

SLOVENSKA AKADEMIJA ZNANOSTI IN UMETNOSTI
ACADEMIA SCIENTIARUM ET ARTIUM SLOVENICA

RAZRED ZA NARAVOSLOVNE VEDE
CLASSIS IV: HISTORIA NATURALIS

INSTITUT ZA RAZISKOVANJE KRASA * INSTITUTUM CARSOLOGICUM

ACTA CARSOLOGICA
KRASOSLOVNI ZBORNIK

XI
1982



LJUBLJANA
1983

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 25. NOVEMBRA 1982
IN NA SEJI PREDSEDSTVA
DNE 16. DECEMBRA 1982

UREDIL
AKADEMIK SVETOZAR ILEŠIČ

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

Tiskano s subvencijo Raziskovalne skupnosti Slovenije

VSEBINA — INDEX

<i>Habič, Peter</i>	
Kraški pojavi v Krškem hribovju (s 3 slikami)	5
Karst Phenomena in the Hills around Krško (with 3 figures)	18
<i>Gospodarič, Rado — Kogovšek, Janja — Luzar, Marjan</i>	
Hidrogeologija in kraški izviri v Rakovem Škocjanu (z 8 slikami)	19
Hydrogeology and Karst Springs in Rakov Škocjan near Postojna (with 8 figures)	40
<i>Habič, Peter</i>	
Kraški izviri Vipave in njihovo zaledje (s 7 slikami)	41
Vipava Karst Springs and their Background (with 7 figures)	57
<i>Kogovšek, Janja</i>	
Prenikanje vode in izločanje sige v Pisanem rovu Postojnske jame (s 5 slikami)	59
Water Percolation and Sinter Deposition in Pisani rov of Postojnska jama (with 5 figures)	75
<i>Habič, Peter — Gospodarič, Rado — Mihevc, Andrej — Šušteršič, France</i>	
Movraška in Smokavska vala ter Jama pod Krogom (s 7 slikami in 1 prilogo)	77
Movraška and Smokavska Vala and Jama pod Krogom (with 7 figures and 1 annex)	96
<i>Kranjc, A. Andrej</i>	
Dinamika odpadanja sige v Golobji luknji, Predjama (s 4 slikami in 6 tabelami)	99
Frequency of Dripstonefall in Golobja Luknja, Slovenia (with 4 figures and 6 tables)	115
<i>Ikeya, Motoji — Miki, Toshikatsu — Gospodarič, Rado</i>	
ESR Dating of Postojna Cave Stalactite (with 5 figures)	117
Datiranje stalaktita iz Postojnske jame z ESR metodo (s 5 slikami)	131

KRAŠKI POJAVI V KRŠKEM HRIBOVJU

(S 3 SLIKAMI)

KARST PHENOMENA IN THE HILLS AROUND KRŠKO

(WITH 3 FIGURES)

PETER HABIČ

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 25. NOVBEMBRA 1982

VSEBINA

Izvleček — Abstract	8 (4)
UVOD	9 (5)
GEOLOŠKA ZGRADBA	9 (5)
RELIEFNE ZNAČILNOSTI IN MORFOLOŠKI RAZVOJ	10 (6)
KRAŠKI VODNI POJAVI	14 (10)
KRAŠKE VOTLINE IN NJIHOVE SPELEOLOŠKE ZNAČILNOSTI	14 (10)
SKLEP	16 (12)
LITERATURA	18 (14)
KARST PHENOMENA IN THE HILLS AROUND KRŠKO (Summary)	18 (14)

Izvleček

UDK 551.44(497.12-11)

Habič Peter: Kraški pojavi v Krškem hribovju.

