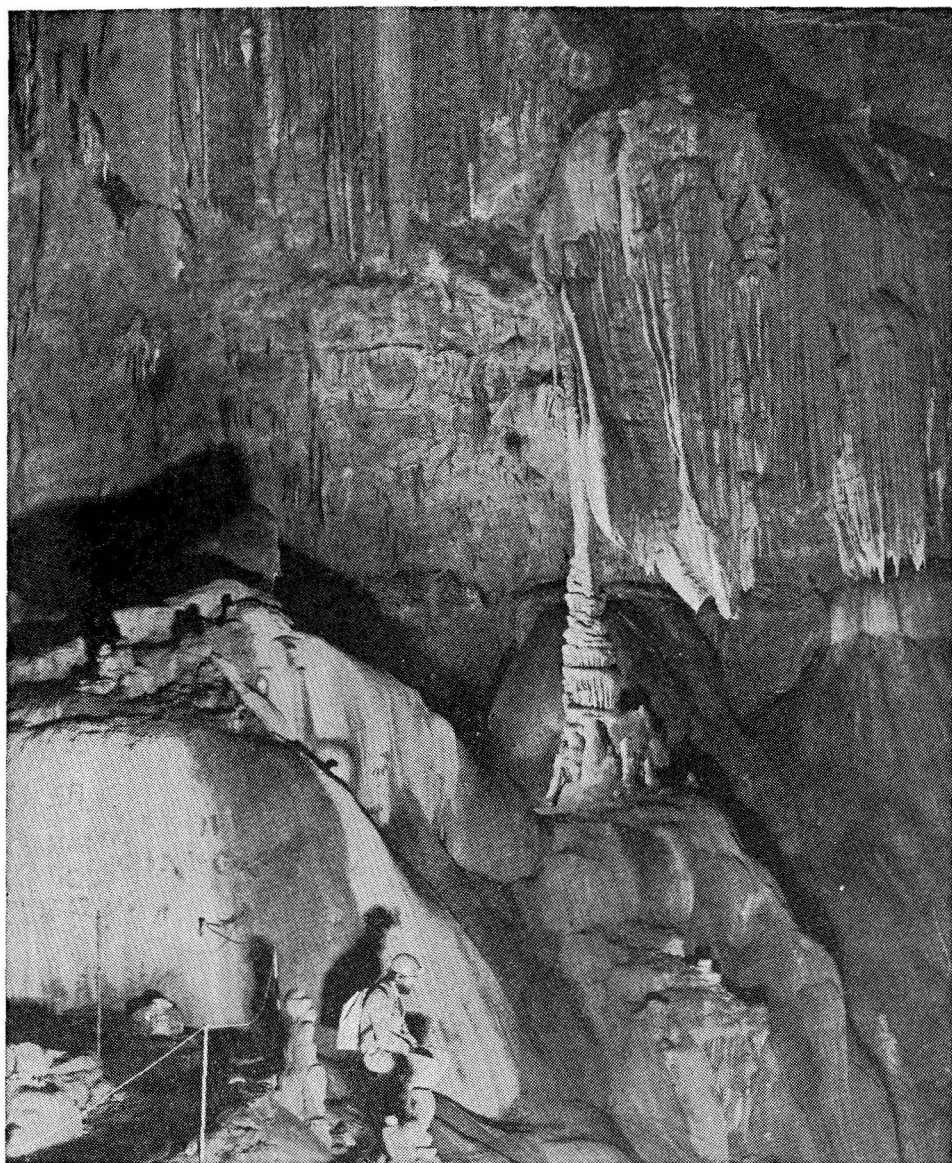
Sl. 6 Divaška jama, Hodnik. S sigo obdane skalne stene in strop omejujejo zgornji, širši in spodnji, ožji del fosilnega kanala, stene se spuščajo še pod sekundarna tla; najmanj 30 m visok skalni rov je bil do polovice te višine zasut s sedimenti, potem pa delno izpraznjen do današnje oblike. Foto: P. Habič

Fig. 6. Divaška jama, Hodnik (Corridor). Rocky walls and roof, covered by flow-stone are limiting upper, wider and lower narrower part of fossil channel, the walls are lowering under the secondary floor; at least 30 m high rocky passage was filled by sediments up to the half and then partly evacuated to the actual form (Photo by P. Habič)



Sl. 7 Divaška jama, Rov Serpentine s pogledom proti Pretnerjevi dvorani. Rov je bogato zasigan z več generacijami oblikovno različnih kapnikov, izstopajo cipresasti kapniki. Foto P. Habič

Fig. 7. Divaška jama, the gallery Serpentine with the view towards Pretner Hall. The gallery is richly decorated with several generations of different flowstones, cypress-like calcite formations are the most noticeable. Photo by P. Habič



Sl. 8 Divaška jama, spodnja Žibernova dvorana. Kope starejše sige se ponekod povišujejo v mlajše ciprese; s stropa visijo debeli, starejši in tanjši mlajši stalaktiti. Foto: P. Habič

Fig. 8. Divaška jama, the Lower Hall of Žiberna. The heaps of older flowstone are somewhere elevated to younger cypresses, from the roof older thick and younger, thinner stalactites are hanging.

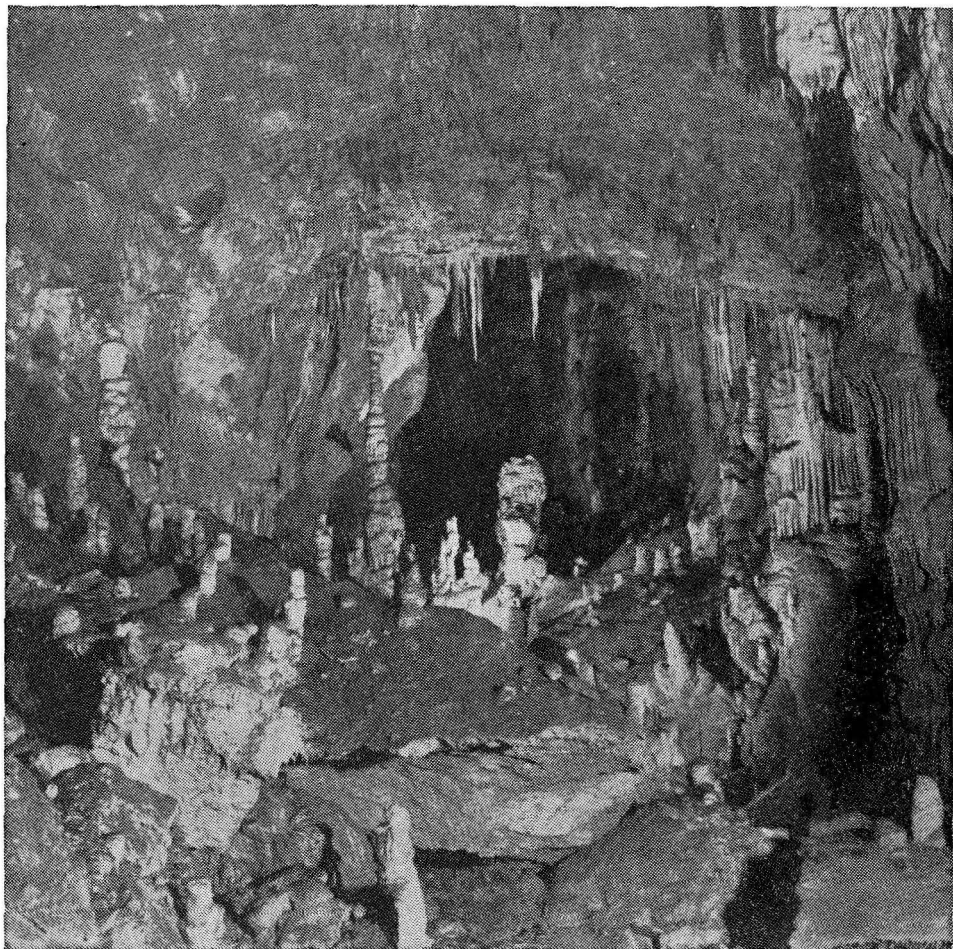
Pretnerjeva dvorana je podorna, saj je njen stožec za 20 m višje, kot so tla Hodnika, sam strop pa je tudi povišan, tako da je debel komaj 17 m. Podorni stožec se dviguje od vzhodne k zahodni steni, ki je zasnovana ob dislokaciji N—S smeri. Tudi tu vidimo podrto staro sigo, tako kot domala povsod po jami. Prenicujoča voda je podorne skale pokrila s svečastimi kapniki. Pod skalami je videti rdečo ilovico in kope sige, domnevamo pa tudi rjavo ilovico.

Jama se nadaljuje v nagnjeni rov **Serpentin**, ki je tako zapolnjen z različno sigo, da le tu in tam vidimo 10 do 15 m razmaknjeni skalni steni (sl. 7). Hodimo po zasiganih tleh in med visokimi kapniki v zgornji tretjini skalnega rova, kajti spodnji tretjini sta zasuti z nedosegljivimi sedimenti. Plasti krovne sige se strmo spuščajo do višine 358 m, kjer se uravnajo v tla spodnje **Žibernove dvorane** (t. 5 in 4).

Ta del jame je močno zasigan. Kopasti stebri in stalagmiti segajo do 20 m visokega stropa in delijo 30 m širok skalni rov glavne etaže med 356 in 376 m v več manjših kamer (glej prečni profil pri t. 4 na sl. 1 v prilogi). Meter visoki stalagmiti krasijo sigova pobočja in tla, helektitne tvorbe pa pestrijo siceršnje sigovo bogastvo (sl. 8). Mnogi, manjši stalagmiti so, žal, odlomljeni in odnešeni, nekateri pa so naravno podrti. Ob stenah obviselo kope in ostanki pasovite ilovice pod sigo ob severozahodni steni med 360 in 356 m ter jugovzhodni steni do višine 370 m pričajo, da je bil obravnavani prostor skoraj do stropa napolnjen s klastičnimi sedimenti. To fluvialno akumulacijo pa je kapnica od tod delno odpravila v niže ležečo, morfološko etažo skozi preluknjano skalno dno. Na takšno vertikalno povezavo zgornje starejše in spodnje mlajše etaže lahko sklepamo po 18 m globokem, zavitem špranjastem breznu, ki vanj lahko sestopimo v tleh dvorane pri t. 5. Brezno se spušča navzdol med odlomljene in posedene sigove plošče, ki žal, zakrivajo skalni steni in tudi onemogočajo sestop v domnevno spodnjo jamsko etažo pod višino 340 m. Tako kot v Hodniku imamo torej tudi tu opraviti z morfološko širšim zgornjim skalnim kanalom in njegovo ožjo spodnjo poglobitvijo, vse pa na višinah 355—370 m, oziroma 350—340 m. Če sta oba odseka jame morfološko in razvojno primerljiva, potem je glavni skalni rov Divaške jame poševen in nagnjen proti jugozahodu na razdalji 200 m za okrog 30 m. Ta naklon ustreza naklonu vpadnice skladov, ki jim sledi obravnavani del jame.

V nadaljevanju se jama dviguje po ilovnatem pobočju v podorni grič zgornje **Žibernove dvorane** na višini 374 m. Tu vidimo podorne skale, ki jih tu in tam pokrivajo cipresasti in svečasti kapniki, pod skalami pa so vidne ilovnate naplavine, najbolj izrazito pri t. 2.3. Siga pokriva tudi severozahodno skalno steno in zgornji del jugovzhodne skalnate stene, ki stopnjasto prehaja v 10 m visok strop (sl. 9) pod 50 m oddaljenim površjem. Grič se rahlo spusti v prostor t. 2.8, koder se ravna sigova tla začno vzpenjati v sigov slap, ki na višini 380 m zapre nadaljevanje skalnega rova. Skozi skalnat strop curljajoča korozivna voda razjeda starejšo rebrasto kristalasto sigo, ki je tod nedvoumno pokrita z rjavo pasovito ilovico. Ostanki take ilovice so tudi med skalno steno in sigo. Tu vidimo, da imamo v Divaški jami še sigo, ki je starejša kot pasovita ilovica.

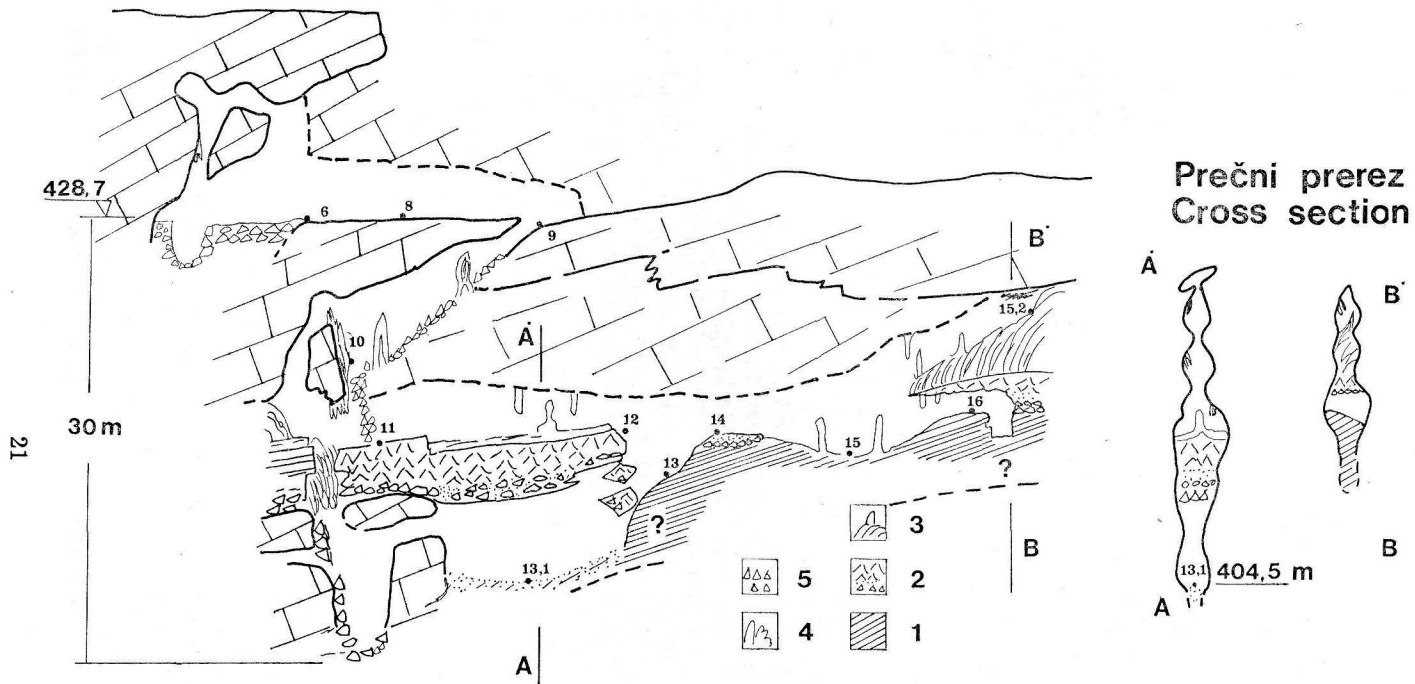
Najlepše stratigrafsko razmerje med pasovito ilovico v talnini ter kristalasto sigo in rdečo pasovito ilovico v krovlini je ohranjeno ob jugovzhodni steni zgornje **Žibernove dvorane** (profil 2.3 na sl. 1). V dva metra visokem



Sl. 9 Divaška jama, pogled s sklepa jame v zgornjo Žibernovo dvorano. Na ilovnatem zasipu in podrtih skalah je obilje cipresastih in svečastih kapnikov, s sten in stropa pa visijo številne zavese in stalaktiti. Foto: P. Habič

Fig. 9. Divaška jama, view from the end of the cave into Upper Žiberna Hall. On loam dam and boulders there are a lot of cypress and candle-like stalagmites, while from wall and roof numerous curtains and stalactites hang. Photo by P. Habič

prerezu je razkrit vrhnji del naplavinkega zasipa. V splošnem rjava meljasta ilovica je sestavljena iz treh skupin drobnih plasti — lamin. V spodnji skupini se menjavajo pari 2,5 mm in 0,1 mm debelih lamin, pri čemer so debelejšše iz svetlorjavega, drobnejše iz temnorjavega, tudi črnkastega ilovnatoga melja. V srednji skupini so laminarni pari debeli po 1 mm, v zgornji skupini pa tudi do 6 mm. V tej krovni skupini je ilovnati melj tudi rumenkast in rdečkast (glej sl. 14).



Sl. 10 Trhlovca, prirejen vzdolžni prerez in dva prečna prereza z vrisanimi sedimenti 5 — podorne skale in grušč, 4 — mlajša siga, 3 — starejša siga, 2 — rdeča siga in ilovica, 1 — pasovita ilovica, A-A' in B-B' — prečna prereza fosilnega kanala.

Fig. 10. Trhlovca cave, adjusted longitudinal section and two cross-section with sediments drawn in. 5 — boulders and scree, 4 — younger flowstone, 3 — older flowstone, 2 red flowstone and loam, 1 — laminated loam, A-A and B-B cross-section of the fossil channel

Pasovita ilovica je pokrita z največ 0,1 m debelo plastjo kristalaste sige, ki se povišuje v 0,5 m visok kapnik. Ta siga odraža dalj časa trajajočo sigotvorno fazo, ki je sledila poplavni fazi. Razmere pa so se nato vnovič spremenile, saj je siga s kapnikom vred pokrita z 0,3 m debelo in vodoravno odloženo plastjo pravitako laminirane rdeče in rumene ilovice. Te krovne lamine so številnejše in drobnejše pa tudi barvno drugačne od talninskih. Odražajo vnovično poplavno fazo in presedimentiran material površinske terra rosse.

SPELEOLOŠKI OPIS TRHLOVCE

Vhod v jamo (428,7 m) je pod zahodno steno 24 m širokega in 10 m dolgega spodmola. Spodmol ima gruščnata nasipna tla, kjer so arheologi izkopali 2–3 m globoke sonde in našli neolitske kulturne ostaline (F. Osolc, 1977; F. Leben, 1979).

Takoj za vhomom je naravni rov delno umetno razširjen v pravokotne kamre, uporabljene pred leti za skladišče. Umetno je bil v ta namen tudi poglobljen proti severu usmerjen rov, ostanek neke vodoravne votline v skalnem obodu spodmola. Tudi ostanki rdečkaste sige na tukajšnjih stenah pričajo, da imamo blizu površja opraviti z zelo starimi votlinami (sl. 10).

Pri sklepu omenjene vodoravne votline (t. 9) se jama spušča v ozek, skalnat jašek, ki je spočetka nizek, nato pa vedno višji, saj preide v pokončen, elipsast, glavni kanal Trhlovce.

Glavni kanal Trhlovce je usmerjen od severa proti jugu. Dostopen je le v dolžini 55 m, kjer je na obeh krajih zasut in zasigan. V višini 413,8 m (t. 11, 12 in 14), kjer ima nasipna in sigova tla, je kanal najširši. Okrog 5 m razmaknjeni, fasetirani in polični, erozijsko oblikovani steni pa se navzgor enkrat bolj, drugič manj zblížujeta in povijata, tako da ima zgornji del kanala meandrasto obliko, kakršno je tod spoznal že F. Šušteršič (1973). Skozi predrta sigova tla pod t. 12 lahko sestopimo v spodnje nadstropje kanala. Tudi tu vidimo erozijsko oblikovani steni. V prečnem prerezu se tako kaže okrog 20 m visok elipsast skalnat rov, ki je po sredi predeljen z zasigano ploščo.

Tak elipsast rov je viden po vsej jami, le da ni povsod prehodan. Pri t. 13.2 se moramo povzpeti prek 3 m visoke skalne stopnje, da ponovno pridemo v njegovo razširitev, ki je tu korozijsko poglobljena do višine 400 m; med t. 13 in 15.2 pa je domala zasut z naplavinami in sigo, tako da vidimo le njegov stropni zaključek na višini 425 m. Zaradi zasutja tudi ni videti skalnega dna. Najbližje smo mu verjetno pod t. 13.1, kjer se skalni steni začneta navznoter povijati. Skalno dno pa tu ne more biti nižje kot je nizko, delno korozijsko poglobljeno dno jaška na 400 m. Verjetno je skupno dno kanala nagnjeno od severa proti jugu v smeri toka nekdanjega jamskega potoka, ki je gravitacijsko izoblikoval značilni skalni rov (sl. 11).

Nadaljnja značilnost Trhlovce so njeni sedimenti, sestavljeni iz alohtone pasovite ilovice v talnini, paravtohtonega apnenega grušča, rdeče ilovice in peska ter avtohtonih sig v krovlini. Ti sedimenti so sprva domala zapolnjevali spodnjo polovico skalnega kanala v debelini skoraj 10 m, v kasnejšem razvoju pa jih je kapnica delno odpravila in kanal ponovno »izvotlila«.

Največ je pasovite ilovice, saj zapolnjuje severni del kanala skoraj 10 m na debelo do višine 416 m, do višine 410 m pa je zapolnjevala tudi južni del ka-

Sl. 11 Trhlovca, meandrast skalni rov je delno zapolnjen s pasovito ilovico in plastnato rdečkasto sigo. Foto: J. Hajna

Fig. 11. Trhlovca cave, meandering rocky channel is partly filled by laminated loam and bedded reddish flowstone. Photo by J. Hajna



nala, a jo je od tod kasneje kapnica odstranila. Na poševno odloženem zasipu pasovite ilovice imamo nekaj apnenega grušča, ki je skupaj z rdečo ilovico in peskom povezan v 2 do 3 m debelo strnjeno plast. Ta plast deli kanal med t. 11 in 12 v spodnje in zgornje nadstropje.

Nad t. 16 je obravnavana avtohtona plast pokrita s slapom belkaste sige, ki dosega in zapira strop kanala na višini 425 m, tu pa obliva tudi ostanke neke najstarejše rdečkasto-vijoličaste sige, kakršno smo našli tudi v stenah že obravnavanega zunanjega spodmola.

Sklepamo lahko, da je tod skozi pritekala kapnica in prinašala rdeče ilovice in pesek ter sigo, kasneje pa oboje vertikalno odstranjevala. Podobni procesi so se odvijali tudi v vhodnem delu Trhlovce pod spodmolom, le da je bilo tod korodiranje trajnejše in izrazitejše, saj bi drugače sploh ne bil izdelan današnji dostop v fosilni vodni kanal te jame.

Za nadaljnje speleogenetsko razglabljanje velja ponovno zapisati potek obravnavane sedimentacije, začenši od današnjih k starejšim procesom:

- mehanško razpadanje sten v spodmolu Trhlovice,
- izmenično korodiranje in odlaganje sige v jami,
- sedimentacija belkaste sige,
- dotok kapnice in vertikalno izpiranje sedimentov,
- sedimentacija rdeče ploščnate sige na rdečo ilovico in pesek,
- odlaganje apnenega grušča v suhi rov,
- odlaganje rjave pasovite ilovice v poplavljenem rovu do višine 416 m,
- erozijska aktivnost jamskega potoka, ki je izoblikoval okrog 20 m visok meandrast kanal v etaži med 404 in 425 m.

Med sedimenti nismo našli flišnih prodnikov, ki jih omenja F. Šušteršič (1973). V kompleksu rdeče sige vidni okrogli »prodniki« so se pokazali kot pizoliti sige, flišnega izvora pa zna biti le tukajšnja rjava pasovita ilovica.

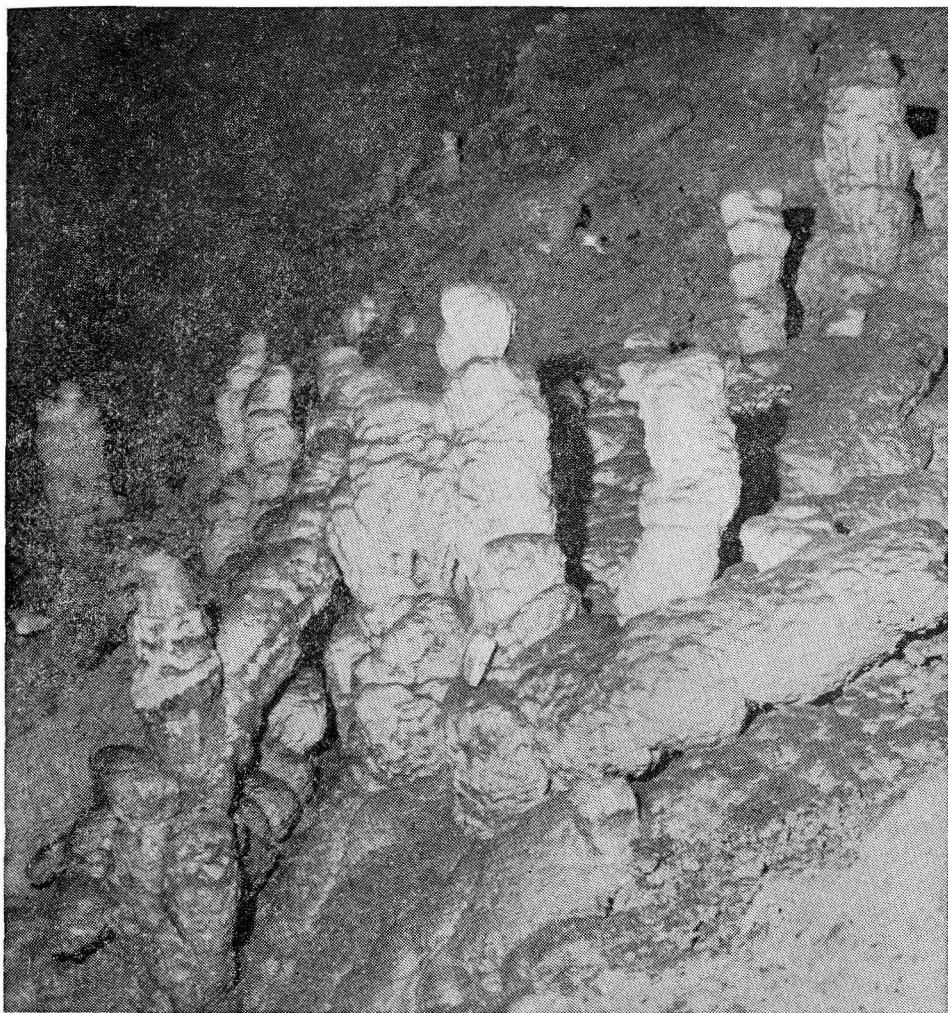
JAMSKI SEDIMENTI IN NJHOVA STRATIGRAFIJA

Med sedimenti v Divaški jami vidimo največ različnih sig, manj klastičnih naplavin, še manj podornih skal.

Med kapniki so najbolj vidni svečasti in cipresasti stalagmiti, tanke skorje, zavese in prevleke po tleh in stenah, tu in tam tudi stalaktiti na stropu ali pod napušči starejše sige. Te belkaste, recentne in holocenske sige je največ na podornih skalah v Modrijanovi, Pretnerjevi in Žibernovi dvorani (sl. 12). V to generacijo lahko prištevamo tudi ekscentrične helektite, ki obraščajo starejšo sigo v Hramu in v spodnji Žibernovi dvorani, in koralaste izrastke na spodnjih delih kapnikov v Modrijanovi dvorani.

Oblikovno so v Divaški jami najbolj izrazni kopasti kapniki, rebrasti stebri, plastnati baldahini in več metrov debele skorje sige po tleh. Posamezne kope in stebri imajo ponekod čez 5 m premera in merijo 5—15 m v višino. Posamezni stalagmiti pa so tudi manjši in tanjši. Rumenkasta, rjavkasta, tudi rdečkasta siga teh kapnikov je makroskopsko grobokristalna, sestavljena iz različnih plasti, ki medseboj niso trdno sprijete. Plastnatost je posebej dobro izražena v kopah Vhodne dvorane in Serpentin. Morfološka in litološka sestava te sige priča o počasni, časovno dolgi, večkrat prekinjeni rasti. Najbolj očitne so te prekinitve v kopah, ker so med plasti sige odložene do centimeter debele lamele rdeče ilovice, ponekod tudi »pseudovarvne« sestave kot na primer v Hramu na višini 373 m, krajem Severnega odcepa na 380 m, pri stalagmitu t. 8, na višinah med 360 in 370 m v Serpentinah, na višini 372 m v zgornji Žibernovi dvorani in še bi lahko naštevali. Na več mestih je rdeča ilovica ohranjena tudi ob stenah kot na primer v Pretnerjevi dvorani (na višini 400 m), v Hodniku (390 m) in krajem Žibernove dvorane na višini 380 m.

Skupno pojavljanje sige in rdeče ilovice v jamah našega krasa ni nekaj novega. Takšne sedimente je opisal S. Brodar (1958) iz jame v kamnolomu Črni kal in jih relativno datiral v drugi riški stadial ter v riško-würmski interglacial. Objavljeni so primeri plastnate sigove kope z vključki rdeče in rjave ilovice iz Dimnic (R. Gospodarič, 1981, 103) in iz Postojnskega jamskega sistema (R. Gospodarič, 1976), v Križni jami pa je rdeča ilovica ujeta med dve plasti sige, ki sta radiometrično datirani za riški (pismeno poročilo in analize D. Ford, 1983). Ker je naš sigov ilovnat kompleks po sestavi

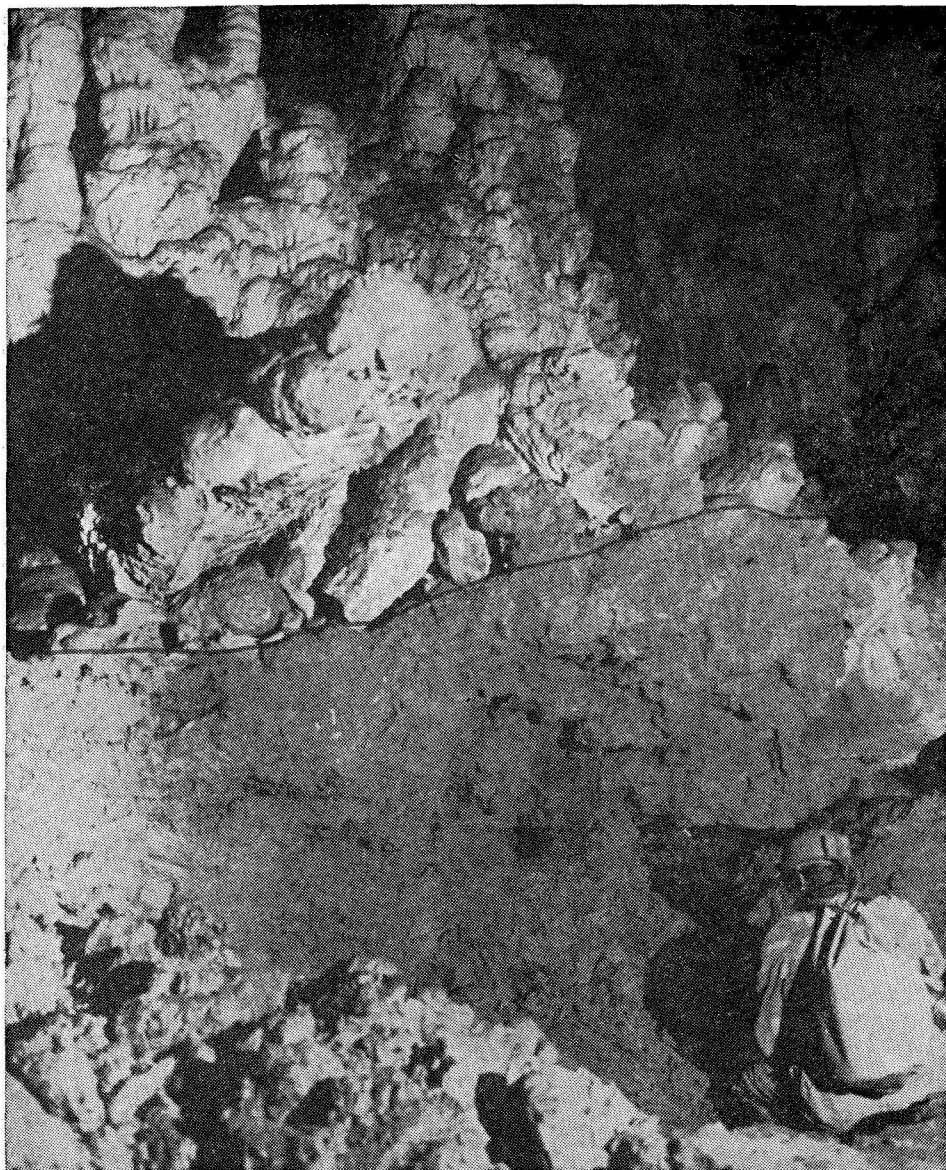


Sl. 12 Divaška jama, pobočje med spodnjo in zgornjo Žibernovo dvorano. Na ilovnatih tleh so asimetrični stoječi, nagnjeni in podrti stalagmiti iz mlajše sige. Foto: P. Habič

Fig. 12. Divaška jama, the slope between lower and upper Žiberna Hall. On loamy floor there are assymmetrical, standing, inclined and broken speleothems of younger flowstone. Photo by P. Habič

in stratigrafski poziciji podoben navedenim primerom, ga imamo za riškega. Krovne plasti obravnavanega kompleksa, predvsem njeni stebri in baldahini so lahko tudi iz zadnjega interglaciala, celo iz würmskih interstadialov.

Z navedenimi holocenskimi in zgornjepleistocenskimi sigami pa njenih generacij v Divaški jami še nismo izčrpali. Pri sklepu Žibernove dvorane smo namreč spoznali, da je neka rebrasta kristalna siga pokrita z rjavo pasovito



Sl. 13 Divaška jama, Rešaverjeva dvorana. Na višini 390 m ohranjeno rjavo pasovito ilovico pokrivajo rdeča ilovica in stalagmiti iz mlajše sige. Foto: P. Habič

Fig. 13. Divaška jama, Rešaver Hall. Brown laminated loam, preserved on the altitude of 350 m is covered by red loam and speleothems from younger flowstone. Photo by P. Habič

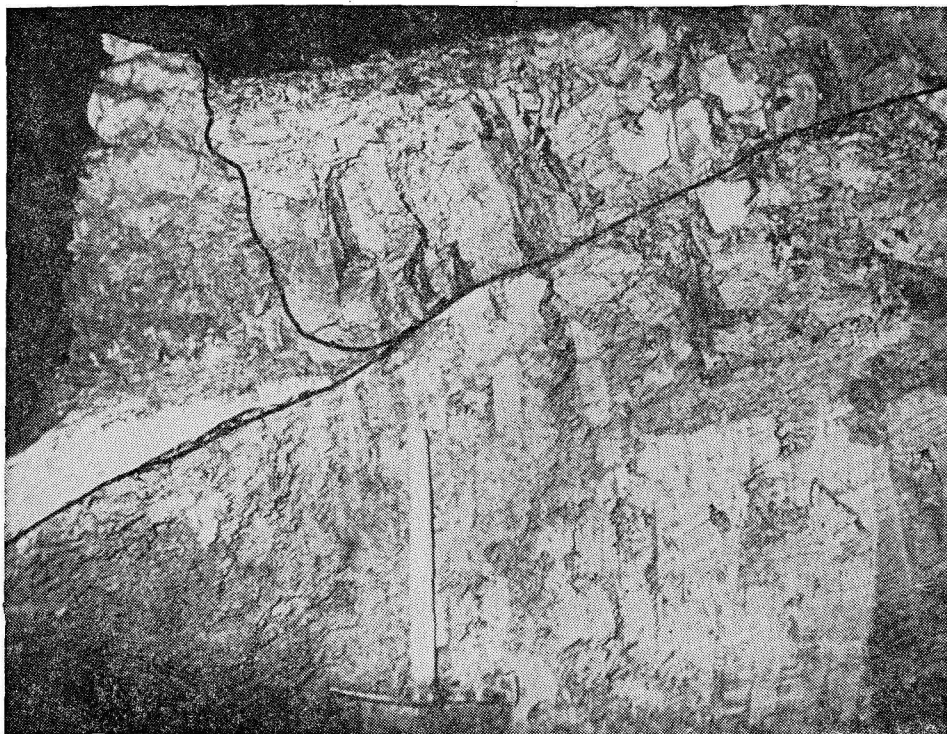
ilovico. Tudi krovna sigova plošča v Hramu je glede na rjavo ilovico, o kateri bo govor kasneje, v takšni legi, da bi jo lahko imeli za najstarejšo sigo v Divaški jami.

Med klastičnimi sedimenti smo že omenili podorne skale in grušč pod holocensko sigo. Očitno gre za podorne pojave iz zadnjega würmskega stadiala, ko je zaradi nizkih temperatur prevladovalo mehansko razpadanje tako na površju kot v podzemlju. Sem spadajo tudi grušči, razvidni v Vhodni dvorani pa tudi v zasutem severnem sklepu Trhlovce. V tej jami pa imamo opraviti še z nekim starejšim gruščem, ki je bil odložen pred rdečkasto riško sigo. Ker se jasno razlikuje od pasovite ilovice v talnini in sige v krovlini, ga moramo upoštevati kot samostojen, klimatsko pogojen avtohtoni sediment srednjega pleistocena.

K fluvialnim naplavinam v jami prištevamo rdečo ilovico in drobni pesek, ki po barvi spominjata na terra rosso. Ker je ta naplavina sestavljena tudi »psevdovarvno«, sklepamo na njen paravtohtoni izvor in na odlaganje v poplavnih hladnodobnih razmerah. Ta sklep pa zahteva, da moramo še pred tovrstno sedimentacijo v jami računati z nastajanjem terra rosse na površju in to ob ustrezni suhi in topli klimi, verjetno v mindel-riškem interglacialu.

Edine prave, v Divaški jami ohranjene alohtone naplavine so rjave pasovite ilovice. V jami jih najprej vidimo pod sigo in rdečo ilovico med 375 in 390 m v Hramu in Hodniku ter v Severnem odcepu (sl. 13), potem pa še ob erozijsko oblikovani, strmi jugozahodni steni med 356 in 362 m v spodnji, ter na pobočju in tleh zgornje Zibernove dvorane (sl. 14). Tako se kaže, da je ilovica razporejena v horizontu med 356 in 390 m, se pravi, da gre za ostanke najmanj 34 m debelega zasipa. Pasovita ilovica ima povsod podobno petrološko in sedimentacijsko »psevdovarvno« sestavo. Menjavajo se debelejšje in tanjše lamele svetlorjavega in rjavega ilovnatnega melja. Lamele so položno nagnjene v različne smeri, dostikrat tudi nepravilno odebeljene. S približnim izračunom in ekstrapoliranjem cenimo, da je v zasipu najmanj 15.000 takih lamel. To dokazljivo število »psevdovarv« pomaga oceniti trajanje in hitrost sedimentacije. Če privzamemo, da se je visoka voda vsaj enkrat letno pojavila v suhem rovu in pri tem odložila eno 2 mm debelo psevdovarvno, potem je pri 15.000 enotah trajala sedimentacija prav toliko let. Da pa je lahko visoka voda odlagala plasti na vedno višji sedimentacijski kup, se je morala njena gladina progresivno vedno bolj dvigovati. To pomeni, da se je ali vedno bolj in više zajezevala, ali pa, da je časovni razpon sedimentacije daljši, vezan na 5, 10 ali še večletne poplave. Temu ustrezno se je sedimentacijska doba lahko raztegnila na 75.000, 100.000 ali še več let, kar bi po naši presoji nekako ustrezalo dolgemu hladnejšemu obdobju srednjega pleistocena, denimo delu 240.000 let trajajočega mindelskega glaciala.

Ceprav so mnenja o pogojih pasovite sedimentacije v jamah deljena (A. Bögli, 1978; P. A. Bull, 1977; J. Schroeder, 1983), je skupno gledanje vendarle to, da je tovrstna sedimentacija v jamah pogojena z visoko poplavno vodo v humidni hladni klimi. Psevdovarve ustrezajo nihanju njene gladine, pa naj se blatna voda dviguje iz spodnjih kanalov zaradi zajezenega odtoka ali pa sezonskega nihanja s pritočne strani. V primeru Divaške jame, ko je izvor ilovnatnega materiala možen le iz flišnih ponornih območij, se zdi



Sl. 14 Divaška jama, zgornja Žibernova dvorana. Rjava pasovita ilovica (mindel?) v talnini je pokrita s sigo in rdečkasto pasovito ilovico (riss?) v krovlini, podrobnejši opis v tekstu. Foto: P. Habič

Fig. 14. Divaška jama, the upper Žiberna Hall. Brown laminated loam (Mindel?) in the base is covered by flowstone and reddish laminated loam (Riss?), detailed description in text. Photo by P. Habič

misel o nihajoči gladini jamske reke z zveznim tokom od ponora do obravnavanega podzemlja in skozi njega bolj sprejemljiva. Poznamo namreč primere pravitake sedimentacije v bližnjih Škocjanskih jamah, kjer je njeno Tiho jamo zalivala visoka voda in odložila pasovito ilovico, seveda v niže ležečem horizontu kot v Divaški jami (R. Gospodarič, 1984). Znani so primeri iz Postojnskega jamskega sistema, kjer so različno stare pasovite ilovice vidne v Podzemeljski Pivki in v Planinski jami (R. Gospodarič, 1976), povsod v tesni zvezi s ponorno oziroma pretočno reko, katere gladina je nihala v obdobju poplavljeni coni podzemlja.

Ali imamo v Divaški jami pod pasovito ilovico še kakšne druge, denimo groboklastične naplavine, nismo mogli ugotoviti. Jama je preveč zapolnjena z avtohtonimi sedimenti, da bi morebitne takšne naplavine bile dosegljive.

Kot smo videli pri speleološkem opisu, je zasip pasovitih ilovic med 405 do 416 m nadmorske višine ohranjen tudi v Trhlovi. Ta zasip se razlikuje od onega v Divaški jami ne samo po debelini in višje ležečem položaju, ampak

tudi po sivo-rumeno-rjavi barvi ilovnatega melja, po neenakomerno debelih laminah in po bolj prhki sestavi materiala. V Trhlovci gre za časovno krajšo in stratigrafsko starejšo sedimentacijo pasovite ilovice.

PODATKI O SPELEOGENEZI

V obravnavanem območju Divaškega krasa vidimo znake najstarejšega podzemeljskega zakrasevanja v gravitacijskem kanalu Trhlovce. Brez dvoma gre za del fosilnega, meandrasto razvitega, 10—15° nagnjenega podzemeljskega kanala med 404 in 425 m nadmorske višine. Ta ozek in relativno kratek, danes dostopni del poševnega kanala je težko morfološko vezati z drugimi znanimi jamami Divaškega krasa. Na podobni nadmorski višini kot glavni rov Trhlovce je rov bližje Vrabčje jame, rovi bolj oddaljenega Maticovega spodmola in Jame I v Risniku, pa rovi še bolj oddaljenih Prelušove luknje, Jame na Škrljici in Jame v Sapendolu. Iz primerjave seveda odpade poglaviti rov Divaške jame, saj je izvotljen med 360 in 390 m nadmorske višine. Še preden ga je neka podzemeljska reka sploh izvotlila, je bila v Trhlovco nasuta pasovita ilovica (glej tabelo 1).

V razvoju Divaške jame izhajamo iz predpostavke, da je neka podzemeljska reka, lahko tudi predhodnica današnje Notranjske Reke, erozivno izoblikovala nekako 20—30 m visok in okrog 10 m širok ter okrog 10° nagnjen podzemeljski kanal, ko je tekla iz severovzhoda proti jugozahodu. Že sama razsežnost takega rova govori za dolgotrajno, tudi večfazno erozivno izvotljevanje, tudi s pomočjo transportiranega alohtonega materiala. To je bila ena izmed prvih, najbolj izrazitih zrelih razvojnih faz divaškega podzemlja, ki ji lahko glede na nadmorske višine rovov priključimo še jame okrog Divače (Jama v Bukovniku, Jama II in Jama III v Risniku) in Škocjana (Jama na Prevali I, Jama na Prevali II, Luknja v Lazu, Roška špilja). Prvi znaki predstavitve aktivne reke v niže ležeče vodne kanale so izraženi v špranjasti poglobitvi Žibernove dvorane, prvi znaki njene razpadne faze pa so razvidni v nanosu pasovite ilovice.

Tedaj je podzemeljska reka zahajala v svoje prejšnje korito le še z visoko vodo, tu dolgo dobo odlagala svoj lebdeči alohtoni tovor, ker je bila iz različnih vzrokov zajezena. Njena gladina se je dvigovala najmanj do višine 390 m, se pravi, da je poplavljala in z ilovico obdajala vso tedanjo jama in njeno vsebino. Višina 390 m, do koder smo v jami našli odloženo ilovico, je najbolj sigurna, ne pa tudi najvišja gladina visoke vode. Ker se je njen lebdeči tovor težnostno usedal na vedno višji sedimentacijski kup, lahko domnevamo, da je stvarna gladina episodne visoke vode bila za več metrov višje iznad danes vidne zgornje meje naplavin, ne pa tudi tako visoko, da bi dosegla rov Trhlovce.

Po odložitvi pasovite ilovice in umiku podzemeljske reke so se v Divaški jami uveljavili povsem drugačni speleogenetski procesi. Curki in potoki prenikujoče vode so izmenično odnašali starejše naplavine, nanašali in prenašali rdečo ilovico in pesek, pa odlagali plastnato sigo v plošče, pokrove in kope, s katerimi so neenakomerno pokrili valovita jamska tla in strme skalne stene. Kapnica se je stekala v območja propustnega skalnega dna (V Hramu in Žibernovi dvorani), od tod pa v niže ležeče kanale, ki so tedaj bili aktivni. Prej














FALEOMAGNETNA SKALA	PLEISTOCEN EVROPE	ABSOLUTNO DATIRANE SIGE V SLOVENIJI	RELATIVNO DATIRANE JAME IN SEDIMENTI			
			SKOCCJANSKE JAME IN KAČNA JAMA		DIVAŠKA JAMA	
Lascamp 	14.500	Iceglacial 	14 C	Notranjska Reka	sigla	sigla
Lake Mungo 	Würm	U/Th 	14 C	Hankejev kanal 250 m	grušč ilovica	grušč
Biwa E 				Skocjanski kanal 190 m	sigla	sigla
Blake 	74.000	Riss - würm	U/Th 	Tominčeva jama 300 m	ilovica	sigla
	125.000			Feščeni rov 200 m	ilovica	
Biwa 1 	Riss	U/Th 	ESR	rdeči kompleks	plastnata sigla, ilovica in pesek	pasovita ilovica
	200.000					
Biwa 2 	Mindel-riss	U/Th 	ESR	Černigova jama → Tina jama 330 m → 310 m	sigla	
				Vzhodni rov → Zahodni rov 250 m		
Biwa 3 	350.000			terra rossa na površju		
				Košava jama		
Emperor 	Mindel			ponikalnice iz flišnega ozemlja - predhodnice Notranjske Reke	pasovita ilovica	sigla ?
↑ BRUNHEIS	590.000			Jama v Bukovniku	grušč v Trhlovcu	prod ?
↓ MATUYAMA	750.000	Günz - mindel		Jama na Frevali 1 Jama na Frevali 2 Luknja v Lazu Roška špilja	Jama 2 Risnik Jama 3 Risnik	Diviška jama etsža 360-390m
↓ MATUYAMA	900.000	Günz		Prelušova luknja Jama na Škrljici Jama v Sapendolu	Maticov spodol Jama 1 Risnik	pasovita ilovica prod ? Trhlovca 404-425 m Vrabčja jama
				Jaramillo		

TABELA 1.

POSKUS GEOKRONOLOŠKE UVRESTITVE JAM IN SEDIMENTOV DIVAŠKEGA KRASA
Viri: Wiegank, 1977; Cooke, 1973; Gospodarič, 1981, 1984; Mihevc, 1984

enakomerno zapolnjen poglavitni rov je bil ponekod delno izpraznjen, povsod pa na novo zapolnjen s paravtohtonimi sedimenti. To dogajanje, uvrščeno v riški glacial, pa se je v riško-würmski interglacial nadaljevalo tako, da je prevladala kemična sedimentacija. Tedaj so verjetno nastajali pokončni stebri in stalagmiti, debele zavese, slapovi in baldahini tretje generacije sige. Podobni procesi so se razvijali tudi v Trhlovci.

Zaradi klimatskih nihanj v naslednjem, würmskem glacialu, je v rov dotekalo enkrat manj, drugikrat več nasičene kapnice. Njen destruktivski učinek je viden v odplaknjenih naplavinah, v posedenih sigovih tleh in v podrtih kapnikih ter v podornih skalah, akumulacijski pa v novih sigah. Ti procesi staranja in obnavljanja obravnavanega podzemlja so bili izraziti tudi v holocenu, opazni pa so še danes. V würmskem glacialu je bil izoblikovan tudi današnji korozijsko udorni vhod v Divaško jamo.

SKLEPNE UGOTOVITVE IN PROBLEMI

Divaška jama in Trhlovca sta bili doslej v speleološko-znanstvenem pogledu malo študirani. Čeprav lahko dostopni, sta bili v senci speleološko bolj atraktivnih Kačne jame in Škocjanske jame. Z dvoletnimi, večkrat prekinjenimi speleogeološkimi raziskavami obeh jam smo dobili natančnejše načrte dostopnega podzemlja in zbrali mnogo geološko- morfoloških in sedimentoloških podatkov, z njihovo obdelavo pa sklepali o načinu, intenzivnosti in časovnem zaporedju zakrasevanja v vadozni coni Divaškega krasa. Spoznali smo nekaj ključnih elementov speleogeneze, ki bodo v bodoče morebiti pomagali razvozljati razvoj ponornega sistema Notranjske Reke v kvartarju.

Lokalni pomen presega ugotovitev, da je Divaška jama fosilni, 700 m dolgo podzemeljski kanal, erozivno izdolbljen v poševni etaži z nagnjenim dnom (od 390 m na 350 m) in stropom (od 410 m do 380 m). V teh višinah ne poznamo rovv niti v bližnji Kačni jami, niti v bolj oddaljeni Škocjanski jami, pač pa znajo biti njeni ekvivalentni fosilni rovi v Jami 1 na Prevali, Jami 2 na Prevali in v zgornjem rovu Vilenice, ki je od Divaške jame oddaljena 3 km proti zahodu. Malo je v Divaškem krasu tudi jam, ki bi bile po obliki in višini (med 400—425 m) podobne fosilnemu kanalu Trhlovce.

Ker je današnje kraško površje tja proti Škocjanu marsikje nižje od kanala Trhlovce, dna številnih vrtač, dolov in udornic pa segajo tudi nižje od etaže Divaške jame, moramo računati, da so mnogo fosilne votline že denudirane in porušene ter seveda lahko tudi še neodkrite. V obeh primerih imamo opraviti z ostanki poševnih podzemeljskih kanalov, katerih stropovje je bilo v obdobju njunega aktivnega izvotljevanja za več desetih metrov debelejše od današnjega. Pri nadaljnjem preučevanju speleogeneze ponornega območja Notranjske Reke v kvartarju bo treba povezati zapleten geomorfološki razvoj površja z razvojem podzemlja, zlasti sedimentacijo fluvialnih alohtonih naplavin v jamah, ki nam poleg morfoloških tudi odražajo paleohidrološke razmere.

Pomembna se kaže ugotovitev, da je bila Divaška jama najmanj 30 m na debelo zasuta z različnimi sedimenti. Izstopajo predvsem pasovite ilovice, »rdeči kompleks« sedimentov in več generacij sig. Z njihovo analizo smo sklepali na pogoje in stratigrafsko zaporedje sedimentacije ter na relativno geokro-

nološko uvrstitev v klimatska obdobja srednjega in zgornjega kvartarja oziroma v slab milijon let trajajoči pleistocen.

Kot vrhnji sedimenti so v Divaški jami in Trhlovci najlaže geokronološko opredeljive holocenske in poznoglacialne sige. Pri starostni opredelitvi 4. in 3. generacije sig pa smo že v zadregi ali jih naj uvrstimo v interstadiale würma ali že v riškowürmski interglacial. Te sige namreč še niso radiometrično datirane, odsotnost alohtonih naplavin med njimi pa tudi preprečuje usklajevanje s klimatskimi obdobji zgornjega kvartarja. Razen podornih kupov iz zadnjega würmskega stadiala, pa manjkajo med temi sigami tudi starejši hladnodobni gruščiči. Poseben stratigrafski problem predstavljajo sedimenti takoimenovanega »rdečega kompleksa«, drobno laminirane rdeče ilovice in peski ter rdečkaste sige. Po naši presoji odraža ta kompleks spremenljive klimatske razmere riškega glaciala, ker menimo, da je rdeča ilovica v jamo prinešena terra rossa, ki je mogla na površju nastajati v predhodnem mindel-riškem interglacialu. Geokronološko uvrstitev utemeljujemo predvsem z dejstvom, da imamo podobne stratigrafsko in petrografske menjavajoče se sedimente tudi v drugih jamah matičnega Krasa (v Dimnicah, v Črnem kalu) in Notranjskega krasa, katerih sige so v primeru Križne jame radiometrično, drugod pa relativno datirane za riške. Domnevana datacija potrebuje seveda tehtnejše dokaze kot smo jih mogli navesti, saj ne vemo, v katere oddelke navedenega glaciala oziroma interglaciala jih naj uvrstimo. Za trdno velja le ugotovitev, da so obravnavani sedimenti stratigrafsko mlajši od pasovite ilovice v njihovi talnini.

Dolgotrajno sedimentacijo pasovite ilovice v Divaški jami smo uvrstili v mindelski, ono v Trhlovci v gūnški glacial predvsem zaradi njune specifične psevdovarvne sestave. Ta datacija se najbolj razlikuje od dosedanjih opredelitev takih bazalnih sedimentov, ki so jih v jamah vedno znova odkrivali v talnini gruščnatih, sigovih in rdeče ilovnatih plasti (F. O s o l e, 1968, S. B r o d a r, 1952), in uvrščali v mindel-riški interglacial. Pričakujemo, da bodo zastavljene paleomagnetne analize prinesle bolj zanesljive podatke o geološki starosti teh obilnih in značilnih sedimentov. Pri tem bodo verjetno tudi bolj zanesljivo določena obdobja erozivnega izvotljevanja skalnih rovov Divaške jame in Trhlovce, ki zanje menimo, da so kromerijske oziroma predgūnske starosti.

LITERATURA

- Bertarelli, L. V., E. Boegan, 1926: Duemilla Grotte, Milano.
- Bögli, A., 1978: Karsthydrographie und physische Speläologie. Springer Verlag, 278, Berlin, Heidelberg, New York.
- Brodar, S., 1952: Prispevek k stratigrafiji kraških jam Pivške kotline, posebej Parske golobine. Geogr. vestnik, 24, 43—76, Ljubljana.
- Brodar, S., 1958: Črni kal, nova paleolitska postaja v Slovenskem primorju. Razprave 4. razr. SAZU, 4, 271—363, Ljubljana.
- Bull, P. A., 1977: Lamination or varves? Processes and mechanism of fine-grained sediments deposition in caves. Proc. 7th Int. Speleol. Cong. Sheffield, 86—98.
- Cooke, H. B. S., 1973: Pleistocene Chronology: Long or Short? Quaternary Research, 3, 206—220, Academic Press, New York.
- Gams, I., 1974: Kras, zgodovinski, naravoslovni in geografski oris. Slov.matica, 9—357, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju. Acta carsologica SAZU, 7, 8—135, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1981: Generacije sig v klasičnem krasu Slovenije. Acta carsologica, 9, 87—110, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1984: Jamski sedimenti in speleogeneza Škocjanskih jam, Acta carsologica SAZU, 12 (1983), 27—48, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1985: Age and Development of Collapse Dolines above the Cave Systems, the examples form Classical Karst of Slovenia (NW Yugoslavia). Annales de la Soc. Geol. Belg., 108, 113—116, Liege.
- Habič, P., 1972: Divaški kras in Škocjanske jame. Ekskurzije, 6. kong. spel. Jug. (Sežana, Lipica), 26—33, Postojna.
- Habič, P., 1984: Jamska nadstropja v NW delu Dinarskega krasa. Deveti jug. spel. kongres, Zbornik predavanja, 231—236, Zagreb.
- Habič, P., R. Gospodarič, I. Kenda, A. Kranjc, 1975: Osnovna speleološka karta Slovenije, 2. nadaljevanje. Naše jame, 17, 151—171, Ljubljana.
- Jeannel, R., E. G. Racovitza, 1918: Enumérations des grottes visitées (1913—1917). Biospeologia, 39, Arch. de Zoologie expér. et géner., 57, 203—470, Paris.
- Kogovšek, J., 1984: Vertikalno prenikanje vode na Matičnem krasu v primerjavi s prenikanjem v Planinski jami. Deveti jug. spel. kongres. Zbornik predavanja, 323—328, Zagreb.
- Kraus, F., 1894: Höhlenkunde. Verlag C. Gerold's Sohn, 1—308, Wien.
- Leben, F., 1979: The First Adriatic Neolithic in Slovenia. Archaeologia Jugosl., 17, 3—5, Beograd.
- Martel, E. A., 1984: Les Abimes. Libr. Ch. Delgrave, 1—578, Paris.
- Michler, I., A. Šerko, 1952: Postojnska jama in druge zanimivosti krasa, 1—166, Ljubljana.
- Mihevc, A., 1984: Nova spoznanja o Kačni jami. Naše jame, 26, 11—19, Ljubljana.
- Osole, F., 1968: Jamski sedimenti notranjsko-primorskega krasa kot posledica pleistocenskih klimatskih nihanj. Prvi kolokvij o geologiji Dinaridov, 1. del, 197—201, Ljubljana.
- Putick, W., 1889: Die Kronprinz Rudolf-Grotte im Küstenlande. Mitt. Geogr. Gess., 32, 74—79, Wien.
- Schroeder, J., D. C. Ford, 1983: Clastic sediments in Castlequard Cave, Columbia Icefields, Alberta, Canada. Arctic and Alpine Research, 15/4, 451—461, Univ. of Colorado, Boulder.
- Sušteršič, F., 1973: Med Škocjanom in Labodnico. Proteus, 35 (5—7), 212—215, 239, 281—287, 320—322, Ljubljana.
- Wiegank, F., 1977: Paläomagnetische Datierung und Korrelation paläoklimatischer Ereignisse des Mittel- und Jungpleistozäns. Z. geol. Wiss. 5, 705—715, Berlin.
- Žiberna, J., 1981: Divaški prag. Svet KS Divača, 1—204, Ljubljana.

ON THE SPELEOGENESIS OF DIVAŠKA JAMA AND TRHLOVCA CAVE

Summary

In the ponor region of Notranjska Reka (Timavo) the biggest sinking stream on classical Karst, ponor cave Škocjanske jame (6.000 m), through-flow Kačna jama (8.000 m) and a lot of other karst caverns are known. Among the fossil ones Divaška jama with its spacious channels 410–350 m above the sea level is interesting. The channels lie almost 200 m above the underground streams of Divača karst.

The previous literature (W. Putick, 1889; E. A. Martel, 1894; F. Kraus, 1894; R. Jeannel and E. Racovitza, 1918; L. V. Bertarelli and E. Boegan, 1926; I. Michler and A. Šerko, 1952; P. Habič, 1972, 1984; F. Šušteršič, 1973; I. Gams, 1974; P. Habič, R. Gospodarič, I. Kenda and A. Kranjc, 1975; J. Žiberna, 1981; R. Gospodarič, 1984; J. Kogovšek, 1984; A. Mihevc, 1984) describes speleological and morphological properties but is less occupied by speleogenetical problems of Divaška jama. On the base of new survey of this cave (Fig. 1), 707,5 m long, 75,12 m deep and by speleogeological study we gathered a lot of new data for geochronological interpretation of speleogenetic processes. Divaška jama and Trhlovca are built in the layers of Turonian limestone (Fig. 2) composing a part of Trieste — Komen anticlinory. The accessible galleries are lying transversely to beds and are inclined together with them for 15–20° southwestwards. Up to the half the galleries are filled by sediment different flowstones and fluvial sediments too (Fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9). Even the neighbour, smaller cave Trhlovca contains different sediments (Fig. 10 and 11). By the method of relative stratigraphy we inferred the processes of excavation and filling up of Divaška jama and Trhlovca and we tried to geochronologically define them comparing them to Škocjanske jame and Kačna jama (Table 1).

The statement, overpassing the local meaning is, that Divaška jama is fossil, 700 m long remain of the underground channel, excavated by erosion in slanting level with inclined bottom (from 390 to 350 m) and roof (from 410 to 380 m). In this altitude we do not know any gallery neither in neighbour Kačna jama nor in more distant Škocjanske jame, but the equivalent fossil galleries could be in the caves Jama na Prevali and in upper parts of Vilenica, which is 3 km distant from Divaška jama westwards. There are few caves in Divača karst which resemble after form and altitude (between 400–425 m) to fossil gallery of Trhlovca. As the actual karst surface towards Škocjan is on many parts lower than Trhlovca passages, while the bottoms of several dolines and collapse dolines reach even lower than is Divaška jama level we have to state that several fossil caverns were denuded and collapsed but obviously not yet are they discovered. In both caves there are the remains of inclined underground channels, their roof being in the period of their active excavative for more ten metres thicker than the actual.

Important seems the inference that Divaška jama was at least 30 m thickly filled up by different sediments and several flowstone generations. From the analyses we inferred to conditions and stratigraphic succession of sedimentology as well as the geochronological phase in climatic period of Middle and upper Quaternary. The top sediments in Divaška jama and Trhlovca which are Holocene and Postglacial calcite formations are the easiest to be geochronologically defined (Fig. 12). While inferring the age definition of 4th and 3rd flowstone generations we are embarrassed either to put them into interestadial Würm or into Riss Würm interglacial already. Namely these flowstones were not yet radiometrically dated, the absence of allothonous sediments among them prevents the accordance with climatic periods of the Upper Quaternary. Apart from boulders from the last Würm stadial there are missed among these flowstones cold climate older gravels. Special stratigraphic problem is presented by the sediments of so-called »red complex«, thinly laminated red loams and reddish flowstone. After our opinion this complex reflects changeable climatic conditions of Riss glacial as we suppose that the red loam was brought into the cave from the surface. Terra rossa could originate on the surface in the previous Mindel — Riss interglacial. Geochronological arrangement is based mostly on the fact that we have similar stratigraphic and petrographic conditions of changing sediments in other caves of classical Karst (Dim-

PALEOMAGNETIC SCALE	PLEISTOCENE OF EUROPE	RADIO-METRIC AGE OF FLOWSTONE IN SLOVENIA	RELATIVE AGE OF CAVES AND SEDIMENTS		
			SKOCJANSKE JAME IN KAČNA JAMA		DIVAŠKA JAMA
Lascaux	14.500 Postglacial	U/Th 14 C	Notranjska Reka	flowstone	flowstone
Lake Mungo	Würm	U/Th 14 C	Hankejev kanal 250 m	rubble	rubble
Biwa E			Škocjanski kanal 190 m	loam	flowstone
Blake	74.000	U/Th	Tomnševa jama 300 m Peščeni rov 200 m	flowstone	rubble
	Riss - Würm			loam	flowstone
Biwa 1	125.000	U/Th	"red complex"	bedded flowstone loam and sand laminated loam	
	Riss	U/Th ESR			
Biwa 2	200.000	Mindel - Riss	Černigova jama → Tiha jama 330 m → 310 m	flowstone	
			Vzhodni rov → Zahodni rov 250 m		
Biwa 3	350.000	Mindel	terra rossa on the surface	channels under 340 m	laminated loam
			Košava jama		
Emperor	Mindel	BRUNHEIS	sinking rivers from the flysh area - paleo Notranjska Reka	gravel ?	flowstone ?
			Jama v Bukovaiku	rubble in the Trhlovca cave	
MATUYAMA	590.000	Günz - Mindel	Jama na Prevali I Jama na Prevali II Luknja v Lazu Roška špilja	Jama 2 Risnik Jama 3 Risnik	Diviška jama 360-390 m
	750.000		Prelušova luknja Jama na Škrljici Jama v Sapendolu	Maticov spodmol Jama 1 Risnik	laminated loam gravel ?
Jaramillo	900.000	Günz			Trhlovca Cave 404 - 425 m
					Vrabčja jama

Table 1.

SUPPOSED GEOCHRONOLOGY OF CAVES AND SEDIMENTS OF DIVAČA KARST

Lit.: Wiegank, 1977; Cooke, 1973; Gospodarič, 1981, 1984; Mihevc, 1984

nice, Črni Kal) and of Notranjsko karst, where the flowstones were in the case of Križna jama radiometrically, and elsewhere relatively dated as being of Riss age.

Long lasted sedimentation of laminated loam in Divaška jama was arranged to Mindel, while this in Trhlovca to Günz glacial mostly because of their specific pseudovarve composition (Bögli, 1978; Bull, 1977; Schroeder, Ford, 1983). This datation the most deviates from the previous definitions of such basal sediments which were always again discovered below the rubble, flowstone and red loam layers (F. Osole, 1968; S. Brodar, 1952) and were distributed to Mindel — Riss interglacial.

VODNA GLADINA
V NOTRANJSKEM IN PRIMORSKEM KRASU
SLOVENIJE

(S 14 SLIKAMI)

WATER TABLE IN SLOVENE KARST OF NOTRANJSKO
AND PRIMORSKO

(WITH 14 FIGURES)

PETER HABIČ

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 31. OKTOBRA 1985

Vsebina

Izvleček — Abstract	39 (3)
UVOD	39 (3)
IZHODIŠČE	40 (4)
VODNA GLADINA V IZVIRIH LJUBLJANICE PRI VRHNIKI	41 (5)
VODNA GLADINA V ZALEDJU PRIMCOVEGA STUDENCA	45 (9)
VODNA GLADINA MED LJUBLJANSKIM BARJEM TER LOGAŠKIM IN PLANINSKIM POLJEM	48 (12)
KRAŠKA VODA MED PLANINSKIM POLJEM IN RAKOVIN ŠKOCJANOM Planinska jama	48 (12) 49 (13)
KRAŠKA VODA MED RAKOVIM ŠKOCJANOM IN CERKNIŠKIM JEZE- ROM	51 (15)
KRAŠKA VODA NA CERKNIŠKEM POLJU IN NJEGOVEM OBROBJU	52 (16)
VODNA GLADINA V POSTOJNSKEM KRASU	54 (18)
VODNA GLADINA NA ZGORNJI PIVKI IN POD JAVORNIKI	56 (20)
PODZEMNE VODE V MATIČNEM KRASU	61 (25)
KRAŠKA VODA V ZALEDJU RIŽANE IN OSAPSKE REKE	63 (27)
VODA V KRASU MED IDRIJCO IN VIPAVO	63 (27)
RAZPRAVA IN SKLEPI	67 (31)
LITERATURA	72 (36)
WATER TABLE IN SLOVENE KARST OF NOTRANJSKO AND PRIMORSKO (Summary)	75 (39)

Naslov — Address

Dr. Peter HABIČ, znanstveni svetnik
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

Izvešček

UDK 556.32(497.12-13/-14)
551.491.54(497.12-13/-14)

Habič Peter: Vodna gladina v Notranjskem in Primorskem krasu.

Po razpoložljivih speleoloških podatkih sta prikazana razporeditev in nihanje vodne gladine v krasu v porečju Ljubljanice, Idrijce, Vipave, Notranjske Reke in Timava ter Rižane. Nakazani so vzroki različnega nihanja in ocenjen je praktični pomen poznavanja razporeditve voda v krasu. Podčrtana je potreba po boljši registraciji nihanja vode vsaj v speleološko dostopnem podzemlju.

Abstract

UDC 556.32(497.12-13/-14)
551.491.54(497.12-13/-14)

Habič Peter: Water table in Slovene karst of Notranjsko and Primorsko.

According to available speleological data distribution and oscillation of water table in karst of river basin of Ljubljana, Idrija, Vipava, Notranjska Reka, Timava and Rižana are presented. The reasons for different oscillations are shown and practical significance of water distribution in karst is assessed. The need for better registration of water oscillation at least in speleologically accessible underground is emphasised.

UVOD

Medzrnska poroznost v grobozrnatih naplavinah omogoča sklenjeno vodno gladino, ki različno niha glede na dotok, prepustnost in odtok v posameznih vodonosnikih. Razpoklinske pore in kraške votline v karbonatnih kamninah so lahko povezane ali nepovezane. Razporeditev in nihanje vodne gladine v njih je zaradi tega ponekod skladno na večje razdalje, drugod pa ločeno in neodvisno že v bližnjih izvirih in podzemeljskih rovih. Zaradi večje heterogenosti kraškega vodonosnika se vodne razmere v krasu od predela do predela razlikujejo, zato ni čudno, da so se v začetnem obdobju preučevanja kraških podzemeljskih voda porajale različne predstave in razlage. Vznikle so različne hipoteze in teorije, ki so slonele na omejenih spoznanjih in ugotovitvah iz različnih kraških predelov (A. Grund, 1903; F. Katzer, 1909; J. Cvijić, 1918; O. Lehmann, 1932). Postopno pa se je znanje izpopolnjevalo in tako so se dopolnile tudi teorije o razporeditvi in povezanostih kraških voda (F. Jenko, 1959; B. Gèze, 1958, 1965; A. Mangin, 1975). Zaradi različne prevotljenosti in prepustnosti so torej vode v krasu zelo različno razporejene, zato krajevno veljajo lahko tudi povsem nasprotne teorije.

V tem prispevku želim predstaviti razporeditev vodne gladine v Notranjskem in Primorskem krasu, kakor smo jo sodelavci Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU lahko spoznali na podlagi občasnih in nepovezanih opazovanj. Škoda je, ker ni bilo mogoče opraviti sistematičnih meritev hkrati v različnih predelih in ob različnih vodnih razmerah. Tako ne poznamo nihanja vodne gladine ob postopnem praznjenju ali naglem polnjenju podzemlja, ne v bližnjih, še manj v bolj oddaljenih delih istega kraškega povodja.

IZHODIŠČE

Položaj in nihanje podzemeljskih kraških voda v povodju Ljubljane in Notranjske Reke ter v delu visokega krasa med Idrijco in Vipavo smo občasno opazovali ob kraških izviri in ob ponorih ter v dostopnih vodnih jamah v letih od 1963 do 1984.

Položaj kraških izvirov je odvisen predvsem od geološke zgradbe in geomorfološkega razvoja, ki skupno opredeljujeta hidrogeološke značilnosti njihovega zaledja. Z geološko zgradbo je dana razporeditev propustnih, delno prepustnih in nepropustnih kamnin. Te kamnine pa so bile izpostavljene podnebnim silam, oziroma geomorfološkim procesom, ki so jim vtisnili svoj pečat, v nekraških predelih predvsem na površju, v prepustnih kraških predelih pa tudi v podzemlju. Iz kraškega podzemlja se prelivajo vode na površje v višini absolutnih ali lokalnih kraških erozijskih baz, ki jih predstavlja morje ali najnižja vrzel v nepropustnem obrobju krasa. Voda pa se v krasu pretaka sifonsko tudi precej globlje.

Način iztekanja vode iz kraškega podzemlja je odvisen od položaja izvira in od hidrogeoloških značilnosti njegovega zaledja, to je predvsem od prevotljenosti in prepustnosti kamnin. Od razporeditve in stopnje prepustnosti je namreč odvisen tudi način podzemeljskega pretakanja vode v krasu.

Neposredno spoznavanje kraškega podzemeljskega pretakanja je omejeno, ker večina podzemeljskih vodnih poti ni dostopnih. To pomeni, da lahko kraški vodni sistem le delno spoznamo in to posredno na različne načine. Znanje o pretakanju in razporeditvi vode v krasu se le počasi izpopolnjuje. Kljub bogati tradiciji hidroloških in speleoloških preučevanj našega krasa so le redka območja zadovoljivo preučena, saj so za zahtevnejše raziskovalne postopke potrebna znatna sredstva, ki so na voljo le ob izgradnji večjih energetskih ali drugih vodnogospodarskih objektov. Pretežni del krasa pa je prepuščen bolj slučajnemu raziskovanju, pri katerem imajo pomemben delež tudi člani jamarških organizacij.

Kraška vodna gladina predstavlja jasno mejo med zalitim in nezalitim delom krasa. Ker je voda v razpokani kamnini z omejeno prepustnostjo neenakomerno razporejena, meja med zalitim in nezalitim krasom ni ne sklenjena, ne ravna ploskev. Voda zaliva le votline in pore v kamnini, zato je njena površina razčlenjena v mrežo bolj ali manj povezanih prostih gladin in pritisnjenih vodnih površin v razpokah in špranjah, rovih in drugih votlinah ter v vmesnih kamninah. Tako so vodne ploskve tudi po višini različno razporejene. V splošnem je gladina kraške podzemeljske vode stopnjasta ali rahlo nagnjena k izvirom. Znotraj zakrasele kamnine pa je lahko krajevno stopnjasta in nagnjena od manj prevodnih k bolj prevodnim žilam in tokovom. Izviri in poglavitne vodne žile predstavljajo lokalne hidrografske baze, h katerim so usmerjene razpoklinske in kraške vode.

Proste in pritisnjene vode so v medsebojni tlačni ali piezometrični zvezi, če so žile v kamnini dovolj razvejane in prevodne. Povezanost kraških vodnih gladin se odraža v skladnem nihanju prostih gladin. Te lahko primerjamo le v dostopnih vodnih jamah in breznicah, posredno pa jih dosežemo z vrtinami.

Naravni dostopi do podzemeljskih voda v krasu so razmeroma redki, poleg tega pa so odvisni tudi od stopnje speleološke raziskanosti terena ter jamarške

izurienosti in opremljenosti. V Sloveniji imamo dolgo tradicijo v raziskovanju kraškega podzemlja. Doslej je med 5000 znanimi jamami komaj 9% vodnih jam, od tega nekaj več kot ena tretina izvirnih, ena četrtina ponornih in le v dobri četrtini, to je v 140 jamah, pridemo do podzemeljskih voda (P. Habič, I. Kenda, 1981).