Acta carsologica, 11 (1982), 5—18, Ljubljana, 1983, Lit. 9

Obravnavani so uvalam podobni doli, majhni kraški izviri, ponikalnice in ponori ter izvirne jame in brezna v zgornje krednih in triasnih apnencih, med katerimi so nepropustne lapornate plasti. To je poseben tip osamljenega plitvega fluvio krasa v subpanonskem predelu Slovenije, s sledovi postopnega zakrasevanja v odvisnosti od širšega morfološkega razvoja in lokalnih hidrogeoloških razmer.

Abstract

UDC 551.44(497.12-11)

Habič Peter: Karst Phenomena in the Hills around Krško.

Acta carsologica, 11 (1982), 5—18, Ljubljana, 1983, Lit. 9

Ouvula-like valleys, small karst springs, sinking streams, ponors, active caves and potholes in the Upper Cretaceous and Triassic limestones, interbedded by impermeable marl beds, are treated. This is a special type of isolated shallow fluvio karst in the subpanonian part of Slovenia, NW Yugoslavia, with the traces of progressive karstification, depending on wider morphologic development and local hydrogeological conditions.

Naslov — Address

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

UVOD

V nizkih vinorodnih hribih med Savo in Krško kotlino je razvit poseben tip osamljenega krasa. Razporeditev in značaj kraških pojavov sta v tem predelu predvsem odvisna od svojevrstne geološke podlage, ki se razlikuje od prevladujočega apniško dolomitskega dinarskega krasa. Kraške globeli, izviri, ponikalnice in ponori ter jame in brezna so razviti predvsem v zgornjekrednem apnenem flišu ter triasnih plastnatih apnencih in dolomitih, ki jih obdajajo miocenski laporji, pliocenske in kvartarne glinice ter prodi. Poleg najdaljše in najbolj znane Ajdovske jame pri Studencu je še nekaj drugih, zlasti za biologe in arheologe zanimivih speleoloških objektov. Razmeroma številne so tudi ponikalnice s pripadajočimi izviri in ponori. V morfološkem pogledu so posebno zanimivi od 20 do 50 m globoki kraški dolini, ki so podobni uvalam v dinarskem krasu, nekateri med njimi pa imajo vse značilnosti malih kraških polj. Takih reliefnih in hidrografskih kraških značilnosti drugod po Sloveniji tudi na podobni geološki podlagi ne poznamo, zato se nam je zdelo primerno opozoriti nanje s tem prispevkom na zborovanju slovenskih jamarjev in raziskovalcev krasa maja 1982 v Novem mestu.

GEOLOŠKA ZGRADBA

V geološkem pogledu spada Krško hribovje k posavskim gubam. Vzhodno od škocjanskega preloma ločijo geologi v njih posebno grudo Krškega hribovja. Obsega najjužnejši hrbet med senovško-mirenskim in krškim miopliocenskim zalivom Panonskega morja in se proti vzhodu nadaljuje v višjo Orlico nad Bizeljskim. Po novejših spoznanjih pripada Krško hribovje narivu Golega Cirnika, ki je ugotovljen tudi v Gorjancih in Žužemberku (U. Premru, B. Ogorelec, L. Šribar, 1977). Narivna zgradba Dolenjske je dokazana z vrtinami, nastala pa je v ilirsko pirenejski fazi iz poleglih gub zaradi bočnih pritiskov od NE. Tu obravnavamo le del tega hrbita v območju med Impoljsko in Završko dolino ter dolino Save pri Krškem. Podobna geološka zgradba se nadaljuje tudi vzhodno in zahodno od obravnavanega predela z manjšimi razlikami v kamninskem sestavu. Triasne in kredne plasti so v osrednjem delu Krškega hribovja manj nagubane, zato je v tem delu kras bolj izrazit. Na severni in južni strani ga obdajajo miocenski laporji in peščenjaki, v manjši meri tudi apnenci ter pliocenske in kvartarne ilovice s peski in prodi. Ob Savi in njenih pritokih so aluvialne prodne in glinaste naplavine. V geološkem in pokrajinskem pogledu so torej kraški pojavi v Krškem hribovju razporejeni na 10 km dolgem in 6 km širokem pasu, to je na okrog 60 km² površja v višinah med 170 in 470 m. Triasne kamnine so predvsem na vzhodnem in zahodnem obrobju, v osrednjem in najvišjem delu Krškega hribovja pa prevladujejo ploščnati zgornjekredni apnenci pelagičnega razvoja, ki prehajajo navzgor v nekakšen

fliš. Med apnenci so tudi vložki rožencev, glinastih laporjev in leče zrnatega ter brečastega apnenca (U. Premru, M. Pleničar, 1975). Podobno se menjavajo karbonatne in nekarbonatne triasne kamnine v zahodnem delu Krškega hribovja. Prevladujejo sicer dolomiti, vmes pa so vložki apnencev, peščenjakov in laporjev. V drobnem se torej menjavajo prepustne in nepropustne plasti, kar vpliva na zakrasevanje ter oblikovanje kraškega površja in podzemlja. Skozi zakrasele karbonatne kamnine voda podzemeljsko odteka in odnaša drobir ter s tem oblikuje zaprte kraške globeli. Vložki nekarbonatnih kamnin prispevajo več prepereline in usmerjajo površinsko odtekanje. V takšnih razmerah nastaja poseben tip mero- ali fluviokrasi, kjer je le malo golega skalnatega površja, pa tudi relief oblikujejo hkrati erozijsko denudacijski in kraški procesi.

RELIEFNE ZNAČILNOSTI IN MORFOLOŠKI RAZVOJ

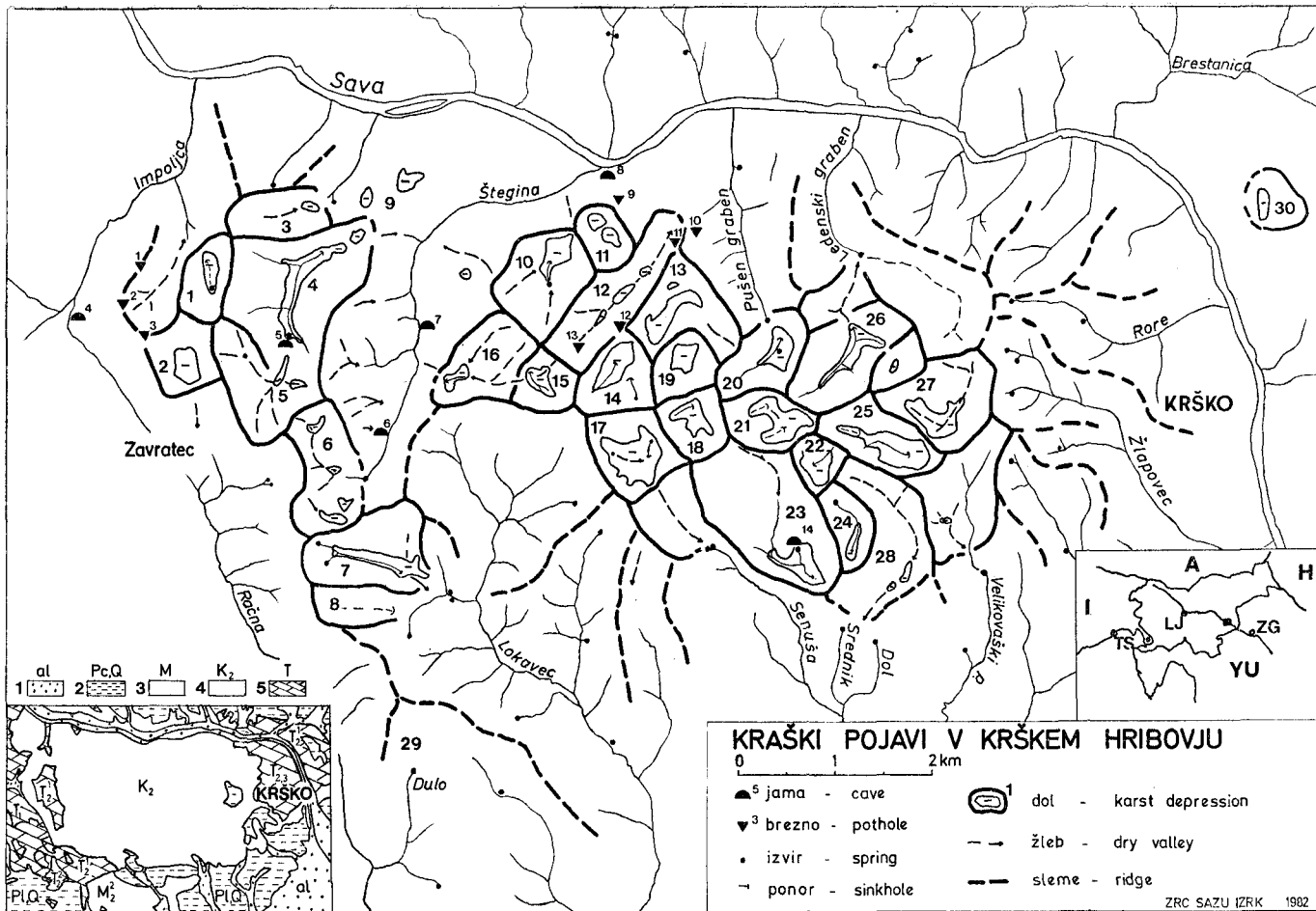
Krško hribovje v morfološkem pogledu še ni bilo podrobno preučeno. A. Melik (1959, 287) je opozoril predvsem na nesimetričnost savske doline med Sevnico in Krškim, k čemur naj bi prispevalo hitrejše dviganje ozemlja v severnem