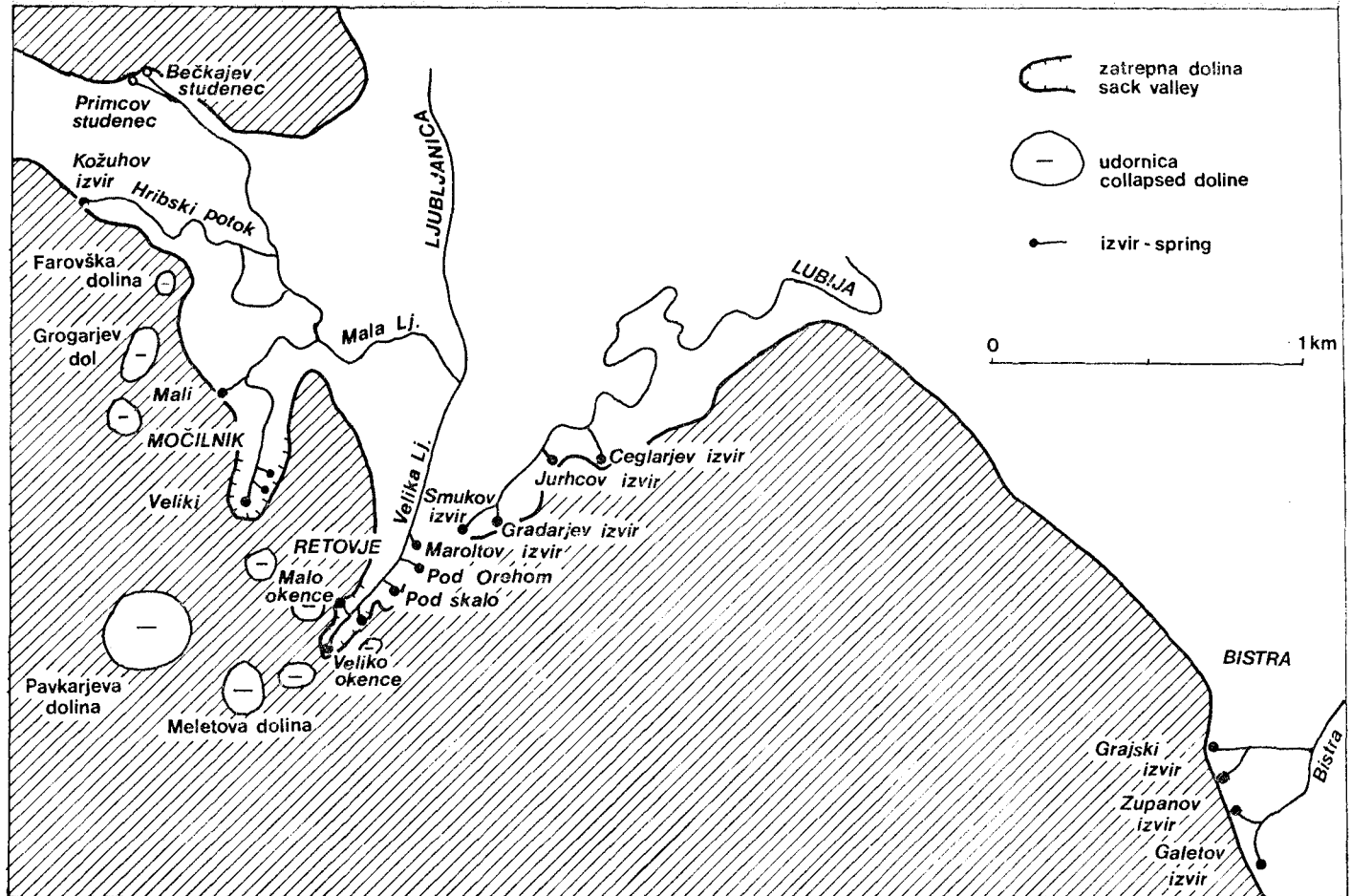
Opazovanja nihanja voda v teh jamah so še posebej dragocena, saj z razmeroma skromnimi sredstvi spoznavamo pomembne vodne razmere v kraškem podzemlju. Seveda moramo pri tem upoštevati omejeno natančnost in zanesljivost. Številna opazovanja niso povezana, podatki veljajo le za določene trenutke ob slučajnih jamarskih obiskih. Le redko so ti sistematično organizirani. Praksa kaže, da je vsaj občasno sodelovanje z jamarskimi organizacijami pri spremljanju vodnih razmer v krasu lahko zelo uspešno. Na ta način so bili zbrani v porečju kraške Ljubljance in Notranjske Reke zanimivi podatki o položaju vodne gladine v različnih hidroloških situacijah, predvsem v najbolj sušnih razmerah, pa tudi ob katastrofalnih poplavih.

Podatki o razporeditvi in nihanju kraške vodne gladine so delno že objavljeni, nekaj pa jih je ostalo v terenskih zapisnikih po opazovanjih in meritvah, opravljenih tudi v okviru Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU v Postojni, bodisi po rednem programu, ki ga financira Raziskovalna skupnost Slovenije, ali pa po posebnih pogodbenih nalogah različnih naročnikov. Vsem, ki so pomagali zbirati podatke, se na tem mestu še posebej zahvaljujem.

Zbrano gradivo nam vkljub pomanjkljivosti omogoča vsaj približno predstavo o vodnih razmerah v raznih delih Notranjskega in Primorskega krasa. S tem prispevkom želim tudi vzpodbuditi natančnejša opazovanja kraških podzemeljskih voda. Vodomerna služba je namreč preveč omejena samo na površje, v kraškem podzemlju pa nimamo nobene stalne opazovalne postaje, čeprav že dalj časa skušajo hidrologi in hidrotehniki razvozlati kraške vodne uganke. Sistematične hidrološke raziskave so bile zastavljene le na obrobju Planinskega polja (M. Breznik, 1962) in na območju matičnega Krasa (P. Krivic, 1982, 1983), ki so dale prav zanimive rezultate. Na podoben način bi s sodobno merilno opremo in opazovalno tehniko lahko zbrali bolj zanesljive in dragocene podatke, ki jih potrebujemo ne le v strogo teoretičnem, temveč še bolj v praktičnem pogledu. Poznavanje vodnih razmer v kraškem podzemlju postaja vse pomembnejše zaradi naraščajoče izrabe kraških voda in njihove onesnaženosti.

VODNA GLADINA V IZVIRIH LJUBLJANICE PRI VRHNIKI

Kraški izviri Ljubljance so razporejeni na razdalji 4 km ob zahodnem robu Ljubljanskega barja v predelu med Vrhniko in Bistru. Podzemeljske kraške vode se prelivajo na površje v treh poglavitnih skupinah, ki napajajo izvire Velike in Male Ljubljance, Lubije in Bistre. Na zahodni strani so še izviri Hribskega potoka ter Primcov in Bečkajev studenec, ki se skupaj s površinsko Belo izlivajo v Malo Ljubljanico. Izviri Male Ljubljance so razporejeni v izraziti zatrepnih dolini Malega in Velika Močilnika pri Vrhniki, izviri Velike Ljubljance pa v zatrepnih dolini Retovje pri Verdu. Izviri Lubije so razvrščeni v Verdu na razdalji 500 m, in sicer od Smukovega in Gradarjevega brezna do Ceglarjevega potoka. V Bistri so ob vznožju strme rebri Pokojiške planote tri



Sl. 1. Razpored izvirov Ljubljanice, Lubije in Bistre

Fig. 1. Ljubljana, Lubijska and Bistra springs distribution

skupine izvirov: Grajski, Zupanovi in Galetovi izviri ali izviri Trebije. Vzhodno od Trebije sta še dva manjša studenca, Pasji in Ribčev, z lokalnim zaledjem, kakršne imajo tudi majhni studenci na obrobju Barja med Verdom in Bistro (slika 1).

Vodna gladina v izvirih Ljubljanice je ob visokih vodah med 292 in 298 m, ob nizkih pa med 289 in 296,5 m absolutne višine, niha torej od 0,5 do 4 m, medtem ko znaša absolutna razlika med najnižjo in najvišjo gladino okrog 9 m (slika 2).

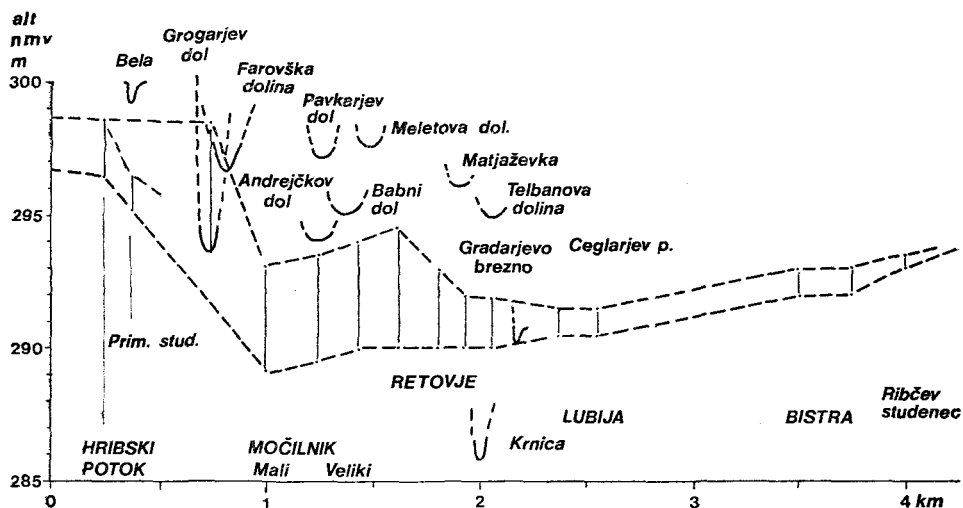
Kraška voda je ob robu Barja zajezena s kvartarnimi barskimi naplavinami ter v zatrepnih dolinah z gruščem in podornim skalovjem. Struge ob izvirih so v naplavine različno poglobljene, kar je odvisno od drobnih hidrogeoloških in geomorfoloških značilnosti izvirov ter prepustnosti vodnih žil globlje v njihovem zaledju. Vodna gladina v izvirih Ljubljanice je tudi umetno uravnavana z jezovi, pregradami in zapornicami ob nekdanjih mlinih in žagah ter kasnejših industrijskih obratih. Znana je medsebojna odvisnost vodne gladine Hribskega potoka in Primcovega studenca, čeprav je vmes površinska dolina Bele s širokim in več metrov debelim prodnim zasipom. Zvezo smo preverili z zapiranjem in odpiranjem zapornice ob izviru Hribskega potoka leta 1969 (P. H a b i č, 1976). Vpliv umetne podzemeljske akumulacije je znan tudi v izvirih Lubije in Bistre, kjer so z zapornicami uravnavali gladino kraške vode na razdalji 2 km.

Čeprav dobivajo izviri vodo iz skupnega kraškega zaledja, so gladine različne in različno nihajo. To je možno le v primeru, da se vode pretakajo po bolj ali manj ločenih kanalih z različnimi hidravličnimi lastnostmi, kar potrjujejo tudi različne temperature in trdote voda (F. H a b e, 1937; I G a m s, 1966). Fizikalno kemične lastnosti so sicer sorodne, vendar že manjše razlike med posameznimi izviri odražajo različne poti. To so potrdili tudi sledilni poskusi, še zlasti kombinirano sledenje leta 1975, na podlagi katerega je bilo mogoče izračunati delež vode v posamezni skupini izvirov Ljubljanice iz pripadajočih ponikalnic na Cerkniskem, Planinskem in Logaškem polju ter Hottenjskih in Rovtarskih ponikalnic (P. H a b i č, 1976).

Ker pritočni kanali niso dostopni, ne poznamo višinske razporeditve in razlik med nizkimi in visokimi vodami globlje v zaledju kraških izvirov. Vemo le, da se v večini bližnjih udornic z dnom med 295 in 302 m ne pojavi več poplavna kraška voda, čeprav so v dnu teh koliševk odložene debele plasti naplavljenih ilovic. Izjema sta le Grogarjev dol in Farovška dolina v neposredini bližni Malega Močilnika, ki sta ob visokih vodah poplavljeni.

Grogarjev dol je okrog 50 m globoka in 200 m široka tipična udorna vrtača s 70 do 100 m širokim, ovalnim in naplavljenim dnom v višini 293 m. Rahlo upognjeno dno je travnato, strm obod je gozdnat. Najnižji preval v obodu je na 315 m, najvišji rob pa nekaj nad 350 m. Od izvira v Malem Močilniku je dol oddaljen 1500 m. Po izdatnem deževju privre voda iz gruščnatih in travnatih tal na zahodnem obrobju dna in v sredini, kjer nato tudi odteka. Voda naraste nekako do 298,5 m in se zadrži nekaj dni, nato pa se skoraj nevidno umakne nazaj v podzemlje. Zanimivo je, da gladina v Grogarjevem dolu še narašča, ko voda v Malem Močilniku že upada. To pomeni, da polni udornico nek stranski podzemeljski dotok in ne glavna žila, ki napa-

ja izvir Malega Močilnika. Po legi in drugih hidroloških značilnostih sklepamo, da se v Grogarjevem dolu pojavljajo vode iz zaledja Hribskega potoka. Tam je vodna gladina tudi ob nizkih vodah višja kot v neposrednem zaledju Močilnika (slika 2).



Sl. 2. Vodna gladina v izviri Ljubljance, Lubije in Bistre ter višinski položaj udornic v njihovem zaledju

Fig. 2. Water table in Ljubljana, Lubija and Bistra springs and altitude situation of collapse dolines in their background

Voda se pojavlja občasno tudi v manjši Farovski dolini v bližini farne cerkve na Vrhniku. Dno te domnevne udornice je v višini 296,6 m in je okrog 3 m višje od dna Grogarjevega dola. Voda v Farovski dolini naraste le za dober meter, kar je skladno z strmcem podzemne vode med Grogarjevim dolom in najbližjim izvirom pod Gradiščem ob Hribskem potoku.

Čeprav je ob visokih vodah v izviri Velike in Male Ljubljance, v Močilniku in v Retovju, še posebno v izviri Pod orehom, Pod skalo in v Velikem okencu, občutiti pritisk voda iz zaledja, saj v izviri kar kipi in vre, se v bližnjih udornih vrtačah od Matjaževke, Telbanove doline, Andrejčkove in Jernejcove doline do Babnega, Meletovega in Pavkarjevega dola, katerih dna so med 295 in 303 m, ne dvigne kraška voda do površja.

Nihanje vodne gladine v izviri Ljubljance je precej pridušeno, veliko bolj kot globlje v zaledju in na ponornem obrobju Planinskega polja, kjer niha gladina v vodnih jamah za 50 do 60 m (P. H a b i č, 1976). Vzrok za takšno pridušitev izvirov ne more biti le v zaježenosti krasa s kvartarnimi napolavinami Ljubljanskega barja, ampak tudi v hidrogeoloških razmerah globlje v kraškem podzemlju. Omejitve v prepustnosti pritočnih kanalov so vsaj nekaj kilometrov pred izviri. Kje in kakšne so te ovire v podzemeljskem pretakanju

voda med Planinskim poljem in Ljubljanskim barjem pa doslej z jamarskimi raziskavami še ni bilo mogoče ugotoviti. Po razmerah v Postojnskem jamskem sistemu (P. H a b i č, 1985 v tisku) sklepamo, da so pomembna ovira v podzemlju številni podori, ki so zasuli prvotne vodne rove. Udorni sta zatrepani dolini Retovje in Močilnik. Po obliki ju lahko primerjamo z zatrepnima dolinama ob izviri Unice v Malnih in pri vходу v Planinsko jamo. Glavni podzemeljski kanali, nad katerimi se je porušil jamski strop, so verjetno 20 do 30 m pod gladino vode v sedanjih izviri, kot kažejo potapljaške raziskave (P. K r i v i c, A. P r a p r o t n i k, 1973; 1975), Takšen položaj vodnih žil bi ustrezal tudi živoskalnemu dnu v predelu med Vrhniko in Verdom, ki so ga ugotovili z geofiziko in z vrtnanjem pri gradnji avtoceste Ljubljana—Postojna (D. R a v n i k, 1975). S poružitvijo stropov nad prvotnimi rovi so nastale že omenjene koliševke v bližnjem zaledju izvirov Ljubljanice. Podorno skalovje je poleg barskih naplavin prisililo kraške vode, da so si utrle pota po stranskih razpokah in špranjah na površje. Tako si razlagamo tudi nastanek deltastega kraškega ustja Ljubljanice s številnimi izviri, ki so razporejeni predvsem v bokih zatrepnih dolin, saj je le eden od izvirov Velike Ljubljanice prav v čelu zatrepa.

VODNA GLADINA V ZALEDJU PRIMCOVEGA STUDENCA

Manjši kraški Primcov studenec, ki je bil do nedavnega pomemben vodni vir za oskrbo Vrhnike, ima sestavljeno kraško hidrografsko zaledje. Del vode dobiva iz skupnega zaledja s Hribskim potokom, delno ga napaja podtalnica površinske Bele, del voda pa dobiva iz ožjega kraškega zaledja ob vzhodju Planine (733 m) med Vrhniko in Staro Vrhniko. Zveza s ponikalnico v Koritih pod Planino je bila dokazana z barvanjem (P. H a b i č, 1976 a).

Vodna gladina v samem izviru niha za 0,5 m, pretok pa od 60 do 1000 l/s. Iztekanje kraške vode je zajezeno s kvartarnimi naplavinami, starejše vodne žile pa so zaradi tektonskega grezanja obrobja Ljubljanskega barja znižane pod naplavljenno dno površinske Bele. To potrjujejo tudi v naplavine potopljene vrtače v neposrednem zaledju izvira. Z ročnim vrtnanjem smo v teh vrtačah našli tudi do 10 m debele ilovnate plasti, ne da bi dosegli grušč in skalno dno vrtač. Ob potoku Bela pa je vsaj 10 m debel dolomitni vršaj, ki se na Klisu sredi Vrhnike zajeda v post würmsko polžarico Barja.

Po močnejšem deževju zalije kraška voda dno vrtač in se v njih dvigne tudi do 11 m nad gladino v izviru. Stopnjasta razporeditev poplavne vode v vrtačah, ki se dviga z oddaljenostjo od izvira, dokazuje, da so bolj prevodne cone pod dnom vrtač in ne v vmesnih skalnih pragovih (slika 3). Prav zaradi omejene prepustnosti zajezenega krasa v neposrednem zaledju Primcovega studenca se dvigne gladina kraške vode na razdalji 600 m od izvira od 297 do 308 m nadmorske višine, kar je precej več kot v sosednjih izviri Ljubljanice.

Omenili smo že, da smo z zapornico pri Kožuhu ob izviru Hribskega potoka uravnavali pretok v Primcovem studencu in s tem potrdili njuno podzemeljsko povezanost. Nihanje vodne gladine v kraških izviri na obeh straneh površinske doline Bele je skladno in ga naplavine ne ovirajo, ker je povezava vzpostavljena po kraških kanalih pod gruščnatim nasipom.



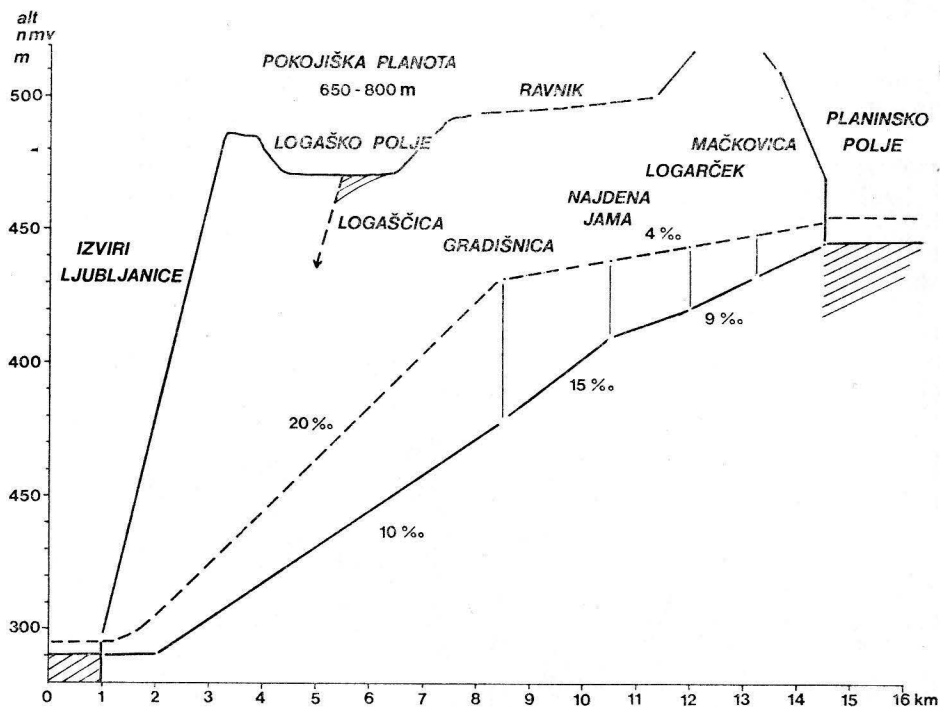
Sl. 3 Poplavljena Koševa dolina v zaledju Primcovega studenca
Fig. 3. Flooded Koševa dolina in the hinterland of Primcov studenec

Talna voda v naplavinah se ne izravnava povsem s kraško vodo, ker je prepustnost pač manjša od one v zakraseli podlagi in v kraškem obrobju. Razporeditev kraških izvirov ob zahodnem obrobju Ljubljanskega barja in nihanje vode v njih je prav gotovo pogojena z geomorfološkimi in tektonskimi spremembami v najmlajšem razvoju barske kotline. Tektonika je očitno sprožila pomembne spremembe tudi v bližnjem kraškem obrobju in vplivala na vodne razmere v ožjem zaledju izvirov Ljubljanice.

VODNA GLADINA V KRASU MED LJUBLJANSKIM BARJEM TER LOGAŠKIM IN PLANINSKIM POLJEM

V tem predelu je kraška podzemeljska voda dosegljiva v Najdeni jami, Logarčku, Mačkoviči in Gradišnici. Vse štiri jame so na ponorni strani Planinskega polja. Nihanje vodne gladine v njih smo opazovali ob pripravah na sledilni poskus v porečju Ljubljanice v letih 1972—1975. Ob suši se vodna gladina na ponorni strani Planinskega polja stopnjema znižuje nekako od 446 m pri Lazah, do 434 m v Mačkoviči, 420 m v Logarčku, 410 m v Najdeni jami in 379 m v Gradišnici (sl. 4). Višine so izmerjene v posameznih jezerih in sifonih, ki predstavljajo ob suši verjetno le ujeto vodo, medtem ko se prava kraška voda lahko spusti še niže (F. Šušteršič, 1982)

V vmesnem predelu med Gradišnico in izviri Ljubljani ni nobene jame, ki bi omogočila dostop v cono nihanja kraške vode. Najgloblje je 108 m globoko Šemonovo brezno na severnem obodu Logaškega polja, toda na dnu v višini 372 m, kar je 60 m pod najvišjo in 7 m pod najnižjo gladino v Gradišnici, ni sledov o kraški vodi. Poplavna kraška cona se verjetno severno od



Sl. 4. Strmci nizkih in visokih voda med Planinskim poljem in izviri Ljubljani
Fig. 4. Gradients of low and high waters between Planina polje and Ljubljani springs

Gradišnice hitro zniža pod 400 m, ker tudi v Lenarščici, v najgloblji koliševki med Logatcem in Vrhniko, z dnom v višini okrog 400 m, ni nobenih vodnih sledov.

Neznane so nizke vode v območju Jačke ob požiralnikih Logaščice, kjer visoka voda naraste za 30 m in poplavi del Logatca do višine 474 m. Ob normalnih vodah Logaščica ponika v višini okrog 445 m, kjer je več krajših rorov, ki se končajo z neprehodnimi ožinami. S čiščenjem požiralnikov ni mogoče povsem odpraviti poplav, koristno pa bi bilo primerjati gladino ob poplavah na površju in v bližnjem podzemlju.

Ob poplavah na Planinskem polju vode v podzemlju različno naraščajo. Najbolj v Gradišnici, kar za 53 m, in visoka voda se dvigne do 432 m, v Najdeni jami do 438 m, v Logarčku in Mačkoviči do 445 m in na polju do 450 m,

izjemno do 455 m. Razlike med nizkimi in visokimi gladinami se torej večajo z oddaljenostjo od roba polja, kar je nedvomno posledica večjih ovir v podzemlju onkraj Gradišnice. Tako je tudi bolj razumljivo, zakaj regulacije požiralnikov na Planinskem polju niso bistveno zmanjšale poplav.

KRAŠKA VODA MED PLANINSKIM POLJEM IN RAKOVIM ŠKOCJANOM

V predelu med Planinskim poljem in Rakovim Škocjanom lahko spremljamo vodno gladino ob izviroh Škratovke, v Malnih in v Planinski jami ter v Tkalci jami in ob ponorih v Rakovem Škocjanu. Izviri Škratovke so v višini



Sl. 5. Črni manganski rob visoke vode v Rakovem rokavu Planinske jame. Foto: P. Habič

Fig. 5. Black manganese belt desingning high water in Rak branch of Planinska jama. Photo by P. Habič

med 450 m in 455 m, v Malnih je najnižji izvir na 448 m, najvišji pa na 470 m, ob vhodu v Planinsko jamo je vodna gladina nekako med 454 in 458 m.

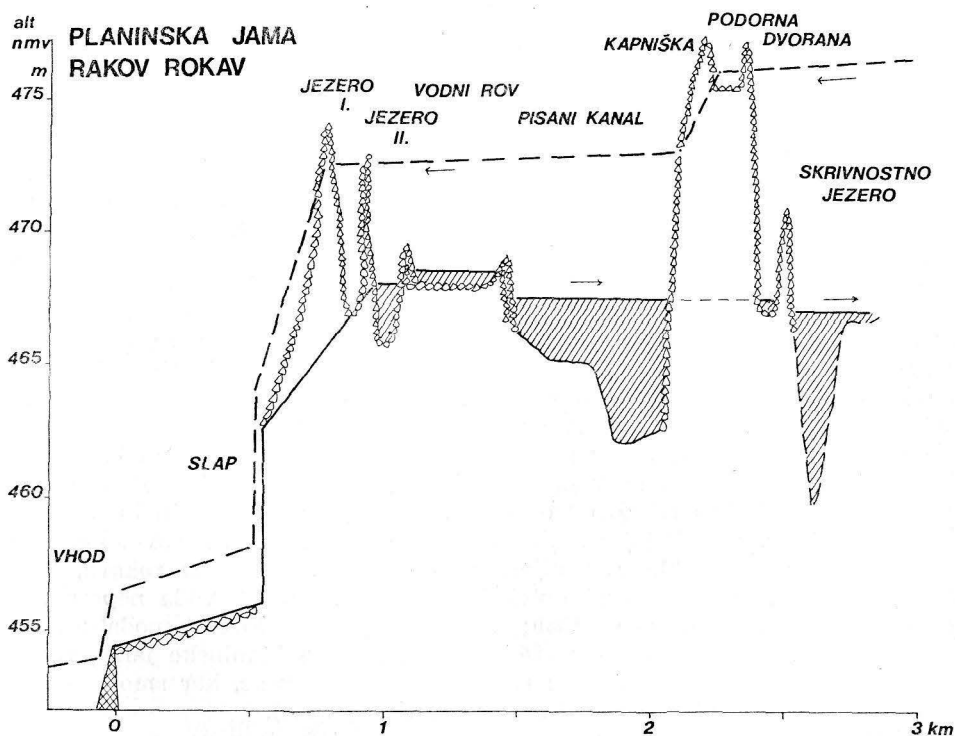
Planinska jama

Gladine nizkih in visokih voda na pritočni strani Planinskega polja so razmeroma natančno izmerjene v Planinski jami. Najvišjo vodno gladino lahko sledimo po temnih sledovih na stenah jamskih rovov v obeh pritočnih rokavih, Pivškem in Rakovem. Še posebno izrazita je temna manganska obloga, ki prekriva stene, kapnike in prodni zasip v vodnem delu Rakovega rokava (slika 5). Izvor te manganske obloge še ni dovolj pojasnjen. Pokriva würmske sedimente in mlajšo generacijo sige, le recentna siga je ponekod že odložena čez oprh. Z njim je prekrito tudi podorno skalovje v obsegu visoke vode, le najmlajše podorne skale so brez črne obloge. Po omenjenih sledovih sklepamo na višino visokih voda tudi v predelih, ki so tedaj nedostopni. Nizko vodno gladino v Rakovem rokavu pa smo v sušnih obdobjih večkrat neposredno merili. Spremljali smo tudi postopno praznjenje jezer, ko se višja enotna vodna gladina razdeli in se v posameznih različno propustnih kotanjah nenakolično znižuje. To je odvisno od dotoka in prepustnosti podornih in prodnih pregrad med posameznimi jezerskimi kotanjami v Rakovem rokavu. Posebne vodne razmere smo lahko spremljali tudi na kraju Rakovega rokava, kjer gladino uravnava podzemeljski dotok in odtok javorniških voda neposredno proti Malnom (I. Michler, 1955; I. Gams, 1965). Nobenih podatkov pa nimamo o razporeditvi kraške vode v širšem zaledju Planinske jame, razen podatka, da se pretaka tudi pod strugo podzemeljske reke, kar smo spoznali z barvanjem curkov (J. Kogovšek, P. Habič, 1981).

V priloženem vzdolžnem prerezu vidimo precej enakomerno razporeditev nizkih voda (slika 6). V obeh pritočnih sifonih je gladina nekako na 468 m, ob sotočju obeh rokavov pa na 456 m ter pri iztoku iz Planinske jame na 452 m. Podobna je skladnost tudi ob visokih vodah, le da so gladine za velikimi podori v Rakovem rokavu 3 m višje, na 476 m, od pritočnega sifona v Pivškem rokavu, na 473 m. Po daljši suši se nasprotno gladina v pritočnem sifonu Rakovega rokava bolj zniža (467,5 m) kot v sifonu Pivškega rokava (468 m), ker odteka voda iz neznanega zaledja neposredno v Malne. Ob suši je torej v Rakovem rokavu vodna gladina najvišja v osrednjem Vodnem rovu in se stopnjema znižuje tako v notranjost jame do Misterioznega jezera kot proti izhodu.

Vodne gladine v Planinski jami

	srednje	nizke	visoke
Vhod pod jezom	452		
pri Slapu	462		
I. jezero	467,7	465,5	472
II. jezero	468,7	468,2	473
Vodni rov	470,5	468,7	473
Pisani kanal	470,8	467,5	473
Mrtvo jezero	468,5	468,5	476,5
Misteriozno jezero	468,5	467,5	476,5



Sl. 6. Razpored in smer odtoka nizke in visoke vode v Rakovem rokavu Planinske jame

Fig. 6. Distribution and direction of low and high water outflow from Rak branch in Planinska jama

V zatrepni dolini Malnov so stalni le najnižje ležeči izviri. Ob suši je gladina vode v zajezenem izviru pri Milavcovem mlinu in žagi na koti 448,5. Ob višjih vodah sta aktivna tudi izvira na 455 in 460 m, le ob najvišjih vodah se pojavi izvir še više v Laškarjevem kotu 470 m visoko. Po teh podatkih bi pričakovali, da se dviga vodna gladina v zaledju skladno s pretoki oziroma padavinami. Toda vodne razmere v Rakovem rokavu Planinske jame razkri-vajo drugačne razporeditve gladin v zaledju Malnov. Ob nizkih vodah je med Milavcovim izvirom in sifonskim Misterioznim jezerom v Rakovem rokavu 20 m višinske razlike ali 16 ‰ strmec. Ob visokih vodah se ta razlika poveča za 5 do 6 m ali na 20 ‰ strmec. Manjša pa je razlika med zgornjimi izviri in gladino na kraju Rakovega rokava Planinske jame.

Na ponorni strani Rakovega Škocjana je vodna gladina v strugi Raka ob nizkem vodnem stanju nekako na koti 500. Požiralniki pred Velikim naravnim mostom dokazujejo, da je gladina kraške vode v tem predelu že pod površinsko strugo. To potrjuje tudi presihanje Raka v Zatočni ali Tkalci jami. Zelo verjetno pa je gladina v Petkovškovem sifonu že blizu nizke gladine kraške vode na odtočni strani Rakovega Škocjana. Potapljači so namreč v

Strmci med Rakovim rokavom Planinske jame in izviri v Malnih

	d	h	strmec
do spodnjega izvira	1250 m	20—25 m	16 —20 ‰
do srednjega izvira	1100 m	13—18 m	13 —16,6 ‰
do zgornjega izvira	900 m	8 m	9 ‰
do vhoda v Planinsko jamo		16—21 m	11,5—15 ‰

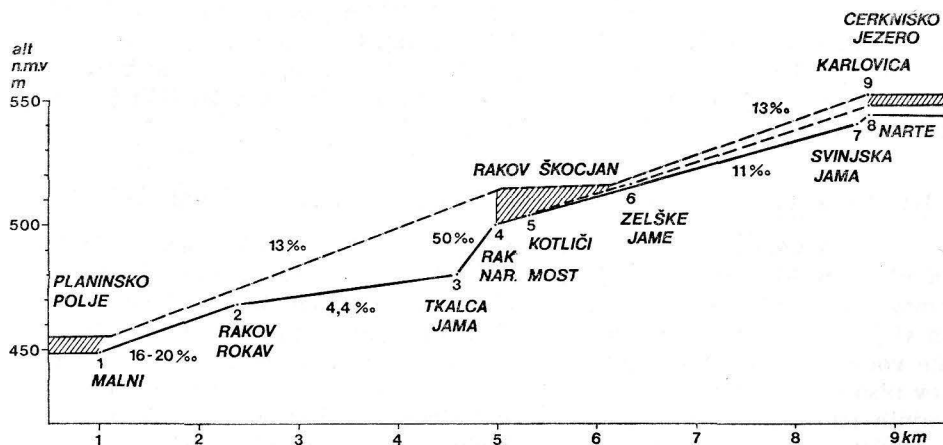
Nizka vodna gladina med Planinsko jamo in Rakovim Škocjanom

Požiralniki pri Velikem naravnem mostu	500 m
Sifon v Tkalci jami (Petkovškov sifon)	480 m
Sifon na kraju Tkalce jame	475 m
Misteriozno jezero v Rakovem rokavu	467,5 m
Strmec med Tkalco jamo in Rakovim rokavom	4,4 ‰

rovu za Petkovškovim sifonom našli manjše pritoke in več jezer tja do drugega, doslej še nepremaganega sifona. Njegova gladina mersko še ni natančno določena, ocenjena je na 475 m. Primerjava teh vodnih gladin z onimi v pritočnem sifonu v Rakovem rokavu nakazuje razmeroma majhen strmec. Na razdalji 2200 m je le 12 m padca, ali 4,4 ‰. Strmec je torej manjši kot v sami Planinski jami, če računamo z gladino pri vhodu, sicer pa se sklada s strmecem v samem Rakovem rokavu, če računamo nekako do brzic pred Slapom.

KRAŠKA VODA MED RAKOVIM ŠKOCJANOM IN CERKNIŠKIM JEZEROM

Na jugozahodni strani Rakovega Škocjana so stalni izviri, ki le ob največji suši presahnejo, njihova vodna gladina pa ostane nekako med 502 in



Sl. 7. Strmci kraške vode med Cerkniškim jezerom in Planinskim poljem
Fig. 7. Karst water gradients between Cerknica lake and Planina polje

510 m. Ob visokih vodah lahko gladina v Rakovem Škocjanu naraste ob ponorih na odtočni strani do 515 m, kar vpliva tudi na zaježitev nižjih izvirov. Zaježitev odtoka pa ne vpliva na vodno gladino Raka v Zelških jamah. V njih niha vodna gladina le za dobra 2 m, kar je predvsem posledica omejene prepustnosti v krasu med Karlovico in Zelškimi jamami. Domnevamo, da je ta omejenost pogojena z vmesnimi podzemeljskimi podori in koliševkami, kakršne so Globoščak, Velika Šujica, Brlog in druge. Izvir Raka je na 516 m, pritočni sifon v Zelških jamah pa na 522 m, odtočni sifon v Veliki Karlovinci je na 535 m, ponor Velika Karlovica pa na 547 m. V Karlovincah se ob suši zadržuje le ujeta voda, ki pa ne more biti bistveno višja od gladine kraške vode v tem predelu. Strmec med Karlovico in Zelškimi jamami znaša 13 ‰ in je bistveno manjši od strmca v sami Tkalci jami (50 ‰), je pa vseeno večji od onega med Tkalco in Planinsko jamo (4,4 ‰).

Strmci kraške vode med Planino in Cerknico (slika 7)

Cerknica—Rak	13,3 ‰
Svinjska jama—Kotličiči	11,4 ‰
Rak v Rakovi dolini	12,3 ‰
Rak v Tkalci jami	50 ‰
Tkalca jama—Planinska jama	4,4 ‰
Rak—Malni	13 ‰
Tkalca—Malni	8 ‰
Planinska jama	11—15 ‰
Planinska jama—Malni	16—20 ‰

Med Rakovim Škocjanom in Cerkniškim poljem moramo upoštevati tudi vodne razmere med Kotličiči in Svinjsko jamo, kjer je ob suši vodna gladina za 6 do 8 m nižja, od one v predelu med Karlovincami in Zelškimi jamami, kar se seveda pozna v vodnih zvezah med Cerkniškim jezerom in Rakovim Škocjanom (R. Gospodarič, P. Habič, 1979). Obarvana voda v ponorih pri Svinjski jami se namreč ni pojavila v Zelških jamah, temveč le v Kotličičih, nasprotno pa se je obarvana voda v Karlovincah pojavila v Zelških jamah pa tudi v Kotličičih in drugih izvirov (slika 7).