obrobju senovške terciarne kadunje z Bohorjem vred. Savska dolina naj bi bila epigenetska, kar pomeni, da se je postopoma zarežala skozi mlajše terciarne kamnine do trše kredne in triasne podlage. I. Rakovec (1931), M. Pleničar in U. Premru (1975) so mnenja, da je splošnemu spodnje-pliocenskemu uravnavanju sledilo postopno in različno intenzivno tektonsko dviganje ter ugrezanje posameznih blokov ob dinarskih prelomih in prelomih smeri vzhod-zahod. V območju Krške kotline je prevladovalo grezanje še skozi starejši, srednji in mlajši pleistocen. Na njeni severni in južni strani pa se je svet dvigal, najmočneje v Gorjancih, kjer segajo hrbti preko 1000 m, manj pa v Krškem hribovju, ki seže le nekaj nad 450 m visoko. V. Kokole (1953) je primerjal razvitost nivojev na obeh straneh Save med Sevnico in Krškim. Skupna naj bi bila uravnava v višini okrog 320 m, nižji nivo med 260 in 280 pa je bolj razvit le na levi strani doline. Slabo so ohranjene tudi erozijske terase v soteski med Brestanico in Krškim. Vzrok lahko iščemo v kamninski podlagi in morda v pretočitvi Save iz Senovškega podolja proti nastajajoči Krški kotlini (I. Rakovec, 1931).