KRAŠKA VODA NA CERKNIŠKEM POLJU IN NJEGOVEM OBROBJU

Kraško vodno gladino na območju Cerkniškega polja nakazujejo izviri na obrobju in presihajoče jezero sredi tektonsko-kraške globeli. Izviri ob vznožju Javornikov so neposredno ob jezerskem robu in se njihova gladina ob višjih vodostajih prilagaja jezerski. Ko pa jezero presane, se gladina kraške vode zniža pod površje polja za najmanj 10 m. Ozke špranje talnih ponikov niso prehodne, zato ne vemo, kako globoko pod površje se voda ob dolgotrajnih sušah zares umakne. Toda v izvirov pod Javorniki ostaja nekako v ravnici polja med 548 in 549 m. V izvirnih jamah so stalna sifonska jezera, bodisi kot obviseli bazen ujete vode, ali pa kot lokalno zaježena kraška voda, ki se zadržuje precej nad ono v območju polja. V izvirni jami Suhadolci je

sifonsko jezero s stalnim odtokom v višini okrog 547 m, v Vranji jami pa je preko 20 m globok izvirni sifon z gladino v višini okrog 548 m. V Zadnjem kraju se kraška voda le nekaj 10 m od Vranje jame zniža najmanj 8 m pod površje. Tudi v izviri Mrzleka, Tresenca in Laškega Obrha ostane kraška voda v višini jezerskega dna med 548 in 549 m. Bolj se zniža ob izviri Stržena v Cemunu in Obrhu; oba izvira se namreč posušita, njuni kotanji pa imata dno na 546 in 544 m. Edino v izviru Špilja je dosegljiva nizka voda na koti okrog 543 m. Ni znano, kakšno je njeno razmerje do sifonskega jezera v ponorni jami Golobini na obrobju Loškega polja. Tam se najnižja gladina zadržuje na 542 m ali 13 m pod poljem in okrog 6 m pod dnom Cerkniskega jezera ob izviri Stržena.

Ob visokih vodah se gladina Cerkniskega jezera in z njo tudi gladina v bližnjih izviri dvigne na 552, izjemno menda celo do 553 m. V celoti lahko računamo, da niha gladina kraške vode na Cerkniskem jezeru vsaj za 10 m, med 552 in 542 m. Razmeroma skladno le v sami jezerski kotanji, kjer pa se ob usihanju gladina stopnjasto razčleni po posameznih predelih. Najprej upade gladina pri Vodonosu in tam požiralniki tudi najprej presahnejo. Postopno praznjenje požiralnikov v smeri proti jugu od Vodonosa in Rešeta do Kotla, Češlence in Levišč se sklada z zniževanjem vodne gladine pod poljem (R. G o s p o d a r i č, P. H a b i č, 1979). Požiralniki so med seboj povezani in soodvisni od gradienta kraške vode, ki ob praznjenju jezera stopnjasto nazaduje proti jugu, ob polnjenju pa napreduje proti severu in se tako ob visoki vodi v območju jezera uravnava, gradient pa se prestavi na severno obrobje, od koder so podzemeljske vode usmerjene proti izviru Bistre, kot je dokazano z barvanjem (S U W T, 1976). Večji strmec severno od požiralnikov Vodonosa je nakazan z razliko v gladinah vode v jezeru in v bližnjih poplavljenih grezih, pa tudi samo napredovanje požiralnikov proti severu in nastajanje novih grezov v vse debelejši plasti cerkniskega vršja je po našem mnenju pogojeno z večjim gradientom visoke kraške vode v severnem obrobju jezera.

Kraški izviri na vzhodnem obrobju Cerkniskega polja so razporejeni dovolj visoko nad jezersko ravnico, tako da naraščanje in usihanje jezera nanje ne vpliva. Ob vznožju dolomitne Slivnice so izviri Martinjščice in Grahovščice v višinah med 560 in 600 m. Zanje je značilno manjše lokalno zaledje in prevladujoča razpoklinska cirkulacija. Izdatnejša sta sosednja kraška izvira Žerovniščice in Štebrščice v višini okrog 560 m. Oba izvira v jurskih apnencih predstavljata najnižjo vrzel za vode iz obsežnejšega kraškega zaledja na vzhodni strani Cerkniskega in Loškega polja, hkrati pa tam izvirajo tudi vode, ki ponikajo na Blokah, kot je dokazano z barvanjem (I. G a m s, 1965 a, D. N o v a k, 1970). Potapljači so za izviri Žerovniščice raziskali Veselovo jamo, v kateri so brzice in slapovi, ki nakazujejo večji strmec kraške vode iz območja Blok (R. G o s p o d a r i č, 1968). V zaledju Stebrščice je znana Križna jama s stalnim vodnim tokom. Vodni rov s številnimi jezeri in manjšimi vmesnimi brzicami je jamarjem dostopen več kilometrov v notranjost. V pretežnem delu jame je vodna gladina v višini 610 in 620 m, le na odtočni strani je strmec bolj stopnjast, saj se na kratki razdalji zniža gladina za 10 do 15 m. Od vode v Kitlovih brezni Križne jame (600 m) do Stebrščice (560 m) je še 40 m višinske razlike ali dobrih 25 ‰ strmca. Vodna gladina v

Križni jami malo niha, saj ob visokih vodah naraste za dober meter ali dva, majhna pa je tudi razlika v gladinah ob izvirih.

Visoke vode v zaledju Žerovniščice in Štebrščice uravnavajo na Blokah požiralniki v dolomitu; v jurskih apnencih na obrobju Loškega polja, od koder dobiva Križna jama del vode, pa so nekakšni visokovodni prelevi in občasni bruhalniki na Loškem polju v višinah med 590 in 610 m. Omejena propustnost požiralnikov na Blokah vpliva na tamkajšnje poplave, visoka voda iz vzhodnega obrobja Loškega polja pa odteka z Obrhom skozi Golobino na Cerkniško polje.

Na Loškem polju so najvišji stalni izviri Velikega Obrha pri Vrhniku v višini 585 m, medtem ko bližnja Skadulca na 590 m le občasno bruha. Najnižji stalni izvir je Bajer na višini 576 m, nekako v tej višini so tudi manjši izviri ob strugi Obrha. V Malem Obrhu se kraška voda izpod Snežnika preleva na površje v višini 580 m, ko pa se zniža na 576 m, izviri presahnejo. Stalen je tudi manjši izvir pri gradu Snežnik, na 585 m, z lokalnim, delno dolomitnim zaledjem.

Prostorska in višinska razporeditev izvirov kot tudi njihove druge hidrološke značilnosti se skladajo z ločenimi kraškimi hidrogeološkimi enotami na obrobju Loškega polja. Presihanje razmeroma nizko ležečega Malega Obrha opozarja na podzemeljsko drenažo mimo ali pod Loškim poljem. Očitno se ob vzdolžnem idrijskem prelomu tudi na območju Loškega polja uveljavlja podobno znižanje kraške vode kot na Cerkniškem polju od izvirov Stržena do Ponikev in Rešeta. Za nizke vode pod Loškim poljem je verjetno značilno že omejeno sifonsko jezero v ponorni jami Golobini z gladino na 542 m. Za visoke vode pa podzemeljski kanali niso dovolj prepustni in tako voda zastaja v ponorni Golobini, kjer narastejo poplave do 573 m, kar je dobrih 30 m nad najnižjo gladino ob suši, ali 20 m nad poplavnimi vodami na Cerkniškem jezeru. Poplavna voda na Loškem polju ne niha skladno s cerkniško, čeprav je med njima le 11 ‰ strmca. Izviri na obrobju Loškega polja nakazujejo najvišjo vodno gladino v vsem Notranjskem krasu, saj z izjemo dolomitnih voda v apnencih ni nikjer zabeležena višja gladina.

VODNA GLADINA V POSTOJSKEM KRASU

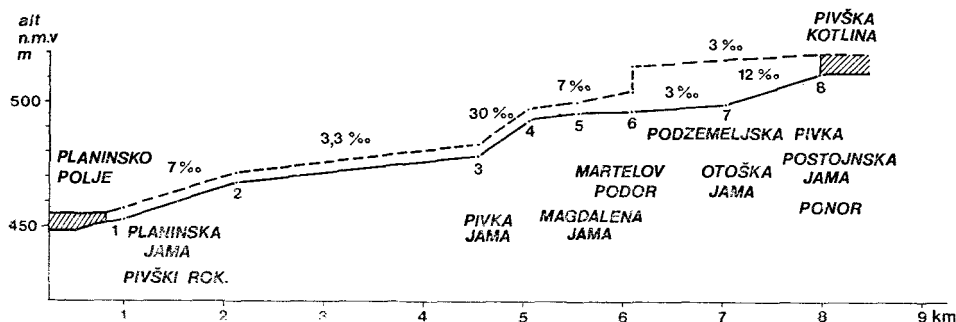
Kraško podzemlje pri Postojni je speleološko dobro preučeno, kar nam omogoča vpogled v vodne razmere ob podzemeljski Pivki, manj pa so znane vodne razmere v sosednjem predelu pod razvejanimi suhimi turističnimi rovi.

Vzdolžni strmec podzemeljske Pivke ni enoten ne ob visokih, ne ob nizkih vodah. Vodna gladina se stopnjema znižuje od ponora Pivke pri Postojnski jami do odtočnega sifona v Pivki jami ter dalje po Pivškem rokavu Planinske jame.

Po sledovih visokih voda na stenah podzemeljskih rogov in po vodnih gladinah v posameznih podzemeljskih jezerih ob nizkih vodah smo primerjali strmec vzdolž podzemeljskega toka (slika 8).

Najnižja znana vodna gladina v Postojnskem jamskem sistemu je v odtočnem sifonu Pivke jame na koti 477. Ker je med tem sifonom in pritočnim sifonom v Pivškem rokavu Planinske jame 9 m višinske razlike, sklepamo,

da je v vmesnem nedostopnem krasu gladina še vedno stopnjasto razdeljena, celotni strmec pa znaša le 3,7 ‰. Ob najvišjih vodah je strmec podzemeljske Pivke bolj izravnani. Le od ponora do Martelovega podora je ob najvišjih poplavnih vodah stopnjast.



Sl. 8. Strmci nizke in visoke vode med Pivško kotlino in Planinskim poljem
Fig. 8. Low and high water gradients between Pivka basin and Planina polje

Po speleoloških opazovanjih in meritvah sklepamo, da predstavlja Martelov podor ob podzemeljski Pivki poglavitno oviro pri odtoku visokih voda iz Pivške kotline na Planinsko polje. Ker visoka voda ne more vsa mimo in skozi podor, ob njem zastaja in se dviga ter se šele v višini 514 m prelije čez podorno skalovje, onkraj katerega bolj neovirano odteka po rovih med 496 in 505 m. Sledovi visoke vode segajo na pritočni strani Martelovega podora do kote 514, na odtočni strani v Kraigherjevi dvorani pa do 505 m, ali 9 m nižje (slika 8).

Podzemeljska Pivka predstavlja najnižjo odtočno žilo Postojnskega krasa, kar dokazujejo skromni, a prav značilni dotoki kraške vode z obeh strani podzemeljske tokave Pivke. Omenjata jih I. Michler, (1959) in I. Gams (1965). Z leve strani se pri Otoški jami vlija v podzemeljsko Pivko Črni potok, ki ponika v jami Lekinki (R. Gospodarič, P. Habič, 1966). Ob srednjih pritokih doteka v Pivko pred sifonom v Pivki jami pritok iz neznanega zaledja med Zagonom in Belskim. Morda se tam pojavi potok Osojca, ki ponika na koti 529 pod Jamo Osojco ob cesti Postojna—Belsko.

Vodna gladina v Postojnskem krasu zahodno od podzemeljske Pivke ni dosegljiva, saj so v tem predelu znane le suhe jame in brezna. Ob najvišjih vodah pa se v dolu med Erazmom in Belsko žago pojavijo kraški izviri, ki dokazujejo, da se gladina podzemeljske vode v tem predelu dvigne nekako do kote 530. Pri Belski žagi so požiralniki, izviri in estavele v dnu doline na koti 521, ki jih visoka voda zalije nekako do 525 m.

Male ponikalnice s fliša pri Studenem imajo požiralnike med 536 in 541 m (F. Habe, 1976). Po vodnih razmerah v bližnjih jamah sklepamo, da niha gladina od nekaj pod 500 m, do nekako 515 m, če ne še kaj više ob najvišjih poplavih, kot kažejo ilovice v dnu Blatnega rova v jami Beloglavki. Ob ponornem obrobju Postojnskega krasa med Erazmom in Studenim niha torej vodna gladina vsaj za 15 m, med 500 in 515, lokalno pa celo do 530 m.

Z desne strani dobiva podzemeljska Pivka dva manjša pritoka iz območja pod turističnim delom Postojnske jame, in sicer za Martelovim pododom v Kraigherjevi dvorani ter v Magdaleni jami.

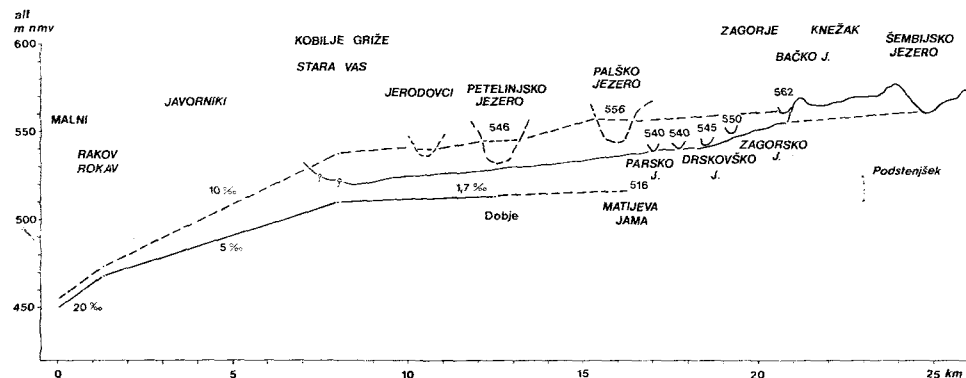
V Črni jami je več sifonskih kotanj, v katerih se zadržuje pretežno ujeta voda med 489 in 501 m. Številna osamljena jezera in sifonske kotanje v Črni jami so ob visokih vodah povezane z enotnim tokom, ki se od osrednje Pivke odcepi pred Magdaleno jamo ter skozi Perkov in Vilharjev rov obide vhodni podor Črne jame in se ponovno vrne v podzemeljsko strugo Pivke jame. Del teh voda se verjetno preceja skozi podorno skalovje Črne jame in po še neznanih rovih v smeri proti Pivškemu rokavu Planinske jame, kar potrjujejo barvanja (I. A v d a g i č, in drugi, 1976).

Vodna gladina v Črni jami naraste za 13 m in doseže 504 m. Nizke vode so v Črni jami ujete. Tako je gladina v pritočnem sifonu v isti višini kot v odtočnem sifonu med Črno in Pivko jamo. Najvišja gladina Pivke v Magdaleni jami in pritočnem sifonu v Pivki jami je v višini 498 m, nizka gladina pa na 493 m. V Črni jami je najnižja gladina ujete vode na koti 489, kar pomeni, da se gladina nizkih voda v Črni jami ne znižuje v smeri proti Pivki jami temveč po neznanih poteh skozi podrte rove proti Planinski jami, ki jih nakazujejo koliševke okrog Vodnega doła in Kozje doline. Možno pa je, da se gladina znižuje tudi neposredno proti odtočnemu sifonu Pivke jame.

VODNA GLADINA NA ZGORNJI PIVKI IN POD JAVORNIKI

V območju Javornikov in zgornje Pivke je kraška voda dosegljiva v Brezno v Kobiljih grižah, v Matijevi jami ob Palškem jezeru in v jami Fužine pri Stari vasi, najdemo pa jo lahko še v vrtini pri Stari vasi in pri Žejških izviroh v Dobju in v vodnjakih pri Pivki in v Zagorju. Gladina visoke vode doseže površje v izviroh ob Pivki ter v presihajočih jezerih od Jerodovcev pri Žejjah, do Petelinjskega in Palškega ter Parskega, Drskovških in Zagorskih jezer pa tudi v Bačkem in Šembijskem jezeru pri Knežaku (P. H a b i č, 1975).

S primerjavo vodnih gladin pod Javorniki in vzdolž Zgornje Pivke lahko ugotovimo, da se strmec kraške vode večja ob toku navzdol in je pravzaprav



Sl. 9. Strmci nizkih in visokih voda pod Javorniki in na Zgornji Pivki

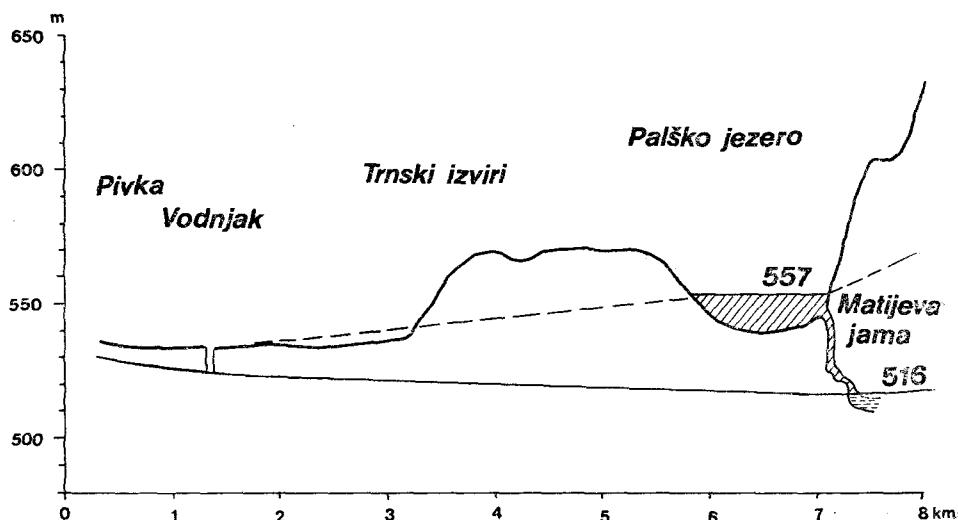
Fig. 9. Low and high water gradients under Javorniki Mts and on Upper Pivka

največji pod Javorniki med Pivško kotlino in Planinskim poljem (slika 9). V obratni smeri pa naraščajo razlike med najnižjimi in najvišjimi vodami. Te so razumljivo največje v povirnem delu, naraščajo pa tudi proti Javornikom z oddaljenostjo od površinske Pivke (slika 10).

Največji strmec je med Malni in Rakovim rokavom Planinske jame, med Planinsko jamo in Kobiljimi grižami znaša okrog 6 ‰, med Kobiljimi grižami in Matijevo jamo pa komaj 1 ‰, s tem se skladajo tudi gladine v vrtinah pri Stari vasi in v Dobju.

Ob visokih vodah uravnavajo višino podzemeljskih voda izviri ob Pivki. To se kaže zlasti v razporeditvi vodnih gladin presihajočih jezer. V bližnjih jezerih ob Pivki, v Parskem, obeh Drskovških in Zagorskih ter v Kalškem jezeru se gladina dvigne le za nekaj metrov nad površinsko Pivko, v bolj oddaljenih pa več. Po razpoložljivih podatkih lahko ločimo pod Javorniki in ob Zgornji Pivki tri predele z različnimi strmci. V spodnjem delu med Planinskim poljem in Kobiljimi grižami so strmci največji, razlike med nizkimi in visokimi gladinami pa najmanjše. Srednji del se odlikuje z najmanjšim strmcem in srednje velikimi razlikami med nizkimi in visokimi gladinami, obsega pa območje med Kobiljimi grižami in Palškim jezerom. V zgornjem delu Pivke od Parskega do Kalškega, oziroma Šembijskega jezera strmec proti povirju nekoliko narašča, skladno z njim pa tudi razlike med nizkimi in visokimi vodami.

V povirnem delu Pivke je treba ločiti še posebne hidrološke razmere, ki so povezane s podzemeljsko kraško bifurkacijo. Ob visokih vodah so namreč ta predel podzemeljsko odteka v povirje Pivke in v izvire Podstenjščka, ki odteka v Notranjsko Reko. Ob nizkih vodah pa se podzemeljske vode iz nekdanjega povirja Pivke v celoti odteka k Notranjski Reki, kot nakazuje gladina



Sl. 10. Nizke in visoke vode med Pivko in Palškim jezerom

Fig. 10. Low and high waters between Pivka and Palško jezero

v zaledju Podstenjška, ki je dosegljiva v Kozji jami, na 530 m. Medtem je nizka gladina kraške vode v presihajočem izviru Pivščice pri Zagorju na koti 543 m in se dvigne v vodnjaku ob visoki vodi za 8 m.

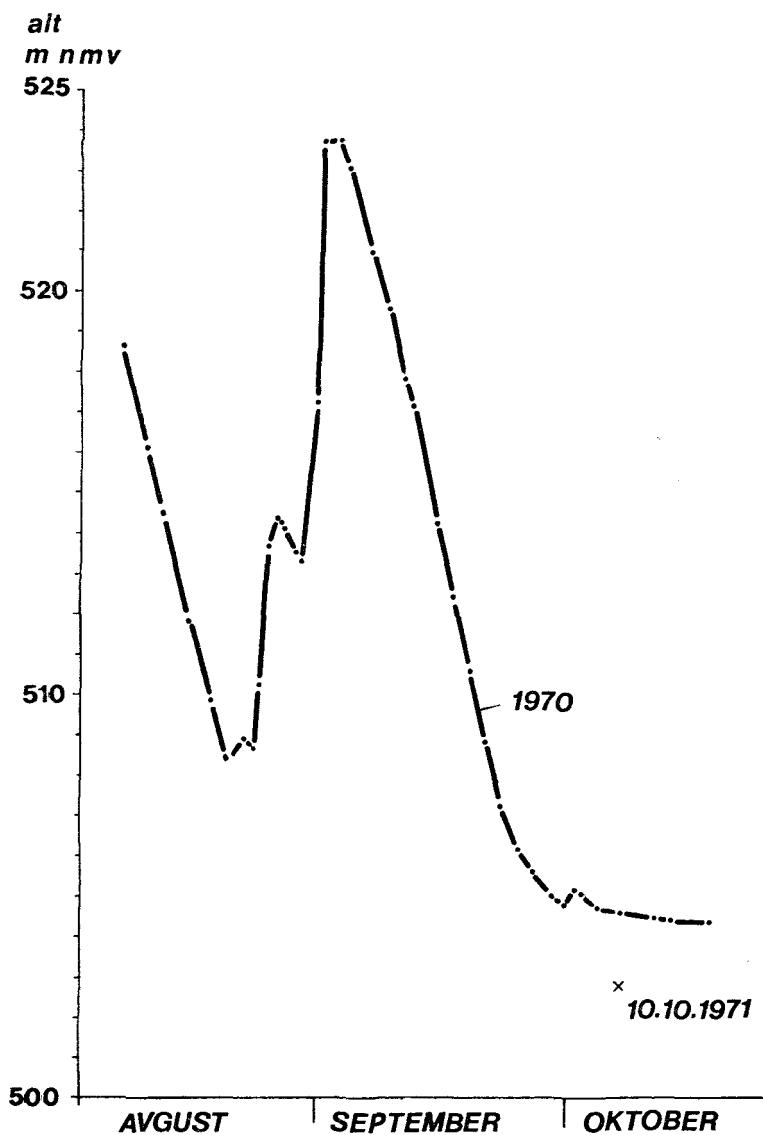
Podatki o vodnih gladinah v izviroh in jezerih ob Pivki

Stara vas, vrtina	513—525 m
Kobilje griže	504—537 m
Žeje, izvir nad vasjo	538 m
Jerodovci	538 m
Krajnkov dol	538 m
Dobje, izvir	529—530, vrtina 503 m
Petelinjsko jezero	532—545 m
Trnski Stržen	514 m
Palško jezero	543—557 m
Matijeva jama	516—557 m
Parsko jezero	538—540 m
Malo Drskovško jezero	539—540 m
Veliko Drskovško jezero	542—545 m
Veliko Zagorsko jezero	546—548 m
Malo Zagorsko jezero	549—550 m
Vodnjak v Zagorju	543—551 m
Ribnik	550—555 m
Jezero za Kalcem	553—558 m
Kalško jezero	554—555 m
Bačko jezero	561—562 m
Kot pri Baču	564 m
Šembijsko jezero	559—560 m
Podstenjšček	510—525 m
Kozja jama	530 m

Orehovški kras v predelu med Prestrankom, Orehkom, Hruševjem, Čermelicami in Selcami je skoraj krog in krog obdan s flišem, le med Prestrankom in Selcami prehaja v dolino Pivke, ki je vrezana v apnence. Stalni so izviri Korentana pri Orehku (R. Gospodarič, F. Habe, P. Habič, 1970), kjer je gladina v višini okrog 530 m in niha le za dober meter. Ob črpalnem poskusu v poletju 1967 se je gladina znižala za 3,8 m pod prelivni rob. Iz zajezenega Orehovškega krasa odteka voda še v dveh občasnih izviroh v Mrzli jami in v izviru pod Poličkom pri Prestranku v višini okrog 525 m. Ker oba izvira presahneti, se očitno gladina vode v tem delu zniža pod strugo Pivke. Pri Žejah smo v vrtini spremljali znižanje gladine za več kot 20 m, od 530 na 509 m (slika 11).

Na vodne razmere v tem delu Orehovškega krasa delno vpliva Slavinšček, ki površinsko doseže Pivko pri Prestranku le ob višjih vodah, sicer pa se izgubi v strugi takoj pod Slavino, ko zapusti flišno podlago.

Zaradi izrednega znižanja vodne gladine v krasu se je 10. februarja 1982 pojavil grez v strugi Stržena, ki je požiral do 50 l/s. V nekaj dneh se je ta po-



Sl. 11 Vodna gladina v vrtini pri Žejah ob nizki vodi v poletju 1970
 Fig. 11. Water table in bore-hole near Žeje during low waters in summer 1970

žiralnik zamašil, nato pa je od 16. 2. do 11. 3. ves Stržen ponikal v strugi. Ob višjih vodah napajajo Stržen kraški izviri ob vznožju Javornikov pri Postojni med Staro vasjo in Rakitnikom. Struga se vije po naplavini, ki delno prekriva zakrasele apnenice, delno pa je v podlagi eocenski fliš. Z njega pritekajo vodice

južno od Postojne in po površinski strugi so v Stržen speljane tudi vse mestne odplake.

Ker je bilo že poprej znano, da se s flišne Kremence pri Postojni vode odteka neposredno proti izvirov na Planinskem polju in v Malne (F. Jenko, 1959 a), smo dne 23. 2. 1982 obarvali Stržen z 10 kg uranina in opazovali izvire v Rakovem Škocjanu, Škratovki, Malnih ter Rakov in Pivški rokav Planinske jame. Toda v 35 dneh se ni nikjer pojavila obarvana voda, čeprav so med tem pretoki v izvirih dvakrat po odjugi in deževju močno narasli.

Vzrok tega neuspešnega sledenja še ni pojasnjen, pa tudi ne smer odtoka podzemljskih voda iz območja pri Rakitniku. Ko so v poletju 1984 regulirali strugo Stržena med Staro vasjo in Rakitnikom, so za nekaj dni zajezili odtekanje postojnskih odplak, tedaj se je tok usmeril proti občasnemu izviru, ki je prevzel funkcijo požiralnika. Toda grez pri Rakitniku se v tem času ni obnovil. Očitno imamo tu opravka z labilnim ravnotežjem med površinskimi in podzemljskimi vodami. Na kraško podlago pod flišem in naplavinami opozarja tudi izjemen pojav človeške ribice v izviru sredi flišne dolinke pri Rakitniku. Ta podatek nam je posredovala domačinka Milka Možina, zaposlena kot sanitarni inšpektor v Postojni. Razlika v gladinah med Staro vasjo (514 m) in Kobiljimi grižami (504 m) nakazuje ob suši obrnjen strmec kot ob visokih vodah.

Podobne nasprotno strmce smo opazili tudi v srednjem in povirnem delu Pivke. Najizrazitejša je razlika med Matijevo jamo, oziroma Palškim jezerom in Pivko, saj je nizka voda v vodnjaku pri Pivki na 525 m, v Matijevi jami pa na 516 m. Ob nizkih vodah je tako gladina nagnjena za 2 ‰ pod Javornike, ob visokih vodah pa nasprotno za 4 ‰ proti Pivki.

Nepojasnjene vodne zveze in obrnjena razporeditev gladin nizkih in visokih voda v krasu pod Javorniki odpirajo nekaj vprašanj, ki jih bo mogoče pojasniti le z nadaljnjimi raziskavami. V Postojnskem krasu so vodne gladine nagnjene proti severozahodu vse do Pivke jame, kjer se nato obrnejo proti izviru na Planinskem polju. Ob Zgornji Pivki so visoke vode usmerjene proti zahodu, nizke pa proti severu k izviru v Malnih, morda pa tudi proti Rakovem Škocjanu ali Cerknici. Ni namreč znano, kako globoko pod Javornike se znižujejo nizke gladine z obrobja Pivke. Nepovezana opazovanja na cerkniški in pivški strani tudi ne dovoljujejo nikakršnih sklepov o medsebojni povezanosti ali odvisnosti voda na obeh straneh Javornikov. Znani sta sicer dve različni predpostavki. I. Gams (1966) je mnenja, da se pod Javorniki oblikuje tok nizkih voda proti Malnom, ki ga napajajo vode s cerkniške in pivške strani. Po hidrogeoloških in tektonskih razmerah pa M. Breznik (1983) sklepa, da sta pod Javorniki dva ločena tokova nizkih voda, eden na pivški, drugi na cerkniški strani. Vmesne višje piezometrične gladine naj bi bile pogojene z manjšo zakraselostjo osrednjega najbolj dvignjenega jedra Javornikov. Toda, če upoštevamo samo razpoložljive podatke z obeh strani, se nam vsiljuje še tretja možnost, da so namreč ob visokih vodah gladine nagnjene od Cerknice proti Pivki, ob nizkih pa obratno, s Pivke proti Cerkniškem polju. Brez novih podatkov in dognanj lahko o razmerah v podzemlju samo ugibamo.

PODZEMNE VODE V MATIČNEM KRASU

V Slavenskem ravniku, Košanski dolini in Senožeškem podolju, Vremščici z Gabrkom in delu Gornjega ali Divaškega Krasa lahko kraško vodo spremljamo ob ponikalnicah pri Senožečah, pri Sajevčah in v Vremški dolini ter v jamah in izvirih v Košanski dolini. Med najpomembnejšimi točkami je prav gotovo bruhalnik Gabranca, ki deluje ob visokih vodah kot močan izvir na koti 414, ob suši pa se vodna gladina umakne za več kot 122 m pod površje. Po vodnih razmerah v Gabranca lahko zatrdno sklepamo, da je gladina nizke kraške vode na območju Slavenskega ravnika, Košanske doline in Vremščice pod 292 m nadmorske višine (P. Habič, R. Gospodarič, J. Kogovšek, 1984).

Na znižanje vodne gladine pod 300 m opozarjajo tudi požiralniki v Vremški dolini, kjer prenika Notranjska Reka v lastni strugi že dobrih 5 km pred Škocjanskimi jamami. Znano je, da ob najnižjem vodnem stanju vsa Reka presahne v novem požiralniku pri Gornjih Vremah. Tam se je poleti 1983 tik ob meji fliša in apnenca nenadoma odprl star zasut požiralnik. Udorno brezno, v katerega je ponikalo okrog 800 l/s, je bilo prehodno do globine 27 m, naprej pa se je voda precejala skozi podorno skalovje. Ko se je pretok Reke povečal, se je brezno napolnilo do roba in voda je spet tekla naprej po strugi proti Škocjanskim jamam. V predelu med Gornjimi Vremami in Vremškim Britofom so mlinarji že večkrat doživeli, da je Reka ob suši povsem presahnila. V strugi so na več mestih nastajali podobni nenadni udori ali grezi, ki so jih mlinarji sproti mašili, da so speljali Reko naprej po strugi do svojih mlinskih koles. Hidrologi so ugotovili, da se med Cerkvenikovim mlinom in Škocjanskimi jamami izgubi v strugi vsaj 700 l/s (F. Bidovec, 1967).

V ponornem sistemu Notranjske Reke, v Škocjanskih jamah in v njihovem naravnem nadaljevanju v Kačni jami, kot tudi v Mejamah ob stranskem pritoku izpod Brkinov, lahko spremljamo podzemeljske vodne razmere v Krasu na stiku z nepropustnim flišnim obrobjem Brkinov. Notranjska Reka izginja v podzemlje pod Škocjanom na koti 330. Skrajna dosegljiva točka v Škocjanskih jamah pa je sifonsko Marchesettijevo in Mrtvo jezero na kraju Hankejevega kanala, kjer je gladina nizke vode na koti 173 po razpoložljivih italijanskih podatkih (E. Bogan, 1938). Po novejših speleogeodetskih meritvah Kačne jame pa je pritočni sifon v Škocjanskem kanalu na koti 180 (I. Kenda, 1984). Iz tega sklepamo, da podatki o Škocjanskih jamah niso zanesljivi in jih je treba preveriti. Po meritvah ljubljanskih jamarjev je Mrtvo jezero v višini nekaj nad 200 m.

Ker so vsi znaki, da se voda iz Škocjanskih jam po sicer še neznanem podzemlju na razdalji 1,5 km pretaka v Kačno jamo (A. Mihavec, 1984), med njima ne more biti večje višinske razlike. Mrtvo jezero v Škocjanskih jamah je potemtakem nekako v višini okrog 190 do 200 m.

Ko Reka presahne pri Gornjih Vremah, se pretok vode v Škocjanskih jamah in v Kačni jami močno zmanjša. Po natančnem pregledu struge smo ugotovili, da se tedaj pretaka skozi Škocjanske in Kačno jamo le tista voda, ki se izeja iz zastajajoče vode v strugi, nekaj pa se je nateče še iz vmesnih kraških izvirov okrog Vremškega Britofa. Notranjska Reka odteka tedaj po še neznanih nižjih kanalih, ki se ognejo tudi najnižjim znanim predelom Kač-

ne jame. Najnižja gladina v sosednji Labodnici pri Trebčah je po podatkih E. Boegana (1938) le 12 m nad morsko gladino, najnižja gladina kraške vode v vrtinah pri Brestovici pa je po meritvah P. Krivica (1982) v višini okrog 2 m, medtem ko se nizka gladina v izviri Timava že uravnava pod vplivom plimovanja. Nekaj višje so vode v kraških izviri od Sardoča preko Moščenic in Laškega jezera do Doberdobskega jezera, kjer je nizka gladina 6 m nad morjem. Že po teh višinskih razmerah lahko domnevamo, da sega proti izvirov Timava kraška voda, ki jo napaja soška podtalnica, od nje so odvisni tudi izviri Močile in Lisert, kar potrjujejo tudi temperaturni in kemični podatki (P. Habič, M. Grauner 1983; F. Gemiti, 1977; 1981).

Med izviri Timava, Brestovico in Vipavo pri Mirnu se gladina kraške vode stopnjema dviga od 0,4—36 m, kar potrjujejo podatki iz vrtin pri Brestovici in pri Mirnu, v breznu pri Komarjih ter v Dolenjci in Drči jami (P. Krivic, 1982, F. Bidovec, 1967).

Med Divačo in Brestovico so jamarji prišli do visoke kraške vode le v Preserski jami pri Komnu na 210 m. V vrtinah v Velikem dolu pri Kazljah in pri Avberju pa so dosegli kraško vodo na okrog 150 m oziroma 93 m (P. Krivic, F. Drobne, 1979). Po teh skromnih podatkih sklepamo, da je gladina vode v Krasu nagnjena od JV proti SZ in hkrati od V proti Z, tako da je najnižja gladina v Krasu ob flišnem obrobju Tržaškega zaliva. Upravičeno pa lahko tudi predpostavljamo, da je gladina nagnjena od zahodnega obrobja Doberdobskega krasa proti izvirov Timava, tako da se v njihovem ožjem zaledju, pa tudi med Doberdobom in Brestovico, prepletajo vplivi prave kraške vode iz območja Notranjske Reke in Krasa na eni strani, z vplivi soške in vipavske podtalnice, ki napaja Kras z druge strani. Kako obsežna je cona mešanja in prepletanja voda z obeh strani v različnih hidroloških razmerah, bi bilo mogoče spoznati le z dolgotrajnimi raziskavami.

S črpanjem kraške vode pri Brestovici in njenim varovanjem se lahko v prihodnosti potrebe po takih raziskavah povečajo. Nihanje gladine kraške vode v okolici Brestovice je že razmeroma podrobno preučeno ob pripravah na izgradnjo zajetja v Brestovici za regionalni kraški vodovod. (P. Krivic, 1982; 1983). V vrtinah pri Klaričih niha gladina od 2 do 7 m nadmorske višine, okrog Brestovice pa od 2 do 16 m. V Preserski jami pri Komnu zalije visoka voda spodnje predele do višine 210 m. Za pretežni del Krasa pa ni na voljo podatkov ne za nizko, ne za visoko vodo.

Vsekakor pa so pomembni podatki o visokih poplavnih vodah v dostopnih vodnih jamah. Ob najvišjih poplavah naraste gladina v Labodnici do 112 m, v Kačni jami do 260 m in v Škocjanskih jamah do 344 m. Žal tudi za te jame nimamo sočasnih meritev in opazovanj, zato ne vemo, kako nihajo gladine v posameznih jamah pri različnih pretokih in v različnih hidroloških razmerah.

Na nihanje gladine kraške vode pod vplivom plimovanja je opozoril P. Krivic (1982). V Krasu pri Brestovici je ugotovil, da se plimovanje odraža v gladini kraške vode, ki je 4 m nad morsko gladino in od obale oddaljena 4 km. Učinke plimovanja smo spremljali tudi v breznu na dvorišču tovarne Delamaris v Izoli, kjer smo leta 1975 poskusno črpali kraško vodo. Dotok polsane kraške vode v brezno, ki je oddaljeno od obale le 50 m, smo oce-

nili na 7 l/s pri 2,5 m znižanju gladine pod morsko. Med črpanjem je morska gladina plimovala za 37 cm, kraška voda v breznu pa za 16 cm in z zakasnitvijo 3 ur, kar nakazuje počasno in omejeno povezavo brezna z morjem.