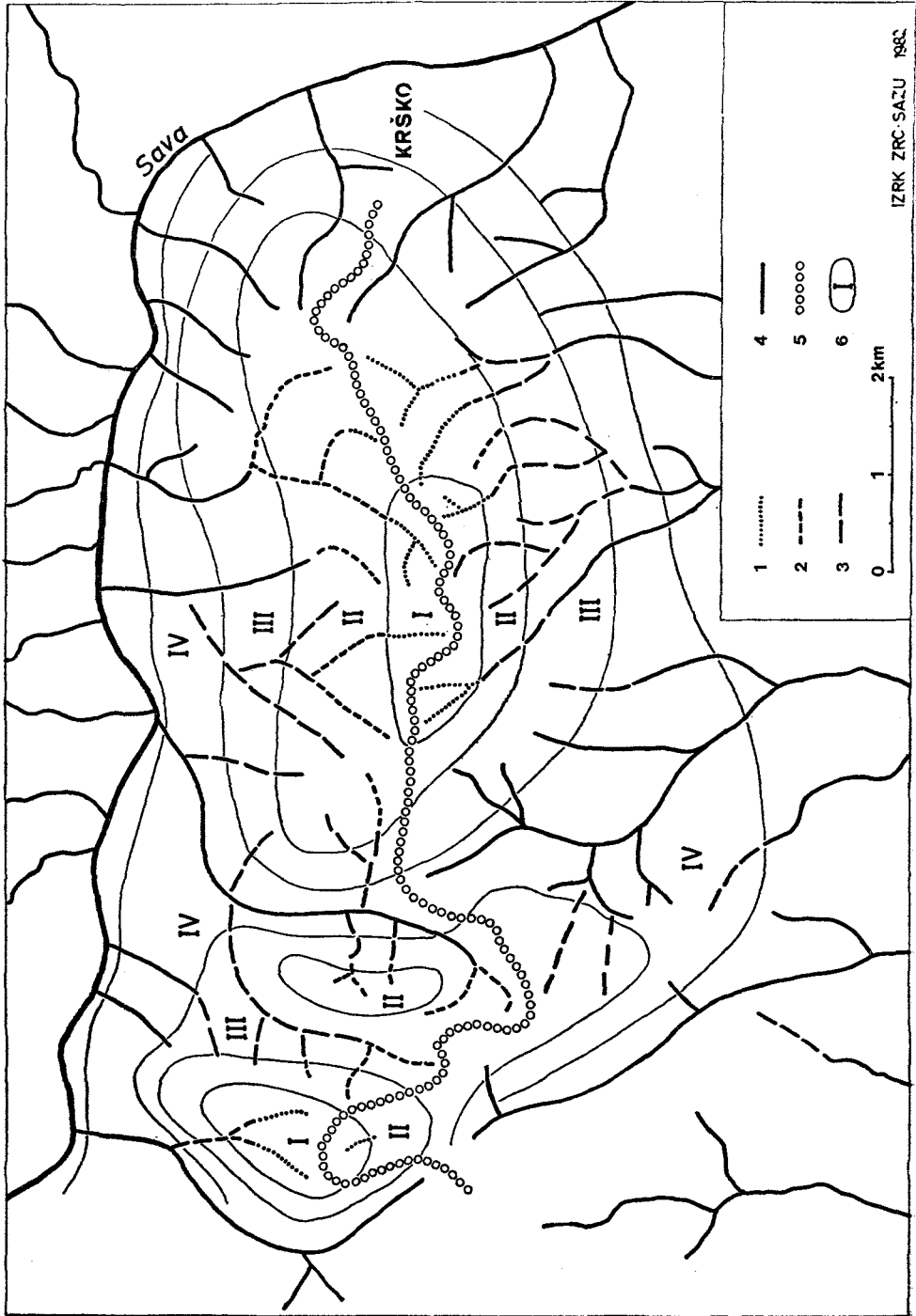
Savska struga je med Sevnico in Krškim poglobljena v prodno kvartarno ravnico, ki je v višini med 170 in 160 m. Nekako v tej višini je tudi nasuto kvartarno dno Krške kotline ob južnem vznožju Krškega hribovja. Osrednji hrbet Krškega hribovja se postopoma znižuje od najvišjih slemen okrog Velikega Trnja (470—440) z bolj ali manj izrazitimi policami v višinah med 420 do 400, 380 do 360 m, 350 do 340, 320 do 300 m ter 280 do 270 m, 240 do 230 in 220 do 200. (S. Lipoglavšek-Rakovec, 1951, 94). Navedene police so lahko erozijske terase ali pa strukturne stopnje, ki so različno obsežne in neenako ohranjene, saj so jih drugotni erozijski denudacijski in kraški procesi ob pritokih Save in Krke že precej preoblikovali.

Na najvišji polici na obeh straneh osrednjega slemena so razvrščeni najobsežnejši in najgloblji kraški doli, ki so bolj podobni uvalam kot vrtačam v

Sl. 1. Kraški pojavi v Krškem hribovju
Fig. 1. Karst phenomena in the hills around Krško

11





dinarskem krasu. Široki so od 500 do 1000 m, njihovo dno sega 30 do 50 m pod najnižjo vrzel v obodu, najvišji obodi pa so tudi do 100 m nad dnom globeli. Na nižjih robnih policah so doli plitvejši in bolj podolgovati, saj so očitno nastali z mlajšim kraškim razčlenjevanjem in lokalnim poglobljanjem sprva normalnih dolin. Največja takšna globel pri Studencu spominja na manjšno kraško polje, saj ima ravno nasuto dno in ponikalnico z izviri na eni ter ponori na drugi strani. Občasne ponikalnice, izvire in ponore lahko sledimo tudi v drugih kraških dolih Krškega hribovja (slika 1). Kraško razčlenjevanje se je očitno najprej uveljavilo v osrednjem najvišjem predelu, na obrobju pa so sprva pritoki Save in Krke oblikovali normalne doline. Nekatere od njih so kasneje zakrasedle, ko je Sava izdatneje poglobila svojo strugo. Pritoki na manj prepustni podlagi kot Impoljca, Štegina, Račna in Lokavec so se ohranili, oni na bolj prepustnih tleh pa so skoraj v celoti poniknili in različno skrajšali svoj površinski tok (slika 2). Poleg Impoljce in Račne imata Štegina in Lokavec najboljše površinsko zaledje. Najnižji preval med njima je v višini okrog 340 m. Ta reliefna vrzel deli Krško hribovje na dva dela. Ožji je zahodni hrbet okrog Studenca (Huči vrh 458), širši pa osrednji okrog Velikega Trna (469). V zahodnem delu so zakraseli predvsem levi pritoki Štegina, manjše kraške globeli pa so nastale tudi ob pritokih Impoljce, Račne in Lokavca. Čeprav so globeli različnih oblik in velikosti, ležijo v različnih višinah in se razlikujejo tudi po razsežnosti ter debelini naplavin v dnu, jim morda še najbolj ustreza oznaka dol. Nekateri doli imajo posebno ime že na karti 1:25.000, druge smo poimenovali po bližnjem kraju. V zahodnem delu so Studenec (1),* Pod Reženco (2), Novo (3), Ponikve pri Studencu (4), Hudo Brezje (5), Pod Breško goro (6), Planina pri Raki (7), Koritnica (8) in Volčje jame pri Ponikvah (9). Polica med Šteginjo in Savo je, podobno kot na drugi strani Štegina pri Lomnem in Dolah, razčlenjena tudi z manjšimi vrtačami, ki so sicer v Krškem hribovju bolj redko posejane. Med Šteginjo in Pušenskim grabnom so na nižjih policah doli Lomno (10), G. Dole (11), Dolice (12) in Črešnjice (13). Ob srednjem trnjanskem hrbtu pa slede globlji doli Koljzica (14), Loka-Trn (15), Smečice (16) ter Koprivnik (19), Globok (18) in Ločica (20). V povirju Ledenskega grabna je največji dol Dragmar s ponikalnico in dolino Mrzlice (26), globlji pa je dol pri Kalcah (21). Ob pritokih Krke, zlasti v povirju Senuše, so ob osrednjem hrbtu razvrščeni Vocen dol s potokom Ciganom (17), Kartušev dol (23), Medenca (22), Robovec ali Ivan dol (24) ter Strženca (25) in Dole (27). Suhe doline z neizrazitimi doli so še pod Goro nad Ledenskim grabnom ter Libelj (28) nad

* Številke v oklepaju se nanašajo na sl. 1.