KRAŠKA VODA V ZALEDJU RIŽANE IN OSAPSKE REKE

V predelu med Divačo, Kozino in Trebčami jamarjem doslej ni še nikjer uspelo priti do kraške vode, pa tudi geologi je v tem predelu še niso dosegli z vrtnami. Naravni dostopi so možni le v nekaterih požiralnikih brkinskih ponikalnic med Kozino, Podgradom in Klano. Ponorne jame so prehodne od nekaj 10 do največ 150 m v globino, toda sklepni sifoni so nedvomno še precej nad stalno zalito cono krasa. V speleološko razmeroma dobro preiskanem Matarskem podolju (Osnovna speleološka karta, list Vrhnika 3,4; 1974) je možno samo v Dimnicah priti do stalnega vodnega toka, ki niha le za dober meter; pritočni sifon je v višini 474 m, odtočni pa na 457 m (Arhiv IZRK, 1982). Ker tudi najgloblja znana brezna v Matarskem podolju ne dosežejo kraške vode, čeprav G. A. Perko (1909) omenja nekaj jam z vodnim tokom, med 445 in 417 m, sklepamo, da je gladina kraške vode strmo in stopnjasto nagnjena proti JZ pod Slavnik, od 470 m v ponornih sifonih pod Brkini, do izvirov Rižane v višini okrog 70 m.

V sestavljeni narivni strukturi Slavnika, Čičarije in Severnoistrskega krasa so možni večji lokalni kraški vodni bazeni z različno gladino. To potrjujejo hidrološke razmere v okolici Movraža, kjer visoke vode poplavljaajo dno Movraške vane za 2—3 m, nekako do višine 173 m, nizke pa se znižajo do prelivnega roba v višini okrog 100 m, v izviriših Sopote pri Krogu (P. Habič in drugi, 1983).

V ožjem kraškem zaledju Rižane niha gladina kraške vode za 2 m, medtem ko se izdatnost izvira poveča od 170 l/s do okrog 100 m³/s. Na pridušeno gladino kraške vode v zaledju Rižane opozarja visokovodni preliv iz Osapske jame na višini okrog 105 m, ob suši pa so viseči sifoni v tej jami v višini okrog 50 do 60 m. V nasprotju z znatnim nihanjem vodne gladine in velikimi razlikami v pretokih v Osapski jami so majhne razlike v pretokih in gladini v izviriših Boljunca, kamor odtekaajo vode iz skupnega kraškega zaledja.

Luskasta narivna zgradba z menjavo flišnih jezov med zakraselimi apnenici nedvomno odločilno vpliva na razpored in nihanje vodne gladine v zaledju Boljunca, Osapske reke in Rižane. Z nadaljnjimi raziskavami bi bilo koristno razvozlati nejasne zveze in medsebojno odvisnost kraških voda na razvodju med Timavom in Rižano. Razmeroma nizke gladine kraških voda pri Trebčah nas navajajo k domnevi, da se lahko del Matarskega krasa prazni v smeri proti NW in to pod prelivno višino Rižane. Po drugi strani pa so presenetljivo enako visoke gladine ob poplavih v Labodnici in Osapski jami. To morebitno medsebojno zvezo bi bilo treba vsekakor preveriti.

VODA V KRASU MED IDRILJCO IN VIPAVO

Ponikalnice ob severnem robu Pivške kotline med Belskim, Predjamo in Šmihelskimi ter Stranskimi ponikvami odvajajo površinsko vodo s fliša na razvodju s Pivko v kraško podzemlje Hrušice. S sledenjem je dokazana zveza

z izviri Vipave (F. H a b e, 1973). Sklepni sifoni v Jami v Grapi, v Predjamski Lokvi ter v Šmihelskih in Stranskih ponikvah vise nad kraško vodo, katere gladina je nagnjena od razvodnega predela v višini okrog 500 m v območju dolomitne Planinske gore proti Nanosu in Vipavi, kjer so izviri v višini okrog 100 m. Visoko flišno obrobje Nanosa na južni, zahodni in severni strani usmerja kraške vode k najnižji vrzeli v flišnem obodu pri Vipavi (P. H a b i č, 1983). Izdatni stalni izviri so razporejeni v razmeroma ozkem pasu pod Nanosom v Vipavi, občasni prelivni izviri pa so razporejeni ob Beli od Vipave proti Vrhpolju. Ob nizkih vodah je gladina v višini okrog 100 m, ob visokih vodah pa se dvigne v stalnih izvirih le za dober meter, izjemoma za dva do tri, medtem ko se občasni izviri proti Vrhpolju pojavijo tudi 20 m više. Očitno se v zaledju Nanosa kraške vode po deževju precej dvignejo, njihovi izviri pa so podobno kot izviri Ljubljaniče pridušeni in zajezeni. Niti v Nanosu, niti v Hrušici pa doslej jamarjem še ni uspelo prodreti skozi globoka brezna do kraške vode. Še največ upanja so imeli v Strmadni, toda tudi v tej jami so bili njihovi napori zaustavljeni v globini 215 m pod površjem ali na višini okrog 845 m (P. H a b i č, 1964). Jamarska prizadevanja bi kazalo usmeriti predvsem v območje predjamskih ponikalnic, kjer je največ upanja, da bi po aktivnih rovih prodri globlje v notranjost tega dela visokega krasa.

Ob vzhodnem in severnem obrobju Hrušice moremo slediti kraško vodo v stalnih izvirih ob zahodnem obrobju Planinskega polja, v estavelah pri Grčarevcu in v breznu pri Grudnu ter v požiralnikih pri Hotedršici. Dolomitno dno Planinskega polja je vsaj delni jez v višini med 445 in 450 m za kraške vode, ki se iz območja Zagore odtekajo proti Ljubljaniči. Pri Grčarevcu se prelivajo na površje le visoke vode iz ožjega dela Hrušice in iz Hotenskega podolja. Z znižanjem gladine na ponorni strani Planinskega polja v predelu med Kalcami in Logatcem izviri pri Grčarevcu presahnejo. Opazovanja v Grudnovem breznu kažejo, da se gladina kraške vode zniža pod 435 m, saj je v tej višini le sifon ujete vode, ob poplavih pa se kraška voda prelije na površje v višini okrog 496 m (P. H a b i č, 1976).

Široka cona idrijskega preloma vsaj delno zajezuje kraško vodo, ki v Grudnovem breznu in v Gradišnici niha za 60 m, med njima pa je na razdalji 5,5 km 55 m višinske razlike ali strmec 10 ‰.

Po povprečnem strmecu nizkih voda v zaledju izvirov Ljubljaniče, Vipave in Idrije domnevamo, da je gladina kraške vode na razvodju v osrednjem najvišjem delu Hrušice in na prehodu proti Trnovskemu gozdu najmanj okrog 500 m visoko. To pomeni, da se površinske in kraške vode izpod tega razvodnega predela lahko usmerjajo na vse tri strani. Podobno velja tudi za razvodno območje med Idrijo in Ljubljaničo v območju Hotenskih ponikalnic, kot je dokazano z barvanjem (SUWT, 1976).

Raztekanje kraških voda v osrednjem delu visokega krasa med Idrijo in Vipavo je potrjeno tudi z barvanjem ponikalnice na Vodica in potoka v Črnem Vrhu. Čeprav se je večji del barvila pojavil v izvirih Podroteje in v Divjem jezeru pri Idriji, se je barva iz obeh požiralnikov pojavila tudi v izvirih Hublja (P. H a b i č, 1984). Verjetno lahko tudi v območju Trnovskega gozda pričakujemo širšo podzemeljsko razvodno cono med zaledjem Hublja in Mrzleka. Najvišjo gladino kraške vode v tej razvodni coni pa lahko le posredno oce-



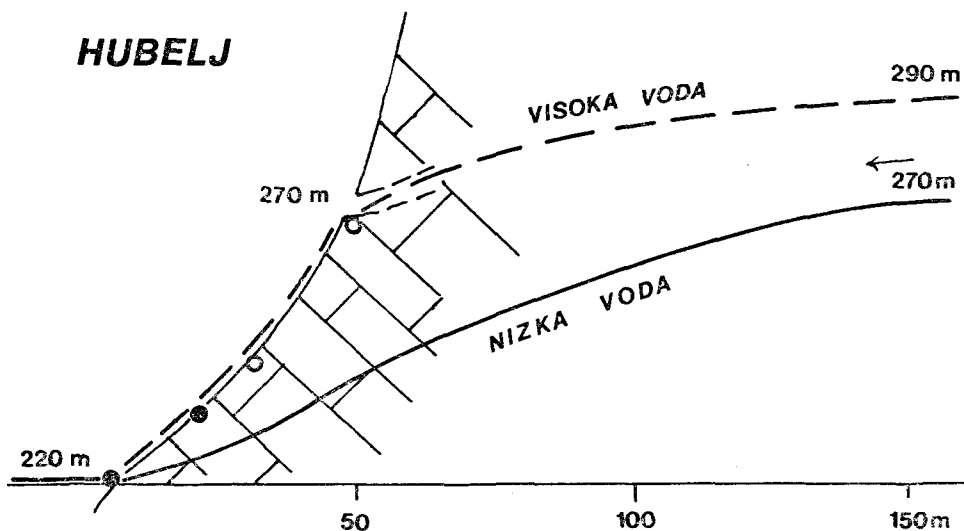
Sl. 12. Okrog 50 m visok slap pada le nekaj dni po večjem dežju iz jame Veliki Hubelj

Fig. 12. About 50 m high waterfall falling only few days after heavy rain from the cave Veliki Hubelj

nimo po legi in strmcih vzaledju Hublja ter površinska voda v porečju Idrijce; ta vsekakor presega višino 300 m.

Gladina vode v Divjem jezeru in v Podroteji niha največ za 2 m, kar je posledica dobre prevodnosti izvirnih kanalov. Tudi v 4 km oddaljenem Habčkem breznu so jamarji ugotovili 21 m razlike med nizkimi in visokimi vodami (F. Habe, F. Hribar, P. Štefančič, 1955). Kakšne pa so razmere globlje v zaledju Podroteje, ni znano.

Precej bolj nihajo vode ob izviri Hublja. Nizke vode silijo iz ozkih špranj v višini okrog 220 m, visoke vode pa se prelivajo iz 50 m višjih, bolj razširjenih in 300 m v notranjost prehodnih votlin (slika 12). V izvorni jami Velikega Hublja smo dobrih 100 m v notranjost lahko ugotovili 48 m višjo gladino vode kot v izviri pri nizkem vodnem stanju. Sledovi visokih voda so v tem delu podzemlja 15–20 m višje od nizkih, kar pomeni, da se razlika med nizkimi in visokimi gladinami ne povečuje v notranjost in je največja tik ob izviri (slika 13). To je verjetno pogojeno s posebnimi geološkimi razmerami ob izviri Hublja, ki so z obeh strani v podlagi omejeni z nepropustnimi flišnimi plastmi. Flišni jez se na obeh straneh ob vznožju Trnovskega gozda strmo dviga in pri Colu sega že nad 600 m, pri Vodica pa celo prek 1000 m. Razmeroma visoko se povzpne tudi na zahodni strani proti Čavnu, kjer je pri Predmeji že v višini okrog 800 m (L. Placer, J. Čar, 1974). Višina flišnega jezusa še ne pomeni, da se tako visoko dvigne tudi gladina kraške vode v zaledju Hublja. Toda razvodje proti Lijaku in Mrzleku mora biti znatno nad tem izviro, ker bi sicer del voda iz njegovega zaledja odtekal proti zahodu, ob nizkih vodah bi se tedaj Hubelj še bolj posušil. Razmerje med nizkimi in visokimi vodami je zdaj v mejah sorodnih izvirov ob vznožju visokega krasa (P. Habič, R. Gospodarič, 1972).



Sl. 13. Nizka in visoka voda v izviri Hublja nad Ajdovščino
Fig. 13. Low and high water in Hubelj spring above Ajdovščina

Kraške vode iz Banjske planote in zahodnega predela Trnovskega gozda odtekajo predvsem v izvire Mrzleka ob Soči nad Solkanom. Razporejeni so v kraški dolini Soče med Skalnico in Sabotinom na razdalji okrog 500 m, kjer priteka voda iz 13 špranj na obeh straneh Soče, najmočnejša pa sta izvira na desnem bregu, čeprav je poglavitno zaledje na levi strani (P. Habič, 1982). Vodna gladina je v izvirih pred zajezitvijo Soče za HE Solkan nihala skladno s Sočo in z dotoki iz kraškega zaledja. Soča ima namreč po naravi nekoliko drugačen vodni režim, ker dobiva pretežni del vode iz južnega obrobja Julijskih Alp, poleg tega pa na njeno gladino vplivata dve vzvodni pretočni elektrarni, Dobljar in Plave. Ob nizkih vodah Soče in Mrzleka je bila gladina kraške vode odvisna od delovanja elektrarn, ob visokih vodah pa se je kraška voda različno dvignila nad gladino Soče, razlika je znašala tudi do 7 m. Tako je v zajetju za goriški vodovod zabeležena najnižja gladina na 57 m, najvišja pa na 72 m.

Z barvanjem je bilo dokazano raztekanje Čepovanskega potoka v zaledju Mrzleka proti severu v Hotešk ob Idrijci in proti zahodu v Avšček (P. Habič, 1982). Takšne hidrološke zveze so bile ugotovljene ob izrednih razmerah, ko so po močnem deževju površinske in podzemeljske vode nenadoma zelo narastle. Nizek položaj Mrzleka pomeni najnižjo vrzel v vsem obrobju visokega krasa med Idrijco, Sočo in Vipavo, zato je razumljivo, da so tja usmerjene kraške vode iz obsežnega zaledja, nenavadno pa je, da se iz istega zaledja odtekajo vode hkrati v prav nasprotni smeri.

Poseben položaj v zaledju Mrzleka ima občasen bruhalnik Lijak ob neposrednem vznožju Trnovskega gozda, kjer se visoke vode prelivajo na površje v višini okrog 105 m, kmalu po dežju pa izvir povsem presahne. Po hidrogeoloških razmerah sklepamo, da nizke vode iz njegovega zaledja odtekajo proti Mrzleku, ko se gladina kraške vode zniža pod prelivni rob. Koliko pa naraste gladina ob visokih vodah še globlje v notranjost Trnovskega gozda, ni znano, prav tako pa tudi še ne vemo, koliko se zniža gladina vode pod prelivni rob Lijaka. Po visokovodnem strmcu med Mrzlekom in Lijakom sklepamo, da so kraške vode pod Trnovskim gozdom in Čepovanom v višinah vsaj med 300 in 400 m, kar seveda omogoča odtok v izvire Avščka v višini 195 m in Hoteška v višini 220 m.

RAZPRAVA IN SKLEPI

Znanje o dejanski razporeditvi vode v krasu se torej postopno izpopolnjuje. Znano je, da se voda pretaka na različne načine, kar je odvisno od količine in hitrosti prenikanja padavin s površja v podzemlje ter od pretoka voda skozi kras iz sosednjih kraških ali nekraških predelov. Poleg količine in izvora vode vpliva na način pretakanja zlasti geološka zgradba ter sekundarna kraška prevotljenost in prepustnost kamnin. Ti dve lastnosti sta odvisni od vrste kamnin, njihovega položaja ter stopnje zakraselosti. Hidrogeološke značilnosti se v krasu menjavajo in oblikujejo različne enote. Tudi v povodju Ljubljani je več hidrogeoloških enot s svojstvenimi hidrološkimi razmerami, v katerih je gladina kraške vode v različnih višinah in se različno spreminja.

Podatki o nihanju vodne gladine v kraškem podzemlju so zanimivi, saj odražajo pomembne hidravlične lastnosti krasa. Gladina kraške vode v sploš-

nem označuje cono največjega pretakanja in izvotljevanja. Znanje o razporeditvi vodne gladine pomaga pri ugotavljanju glavne smeri odtoka, nakazuje hidravlični gradient, napajalno in odtočno območje. Iz podatkov o nihanju vodne gladine sklepamo na splošno stopnjo prepustnosti. Sezonsko nihanje gladine je pogojeno s prepustnostjo krasa in je bolj posredno odvisno od padavin, periodično nihanje pa je neposredno povezano s padavinami. Znani so tudi mešani sistemi, kjer na nihanje vplivajo padavine in dotok vode iz širšega zaledja. Nihanje je tudi lokalno različno omejeno, znana je zelo različna intenzivnost nihanja po nalivih. Za ugotavljanje vseh teh značilnosti krasa po posameznih območjih so potrebne obsežne meritve, opazovanja in stalna beleženja gladine. Za izrabo kraških voda in tudi za razumevanje medsebojnih zvez ter odtočnih smeri se nam zdi pomembno zlasti poznavanje razporeditve vodne gladine v krasu ob suši.

Po razpoložljivih podatkih smo pregledali razporeditev in nihanje vodne gladine v krasu med Ljubljanskim barjem, Idrijco, Vipavo in Notranjsko Reko, Timavom in Rižano. Največ podatkov izhaja iz kraških jam, saj globokih vrtin v zaledju kraških izvirov Ljubljanice, Idrijce in Vipave ni. Prikazana podoba je nedvomno zelo splošna in marsikje pomanjkljiva, oprta delno na domnevne najnižje vodne gladine (slika 14).

Ob koncu praznjenja kraškega podzemlja, ki navadno traja od pomladi še v pozno poletje ter se zaključi z nastopom jesenskega deževja, je gladina kraške vode ob izviroh Ljubljanice le malo pod 300 m n. m. v. Najnižja je ob podzemeljskih tokovih, ki napajajo izvire Bistre in Ljubljanice, proti dolomitnemu obrobju pa se na obe strani dviga. To potrjuje tudi višina gladine v izviroh Hribskega potoka, ki je više od gladine v Močilniku. Z barvanjem je dokazano tudi zatekanje vode iz območja Logaških Rovt proti Ljubljanici in Lubiji. Gladina kraške vode se proti Planinskemu polju povzpne za okrog 100 m in v isti višini je tudi v delu Hrušice onkraj idrijskega preloma, kar sklepamo po vodnih razmerah v Grudnovem breznu, Gradišnici in Najdeni jami ter Logarčku (P. H a b i č, 1976). Ujete vode v teh jamah ostanejo nekaj nad gladino prave kraške vode. Dolomit ob idrijskem prelomu med Planinskim poljem in Cerkniskim jezerom vpliva na stopnjasto razporeditev kraške vode. Pod Logaškim ravnikom se gladina verjetno bolj enakomerno dviga in ostane precej pod dolomitnim dnom Cerkniskega polja, ki sicer uravnava gladino vode v Javornikih.

Posebna hidrogeološka enota z višjo gladino kraške vode se razteza vzhodno od Cerkniskega jezera, od Slivnice proti Blokam in Racni gori. Tam se gladina kraške vode ne zniža pod 560 m, kar nakazujejo izviri Žerovnice, Štebršičice ter vode v Mrzli in Križni jami. Hidroizohipsa 550 m sega verjetno pod Loško polje, saj je v Golobini pri Danah nizka voda na koti 542 m in se onkraj idrijske prelomne cone nadaljuje v Snežniški masiv.

Gladina kraške vode v Javornikih je ob izviroh Unice in Malenščice nekaj nad 450 m n. m. v. Glede na vodne razmere v Postojnski jami, Planinski jami, v Rakovem Škocjanu in v Karlovcih ter Svinjski jami sklepamo, da pod Javorniki prevladujeta dve ali celo tri odvodne smeri. Gladina kraške vode je verjetno napeta v osrednjem delu Javornikov in se znižuje na obe strani, proti Pivki in proti Cerkniskemu polju. Ob teh robovih se gladina znižuje pod

Javornike, ni pa še pojasnjeno, ali napajata Malne dva tokova, s postojnske in cerkniške strani, ali enotni tok pod Javorniki. Možno je tudi prelivanje ob visokih vodah proti Pivki in ob nizkih proti Cerknici.

Poseben odtočni sistem kraške vode predstavljata Postojnska jama in Pivški rokav Planinske jame, kjer se oblikuje ločen tok, ki po sedanjem poznavanju razmer ni neposredno povezan z odtokom javorniških voda v Malne. Podatki o gladini vode v Kobiljih grižah, pri Stari vasi, pri Žejah in v Matijevi jami na Palškem jezeru kažejo, da se gladina kraške vode ob Pivki zniža za več kot 20 m pod prelivni rob in dolino Zgornje Pivke, tako da šele pri Zagorju ostaja na koti okrog 550 m. Med Zagorjem in Knežakom je podzemno razvodje, kjer se del voda usmerja proti Podstenjščku, del pa proti Bistrici, kamor se gladina kraške vode zniža za dobrih 100 m. Domnevamo, da se zadržuje vodna gladina v osrednjem hrbtu Javornikov in v Snežniku v višini nad 650 m. Žal pa ta predel speleološko še ni toliko raziskan, da bi prišli v njem do kraške vode.

Zanimiva je tudi razporeditev kraške vode v sosednjih povodjih. Na razvodju z Notranjsko Reko in Vipavo je posebna hidrogeološka enota Slavenškega krasa s Košansko dolino in Vremščico. Voda se pri Neverkah zniža pod prelivni rob Sušice za več kot 100 m in je ob suši v jami Gabranci, iz katere izvira Sušica, pod 292 m n. m. v. V Škocjanskih jamah in v Kačni jami pa se gladina zniža pod 150 ali celo 100 m n. m. v.

V Labodnici pri Trebčah je najnižja gladina 12 m nad morjem. V zaledju izvirov Timava, ki so že pod vplivom plimovanja, se pri Brestovici ne zniža pod 2 m, dvigne pa se pri Klaričih do 7 m, pri Brestovici pa do 16 m. Ker je nizka gladina v Doberdobskem jezeru višja kot pri Brestovici, domnevamo, da jezero dobiva skozi Kras soško podtalnico. S tem se skladajo tudi kemične in temperaturne značilnosti izvirov med Moščenicami in Doberdobskim jezerom. H kraški podzemeljski vodi v tem predelu nekaj prispeva tudi Vipava, ki zateka v kras med Mirnom in Sovodnjami.

V zaledju Rižane in Osapske Reke so vodne razmere še razmeroma malo znane. V izviru Rižane bolj nihajo pretoki kot gladina, v Osapski jami pa niha gladina za več kot 50 m, ko izvir na višini okrog 100 m presahne, majhno pa je nihanje v Boljuncu. V Matarskem krasu so podzemeljske vode dosegljive v ujetih sifonih brkinskih ponikalnic, v različnih višinah med 380 in 500 m. Stalen tok je dosegljiv le v Dimnicah na 470–450 m, gladina kraške vode pa se verjetno stopnjasto znižuje pod Slavnikom proti Rižani do višine okrog 70 m. Razvodje med Timavom in Rižano v Kozinskem krasu še ni pojasnjeno, možno pa je delno prelivanje brkinskih in slavniških voda proti Labodnici in Timavu.

O razporeditvi kraške vode v zaledju Vipave pod Nanosom in Hrušico ni na voljo koristnih podatkov. Verjetno se gladina kraške vode postopoma vzpenja od izvirov Vipave, kjer je v višini okrog 100 m, do 400 m ob ponornem robu pri Predjami. Po vodnih razmerah v Predjami ter v Jami v Grapi sodeč se proti Belskem kraška voda še bolj dvigne. Ponorna jama Lokve ima sifon v višini 427 m, vendar je tam voda verjetno ujeta. V Jami v Grapi se ponikalnica zniža od 506 m pri vhodu, na 492 m v odtočnem sifonu. V Severjevi dvo-

rani v Predjami pa je stalni potoček v višini 456 m (F. H a b e, 1970; 1976). Gladina kraške vode se strmeje vzpenja proti dolomitu Zagore, kjer je nezna-no razvodje med vodami Vipave in Ljubljani vsaj nad 550 m.

Podzemno razvodje v Hrušici ni jasno opredeljeno. Pravo razvodno vlogo ima verjetno flišna cona, ki se od Cola mimo Podkraja in Vodice vleče proti Lomem (L. P l a c e r, J. Č a r, 1974). Tam je fliš propusten in vode ponikajo v zakrasele apnenice. Gladina kraške vode je nekoliko višja v dolomitu četrtega pokrova, kjer so nad Črnim Vrhom manjši prelivni studenci. Kraška voda v območju Črnovrške planote visi proti Divjem jezeru in Podroteji, kjer jo zadržuje dolina Idrijce v višini nekaj nad 300 m, pa tudi proti Hublji, kot potrjujejo sledenja (P. H a b i č, 1984). Gladina kraške vode ostaja pod dolino Zale, ki izgublja vodo v lastni strugi tam, kjer je zarezana v kredne apnenice. Z dolomitnega krasa okrog Godoviča in Hotedršice ponikujejo vsi potoki, ko zadenejo na kredne apnenice, ki leže pod triasnimi dolomiti in skrilavci. V apnencih pod dolomitnim pokrovom je razvodje med Idrijco in Ljubljano, kot so pokazala barvanja (UWT, 1976). V predelu med Hotedršico, Rovtami in Logatcem je svojstveno kraško območje, kjer se del voda površinsko odteka do glavnih ponorov, del voda pa neposredno pronica v zakraselo podlago. Gladina kraške vode je v tem predelu ponekod v dolomitu, drugod v apnencih, zato je verjetno še bolj razčlenjena kot v sosednjih pretežno apnenčastih kamninah. Višina gladine ni znana, domnevamo pa, da je nekaj višja kot pod Logaško planoto.

V krasu med Idrijco in Vipavo, to je v zaledju izvirov Hublja, Lijaka in Mrzleka podzemeljska voda ni dosegljiva. Poleg padavin jo uravnavajo izviri, ki so razporejeni različno visoko ob stiku apnencev in fliša. Hubelj in Mrzlek imata verjetno ločeno zaledje, Lijak pa deluje le po močnejšem deževju, ko se gladina v zaledju Mrzleka dvigne do prelivnega roba v višini okrog 100 m. Po sledenju Čepovanskega potoka, ko se je barva pojavila v izviri Hoteška ob Idrijci, ob Avščku na zahodu in v Mrzleku na jugu, sklepamo, da je nizka gladina kraške vode v osrčju Trnovskega gozda in Banjske planote nekako v višini med 200 in 300 m, da se lahko razteka na tri strani.

Na razpored in nihanje kraške vode vplivajo splošne hidrološke značilnosti, ki jih narekuje obseg in položaj zaledja ter razporeditev izvirov na obrobju krasa. Pomembne pa so tudi notranje lokalne, delne ali popolne zaježitve, ki jih predstavljajo litološke in zgradbene enote, še posebno, če se tektonsko premikajo. V manjši meri, vendar ne brez občasno pomembnih posledic, vplivajo na razporeditev, nihanje in zastajanje kraških voda tudi sekundarni kraški pojavi, kot so udori in podori v podzemeljskih rovih. Pomembno vlogo imajo rečne naplavine, ki jih površinske vode prinašajo z nepropustnega sosedstva in jih odlagajo v kraškem podzemlju, s čimer zmanjšujejo prevočnost in prepustnost krasa. Umetno zadrževanje in uravnavanje režima kraških voda je v Notranjskem in Primorskem krasu Slovenije razmeroma skromno. Nekdaj je bilo pomembno lokalno zajezevanje kraških izvirov od 1 do 2 m višine za izrabo vodne energije. Novejši pa so poskusi uravnavanja kraškega vodnega režima z zajezevanjem ponorov na Cerkniskem polju. S človekovimi posegi ob izviri ali ponorih pa ni mogoče bistveno vplivati na celotne vodne razmere v krasu (P. H a b i č, 1974).

Speleološke raziskave med Postojno, Planino in Cerknico (I. Gams, 1965; R. Gospodarič, 1976) pa tudi na Cerkniškem jezeru (R. Gospodarič, P. Habič, 1979) in na Planinskem polju (R. Gospodarič, 1982; F. Šušteršič, 1982), v Škocjanskih jamah (R. Gospodarič, 1984) in drugod po Notranjskem in Primorskem krasu so prispevale dragocene podatke o razporeditvi vodne gladine, hkrati pa so osvetlile tudi razvoj jam in speleološka dogajanja v mlajšem kvartarju. V geološki preteklosti so se vodne razmere v kraškem podzemlju večkrat spremenile. Občasno so bile poplavljene sedanje suhe jame, v katerih so odložene debele plasti poplavnih ilovic ali celo prod. Obratno pa so bili tudi nekateri današnji vodni rovi vsaj občasno suhi in so se v njih odlagale sige. Ponekod sedanje poplavne vode dosežejo starejše prostornejše rove. V njih vode zastajajo in odlagajo plavje, pričakovali pa bi, da po njih hitreje odtekajo. Starejši rovi tako ne prispevajo k večji prepustnosti krasa, omogočajo le večjo občasno podzemeljsko akumulacijo. Omejena prepustnost ali maksimiranost podzemeljskega pretakanja (I. Gams, 1970) se ne sklada z večjo izvotljenostjo krasa v višjih conah. Propustnost starejših prostornejših rovov je delno omejena s podori, kot se lahko prepričamo ob podzemeljski Pivki, Raku in Notranjski Reki. Poglavitni vzrok sprememb v prepustnosti kraškega podzemlja pa je verjetno v mladi diferencirani tektonski dinamiki strukturnih enot, kar se odraža tudi v reliefu (P. Habič, 1982 a; 1984 a). Neotektonika ustvarja v kraškem podzemlju vedno nove hidrogeološke razmere, ki se jim podzemeljske vode različno prilagajajo. V grezajočih se blokkih si vode utirajo pota nad starejšimi rovi, ki so ponekod tudi zasuti z naplavinami. V dvigajočih se kraških enotah pa vode iščejo nove razpoke in špranje ali pa poglobljajo svoja stara korita. Neskladni večji strmci na izvirni strani kraških in drugih tektonskih kotlin ter bolj izravnani strmci na ponorni strani se s tem skladajo. Kjer podzemeljske vodne poti še niso prilagojene sedanjim hidrološkim razmeram, se pojavljajo večja nihanja vodnih gladin, bodisi ob izvirih, ali ponorih, pa tudi lokalno v vmesnih predelih. Nerazvite podzemeljske vodne poti so tudi v predelih, kjer je zaradi intenzivnejše erozije nepropustnega kraškega obrobja preusmerjen odtok podzemeljskih voda v drugo porečje. Takšne so razmere zlasti na črnomoorskoadrijskem razvodju.

V krasu s stopnjasto razporejeno vodno gladino, kar je posledica omejene kraške in razpoklinske prepustnosti, so zmanjšane možnosti za učinkovit zajem statičnih pa tudi dinamičnih vodnih rezerv s črpalnimi vodnjaki. Dinamične vodne rezerve pa niso razporejene samo v coni nihanja vodne gladine, ampak tudi v nezalitem krasu nad stalno gladino, kjer se po razpokah in špranjah še dolgo po dežju preceja s površja deževnica, ki stalno hrani kraško vodo.

LITERATURA

- Avdagić, I., N. Preka, N. Preka-Lipold, 1976; Sodium chloride Tracing of the Pivka River Underground Flow. Papers 3rd SUWT, 9—16, Ljubljana.
- Bidovec, F., 1967: The Hydrosystem of Karstic springs in the Timavo basin. Hydrology of fractured rocks. Vol. 1, 263—274, AIHS -Unesco, Louvain.
- Boegan, E., 1938: Il Timavo — Studio sull'idrografia Carsica subaerea e sotterranea. 1—125, Trieste.
- Breznik, M., 1962: Akumulacija na Cerkniskem in Planinskem polju. Geologija, 7, 119—149, Ljubljana.
- Breznik, M., 1983: Večnamenska akumulacija Cerkniskega jezera. Gradbeni vestnik 32/1, Ljubljana.
- Cvijić, J., 1918: Hydrographie souterraine et evolution morphologique du Karst. Recueil des Travaux de l'Institut de Geographie Alpine. T. VI, fasc. 4, Grenoble.
- Gams, I., 1965: H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniskim poljem. Geogr. vestnik XXXVII (1965) 61—101, Ljubljana.
- Gams, I., 1965a: Aperçu sur l'hydrologie du karst Slovène et sur ses communications souterraines. Naše jame, 7, 51—60, Ljubljana.
- Gams, I., 1966: K hidrologiji ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniskim poljem. Acta carsologica, 4, 5—50, Ljubljana.
- Gams, I., 1970: Maksimiranost kraških podzemeljskih pretokov na primeru ozemlja med Cerkniskim in Planinskim poljem. Acta carsologica, 5, 171—187, Ljubljana.
- Gospodarič, R., P. Habač, 1966: Črni potok in Lekinka v sistemu podzemeljskega odtoka iz Pivške kotline. Naše jame VIII, (1968), 12—32, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1968: Nekaj novih speleoloških raziskav v porečju Ljubljanice leta 1966. Naše jame 9 (1967), 37—44, Ljubljana.
- Gospodarič, R., F. Habe, P. Habič, 1970: Orehovski kras in izvir Korentana. Acta carsologica 5, 95—108, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju. Acta carsologica 7, 5—139, Ljubljana.
- Gospodarič, R., P. Habič et al., 1976: Underground Water Tracing Investigations in Slovenia 1972—1975. Institute Karst Research, p. 312, Ljubljana.
- Gospodarič, R., Habič, P., 1979: Kraški pojavi Cerkniskega polja. Acta carsologica 8 (1978), 7—162, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1982: Morfološki in geološki položaj kraških votlin v ponornem obrobju Planinskega polja. Acta carsologica 10 (1981), 157—171, Ljubljana.
- Gemiti, F., 1981: Nuove esplorazioni e indagini idrochimiche alle risorgive del Timavo. Att. del 5° Convegno Regionale di Speleologia del Friuli-Venezia Giulia, 161—176, Trieste.
- Gézé, B., 1965: Le conditions hydrogeologiques des roches calcaires. Chronique d'Hydrogeologie, 7, 9—39.
- Géze, B., 1958: Sur quelques caractères fondamentaux des circulations karstiques. Ann. Spéléol., 13, 1—4, 5—22, Moulis.
- Grund, A., 1903: Die Karsthydrographie. Studien aus Westbosnien. Geogr. Abh., herausgegeben N.A. Penck, VII, 3, Leipzig, Berlin.
- Habe, F., 1937: Toplinski odnošaji na izviri Ljubljanice. Geografski vestnik, 12/13, 53—61, Ljubljana.
- Habe, F., F. Hribar, P. Štefančič, 1955: Habečkov brezen. Acta carsologica 1, 25—39, Ljubljana.
- Habe, F., 1963: Hidrološki problemi severnega roba Pivške kotline. Treći jug. spel. kongres, 77—84, Sarajevo.
- Habe, F., 1970: Predjamski podzemeljski svet. Acta carsologica V, 5—94, Ljubljana.
- Habe, F., 1976: Morfološki, hidrogrfski in speleološki razvoj v studenskem flišnem zatoku. Acta carsologica 7, 141—213, Ljubljana.
- Habič, P., 1964: O podzemeljskih ledenikih na Nanosu. Naše jame 5 (1963), 19—29, Ljubljana.
- Habič, P., 1969: Javorniški podzemeljski tok in oskrba Postojne z vodo. Naše jame 10 (1968), 47—59, Ljubljana.

- Habič, P., R. Gospodarič, 1972: Die hydrologische Problematik und die Erkundung der Zusammenhänge Unterirdischer Wässer in Karst der Nordwest-Dinariden. Geol Jb. C 2, 213—226, Hannover.
- Habič, P., 1974: Tesnenje požiralnikov in presihanje Cerkniškega jezera. Acta carsologica 6, 35—56, Ljubljana.
- Habič, P., 1975: Pivka in njena kraška jezera. Ljudje in kraji ob Pivki, 41—50, Postojna.
- Habič, P., 1976: Speleohydrological Investigations. Underground Water Tracing, 56—67, Ljubljana.
- Habič, P., 1976 a: Hidrogeološke značilnosti povodja Bele pri Vrhniki in problemi izrabe kraški voda za oskrbo. Acta carsologica, 7, 215—256, Ljubljana.
- Habič, P., 1976 b: Geomorphologic and Hydrographic Characteristics, Investigation in Ljubljana river basin 1972—1975. Underground Water Tracing, 12—27, Ljubljana.
- Habič, P., I. Kenda, 1981: Nekaj rezultatov speleološkega kartiranja Slovenije (Some results of speleological mapping in Slovenia). Osmi jugosl. spel. kongres, 45—49, Beograd.
- Habič, P., 1982: Kraški izvir Mrzlek, njegovo zaledje in varovalno območje. Acta carsologica, 10 (1981), 45—73, Ljubljana.
- Habič, P., 1982 a: Kraški relief in tektonika. Acta carsologica 10 (1981), 23—44, Ljubljana.
- Habič, P., 1983: Kraški izviri Vipave in njihovo zaledje. Acta carsologica XI (1982), 41—57, Ljubljana.
- Habič, P., M. Grauner, 1983: Hidrološki pregled Doberdobskega jezera. Tabor Doberdob 82", 62—64, Ljubljana.
- Habič, P., R. Gospodarič, A. Mihevc, F. Šušteršič, 1983: Moravska in Smokavska vala ter Jama pod Krogom. Acta carsologica, XI (1982), 77—97, Ljubljana.
- Habič, P., (1983) v tisku: Nenadni udori in hidrografska funkcija podorov v krasu. Simpozij »Čovjek i krš 83'«, Na. krš, Mostar.
- Habič, P., 1984: Strukturne enote visokega krasa med Vipavo, Idrijo in Ljubljano in njihove hidrografske značilnosti. Raziskave vodnih virov na Idrijskem, RCP Idrija, TOZD Atelje za projektiranje, Rokopis, Arhiv IZRK, Postojna, str. 26.
- Habič, P., 1984 a: Reliefne enote in strukturnice matičnega Krasa. Acta carsologica, 12 (1983), 5—26, Ljubljana.
- Habič, P., R. Gospodarič, J. Kogovšek, 1984: Kraške in hidrogeološke značilnosti Košanske doline. Acta carsologica XII (1983), 67—89, Ljubljana.
- Jenko, F., 1959: Hidrogeologija in vodno gospodarstvo krasa. 1—237, DZS, Ljubljana.
- Jenko, F., 1959 a: Poročilo o novejših raziskavah podzemeljskih voda na Slovenskem krasu. Acta carsologica 2, SAZU, Ljubljana.
- Katzer, F., 1909: Karst und Karsthydrographie. Zur Kunde der Balkanhalbinsel, H.8, str. 93, Sarajevo.
- Kenda, I., 1984: Višinska izmera Kačne jame. Deveti jugoslavenski speleološki kongres, Zbornik predavanj, 411—416, Zagreb.
- Kogovšek, J., P. Habič, 1981: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. Acta carsologica IX, (1980), 128—148, Ljubljana.
- Krivic, P., A. Praprotnik, 1973: Jamsko potapljanje v Sloveniji. Naše jame, 14 (1972), 3—13, Ljubljana.
- Krivic, P., A. Praprotnik, 1975: Nove raziskave sifonov v porečju Ljubljane. Naše jame 17 (1974), 123—135, Ljubljana.
- Krivic, P., F. Drobne, 1979: Podzemna voda v Tržaško-Komenskem krasu. III. faza, letno poročilo 1978/79. Arhiv Geol. zav. Ljubljana, Tipkopis, Ljubljana.
- Krivic, P., 1982: Variations naturelles de niveau piézométrique d'un aquifère karstique. Naravna nihanja gladine podtalnice kraškega vodnosnika. Geologija 25/1, 129—150, Ljubljana.

- Krivic, P., 1982b: Transmission des ondes des marées à travers l'aquifère côtier de Kras. Razširjanje valov plimovanja skozi obalni vodonosnik Krasa. *Geologija*, 25/2, 309—325, Ljubljana.
- Krivic, P., 1983: Interpretation des essais par pompages réalisés dans un aquifère karstique. Obdelava črpalnih poskusov v kraškem vodonosniku. *Geologija*, 26, 149—186, Ljubljana. Slov. povz. 184—185, Študija hidrodinamike kraškega vodonosnika.
- Lehmann, O., 1932: Die Hydrographie des Karstes. *Enzyklopädie der Erdkunde*, str. 1—212, Leipzig, Wien.
- Mangin, A., 1975: Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Ann. Spéléol.* 29, 30, Moulis.
- Michler, I., 1955: Rakov rokav Planinske jame. *Acta carsologica*, I, 73—90, SAZU, Ljubljana.
- Michler, I., F. Hribar, 1959: Prispevek k poznavanju podzemeljske Pivke. *Acta carsologica SAZU*, 2, 157—159, Ljubljana.
- Mihavec, A., 1984: Kačna jama. Deveti jugoslavenski speleološki kongres, Zbornik predavanj, 417—422, Zagreb.
- Novak, D., 1970: O barvanju v Križni jami. *Geogr. vestn.* 31, (1969), 75—88, Ljubljana.
- Perko, A. G., 1909: Die Tropfstein und Wasserhöhle Dimnice (Rauchgrotte) bei Markovsina in Istrien (Österreich). *Mitt. geogr. Gesell. in Wien*, 52, Wien.
- Placer, L., J. Čar, 1974: Problem podzemeljske razvodnice Trnovskega gozda, Križne gore in Črnovrške planote. *Acta carsologica*, VI (1974), 79—93, Ljubljana.
- Ravnik, D., 1975: Električno sondiranje vzdolž trase avtomobilske ceste prek Ljubljanskega barja. *Geologija*, 18, 335—338, Ljubljana.
- Šušteršič, F., 1982: Morfologija in hidrografija Najdene jame. *Acta carsologica* 10, (1981), 127—155, Ljubljana.

WATER TABLE IN SLOVENE KARST OF NOTRANJSKO AND PRIMORSKO**Summary**

According to available speleological data distribution and oscillations of water table in karst among Ljubljansko barje, Idrija, Vipava, Notranjska Reka, Timavo and Rižana were examined. The majority of data derived from karst caves as there are no bore holes in the background of karst springs of Ljubljana, Idrija and Vipava. Without doubt the presented picture is very general and many places insufficient, partly based on the supposed lowest water tables (Fig. 14).

At the end of the karst underground emptying, lasting usually from the spring to the late summer and finishing with autumn precipitations, the karst water table of Ljubljana springs lies little under 300 m above the sea level. The lowest point is along the underground streams feeding Bistra and Ljubljana springs and is lifted towards dolomite border on the both sides. This is ascertained by the water level in Hribski potok spring, lying higher than the table in Močilnik. By the water tracing the water streams from the region of Logaške Rovte towards Ljubljana and Lubija were proved, but not the opposite. Towards Planina polje the karst water table increases for about 100 m, remaining in the same altitude also in the part of Hrušica on the other side of Idrija fault what has been inferred by the water conditions in Grudново brezno, Gradišnica, Najdena jama and Logarček (P. Habič, 1976). In these caves the caught waters remain a bit above the table of the real karst water. The dolomite along the Idrija fault between Planina polje and Cerknica lake controls the gradual distribution of karst water. Presumably under Logaški ravniki the level is lifted evenly and remains a under the dolomite bottom of Cerknica polje which otherwise controls the water table in Javorniki.

A special hydrogeological unit with higher karst water table lies east from Cerknica lake, from Slivnica towards Bloke and Racna gora. There the karst water table does not lower under 560 m, shown by the springs of Zerovnica, Stebršiča and by water in Mrzla and Križna jama. The hydro-contour line 550 m extends under Loško polje presumably as in Golobina near Dane the low water is on 542 m, continuing on the other side of Idrija fault zone into Snežnik massif.

The karst water table in Javorniki near the springs of Unica and Malenščica is a bit above 450 m a.s.l. Regarding the water conditions in Postojnska jama, Planinska jama, Rakov Škocjan and in Karlovica as well in Svinjska jama we infer that under Javorniki there are two or even three outflow directions. The karst water table is possibly tightened up in the central part of Javorniki and lowered on both sides towards Pivka and towards Cerknica polje. At these borders the level lowers under Javorniki, but it is not yet clear whether the springs in Malni are fed by two streams, from Postojna and Cerknica, or by the uniform stream from Javorniki. Peak-flow towards Pivka and lower flow towards Cerknica remain possible.

A special outflow system of karst water is presented by Postojnska jama and Pivka branch in Planinska jama where separated flow is formed without direct connection with Javorniki flow towards Malni as far is now known. The data on water table in Kobilje griže, near Stara vas, Žeje and in Matijeva jama on Palško jezero show that the karst water table along Pivka lowers for more than 20 m under the outflow border at the valley of Upper Pivka and thus near Zagorje it remains on Hill 550 m only. Between Zagorje and Knežak there is underground watershed, a part of waters being directed towards Podstenjšček and a part towards Bisrica where the karst water table lowers for more than 100 m. We suppose that in the central Javorniki ridge and in Snežnik the water table remains on 650 m. Unfortunately this part is speleologically not yet explored as far as to reach the underground karst water.

The distribution of karst waters in neighbour river basins is interesting too. On watershed between Notranjska Reka and Vipava there is special hydrogeological unit of Slavina karst with Košana valley and Vremščica. Near Neverke the water lowers under the Sušica valley for more than 100 m and we find in the cave Gabranca under 292 m a.s.l. At high waters Sušica spring flows from it in the

altitude of 415 m. In Škocjanske jame and in Kačna jama the water level lowers to 150 or 100 m above the sea level, while at floods it increases in Kačna jama up to 260 m and in Škocjanske jame even to 344 m.

In Labodnica near Trebče the lowest level is 12 m above the sea, and the highest 110 m. In the background of Timavo springs, where the influence of high tide is already felt, near Brestovica the level does not lower under 2 m, but increases near Klariči up to 7 m and near Brestovica to 16 m. As the low water table in Doberdob is higher than near Brestovica we suppose that the lake is fed by Soča groundwater through the Kras. Chemical and temperature properties of springs between Moščenice and Doberdob lake correspond as well. In this region also Vipava contributes to karst underground water infiltrating into Kras between Miren and Sovodnje.

In the background of Sežana and Osapska reka the water conditions are relatively badly known. In Rižana spring the discharges have greater oscillations than the level, being on the altitude about 70 m, in Osapska jama the water decreases for more than 50 m, when the spring on the altitude about 100 m dries up; small are the oscillations in Boljuncac too. In Matarski kras the underground waters are accessible in caught siphons of Brkini sinking streams in different altitudes between 280 and 500 m. Permanent flow is accessible in Dimnice only on the altitude 470–450 m, and the karst water table probably gradually lowers under Slavnik towards Rižana. The watershed between Timavo and Rižana in Kozina karst is not yet explained but partial overflowing of Brkini and Slavnik waters towards Labodnica and Timavo and towards Rižana is possible.

About the karst water distribution in the background of Vipava under Nanos and Hrušica there are no useful data. Probably the karst water table gradually increases from Vipava springs, where it is on the altitude about 100 m to the 400 m on the ponor edge near Predjama. According to water conditions in Predjama and Jama v Grapi the karst water increases towards Belsko. The ponor cave Lokve has a siphon in the altitude 427 m but probably the water is caught there. In Jama v Grapi the sinking stream lowers from 506 m near the entrance to 492 m in the outflow siphon. In Sever Hall in Predjama the permanent brook flows on 456 m (F. Habe, 1970, 1976). The karst water table increases steeply towards the Zagora dolomite where the unknown watershed between Vipava and Ljubljanska waters is above 550 m at least.

The underground watershed in Hrušica is not clearly defined. The real watershed role plays flysch zone probably extending from Col, Podkraj and Vodice towards Lom (L. Placer, J. Čar, 1974). The flysch is permeable there and waters sink into karstified limestones. The karst water level is somewhat higher in the dolomite of fourth nappe where above Črni vrh smaller outflow springs are found. Karst water in the region of Črni vrh plateau is directed towards Divje jezero and Podroteja where the Idrijca valley restrains it in the altitude above 300 m, but even towards Hubelj, proved by water tracing (P. Habič, 1984). The karst water table remains under the Zala valley loosing the water in its own river bed there where it is cut into Cretaceous limestones. From dolomite karst around Godovič and Hotedršica all the brooks sink when reaching the Cretaceous limestones, underlying the Triassic dolomites and shales. In the limestones under dolomitic nappe the watershed between Idrijca and Ljubljanska was proved by water tracing (SUWT, 1976). In the region among Hotedršica, Rovte and Logatec there is peculiar karst area where one part of waters superficially flows to the main ponors, while the other part sink directly into karstified base. The karst water table is in this region somewhere in dolomite, elsewhere in limestones thus it probably exists even in more branches than in the neighbour, mostly limestone rocks. The altitude of the table is not known, but we suppose that it is a bit higher than under the Logatec plateau.

In the karst between Idrijca and Vipava, that means the background of Hubelj, Lijak and Mrzlek springs, the underground water is not accessible. The precipitations and springs, distributed differently high on the contact of limestone and flysch, are controlling it. Hubelj and Mrzlek have probably separated catchment areas, Lijak is active after heavy rains only when the water table in Mrzlek background increases to the outflow border in the altitude of about 100 m. After the

water tracing of Čepovan brook, when the dyes were found in the springs of Hotešček near Idrija, in Avšček on west and in Mrzlek on south we conclude, that the low karst water table in the center of Trnovski gozd and on Banjšice plateau somewhere in the altitude between 200 and 300 m can flow to three different directions.

General hydrological properties, dictated by the size and situation of the catchment area and by distribution of springs on karst border are controlling the distribution and karst water oscillations. But internal, local, partial or complete dams, posed by lithological and structural units, specially if they are tectonically displaced, are important. In smaller degree but not without temporary important effects, even the secondary karst phenomena as are collapses and breakdowns in underground channels influence to distribution and oscillation of karst waters. An important role is played by alluvial sediments transported by superficial waters from impermeable vicinity and deposited in the karst underground decreasing the transmissivity and permeability of karst. Artificial daming and controlling of karst waters regime is rather modest in the karst of Notranjsko and Primorsko. Formerly local dams of karst springs, 1—2 m high were popular for water power exploitation. Experiments by daming the ponors on Cerknica polje are more recent. Intervention of man on springs or ponors cannot essentially influence to the entire water conditions in karst (P. Habič, 1974).

Speleological researches among Postojna, Planina and Cerknica (I. Gams, 1965; R. Gospodarič, 1976), but also on Cerknica lake (R. Gospodarič & P. Habič, 1979) and on Planina polje (R. Gospodarič, 1982; F. Sušteršič, 1982), in Škocjanske jame (R. Gospodarič, 1984) and elsewhere on Notranjsko and Primorsko karst contributed valuable data on distribution of water table and illustrated the caves development and speleological going on in Quaternary. In geological past the water conditions in the karst underground changed several times. Temporary the actual dry caves were flooded and thick layers of flood loams or even gravel were deposited. Otherwise some actual active channels were at least for some time dry and flowstones were deposited in them. Somewhere the actual waters reach older spacious channels.

In them the waters stay still and suspend material but we could expect that they flow through quickly. Thus older channels do not contribute to bigger karst permeability, they render possible bigger periodical underground accumulations only. The limited permeability or maximisation of the karst underground water flow (I. Gams, 1970) does not correspond to bigger karst cavernosity in higher lying zones. Permeability of other spacious channels is partly limited by breakdowns, as we can ascertain along the underground Pivka, Rak and Notranjska Reka. The main reason for changes in the karst underground permeability probably lies in young differentiated tectonic dynamics of structural units being reflected in the relief too (P. Habič, 1982 a, 1984 a).

Neotectonics produces in the karst underground always new hydrogeological conditions to which the underground waters differently react. Among the blocks the waters force their way above the old channels which are somewhere filled up by sediments. In lifted karst units waters choose new fissures and cracks or deepen their old river beds. Unconcordant big gradients on the spring side of karst and other tectonic basins and more levelled gradients on the ponor side correspond well. Where the underground water ways are not yet adapted to actual hydrologic conditions, bigger oscillations of water table occur, either at springs or at ponors but even in interjacent regions locally. Undeveloped underground water flows are found in the regions where the underground waters runoff is diverted into other river basin because of intensive erosion of impermeable karst border. Such conditions are found specially on Black Sea — Adriatic watershed.

In karst with gradually distributed water table, being the results of limited karst and fissure permeability, the possibilities for efficaceous static and dynamic water reserves by pumping wells are diminished. But the dynamic water reserves are not distributed only in the phreatic zone of water table oscillations but also in vadose karst above the permanent level, where through fissures and joints precipitations percolate from the surface, feeding karst water permanently.

**METODA MORFOMETRIJE
IN RAČUNALNIŠKE OBDELAVE VRTAČ**

(S 3 SLIKAMI)

**A METHOD OF DOLINE MORPHOMETRY AND COMPUTER
PROCESSING**

(WITH 3 FIGURES)

FRANCE ŠUŠTERŠIČ

**SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 31. OKTOBRA 1985**

Vsebina

Izveček — Abstract	81 (3)
UVOD	81 (3)
ZAMISEL METODE	83 (5)
MERILNI POSTOPEK	84 (6)
PRERAČUNAVANJE TERENSKIH PODATKOV	85 (7)
IZVREDNOTENJE MERSKIH PODATKOV	87 (9)
IZLOČANJE PERIODIČNIH MOTENJ	89 (11)
CELOSTNA SLIKA VRTAČE	90 (12)
SPLOŠNE UGOTOVITVE	93 (15)
LITERATURA	95 (17)
A METHOD OF DOLINE MORPHOMETRY AND COMPUTER PROCESSING (Summary)	97 (19)

Naslov — Address

Franc ŠUŠTERŠIČ, dipl. ing. geol., raziskovalni sodelavec
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

Izvleček

UDK 519.6:551.448
551.448.519.6

Sušteršič France: Metoda morfometrije in računalniške obdelave vrtač.

Prikazana je metoda za kvantitativno proučevanje vrtač. Obsega vse stopnje od terenskega merjenja, prek matematičnih osnov numerične obdelave do računalniške obdelave podatkov. S pomočjo meritev 72 merskih točk v vrtači dobimo 5×6 podatkovno matriko, ki vsebuje informacijo o velikosti in obliki vrtače. Izdelani so računalniški programi, ki omogočajo uporabo tudi raziskovalcu brez posebnega matematičnega predznanja.

Abstract

UDC 519.6:551.448
551.448.519.6

Sušteršič France: A method of doline morphometry and computer processing.

A method of quantitative doline processing is presented. It encompasses the terrain surveying, mathematical derivation of proper formulas, and computer processing the data. Having processed 72 measuring points data of a doline, one obtains a 5×6 data matrix, containing information about the doline dimensions and shape. The computer programs were done to make the method accessible to the users without wide mathematical knowledge.

UVOD

Vrtače so ne samo najbolj opazne, temveč najbolj značilne prave kraške globeli, če sprejmemo danes najbolj razširjeno mnenje, da jih tako ali drugače oblikuje krajevno zbrana padavinska voda. Njihova osnovna centrična oblika jih uvršča med temeljne gradnike modela čistega krasa (F. Šušteršič, 1982). Tako ni čudno, da so bile že zgodaj deležne posebne pozornosti; meritve vrtač, ki jih je izvajal J. Cvijić (1895), pa spadajo med prve poskuse meritev geomorfirnih pojavov sploh.

Zato nekoliko preseneča, da meritve vrtač, ki so jih bolj ali manj po Cvijićevih metodah od danes izvajali različni raziskovalci, pravzaprav niso dale večjega vpogleda v nastajanje in oblikovanje vrtač (P. Lavalleye, 1968, P. W. Williams, 1972, J. N. Jennings, 1975, G. Mozösi et al., 1978, M. Day, 1983, A. E. Ogden, 1984, A. E. Soto, et al., 1984, J. W. Troester, et al., 1984). Značilno je, da sta se Williams in Jennings, ki sta se tej metodologiji najbolj posvetila, v nadaljnjem delu preusmerila drugam, čeprav v bistvu negativnih rezultatov svojih raziskav ne poudarjata.

Podobno lahko ugotovimo, da pri podrobnem raziskovanju vrtač na trasi avtoceste Vrhnika—Postojna—Fernetiči, kar je izvršil Inštitut za raziskovanje krasa SAZU (P. Habič, 1969, 1970, 1972, 1974, 1978) morfometrija, kot jo pojmujejo prej navedeni avtorji ni igrala večje vloge in da so pomembnejši zaključki izhajali iz drugačnih podatkov.

Končno ni odveč, če ugotovimo, da se v svoji obsežni monografiji v vrtačah H. Cramer (1941) Cvijićevim parametrom izogiba, čeprav je njegovo delo v veliki meri zasnovano statistično.

Moramo se torej vprašati, kako da je eden v krasoslovju in celo v geomorfologiji prvih kvantitativnih pristopov ostal tako rekoč jalov. Razumljiv je pomislek, da merjenje vrtač in potem izvrednotenje podatkov ni bilo zastavljeno tako, da bi lahko dalo pričakovane rezultate.

Predpostavko, da izraža oblika (gr. *morphe*) trenutne ravnotežne razmere in preteklost nekega geomorfnege sistema, večina, četudi različno mislečih raziskovalcev, sprejema za pravilno. Vsekakor ni razloga, da bi na tem mestu o njej podvomili. Če si z izrazom »metrija« predstavljamo merjenje (gr. *metron* = *mera*), bi morali pri korektno izpeljani morfometriji dobiti kvantitativne podatke o neki obliki, v našem primeru o obliki vrtače.

Iz Cvijičevega besedila (l. c) je jasno razvidno, da gornjega ni imel v mislih. Oblike vrtač je vizualno opredelil kot skledaste, lijakaste in oknaste. S stotinami terenskih meritev daljših oz. prečnih premerov ter globin je določil njihov velikostni red. Razmerje med globino in premerom mu je omogočilo približno oceno, v katero skupino vrtača spada. Prav nič pa tako ni povedal o njeni obliki, saj posameznih oblik ni predhodno kvantitativno definiral. Enako je izpeljal poprečni naklon pobočij, tako da je izračunal arcustangens razmerja med globino in polmerom vrtače.

Do danes večina merilcev vrtač bolj ali manj ponavlja isti postopek, oz. izpeljuje še nekatere dodatne parametre (P. W. Williams, o. c., 155, K. Paterson, 1980, 111). Pozabljajo pa, da je Cvijič vrtače tako le umerjal, obliko in vse ostalo, kar izhaja iz nje, pa določal »na oko«. Njegovemu postopku merjenja torej nevede pripisujejo morfometrično vsebino, ki je ni nameraval, niti ni mogel imeti.

To pravzaprav ni presenetljivo. Golo terensko merjenje je z opremo, s katero običajno razpolagamo, zamuden posel. Podrobnejše in natančnejše ter tako ciljem morfometrije bližje merjenje vrtač je tako rekoč onemogočeno. Pozabiti tudi ne smemo, da do pojava računalnikov kako obsežnejše preračunavanje ne bi bilo smotno. Cvijičevi nasledniki so merili bolj ali manj nereprezentativne ekstreme, ne da bi se vprašali, ali tako sploh moremo dobiti želeno informacijo (I. S. Evans, 1972, D. M. Mark, 1975). Ker so ekstremne vrednosti običajno tudi statistično nestabilne, je lahko razumeti, da dosti več kot Cvijič tudi njegovi nasledniki niso mogli ugotoviti.

Žal so pri svojem delu uporabili oz. vpeljali neustrezen termin, kar je zameglilo možnost resničnega razvoja. Slejkoprej bi bilo v našem primeru namesto »morfometrija« ustrežnejše pisati »fenomenometrija«, če si kot pojav (gr. *phainomenon*) predstavljamo vrtačo. Parametrov, ki določajo obliko (kar je le ena izmed geometrijskih lastnosti tega pojava) pa nismo niti definirali!

Pri sistematičnem proučevanju krasa se pogosto srečamo z vprašnjem učinkovitejšega merjenja vrtač, ki bi bilo po eni strani še dovolj gospodarno, po drugi pa bi z njim zbrali tiste parametre, ki dejansko izražajo obliko (= *morphe*). Ker je bistvo vsakega takšnega merjenja v določanju prostorskih koordinat posameznih informativno pomembnih točk, se problematika osredotoči na dve vprašanji, in sicer na izbor merskih točk ter na izbor matematičnega modela, ki ga priredimo merskim točkam in z njim nadomestimo analogni informacijo.

Ker razpolagamo z okrog 500 geodetskimi meritvami vrtač in načrti v merilu 1:1000 (P. Habič, 1969, 74), sem najprej pretehtal njihovo morfometrično informativnost. Žal, so ti podatki z morfometričnega stališča neuporabni. Bolj kot sorazmerno majhno merilo načrtov, moti sam način terenskega merjenja, namreč standardna tahimetrija. Po tej metodi izmerimo primerno

število točk vzdolž t. i. terenskih linij. Vmesne vrednosti kasneje interpoliramo ročno ali linearno. Zamisel terenskih linij izhaja iz drobnega fluvialnega reliefa in tako nasilno pojačuje krasu manj pomembne linearne podrobnosti, bistvene, ki so centrične, pa opušča. Dobljeni podatki so popolnoma uporabni za umerjanje vrtač, kot izhodišče morfometriji pa odpovedo. Za to potrebuje močan način merjenja, ki naj čim bolj ustreza zahtevam morfometrije.

Vnaprejšnje nepoznavanje podrobne geometrije vrtač nam narekuje, da merimo koordinate točk po slučajni ali pravilni mreži. Ker nam druga pot omogoča matematično bistveno lažje in gospodarnejše prijeme (T. E. H. W h i t t e n, M. E. V. K o e l l i g, 1973), sem se odločil vzorčevati po zvezdasti mreži s središčem v najgloblji točki vrtače.

Pri izboru matematičnega modela je teoretično neskončno mnogo poti. Dejansko pa smo vezani na zelo pičel izbor funkcij, ki se že same po sebi dovolj približajo obliki vrtače. Oblika sinusoide je že doslej najbolj razširjen, čeprav le deskriptivno utemeljen model prereza vrtače. Zato je razumljivo, da pride trigonometrični polinom in z njim tudi ostale Fourierjeve tehnike v najožji izbor pri modeliranju vrtač. Kot pa je pokazala nadaljnja raziskava, je to med preprostimi matematičnimi orodji sploh najbolj prikladno.

Pri dodelovanju metode sem se lahko oprl na C. L. S t a b l e r j e v o (1968) delo, v katerem je obdelal možnosti uporabe Fourierjevih tehnik pri klasifikaciji tektonskih gub. Ker je podobnost med tektonskimi gubami in morfologijo vrtač v prerezu očitna, je precej temeljnih vprašanj, ki se enako nanašajo tudi na vrtače, rešil že Stabler in mi je bilo potrebno le nadaljevati v tej smeri.

Julija 1983 sva z M. Trobičem poskusno izmerila dvajset vrtač v Lanskem vrhu severno od Planinskega polja in vzporedno razvila tudi tehnologijo merjenja. V nadaljnjih mesecih sem razvil in preizkusil matematične postopke za obravnavo merskih podatkov. Za rutinsko obdelavo sem izdelal programski paket v jeziku BASIC, s pomočjo katerega lahko raziskujemo vrtače na mikroračunalniku Sinclair ZX Spectrum.

V začetni fazi raziskovanja sem se dejansko lahko posvetil le formalnemu razvoju tehnologije. Kljub temu pa sem se že ob samem preizkušanju posameznih postopkov lahko dokopal do spoznanj, ki so bistveno razširila dosedanje znanje o vrtačah. Menim, da vrtač s pomočjo Fourierjevih tehnik ne le gospodarno izmerimo — in potem predstavimo petdeset in večkrat natančneje kot doslej — temveč da to odpira tudi nove poti razumevanja vrtač.

ZAMISEL METODE

Izhajamo iz splošne ugotovitve, da so vrtače po zunanem izgledu in (domnevno) nastanku centrične globeli. V najglobljo točko, ki jo imejmo za središče, postavimo koordinatno izhodišče. Z njega nato žarkasto posnamemo primerno sodo število polrezov, vzdolž katerih merimo višine posameznih točk nad najnižjo točko. Zaradi nadaljnjega preračunavanja je smotrno, da postavimo polreze v enakih kotnih razdaljah.

V izračunu neizmerjene predele polrezov med posameznimi merskimi točsamimi nadomestimo s trigonometričnim polinomom, katerega koeficiente izra-

čunamo iz merskih podatkov. Kvadrature posameznih amplitud običajno prikazemo kot linije na periodogramu, kjer nam dajejo linijski spekter.

Pri sintezi lahko opustimo posamezne valovnice. To učinkuje kot pasovno cedilo in loči zeleno informacijo od motnje, ki ostane v izpuščenem pasu. Pomembno je le, da vemo, v katerem spektralnem pasu se motnja nahaja. Tako izračunan trigonometrični polinom da prečiščeno sliko polreza, ki se merskim podatkom prilega po kriteriju najmanjših kvadratov, polje podatkov pa se koristno zmanjša.

MERILNI POSTOPEK

Merilni postopek podajam podrobno razčlenjen v posamezne korake, tako da ga je čim lažje ponoviti. Koraki so opremljeni s številkami, ki služijo podrobnemu komentarju v nadaljevanju.

1. Določimo najglobljo točko vrtače, jo označimo s količkom in postavimo teodolit.

2. Določimo smer prvega polreza in aretiramo inštrument.

3. Določimo mesto oboda v smeri prvega polreza in tam zabijemo količek.

4. Napnemo merilno vrstico z označeno metražo tako, da visi med manjšo rogovilico (spodaj) in večjo rogovilico (zgoraj), ob enem pa natanko nad obema količkoma (Sl. 1/a).

5. Na merilni vrstici odčitamo razdaljo med obema količkoma in določimo višino vrstice nad njima.

6. Dobljeno razdaljo delimo s predvidenim številom meritev in izračunamo njihove posamezne metraže.

7. Postavimo lato h količku na obodu, naravnamo teodolit na primeren naklonski kot, ga fiksiramo in odčitamo.

8. Čitamo lato pri srednji niti na križu.

9. Postavljamo lato na mesta, izračunana v šestem koraku in čitamo pri srednji niti na križu.

10. Ko smo odčitali vse podatke v izbrani smeri, inštrument sprostimo in ga premaknemo v novo smer.

11. Vrnemo se h koraku 3. in ponovimo postopek v novi smeri.

12. Ko so izmerjeni vsi polrezi, tahimetrično posnamemo še vse ostale zanimive točke, npr. mesta geoloških meritev, vzorčevanja itd.

Opisani postopek je enostaven in dovolj hiter. V praksi so pomembne še nekatere neizogibne podrobnosti, ki pa sicer ne spadajo v samo merjenje:

1. Najglobljo točko vrtače praviloma težko določimo, je pa tudi sicer precej nestabilna. Tu se moramo pač ravnati po zdravi pameti. Na srečo pa za matematično izvrednotenje podatkov niti ni tako bistveno, ali smo dobro zadeli.

2. Za računski postopek je prva smer seveda čisto poljubna. Koristno pa je, da si z njo že vnaprej zagotovimo kako pomembno informacijo. Na poligonu v Lanskem vrhu sem jo določil kot zaokroženo poprečno vrednost smeri

vpada skladov na območju meritev. Tako sta prvi in četrti polrez vedno pravokotna na slemenitev.

3. Težko je določiti tudi mesto oboda in dostikrat pomaga premislek več kot toga navodila. Kot splošno pravilo lahko postavimo edino pogoj, da po-bočja od oboda proti središču konvergirajo, izven vrtače pa so bolj ali manj prema. Na srečo lahko pri nadaljnjem obravnavanju ugotovimo vsaj to, ali smo mesto oboda določiti pravilno in ev. naknadno popravimo meritve.

4. Merilna vrstica naj bo napeta toliko, kot pri umerjanju. Če je razdalja med rogovicama tolikšna, da bi povsaj že motil določanje položaja late, jo v sredini previdno podpremo. Ker gre pri določanju položaja late le za razmerja, si lahko privoščimo tudi opaznejši povsaj. V tem primeru bo razdalja med količkoma precenjena. Kontroliramo tako, da pri prvem čitanju lato odčitamo še pri zgornji in spodnji niti. Razdaljo tedaj izračunamo s formulami, običajnimi pri tahimetriji.

5. Pri napanjanju merilne vrvice bi le težko dosegli, da bi bila ničla nad enim izmed količkov. Če označimo odčitek nad spodnjim količkom z l_1 , odčitek nad zgornjim pa z l_2 , je poševna razdalja med njima (L) kar $L = l_2 - l_1$.

6. Prva meritev bo pri dolžini vrvice l_1 . Naslednja bo toliko bližje središču vrtače, za kolikor korakov smo se pač odločili. Če je teh korakov N , bo druga meritev pri $l_2 = l_1 - L/N$ tretja pa pri $l_3 = l_1 - 2L/N$ itd. Na poligonu v Lanskem vrhu sem izbral število korakov $N = 12$.

7. Pomembno je, da je naklonski kot daljnogleda (α) ves čas isti. To moramo upoštevati pri čiščenju vrtače.

8. Kot pri običajni tahimetriji, čitamo lato z milimetrsko natančnostjo.

9. Če naletimo na izračunanem mestu na kak štor, lato po plastnici umaknemo nekoliko v stran. Tega pa ne storimo v primeru škrapelj, skal samic itd. Vse to šteje v izmerjeno obliko vrtače in takšno motnjo odstranimo računsko. Zato je negotovost manjša, kot če bi »resnično površje vrtače« določali subjektivno.

10. Po želji in potrebi lahko čitamo lato še na drugih mestih v polrezu. Ne smemo pa pozabiti razdalje na merilni vrstici!

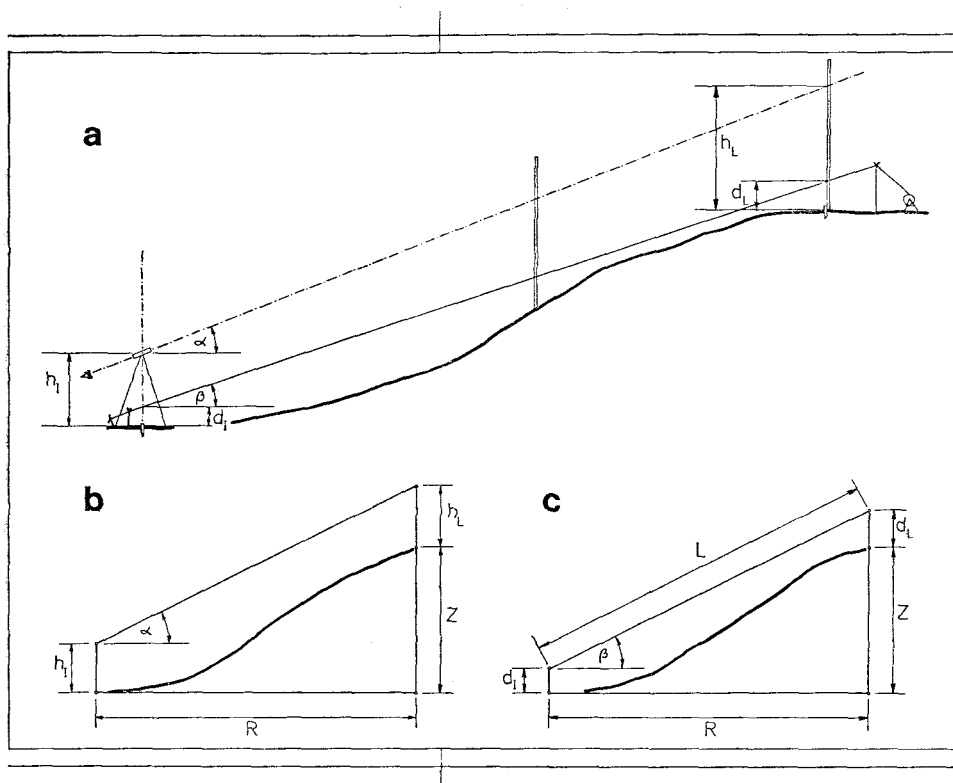
11. Na poskusnem poligonu v Lanskem vrhu sem meril v šestih smereh, oddaljenih za 60° .

12. Po potrebi lahko izmerimo še poljubno število dodatnih polrezov. Ne smemo pa zato opustiti osnovnih, ki morajo imeti enake kotne razdalje.

Po opisanem postopku merjenje posameznega polreza ne traja kaj več kot deset minut. Težave pa se pojavijo, če je vrtača preveč zaraščena. Mnogokrat traja čiščenje dosti dlje, kot merjenje samo.

PRERAČUNAVANJE TERENSKIH PODATKOV

Ne glede na to, kako bomo postopali pozneje, moramo terenske podatke spraviti v obliko, ki je primernejša rutinski uporabi. Kot smo merili posamezne polreze, jih tudi obravnavamo posamič. Zanima nas dolžina posameznega polreza, njegov višinski razpon in seveda relativne višine posameznih merskih točk.



Sl. 1 Način merjenja polreza in preračunavanje terenskih podatkov
 Fig. 1. The semiprofile surveying procedure and processing the terrain measuring data

S slike (1 b) razberemo odnose med naslednjimi količinami:

- R — dolžina polreza
- Z — višinski razpon polreza
- h_I — višina inštrumenta
- h_L — odčitek na lati (srednja nit)
- α — naklonski kot posamezne vizure

Povezuje jih enačba:

$$h_I + R \operatorname{tg} \alpha = Z + h_L \quad (1)$$

Žal sta v njej dve neznanki, namreč R in Z . Zato moramo iskati še nadaljnjih zvez. Iz slike 1/c, kjer nastopajo še količine:

- β — naklonski kot merilne vrvice
- d_I — višina merilne vrvice nad spodnjim količkom
- d_L — višina merilne vrvice nad zgornjim količkom
- L — poševna razdalja vzdolž merilne vrvice

razberemo še:

$$Z + d_L = L \sin\beta + d_1 \quad (2)$$

in

$$R = L \cos\beta \quad (3)$$

Enačbe (1), (2) in (3) združimo in preuredimo. Namesto $\operatorname{tg}\alpha$ pišemo kar T , namesto izraza $(h_1 - h_L - d_1 + d_L)/L$ pa pišimo B !

Sledi:

$$\sin\beta - T \cos\beta = B \quad (4)$$

Pri trigonometrični enačbi (4) upoštevamo samo pozitivno rešitev in dobimo:

$$\cos\beta = \frac{TB + \sqrt{T^2 - B^2 + 1}}{T^2 + 1} \quad (5)$$

Dolžino polreza (R) dobimo naravnost iz enačbe (3).

Združimo in preuredimo enačbi (1) in (2) ter upoštevamo enačbo (5), pa dobimo višinski razpon:

$$Z = R \operatorname{tg}\alpha + h_1 - h_L \quad (6)$$

Enačba (1) je popolnoma splošna in zato velja za poljubno točko v polrezu:

$$z_1 = r_1 \operatorname{tg}\alpha + h_1 - h_L \quad (7)$$

Če smo posamezne zaporedne meritve označili s celimi števili, začenši od 1 na obodu vrtače, je:

$$r_1 = R(N + 1 - i) / N \quad (8)$$

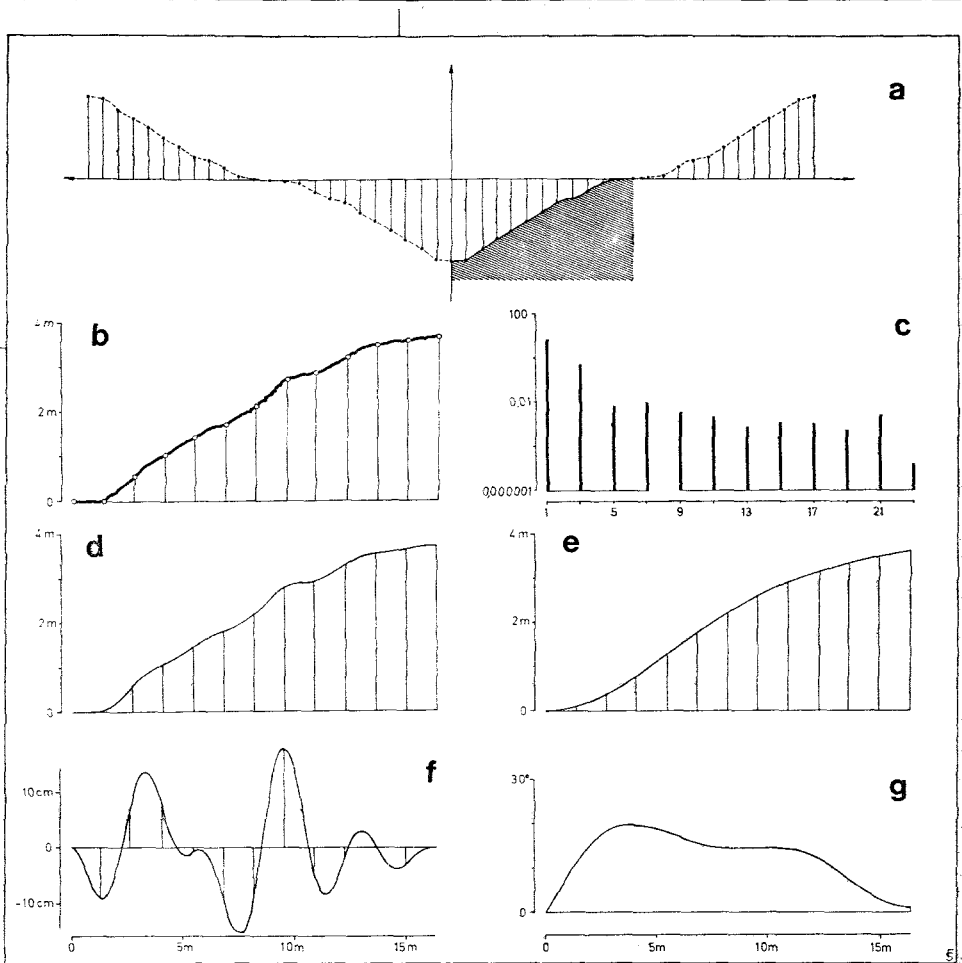
Z N smo že prej označili število meritev v polrezu.

IZVREDNOTENJE MERSKIH PODATKOV

Po izvršenem preračunavanju terenskih podatkov smo informacijo o posameznem polrezu spravili v obliko:

- azimut polreza
- dolžina polreza
- relativne višine točk vzdolž polreza.

Da je središčni prerez kolikortoliko pravilne vrtače v grobem podoben posameznemu ciklu valovnice, je očitno na prvi pogled. Žal pa je ena temeljnih ugotovitev mojih meritev prav to, da so si še najmanj korelirani diametralno nasprotni polrezi. Zato je nujno, da obravnavamo polreze posamič. Pri tem bomo morali manjkajoči del valovnice nadomestiti z zrcaljenjem, sicer bi trigonometrična interpolacija izgubila svoj smisel.



- Sl. 2. Obdelava polreza 3 (azimut 35°) vrtače št. 70
 a — Dvakratno zrcaljenje polreza
 b — Prvotna oblika polreza in njegovo vzorčevanje
 c — Fourierjev spekter polreza
 d — Rekonstrukcija polreza s pomočjo celotnega spektra
 e — Rekonstrukcija polreza s pomočjo dolgovalovnega paketa
 f — Rekonstrukcija kratkovalovnega paketa
 g — Naklon zbitrenih pobočij polreza (v stopinjah)

- Fig. 2. The semiprofile Nr. 3 (dir. 35°), doline Nr. 70 processing
 a — Twofold semiprofile reflecting
 b — The natural semiprofile shape and the way of sampling
 c — The semiprofile Fourier spectrum
 d — The semiprofile reconstruction using the whole spectrum
 e — The semiprofile reconstruction using the long wave pack
 f — The short wave pack reconstruction
 g — The band pass filtered semiprofile slope inclination (in degrees)

Pri zrcaljenju moramo upoštevati dve osnovni zahtevi. V najgloblji točki, torej pri dnu, mora tudi zrcaljena krivulja ohraniti vrednost odvoda (naklona) enako nič, na obodu pa mora tudi zrcaljena krivulja ohraniti prvotno vrednost odvoda. Zahtevam je zadoščeno, če z zaporednim lihimi in sodimi zrcaljenjem dosežemo simetrijo IV vrste (J. N. Bronštejn, K. A. Semendjajev, 1980, 644), kot je prikazano na sliki 2/a.

Za nadaljnje preračunavanje moramo podatke prilagoditi uporabljenemu tipu simetrije. To dosežemo tako, da višinam posameznih točk nad dnom (z_i) odštejemo višino točke na obodu ($z_L = z_1 = Z$). Oddaljenost od središča označimo namesto z r_i z x_n , kjer je $n = N + 1 - i$. Tedaj velja:

Točka	Koordinate:	
	Prvotne razmere:	Novo razmere:
dno	$r = 0, z = 0$	$x_0 = 0, y_0 = -Z$
pobočje	$r = r_i, z = z_i$	$x_n = Rn/N, y_n = z_i - Z$
obod	$r = R, z = Z$	$x_N = R, y_N = 0$

Koeficiente trigonometričnega polinoma tedaj izračunamo po enačbi:

$$a_{(2k+1)} = \frac{y_0}{N} + \frac{2}{N} \sum_{n=1}^{N-1} y_n \cos \left[\frac{\pi n}{2N} (2k+1) \right] \quad (9)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

kar je v diskretni obliki zapisana splošnejša enačba, ki jo za simetrijo IV vrste podajata Bronštejn in Semendjajev (o.c.). Zaradi tipa simetrije nastopajo samo kosinusovi koeficienti lihimi harmonskih števil.

Da izračunamo položaj poljubne točke na polrezu, uporabimo običajno formulo za Fourierjevo sintezo:

$$y(x) = \sum_{k=0}^{N-1} a_{2k+1} \cos \left[(2k+1) \frac{\pi x}{2N} \right] \quad (10)$$

Za abscisne vrednosti, kjer je $x = n$, dobimo seveda nazaj prvotne ordinatne vrednosti (y_n). Neodmerjene vrednosti vmes pa nadomestimo z matematično konstrukcijo. Presečišča s plastnicami izračunamo s kakim iterativnim postopkom, npr. bisekcijo.

IZLOČANJE PERIODIČNIH MOTENJ

Spomnimo se še enkrat, da nam pomenijo koeficienti a_{2k+1} amplitude valovnic s harmonskimi števili $r = 2k + 1$. Posamične valovne dolžine izračunamo iz enačbe:

$$\lambda_{2k+1} = 4N / (2k+1)R \quad (11)$$

Ker smo v polreзу izmerili dvanajst točk in iz teh izračunali dvanajst koeficientov, je nekaj valovnic daljših od polreza, nekaj pa zagotovo krajših. Harmonškemu številu 23 ($= 2 \times 11 + 1$) pripada npr. val dolžine $\lambda_{23} = 0,1737 NR$, oz. 5.75 cikla na polrez.

Sedaj se lahko odločimo, kaj bomo imeli za motnjo in kaj za prvotno obliko vrtače. Najobičajnejša motnja, ki jo opazimo že pri prvi terenski meritvi, so razne škraplje oz. izdanki žive skale. Prav ti se nam kot nekakšni valovi vrinjajo na pobočja vrtače in nam včasih celo otežujejo določiti mesto oboda. Ker smo obliko polreza razstavili na posamezne valovnice, se moramo samo odločiti, katere bomo opustili. Glede na to, da so vrtače centrične, je smiselno opustiti vse tiste, ki imajo dva ali več ciklov na polrez.

Iz enačbe (11) lahko izračunamo, da pride pri harmonškem številu $r = 2k + 1 = 7$ na polrez 1,75 cikla, pri harmonškem številu $r = 9$ pa 2,25 cikla. Tako nam prve štiri valovnice s harmonskimi števili 1, 3, 5 in 7 (dolgovalovni paket) sestavljajo osnovno obliko polreza, preostale, s harmonskimi števili od 9 do 23, pa kratkovalovni paket v katerem so zbrane motnje, če jih obravnavamo v čisto geometrijskem smislu. Za zbistreno informacijo o posameznem polreзу potrebujemo tedaj samo prve štiri Fourierjeve koeficiente in dolžino polreza. Ker smo na terenu morali odmeriti 15 količin, je prihranek okrog 65 %.

V enačbi (10) tedaj upoštevamo samo dolgovalovni paket in rekonstruiramo osnovno obliko polreza (brez motenj). Če pa želimo proučevati le-te, sintetiziramo njihovo obliko iz kratkovalovnega paketa. Na sliki 2 je prikazan ves postopek od vzorčevanja polreza, preko periodograma do sinteze dolgovalovnega oz. kratkovalovnega paketa.

Če enačbo (10) odvajamo na x , dobimo tangens naklonskega kota površja v poljubni točki polreza, vendar v njegovi smeri. To pomeni, da je na ta način dobljeni naklon enak gradientu le v primeru, če je vrtača popolnoma centrična.

Lahko uporabimo le dolgovalovni paket in dobimo prvo informacijo o zbistreni obliki polreza. Računamo po enačbi:

$$\operatorname{tg} \varphi = y'(x) = \frac{-\pi}{2N} \sum_{k=0}^3 a_{2k+1} (2k+1) \sin \left[(2k+1) \frac{\pi x}{2N} \right] \quad (12)$$

S kotom φ smo označili zbistreni naklon pobočja vrtače v poljubni točki polreza, gledano od središča proti obodu.

CELOSTNA SLIKA VRTAČE

Posamezen polrez torej lahko podamo z vektorjem, katerega elementi so prvi štirje Fourierjevi koeficienti in njegova dolžina. Če smo v vrtači izmerili npr. šest polrezov, je cela vrtača opisana z matriko, ki jo sestavlja ustreznih šest vektorjev. Fourierjeve koeficiente dolgovalovnega paketa spravimo v polje dimenzij 4×6 . Dodamo zgoraj še vektor-vrstico, v katerem zberemo

dolžine posameznih polrezov. Za vrtačo, označeno na poligonu s št. 70, dobimo:

19,28	15,60	16,34	16,57	18,34	18,05
-4,96	-3,84	-2,79	-4,40	-5,55	-6,46
-0,09	-0,95	-0,73	-0,54	-0,91	-0,53
0,15	-0,07	-0,08	-0,06	0,68	0,37
-0,32	-0,10	-0,11	0,12	0,04	-0,09

Količine so podane v metrih. Vsak stolpec vsebuje podatke enega polreza. Če seštejemo spodnje štiri elemente posameznega stolpca, dobimo negativno vrednost višinskega razpona v tem polrezu.

V gornji vrstici je zbrana informacija o obsegu, v spodnjem minorju pa o obliki vrtače. Prostorske koordinate najgloblje točke in smer prvega polreza moramo seveda zabeležiti posebej, da je potem naša informacija res popolna.

Nad vektorji-stolpci, ki nam v gornji matriki predstavljajo posamezne polreze, lahko sedaj izvajamo različne operacije numerične taksonomije, oz. prepoznavanja vzorcev. Podobno, kot je C. L. Stabler (o. c., 347) preprosto klasificiral gube na osnovi odnosov med prvo in tretjo valovnico, lahko tudi mi razvrstimo polreze vrtač v skupine, ki jih določa sorodna geometrija. Glede na svojstveno obliko polrezov, pa sistem ni dvodimenzionalen, kot je v slučaju gub, temveč štiridimenzionalen. Zato bo grafična slika pač nekoliko bolj zapletena. Cvijičevi modeli (o. c.) imajo v tem sistemu točno določeno mesto.

Iz dolžine polrezov in višinskega razpona, ki ju za vsak polrez vsebuje gornja matrika, lahko s pomočjo osnovnih enačb Fourierjeve sinteze izračunamo tudi ves potek oboda vrtače. Ker so te enačbe v prav vseh učbenikih, jih na tem mestu izpuščam. Na sliki 3 sta prikazana tloris in stranski ris oboda malo prej obravnavane vrtače.

Doslej smo se ukvarjali le s točkami vrtače, ki jih zajemajo neposredne meritve oz. krivuljna interpolacija merskih podatkov. S podobnimi razmišljanji, ki pa so nekoliko bolj zapletena, lahko izračunamo poljubno točko v vrtači.

Neposredno lahko izračunamo obliko izmerjenega polreza. Ta naj bo v splošni obliki podana s parom enačb:

$$R = R(\psi) \quad 0 \leq \psi < 2\pi \quad \text{in} \quad (13)$$

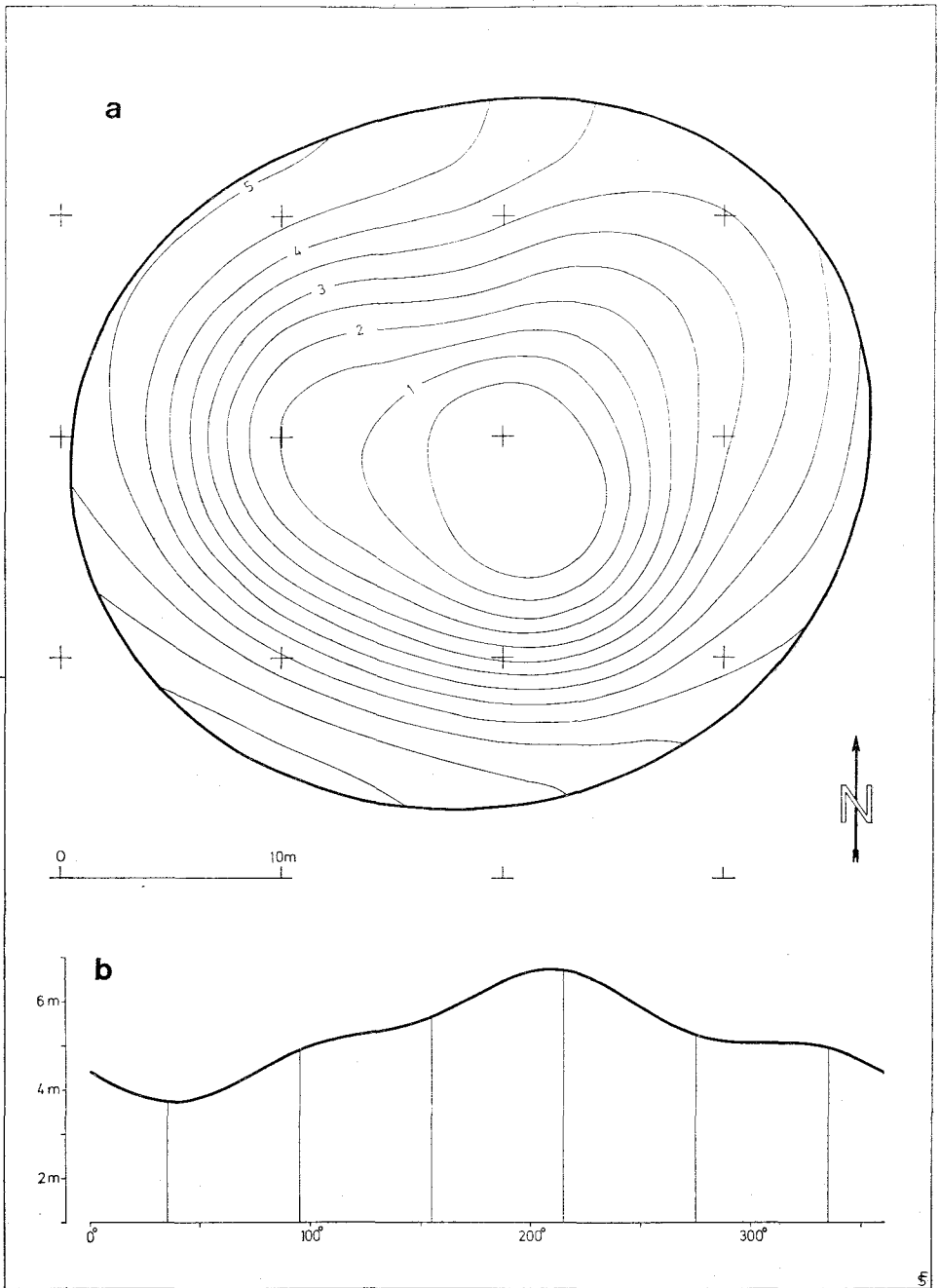
$$Z = Z(r) \quad 0 < r = R(\psi) \quad (14)$$

Podobno nam obliko oboda določa par enačb:

$$R = R(\psi) \quad 0 \leq \psi < 2\pi \quad \text{in} \quad (13)$$

$$H = H(\psi) \quad 0 \leq \psi < 2\pi \quad (15)$$

Imenujmo prvo prostorsko krivuljo (en. (13, 14) polreznica drugo (en. 13, 15) pa obodnica. Želimo dobiti koeficiente polreznice s poljubnim azimutom. Te bi lahko izračunali, če bi poznali višine vsaj nekaterih točk vzdolž tega polreza, saj njegovo dolžino in višinski razpon lahko dobimo neposredno iz obodnice.



Če se želimo vnaprej ukvarjati z zbistreno obliko vrtače (kar je skoraj vedno slučaj) nam zadostujejo le štiri take točke. Definirajmo sedaj štiri oblikovnice, ki potekajo skozi štiri pravilno razporejene točke vseh (poznanih in nepoznanih) polrezov. Njihove aplikatne vrednosti v znanih polrezih izračunamo iz zbistrenih spektrov posameznih polrezov, medtem ko so njihove razdalje od središča kar

$$r_n = \frac{R(\psi)}{4} n \quad n = 1, 2, 3, 4 \quad (16)$$

Očitno je četrta oblikovnica identična z obodnico. Sedaj imamo podatke, da izračunamo Fourierjeve koeficiente enačb posameznih oblikovnic, ki jih opisujeta enačbi

$$r_n = R_n(\psi) \quad \text{in} \quad (17)$$

$$h_n = H_n(\psi) \quad (18)$$

Z njihovo pomočjo izračunamo aplikate štirih točk (pravzaprav treh, ker po eno dobimo že iz obodnice), odtod pa po enačbi (9) iskane Fourierjeve koeficiente.

Sinteza po enačbi (10) nam da višino nad dnom poljubne točke v poljubnem polrezu.

Z bisekcijo lahko ob uporabi enačbe (10) izračunamo točke na izbranih plastnicah vzdolž vsakega polreza, kar nam omogoči, da izrišemo sliko vrtače s plastnicami tako natančno, kot želimo, oz. kot nam dovoljuje informacija, zbrana v gornji matriki (sl. 3/a).

SPLOŠNE UGOTOVITVE

Predstavljena metoda se je izkazala kot terensko dovolj gospodarna in učinkovita, tako da bistveno prekaša vse doslej znane mi postopke merjenja vrtač. Pri obdelavi podatkov se je pokazalo, da dvanajst merskih točk vzdolž posameznega polreza povsem zadostuje. Pač pa je šest polrezov na vrtačo, kolikor smo jih merili doslej, komaj dovolj. Priporočljivo bi bilo njihovo število povečati vsaj na osem.

Cvjičeve parametre lahko izračunamo neposredno iz dobljenih podatkov. Zastavlja pa se vprašanje, ali sploh imajo kakšen večji smisel. Iz slike 3, kjer je prikazana najpravilnejša izmed izmerjenih vrtač, je razvidno, kako malo osnovano bi bilo nadaljnje sklicevanje na daljši oz. krajši premer in globino. Vrtače so pač premalo pravilne, da bi tako o njih mogli povedati kaj bistve-

- Sl. 3. Vrtača št. 70
 a — Tloris z izračunanimi plastnicami
 b — Stranski ris oboda kot funkcija azimuta polmera

- Fig. 3. Doline Nr. 70
 a — The computed ground plane contour lines
 b — The computed lip elevations above the bottom point, as the function of the radius direction.

nega. Prav tako je jasno, da je iskanje povprečnega naklona strel v prazno. Nakloni se vzdolž polreza oz. plastnice, kot smo lahko ugotovili iz celote podatkov, precej zakonito spreminjajo (Sl. 2/g). V nadaljnjem bo potrebno ugotoviti te zakonitosti, jih matematično izraziti in opisati s primernimi parametri. Le-ti bodo ustrezneje nadomestili sedanji »poprečni naklon«.

Pri obdelavi doslej znanih podatkov so se pokazale nekatere doslej manj opažene ali manj znane zakonitosti, ki bi se jim kazalo v bodoče bolj posvetiti. Že s slike lahko opazimo, da je predstavljena vrtača vsaj dvožrelna, če ni različno učinkovitih središč odnašajo celo več. Prav tako bi sama pobočja morda laže kot s stožcem opisali s piramido z zaobljenimi robovi. Ploskve te piramide se jasno prilegajo znanim strukturnim smerem in pri nadaljnjem proučevanju bomo verjetno laže določili vsebino povezave med tektoniko in oblikovanjem vrtač.

S slike 2/f lahko razberemo, da je v kratkovalovnem paketu dobro izraženo onduliranje z valovno dolžino okrog 3 m. To se presenetljivo sklada z V. Nemčev o (1970, 65) planetarno dimenzijo reda 22, ki meri 3.041 m. Ker se to ponavlja v različnih vrtačah in različnih polrezih ni odveč vprašanje, ali skladanje ni kaj več kot slučajno. O tem bodo morale več povedati nadaljnje raziskave.

H koncu ne smem zamolčati manj ugodnih plati uporabljene metodologije. Živoskalna pobočja in osrednji sediment smo upoštevali kot enakovredna medija, čeprav lahko pričakujemo, da informativno nista enakovredna. Ugotovljena oblika vrtače je torej zgolj formalna in izraža trenutno stanje. Dokler nam tehnična sredstva v mejah gospodarnosti ne omogočajo drugačnih posegov, bomo raziskovali pač površinsko morfologijo vrtač. Kasneje pa bo potrebno obravnavati živoskalno kotanjo zase in ilovnato polnilo zase.

Ogrodje našim meritvam dajeta najgloblja točka vrtače in obod. Nakazal sem že, da ju je večkrat težko določiti. Po bistrenju podatkov se lahko celo izkaže, da smo ju določili napačno. Na srečo to matematične obdelave ne moti — v najslabšem primeru nekoliko podaljša preračunavanje. Jasno pa kaže, na kako šibkih nogah stojijo raziskave, ki precenjujejo informativnost Cvijičevih parametrov.

Opisani postopek merjenja in numerične obdelave vrtač priporočam vsakomur, ki bi si želel ukvarjati s podrobnejšim proučevanjem vrtač. Zato so računalniški programi resnim interesentom vedno na razpolago.

LITERATURA

- Beck, B.F., 1984 (ur.): Sinkholes: their geology, engineering & environmental impact, Proceedings of a conference sponsored by the Florida Sinkhole Research Institute, 15—17 Oct., 1984, Orlando, A. A. Balkema, 1—429, Rotterdam, Boston.
- Bronštejn, J.N., Semendjajev, K.A., 1963: Matematični priručnik, Založba Življenje in tehnika, 1—699, Ljubljana.
- Chorley, R., J., 1972: Spatial analysis in geomorphology. Harper & Row, 1—394, New York, Evanston, San Francisco, London.
- Cramer, H., 1941: Die Systematik der Karstdolinen. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie, und Paläontologie, Beilage-Band, Abt. B. 85, 293—382.
- Cvijić, J., 1895: Karst, geografska monografija. 1—135, Beograd.
- Davis, J.C., 1971: Statistics and data analysis in geology. Willey, 1—550, New York.
- Day, M., 1983: Doline morphology and development in Barbados. Annals of the Association of American Geographers, 73 (2), 206—219.
- Evans, I.E., 1972: General morphometry, derivations of altitude and descriptive statistics. V: R. J. Chorley (ur.), Spatial analysis..., 17—89.
- Habič, P., 1969: Preiskave vrtač v trasi avtoceste Vrhnika—Postojna. Elaborat v arhivu IZRK ZRC SAZU Postojna, 1—31. (V prilogi geodetska izmera vseh vrtač v trasi).
- Habič, P., 1970: Poročilo o kraških pojavih na območju projektiranih variant avtoceste Senožče—Divača—Sežana. Elaborat v arhivu IZRK ZRC SAZU Postojna, 1—4.
- Habič, P., 1972: Kras med Senožčami in Sežano. Elaborat v arhivu IZRK ZRC SAZU Postojna, 1—31.
- Habič, P., 1974: AC Senožče—Divača—Sežana, poročilo o vrtačah. Elaborat v arhivu IZRK ZRC SAZU Postojna, 1—20. (V prilogi geodetska izmera vseh vrtač v trasi).
- Habič, P., 1978: Razporeditev kraških globeli v dinarskem krasu. Geografski vestnik 50, 17—29.
- Jennings, J.N., 1975: Doline morphometry as a morphogenetic tool; a New Zealand example. New Zealand Geographer, 31 (1), 6—28.
- Lavalle, P., 1968: Karst depression morphology in South central Kentucky. Geografiska Annaler, 50 A, 2, 94—108.
- Mark, A.M., 1975: Geomorphometric parametres: a review and evaluation. Geografiska Annaler, 57 A, 3—4, 165—177.
- Mezősi, G., Bárány, I., Tóth, I., 1978: Karstmorphometrische Untersuchungen im Gebirge Aggtelek. Acta universitatis Szegediensis, Acta Geographica, 18, 131—140.
- Nemec, V., 1970: The law of regular structural patterns: its application with specials regard to mathematical geology. V: D.F. Merriam (ur.), Geostatistics, Plenum press, 63—78, New York, London.
- Ogden, A., 1984: Methods for describing and predicting the occurrence of sinkholes. V: Beck, B.F., (ur.): Sinkholes..., 177—182.
- Paterson, K., 1980: Closed depressions in limestone areas: some teaching approaches for the physical geographer. Geography, No. 287, Vol. 65, Part 2, 107—118.
- Soto, A.E., Morales, W., 1984: Collapse sinkholes in the blanket sands of the Puerto Rico karst belt. V: Beck, B.F., (ur.): Sinkholes..., 143—146.
- Stabler, C.L., 1968: Simplified Fourier analysis of fold shapes. Tectonophysics, 6 (4), 343—350.
- Sušteršič, F., 1982: Nekaj misli o oblikovanosti kraškega površja. Geografski vestnik 4., 19—28.
- Troester, J.W., White, E.L., White, W.B., 1984: A comparison of sinkhole depth frequency distributions in temperate and tropic karst regions. V: Beck, B.F., (ur.): Sinkholes..., 65—73.

- Whitten, T. E. H., Koellig, M. E. V., 1973: Spline-surface interpolation, spatial filtering and trend surfaces for geological mapped variables. *Mathematical geology*, 5, 2, 111—126.
- Williams, P. W., 1972: The analysis of spatial characteristics of karst terrains. V: R. J. Chorley (ur.), *Spatial analysis...*, 133—163.

A METHOD OF DOLINE MORPHOMETRY AND COMPUTER PROCESSING

(Summary)

The dolines are among the first metrically processed geomorphic phenomena (J. Cvijić, 1895) and one may wonder, why our insight into their real shape and formative processes has remained up till now quite limited. Several researchers tried to study them more or less in the way Cvijić had outlined, but their work hasn't fulfilled all their expectations. So one may state that something must be wrong with the methodology, i. e. morphometry used.

Cvijić used his parametres to scale the dolines, rather than to describe their shape. Provided that the shape is a record of doline history, one can miss completely if having measured Cvijić's parametres, as they contain no shape information. If intending to measure the latest, that is the true point of morphometry, measurements of other parametres must be developed.

In the 1983 the Institute for karst research (Postojna) investigated different ways to achieve this aim, encompassing the surveying economy, mathematical simplicity and computing ease. The method, based on C. L. Stabler's (1968) folded shapes measurements has been adopted and 20 dolines North of Planinsko polje were surveyed and processed.

The surveying method is based on tachymetry. The theodolite is fixed in the centre (the lowest point) of the doline. Six semiprofiles are stabilized in a sixfold regular star pattern. Twelve equidistant elevations are measured along each semiprofile, the most distant on the very doline perimeter. It is advised to choose the semiprofiles orientation in such a way that at least two of them follow some local geological direction.

A combined even-odd symmetry operation is then used to achieve the IV type symmetry (Fig. 2/a) and the data are processed by cosine Fourier transform. Twelve odd cosine coefficients are obtained. Assuming that the distortion of a semiprofile is produced by the undulations of shorter wavelengths than half semiprofile length, the spectrum can be divided into two bands. The long wave pack includes the first four harmonics and a Fourier synthesis of them yields the undistorted semiprofile shape. On the other hand, the short wave pack contains the periodic distortions as the bedrock outcrops, karrenfields, etc. appearing on the doline slopes.

The doline lip shape is obtained by the canonical trigonometric interpolation among the semiprofile horizontal and vertical spans. Having combined both procedures in the way, used in the twodimensional Fourier transform, the whole doline shape is reconstructed. The derivation procedure gives the information of the doline slopes direction and inclination.

A single semiprofile processing can be performed in the way exposed by a programmable calculator, like TI 58, while the whole doline can be processed by a microcomputer like Sinclair ZX Spectrum. A more powerful computer brings about the velocity and the elegance of the procedure.

The terrain information about the doline is given by the 72 measuring points coordinates. After the band filtering the information is condensed in a 6×5 matrix, each column representing a semiprofile. The lower four lines contain the first four harmonics, while the first line contains the horizontal semiprofile spans.

All the Cvijić's parametres can be readily calculated from these data. So, the information about the doline shape is collected in the lower 6×4 minor matrix, while its dimensions are contained in the first line. The first semiprofile direction must be given separately.

If the doline is not forested, it can be surveyed in an hour and a half time. The computer processing time depends on the machine used, but generally seen it is not time consuming.

The method has a weak point too. It is that the bedrock slopes and the sediment fill of the dolines are treated as morphologically equally important media, though the later is uncomparably less stable, being exposed to presedimentation.

Nevertheless, the method appears to be economical and effective enough to study and classify the actual doline shape. The Institute is continuing the measurements in other regions of the classical Karst. It is recommended to other researchers to adopt it to obtain comparable data.

O IZOTOPIH KISIKA IN OGLJIKA
V JAMSKIH VODAH IN SIGAH SLOVENIJE

(S 3 SLIKAMI)

ISOTOPIC COMPOSITION OF OXYGEN AND CARBON
IN CAVE WATER AND SPELEOTHEMS OF SLOVENIA

(WITH 3 FIGURES)

JANKO URBANC
JOŽE PEZDIČ
TADEJ DOLENEC
SILVA PERKO

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 31. OKTOBRA 1985

Vsebina

Izveček — Abstract	101 (3)
UVOD	101 (3)
MERJENJE IZOTOPSKE SESTAVE KISIKA N OGLJIKA	101 (3)
VARIABILNOST IZOTOPOV KISIKA IN OGLJIKA V SIGAH	102 (4)
1. Temperaturna odvisnost izotopske sestave kisika v kalcitu	102 (4)
2. Izotopska sestava ogljika v sigi	103 (5)
IZOTOPSKA SESTAVA KISIKA IN OGLJIKA V SIGAH IZ NEKATERIH SLOVENSКИH JAM	104 (6)
1. Vzorci in analize	104 (6)
SKLEP	110 (12)
LITERATURA	111 (13)
ISOTOPIC COMPOSITION OF OXYGEN AND CARBON IN CAVE WATER AND SPELEOTHEMS OF SLOVENIA (Summary)	112 (14)

Naslov — Address

Janko URBANC, Jože PEZDIČ, Tadej DOLENEC, Silva PERKO
Inštitut Jožef Stefan
61000 Ljubljana
Jugoslavija

Izvleček

UDC 546.21.027:551.44(497.12)
546.26.027:551.44(497.12)
551.44(497.12):54.027

Urbanc J., Pezdič J., Dolenc T., Perko S.: O izotopih kisika in ogljika v jamskih vodah in sigah Slovenije

Raziskave recentnih sig naj bi pokazale uporabnost izotopskih metod za kvantitativno ugotavljanje klimatskih pogojev, poleg tega pa prikazale variabilnosti izotopske sestave kisika in ogljika v nekaterih jamskih sigah iz Slovenije.

Abstract

UDK 546.21.027:551.44(497.12)
546.26.027:551.44(497.12)
551.44(497.12):54.027

Urbanc J., Pezdič J., Dolenc T., Perko S.: Isotopic composition of oxygen and carbon in cave waters and speleothems of Slovenia

The investigations of recent speleothems should indicate the applicability of isotope methods for quantitative inference of climatic conditions showing at the same time the variability of isotopic oxygen and hydrogen composition in some cave formations in Slovenia.

UVOD

Jamski karbonati oziroma sige večinoma nastajajo v globljih delih jam, kjer so temperaturna nihanja zelo majhna. Ugotovljeno je, da sta temperaturi jamskega zraka in sigotvorne vode približno enaki srednji letni temperaturi območja, na katerem leži jama (Gams, 1974). Ker na podlagi izotopske sestave kisika in ogljika v sigah lahko sklepamo o temperaturah, pri katerih so le-te nastajale in o vegetacijskih značilnostih površja nad jamo, se v sorazmerno počasi nastajajočih sigah odražajo spremembe povprečnih temperatur v jami in površju nad njo skozi daljša časovna obdobja. Zaradi odvisnosti med klimatskimi spremembami in variabilnostjo izotopske sestave kisika in ogljika v sigotvorni vodi in sigah lahko s pomočjo izotopske analize različno starih sig interpretiramo paleoklimatske pogoje.

Z raziskavami recentnih sig smo skušali dokazati uporabnost izotopskih metod za kvantitativno ugotavljanje klimatskih pogojev, poleg tega pa prikazati še variabilnosti izotopske sestave kisika in ogljika v nekaterih drugih sigah iz slovenskih jam.

MERJENJE IZOTOPSKE SESTAVE KISIKA IN OGLJIKA

Izotopsko sestavo ugotavljamo z masnim spektrometrom, ki v vzorcih meri deleže posameznih izotopov. Na Inštitutu Jožef Stefan v te namene uporabljamo spektrometer Varian Mat 250 z natančnostjo $\pm 0,1\%$. Rezultate podajamo v promilih glede na mednarodne izotopske standarde; za vodo se uporabljata standard SMOW, ki je sestava povprečne oceanske vode, za karbonate in hidrokarbonate iz vode pa pri paleotemperaturnih analizah običajno uporabljamo standard PDB z izotopsko sestavo belemnita Belemnitella Ameri-

cana iz Južne Karoline v ZDA. Številčna vrednost nam pove, za koliko promilov se izotopska sestava vzorca razlikuje od sestave standarda.

Vzorci moramo pred merjenjem primerno pripraviti. Karbonate pretvorimo v CO₂ in temu izmerimo izotopsko sestavo, vodo izotopsko uravnovežimo s standardnim CO₂, medtem ko hidrokarbonate oborimo iz vode z NaOH ter CaCl₂ in oborino zopet pretvorimo v CO₂. Podrobnejše informacije o pripravi vzorcev, merjenju njihove izotopske sestave ter interpretaciji rezultatov lahko najdemo v literaturi s tega področja (Hoefs, 1980, Faure, 1977).

VARIABILNOST IZOTOPOV KISIKA IN OGLJIKA V SIGAH

1. Temperaturna odvisnost izotopske sestave kisika v kalcitu

Sprememba temperature ob kristalizaciji kalcita v sigi neposredno vpliva na razmerja izotopov v njej, saj je H. C. Urey ugotovil, da je faktor izotopske frakcionacije kisika v sistemu kalcit-voda funkcija temperature. Preprosteje povedano, kalcit, ki je nastal iz vode z določeno izotopsko sestavo kisika, bo ob višji temperaturi obogaten z lažjim kisikovim izotopom, ob nižji temperaturi pa s težjim.

Za računanje temperature na podlagi izotopske sestave kisika v kalcitu obstaja več enačb, katerih rezultati se med seboj le nekoliko razlikujejo. Za naše razmere se je kot najprimernejša izkazala enačba, ki so jo za računanje temperaturne odvisnosti s pomočjo faktorja izotopske frakcionacije kisika v sistemu kalcit—voda razvili O'Neil in sodelavci (1969).

$$1000 \cdot \ln \alpha = 2,78 \cdot 10^6 \cdot T^{-2} - 3,4 \quad (1)$$

Temperatura je izražena v stopinjah Kelvina. α je faktor izotopske frakcionacije ravnotežja v sistemu kalcit—voda. Lahko ga izračunamo iz izraza

$$\alpha = \frac{\delta^{18}\text{O}_{\text{sige}} + 1000}{\delta^{18}\text{O}_{\text{vode}} + 1000} \quad (2)$$

Drugo podobno enačbo podaja Craig (1965)

$$T^{\circ}\text{C} = 16,9 - 4,2 (\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w) + 0,13 (\delta^{18}\text{O} - \delta^{18}\text{O}_w)^2 \quad (3)$$

$\delta^{18}\text{O}_c$ — izotopsko razmerje kisika v sigi

$\delta^{18}\text{O}_w$ — izotopsko razmerje kisika v vodi glede na isti standard kot pri sigi.

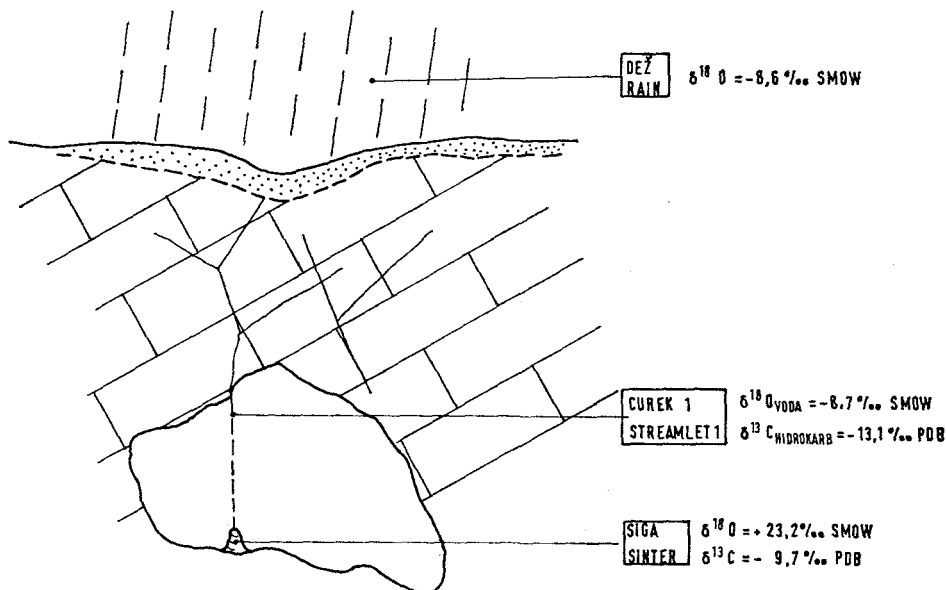
Iz obeh enačb vidimo, da moramo za izračun temperature nastanka kalcita poleg izotopske sestave kisika v kalcitu poznati tudi izotopsko sestavo kisika v vodi, iz katere je kalcit nastajal. Sigotvorna voda v jami nima vseskozi konstantne izotopske sestave kisika, ampak se med letom nekoliko spreminja v odvisnosti od padavin in vegetacije nad jamo. Ker jamske sige večinoma nastajajo skozi vse leto (Gams, 1974), je najprimerneje vzeti večletno povprečje izotopske sestave vode. Ugotovili smo namreč, da je povprečna letna izotopska sestava kisika v sigotvornih vodah približno enaka povprečni letni sestavi padavin, le da so nihanja v izotopski sestavi sigotvorne vode dosti manjša (Pezdič, 1984), poleg tega pa je znano, da se v zmerno humidnih področjih pov-

prečna letna sestava padavin le malo spreminja (poročilo IAEA, 1981). Za obdobja nespremenjenih klimatskih pogojev lahko torej računamo z razmeroma konstantno izotopsko sestavo kisika v sigotvorni vodi.

Poznavanje izotopske sestave sigotvorne vode je bolj problematično pri starejših sigah. Za holocenske sige si lahko pomagamo s predpostavko, da je bila povprečna letna sestava vode približno enaka današnji. Pri starejših sigah, ki so gotovo nastajale iz vode z drugačno izotopsko sestavo, pa je potrebno analizirati izotopsko sestavo vode iz tekočinskih vključkov v sigi.

2. Izotopska sestava ogljika v sigi

Sigotvorna voda vsebuje ogljik iz zraka, ki ima izotopsko sestavo okoli -7‰ PDB, nadalje lahki biogeni ogljik z izotopsko sestavo približno -24‰ (zavisi od tipa rastlin), in ogljik, ki izvira iz karbonatnih kamnin ($\delta^{13}\text{C}$ je približno 0‰ PDB). Izotopska sestava ogljika v sigotvorni vodi je tako rezultat razmerja koncentracij omenjenih komponent in se podobno kot pri kisiku skozi leto spreminja. V hladnejših obdobjih in na območjih z manj vegetacije imajo prenikajoče vode več težjega anorganskega ogljika z višjimi vrednostmi $\delta^{13}\text{C}$, v toplejših obdobjih in območjih z bujno vegetacijo ter intenzivnim razpadanjem organskih snovi pa imajo več lažjega biogenega ogljika. Izotopska sestava ogljika v jamski vodi in s tem tudi v sigi je torej odvisna predvsem od vegetacije nad jamo (Geyh, 1970, Hendy, 1971).



Sl. 1 Izotopska sestava kisika ter ogljika v vodi in sigi ob curku 1 v Planinski jami

Fig. 1. Oxygen and hydrogen isotopic composition in the water and in the flowstone at trickle 1 in Planinska jama

Za ilustracijo si pogledimo povprečne vrednosti izotopskih sestav kisika in ogljika v sigotvorni vodi iz Curka 1 v Planinski jami v letu 1983 (slika 1). Značilnosti tega jamskega curka dobro poznamo, saj ga že več let sistematično opazujemo (Kogovšek, Habič, 1980, Pezdič et al. 1984).

Povprečna letna izotopska sestava kisika v vodi Curka 1 je praktično enaka povprečni sestavi padavin v Planini. To pomeni, da v Curku 1 iztekajo padavinske vode, pri katerih ne pride do opazne frakcionacije kisikovih izotopov, razlika je le v amplitudi nihanja. Med letom niha izotopska sestava kisika v padavinah za več kot 10 ‰, medtem ko se $\delta^{18}\text{O}$ v vodi Curka 1 spreminja komaj za 0,5 ‰. To kaže na zelo veliko homogenizacijo vode v stropu oziroma zbirnem »lijaku« nad Curkom 1.

Izotopska sestava ogljika v hidrokarbonatu vode iz Curka 1 se spreminja med letom od $-10,5$ ‰ do $-16,1$ ‰, v povprečju $-13,1$ ‰, medtem ko imajo kalcitne prevleke, ki nastajajo pod Curkov 1, $\delta^{18}\text{O} + 23,2$ ‰ in $\delta^{13}\text{C} - 9,7$ ‰.

IZOTOPSKA SESTAVA KISIKA IN OGLJIKA V SIGAH IZ NEKATERIH SLOVENSКИH JAM

1. Vzorci in analize

Da bi dobili nadaljne podatke o izotopski sestavi kisika in ogljika v sigah kraških jam, smo analizirali nekaj desetnih vzorcev sige, najrazličnejših starosti in oblik. Ker smo pri recentnih sigah vzorčevali in analizirali tudi sigotvorno vodo, smo lahko na teh sigah preverili enačbi 1 in 3, ki podajata temperaturno odvisnost izotopske sestave kisika v kalcitu.

Kot recentno sigo smo večinoma vzorčevali tako imenovane makarone, ki so zrastle na odlomljenih starejših kapnikih. Ti so nastali v zadnjih nekaj desetletjih, ko se klima in povprečna izotopska sestava padavin nista bistveno spreminjali. Vzorčevali smo tudi karbonatne prevleke, ki se izločajo na raznih jamskih objektih, na primer mostovih, stopnicah, ograjah ipd. Analizirani vzorci so iz notranjosti jam, kjer temperature praviloma zelo malo nihajo.

Največ vzorcev recentnih makaronov smo nabrali v jami Mačkovci pri Lazah. Ob vzhodni steni Velike dvorane smo vzeli 13 vzorcev makaronov, večina je zanesljivo recentnih, in 2 vzorca vode. V vodi smo določili izotopsko sestavo kisika, v hidrokarbonatu iz vode pa še izotopsko sestavo ogljika. Vzorec z oznako Ma-1 je srednja vrednost izotopske sestave štirih recentnih makaronov z iste lokacije, medtem ko je vzorec Ma-2 srednja vrednost petih recentnih makaronov. Variabilnost sestave kisika v recentnih makaronih na isti lokaciji ne presega 0,5 ‰.

Iz Planinske jame smo vzeli za analizo del sige, ki nastaja ob polzenju vode preko stopnic v neposredni bližini Curka 1.

V Predjami je bil vzet vzorec makarona v Zahodnem rovu pred Habetovo lisičino. Letna temperaturna nihanja v tem rovu ne presegajo 1 °C (Habe, 1970). Vzorec vode je bil vzet iz neposredne bližine analiziranega makarona.

V Divaški jami so bili vzeti kapniki-makaroni ob vzporedni obhodni poti, kjer so veliki kapniki s helektiti. Zaradi gradnje so bili nekateri kapniki poškodovani, na odlomljenih mestih pa rastejo makaroni. Vzeta sta bila dva vzorca makaronov skupaj z vodo.

V Kamniški jami smo ob lokaciji I. voda (Urbanc, 1982) vzeli aktiven makaron in vodo, ki kaplja v manjšo kotanjo v njegovi bližini.

Ker pri recentnih sigah poznamo izotopsko sestavo kisika v sige in v vodi, iz katere se izloča, smo lahko s pomočjo enačbe 1 izračunali temperaturo nastanka kalcita ter jo primerjali s temperaturo, izmerjeno v jami (tabela 1 in slika 2). Podobne vrednosti smo dobili tudi pri izračunu temperature nastanka kalcita s pomočjo enačbe 3.

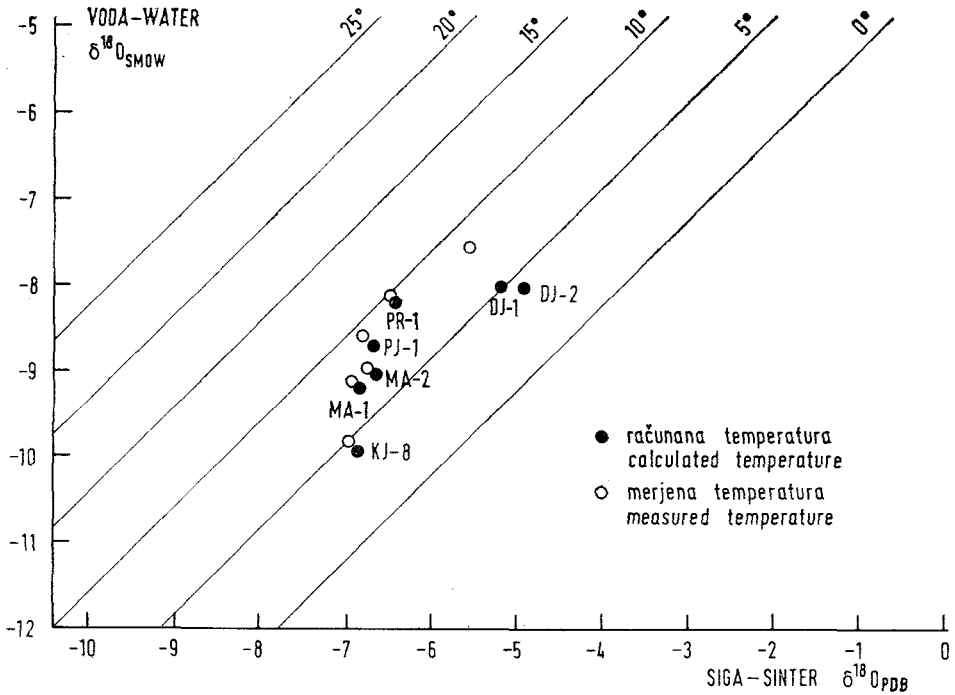
Tabela 1: Izotopske sestave kisika v recentnih sigah in vodah, iz katerih nastajajo, skupaj z izračunanimi in izmerjenimi temperaturami

Vzorec	$\delta^{18}\text{O}$ — voda (PDB) ‰	$\delta^{18}\text{O}$ — siga (SMOW) ‰	Izračunana temperatura °C	Izmerjena temperatura °C
Pj-1 (Planinska j.)	-6,93	-8,71	9,2	9,5
Ma-1 (Mačkovca)	-6,87	-9,23	6,9	8,1
Ma-2 (Mačkovca)	-6,66	-9,07	6,7	8,1
Pr-1 (Predjama)	-6,42	-8,14	9,5	10,0
Dj-1 (Divaška j.)	-4,91	-7,99	4,1	8,7
Dj-2 (Divaška j.)	-5,20	-7,99	5,3	8,7
Pv-1 (Kamniška j.)	-6,84	-9,90	4,2	5,3

Razlike med izračunanimi in izmerjenimi temperaturami so presenetljivo majhne. Največjo razliko smo ugotovili pri vzorcih Dj-1 in Dj-2 iz Divaške jame, ki pa jo zaenkrat še ne znamo povsem pojasniti. Izotopska sestava ogljika v teh sigah nakazuje možnost, da niso nastajale v izotopskem ravnotežju s sigotvorno vodo. Lahko pa bi šlo tudi za napačno privzeto srednjo letno izotopsko sestavo kisika v sigotvorni vodi, kajti zaenkrat imamo o njej na razpolago le en podatek.

Iz dobljenih rezultatov vidimo, da lahko v recentnih sigah dokaj natančno določimo temperaturo njihovega nastanka, če poznamo tudi izotopsko sestavo kisika v sigotvornih vodah. To pa velja le za sige, ki so nastajale v izotopskem ravnotežju s kisikom iz vode. Sige iz suhih vetrovnih delov jam nam zaradi efekta izhlapevanja dajo povsem napačne rezultate. Pri izhlapevanju v sigotvorni vodi ostaja več težjih izotopov, kar zviša vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$.

Glede na rezultate recentnih sig so metode izotopske termometrije dovolj natančne, zato smo se lotili tudi analiz starejših sig, od katerih pričakujemo paleoklimatske podatke. Nekaj deset vzorcev, različnih starosti in oblik, je dalo prve orientacijske podatke, kakšne značilnosti izotopske sestave lahko pričakujemo v bodoče pri starejših sigah (tabela 2, slika 3).



Sl. 2 Razlike med temperaturami, izračunanimi iz izotopske sestave kisika v recentnih sigah, in v jami izmerjenimi temperaturami

Fig. 2. Differences between the temperatures, calculated by oxygen isotopic composition in recent flowstones, compared to the temperatures measured in the cave

Tabela 2: Izotopska sestava kisika in ogljika v raziskanih sigah

Oznaka vz.	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Škocjanske jame		
Šk-1 (rob ponvice)	-6,60	-6,96
Šk-2 (sigova zavesica)	-4,98	-0,70
Šk-3 (sigova kopusča)	-6,71	-8,68
Šk-4 (makaron)	-5,88	-4,90
Šk-5 (stalaktit)	-5,30	-2,10
Šk-6 (rob stalagmita)	-5,43	-4,86
Šk-7 (kopučasta prevleka)	-6,04	-5,20
Šk-8 (rob ponvice)	-6,45	-8,04
Šk-9 (sigova kopusča)	-6,24	-9,01

Oznaka vz.	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Dimnice		
Di-1 (rob stalagmita)	-4,54	-5,74
Di-2 (zgornji del stalagmita)	-6,00	-6,79
Di-3 (zgornji del stalagmita)	-6,09	-8,51
Di-4 (recentna siga)	-6,94	-9,29
Di-5 (stalaktit)	-6,34	-7,36
Di-6 (stalaktit)	-5,66	-4,42
Di-7 (makaron)	-6,24	-7,61
Di-8 (makaron)	-5,45	-6,79
Di-9 (grbasti stalaktiti)	-5,16	-3,75
Di-10 (sigova kopusča)	-5,04	-4,21
Divaška jama		
Dj-1 (recentni makaron)	-4,91	-8,11
Dj-2 (recentni makaron)	-5,20	-9,24
Postojnska jama (Pisani rov)		
Po-1 (stalagmit)	-6,92	-7,10
Po-2 (recentni makaron)	-7,52	-9,20
Po-3 (makaron)	-6,93	-9,08
Po-4 (jedro stalagmita)	-8,50	-8,56
Po-5 (rob ponvice)	-6,85	-8,95
Po-6 (kalcitni kristali iz ponvice)	-7,04	-8,75
Predjama		
Pr-1 (makaron)	-6,42	-7,39
Planinska jama		
Pj-1 (recentna sigova prevleka na stopnicah ob Curku 1)	-6,93	-9,73
Pj-2 (sigova prevleka)	-6,22	-6,98
Pj-3 (spodnji del zavesa)	-7,01	-8,07
Pj-4 (spodnji del plastovite sigove prevleke)	-6,15	-7,81
Pj-5 (zgornji del iste prevleke)	-6,09	-7,56
Pj-6 (sigova prevleka)	-6,45	-8,30
Pj-7 (sigova prevleka)	-6,66	-9,18
Pj-8 (zavesica)	-6,43	-7,87
Pj-9 (makaron)	-5,33	-2,81
Pj-10 (makaron)	-6,39	-8,73
Pj-11 (makaron)	-6,36	-8,22
Pj-12 (makaron)	-6,64	-6,44
Pj-13 (sigova prevleka)	-6,16	-6,51

Oznaka vz.	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Pj-14 (sigova prevleka)	-6,15	-8,06
Pj-15 (sigova prevleka)	-6,42	-8,18
Pj-16 (stalagmit)	-5,69	-4,85
Pj-17 (sigova prevleka)	-5,98	-7,13
Pj-18 (ukrivljen stalaktit)	-2,17	+4,01
Pj-19 (kopučasta porozna siga)	-5,19	-3,68
Pj-20 (plastovita siga)	-6,21	-7,82
Pj-21 (plastovita siga iz bližine vhoda — spodnji del)	-5,51	-5,30
Pj-22 (zgornji del iste sige)	-2,91	-0,62

Mačkovca

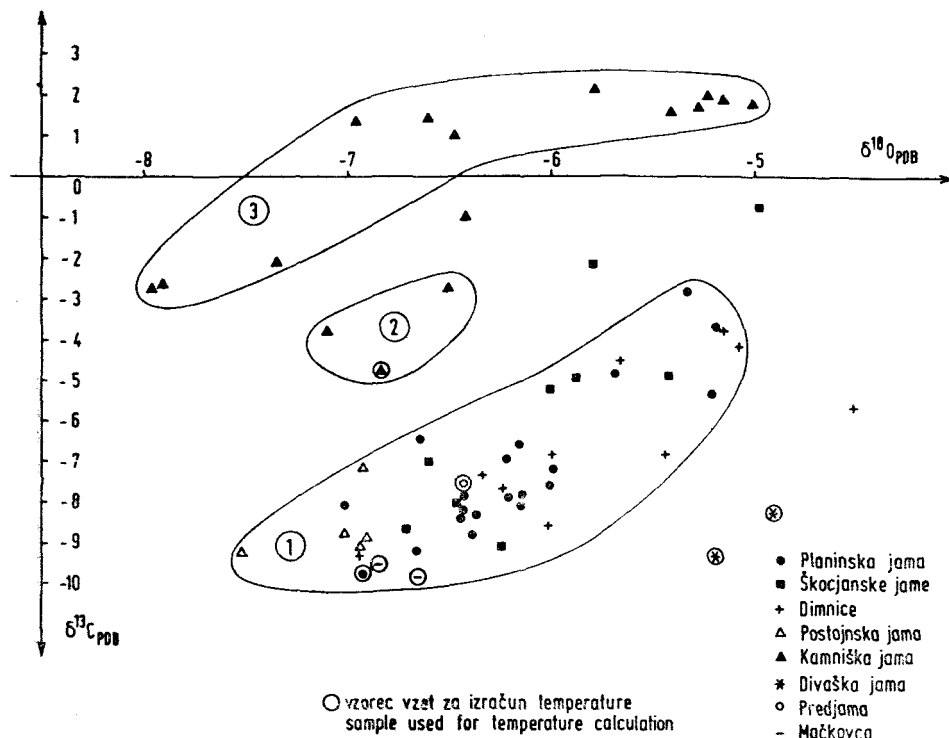
Ma-1 (recentni makaron)	-6,87	-9,59
Ma-2 (recentni makaron)	-6,66	-9,82

Kamniška jama

Kj-1 (sigov pokrov)	-6,41	-0,97
Kj-2 (sigov pokrov)	-6,61	+1,51
Kj-3 (sigov pokrov)	-7,35	-2,00
Kj-4 (sigov pokrov)	-6,95	+1,42
Kj-5 (sigov pokrov)	-6,48	+1,06
Kj-6 (stalaktit)	-6,51	-2,62
Kj-7 (stalaktit)	-7,10	-3,72
Kj-8 (sigov pokrov)	-5,79	+2,21
Kj-9 (sigov pokrov)	-5,22	+2,01
Kj-10 (sigov pokrov)	-5,06	+1,85
Kj-11 (sigov pokrov)	-5,41	+1,69
Kj-12 (sigov pokrov)	-5,28	+1,79
Kj-13 (sigov pokrov)	-5,16	+1,95
Kj-14 (sigov pokrov)	-7,88	-2,51
Kj-15 (sigov pokrov)	-7,96	-1,31
Pv-1 (makaron)	-6,84	-4,76

Na $^{18}\text{O}/^{13}\text{C}$ diagramu (slika 3) vidimo, da leži večina točk na treh poljih, ki leže v smeri pozitivne korelacije med izotopskima sestavama kisika in ogljika. Vzorci so večinoma iz globljih neprevetrenih delov jam, kjer so majhna letna nihanja temperature in velika vlažnost zraka.

Izotopska sestava kisika se giblje večinoma med -5 in -8 ‰ (temperaturna odvisnost), medtem ko se izotopska sestava ogljika spreminja v odvisnosti od lege jame. V polju št. 1 so vzorci nižinskih jam iz Notranjske in Primorske. Njihove vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ so nizke, kar pomeni velik vpliv lažjega biogenega ogljika. Više leže mlajše svetle sige iz Kamniške jame (polje 2). Vpliv biogenega ogljika je tu zaradi večje nadmorske višine jame (1400 m) že manjši,



Sl. 3 Izotopska sestava kisika v sigah iz nekaterih slovenskih jam

Fig. 3. Oxygen isotopic composition of flowstones from some Slovene caves

na račun težjega ogljika iz apnenca, ki ima izotopsko sestavo ogljika nekaj nad 0 ‰. Sige iz polja 3 imajo najvišje vrednosti $\delta^{13}\text{C}$. To so starejši sigovi pokrovi ravno tako iz Kamniške jame, katerih izotopska sestava je praktično enaka apnencem, v katerih je jama nastala, se pravi da je bil vpliv biogenega ogljika v času njihovega nastajanja zanemarljiv. Zato lahko sklepamo, da takrat rastlinske odeje nad jamo ni bilo ali pa je bila zelo borna.

V vhodnem delu Planinske jame, kjer sige nastajajo v bolj suhem in prevetrenem okolju z večjimi temperaturnimi razlikami, sta imela dva vzorca tako ekstremni izotopski sestavi, da jih nismo mogli niti vnesti v diagram, in sicer:

Pj-18 $\delta^{18}\text{O} = -2,17 \text{ ‰}$ $\delta^{13}\text{C} = +4,01 \text{ ‰}$

Pj-22 $\delta^{18}\text{O} = -2,91 \text{ ‰}$ $\delta^{13}\text{C} = -0,62 \text{ ‰}$

Pri obeh vzorcih gre za vpliv evaporacije. Kapnika sta rastle v bolj suhem in vetrovnem delu jame, kar nakazuje tudi njuna oblika.

SKLEP

Z masnospektrometrično analizo smo ugotovili, da niha izotopska sestava kisika v raziskanih sigah od -2 do -9 ‰ PDB. Izotopska sestava kisika v sigah je odvisna od temperature in izotopske sestave kisika v sigotvornih vodah, ki so večinoma mineralizirane in homogenizirane meteorne vode z manjšega zbirnega področja. Za recentne sige smo ugotovili dobro sovpadanje temperatur, ki smo jih izračunali iz kisikovega izotopskega ravnotežja z izmerjenimi temperaturami sigotvorne vode, kar potrjuje, da se kalcit v jamskih sigah izloča v ravnotežju s sigotvorno vodo. Izjemo predstavljajo sige iz suhih, prevetrenih delov jam z velikimi temperaturnimi nihanji, kjer se izotopska sestava vode spremeni zaradi izhlapevanja.

Izotopska sestava ogljika v raziskanih vzorcih sig niha od $+4$ do -11 ‰ PDB. Variabilnost $\delta^{13}\text{C}$ v sigah zavisi od izotopske sestave ogljika v sigotvorni vodi, sestava le-te pa se med letom precej spreminja. Na izotopsko sestavo ogljika v vodi vpliva ogljik iz zračnega CO_2 , zatem CO_2 , ki nastaja v vegetacijskem pokrovu pri razkroju organskih komponent in pri dihanju ter končno ogljik iz raztapljajočih se apnencev.

Poznavanje izotopske sestave kisika in ogljika v recentnih sigah nam tako omogoča, da se lahko lotimo tudi interpretacij značilnosti izotopske sestave starejših sigovih profilov, od katerih pričakujemo paleoklimatske podatke. Potrebno ho razrešiti problem analize primarne vode v sigovih vključkih in nadaljevati podrobne raziskave posameznih mehanizmov izotopske frakcionacije v kraških procesih. Rezultati teh raziskav nam lahko razrešijo marsikateri za sedaj nerešljiv krasoslovni problem.

LITERATURA

- Craig, H., 1975: The measurements of oxygen isotope paleotemperatures. Proc. spoleto Conf. Stable Isotopes Oceanogr. Studies Paleotemp. 3.
- Faure, G., 1977: Principles of isotope geology. Wiley & Sons, New York.
- Gams, I., 1974: Kras. Slovenska matica, Ljubljana.
- Geyh, M. A., 1970: Isotopenphysikalische Untersuchungen an Kalksinter, ihre Bedeutung für die ^{14}C -Altersbestimmung von Grundwasser und die Erforschung des Paleoklimas. Leol. Jahrbuch 88, Hannover.
- Gospodarič, R., 1981: Generacije sig v klasičnem krasu Slovenije. Acta carsologica 9/3, Ljubljana.
- Habe, F., 1970: Predjamski podzemeljski svet. Acta carsologica 5, Ljubljana.
- Hendy, C. H., 1971: The isotopic geochemistry of speleothems. Geochemica et Cosmoschemica Acta 35.
- Hoefs, J., 1980: Stable isotope geochemistry. Springer-Verlag 1980.
- IAEA, 1981: Statistical treatment of environmental isotope data in precipitation. International Atomic Energy Agency — Technical Reports Series 206, Vienna.
- Kogovšek, J., Habič, P., 1980: Proučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. Acta carsologica IX/5, Ljubljana.
- Neil, J. R. et al., 1969: Oxygen isotope fractionation on divalent metal carbonates. J. Chem. Phys. 51.
- Pezdič, J. et al., 1984: Isotopic study of karst water. Final report IAEA, Ljubljana.
- Urbanc, J., 1982: Kamniška jama. Naše jame 23—24, Ljubljana.

ISOTOPIC COMPOSITION OF OXYGEN AND CARBON IN CAVE WATER AND SPELEOTHEMS OF SLOVENIA

Isotopic composition of oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) in recent cave carbonates were investigated. Some young still growing straw stalactites were analysed. For these samples the isotopic composition of oxygen in sinter as well as that in water are known, so one can calculate the formation temperatures from equations 1 and 2 in the text. The calculated temperatures of formation are in good agreement with those measured in the caves. Results are presented in Table 1 and Figure 2.

Isotopic composition of oxygen and carbon in older speleothems were also determined. Here the isotopic composition of oxygen varies between -2‰ and -9‰ PDB and that of carbon between $+4$ and -11‰ PDB. Results are presented in Table 2 and Figure 3. Most samples show a good positive correlation between the oxygen and carbon isotopic composition. These values already reflect the climatic conditions during the crystallization processes, but we couldn't calculate the exact formation temperature, because we haven't yet determined the isotopic composition of water in fluid inclusions. The samples from Kamnik cave (about 1400 m above sea level), for instance, exhibit a higher ^{13}C concentrations compared to those from the other caves with the mean altitude of about 500 m.

ACTA CARSOLOGICA
KRASOSLOVNI ZBORNIK

XIII

1984

Izdala

Slovenska akademija znanosti in umetnosti
v Ljubljani

Natisnila

Tiskarna Ljubljana
Ljubljana 1986

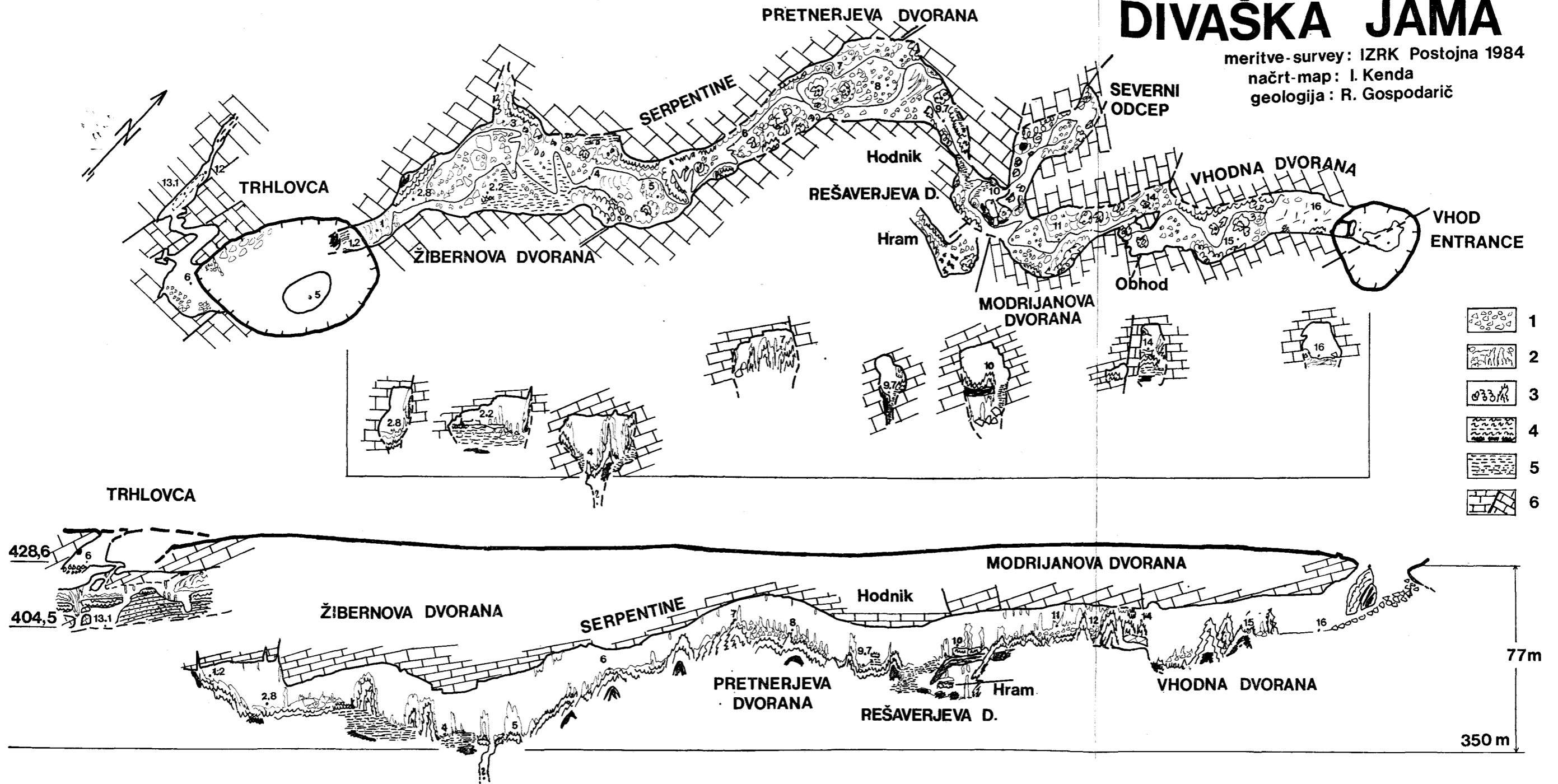
Naklada 1200 izvodov

DIVAŠKA JAMA

meritve-survey: IZRK Postojna 1984

načrt-map: I. Kenda

geologija: R. Gospodarič

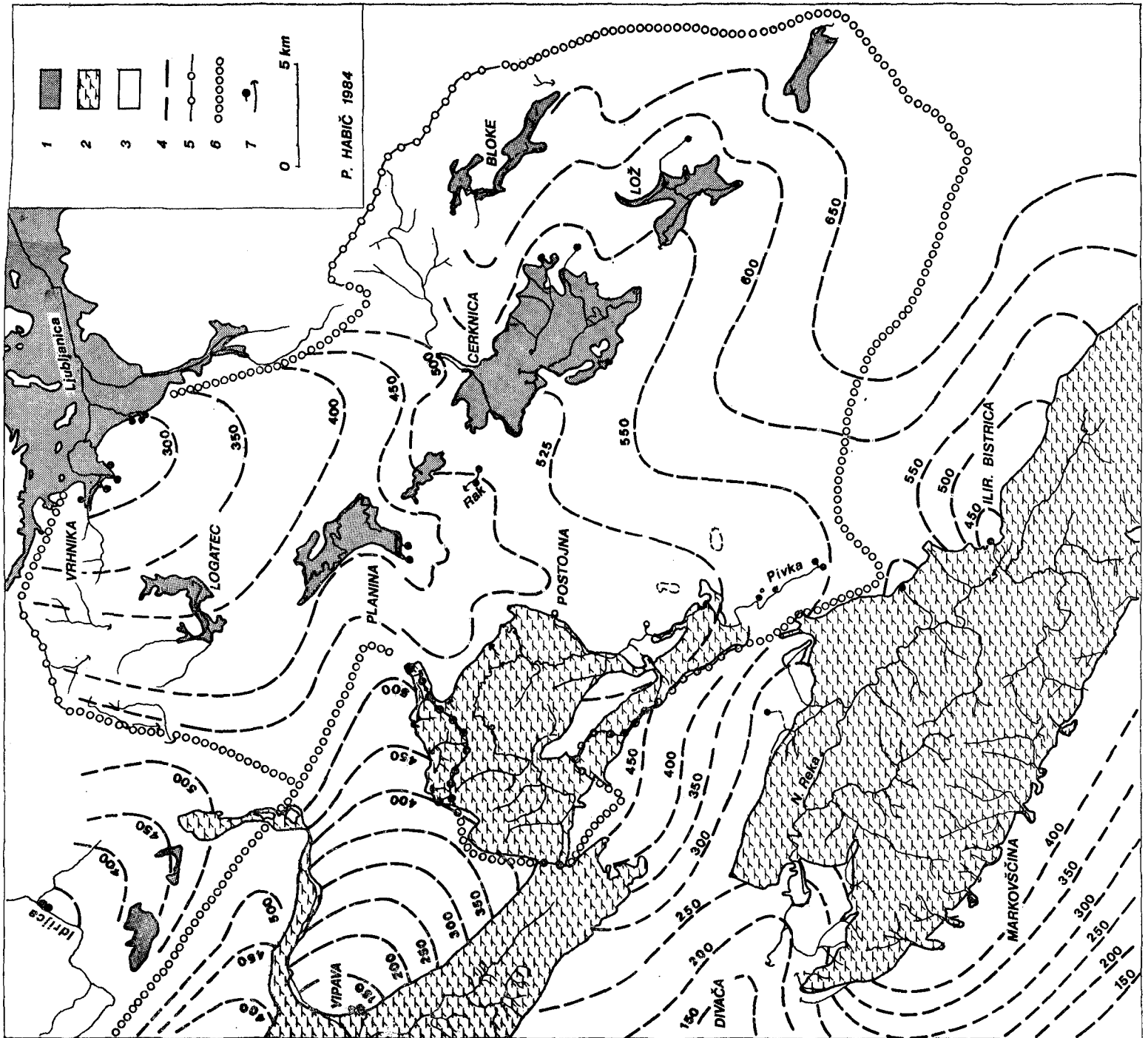


Sl. 1 Divaška jama, tloris in naris ter nekateri prečni prerezi

- 1 — podorne skale
- 2 — siga, holocenske in poznoglacialne generacije
- 3 — siga, pleistocenske generacije
- 4 — rdeča siga in ilovica, riss
- 5 — pasovita ilovica, mindel? (Divaška jama), günz? (Trhlovca)
- 6 — skladi turonijskega apnenca in prelomi

Fig. 1. Divaška jama, ground-plan, longitudinal section with some cross sections

- 1 — boulder blocks
- 2 — flowstone, Holocene and Late glacial generations
- 3 — flowstone, Pleistocene generations
- 4 — red flowstone and loam, Riss
- 5 — laminated loam, Mindel? (Divaška jama), Günz? (Trhlovca)
- 6 — beds of Turonian limestone and faults



Sl. 14.

Razporeditev nizkih voda v Notranjskem krasu
 1 — kraška polja in kotlina Ljubljanskega barja, aluvij
 2 — fliš, nepropustno površje
 3 — kras, apnenec in dolomit
 4 — hidroizopse nizke vode v krasu
 5 — površinsko razvodje
 6 — kraško razvodje
 7 — kraški izvir in ponikalnica

Fig. 14.

Distribution of low waters on Notranjsko kras
 1 — karst poljes and basin of Ljubljana Moor, alluvium
 2 — flysch, impermeable surface
 3 — karst, limestone and dolomite
 4 — hydro-contour-lines of low water in karst
 5 — superficial watershed
 6 — karst watershed
 7 — karst spring and sinking stream