Sl. 2. Razvojne faze vodnega omrežja v Krškem hribovju
Fig. 2. Evolution phases of water nets in the hills around Krško

1. suhe doline prve faze zakrasevanja
dry valleys in the 1st phase of karstification
2. suhe doline druge faze zakrasevanja
dry valleys in the 2nd phase of karstification
3. suhe doline tretje faze zakrasevanja
dry valleys in the 3rd phase of karstification
4. aktivne doline — active valleys
5. površinsko razvodje — surface watershed
6. območje postopnega zakrasevanja — territory of each phase of karstification

izvirom Dol pri Brezovski gori. Na levem bregu Save je na polici pri Sremiču v višini okrog 400 m plitev dol Mučile (30). Med kraške globeli lahko uvrstimo tudi Podulce (29) nad izvirom Dule pri Raki v miocenskih litotamnijskih apnencih.

KRAŠKI VODNI POJAVI

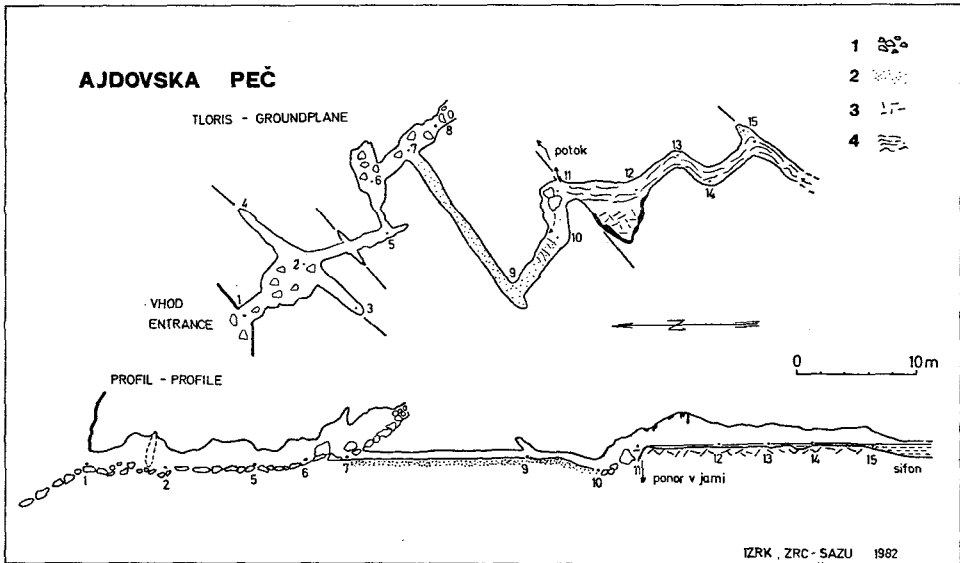
V večjih dolinah so stalni ali pa vsaj občasni kraški izviri, ki jih napajajo podzemeljske vode bližnjih suhih grap in dolin. Po kratkem površinskem toku te vode znova poniknejo in odtekajo v kraške izvire površinskih pritokov Save in Krke. Le redki doli v osrednjem delu Krškega hribovja so povsem suhi. Izvire, ponikalnice in ponore smo zasledili v 17 dolinah in to pri Studencu, v Ponikvah, v Hudem Brezju, v Smečicah, v Loki pod Velikim Trnom, pri Malem Trnju, v Dragmarju, v Strženci, v Koritnici, pod Planino pri Račni in pod Vršo. Poleg omenjenih vodnic smo ob pritokih Save in Krke zasledili še okrog 20 manjših izvirov. Na savski strani so med pomembnejšimi izviri Čagoš, pod Ponikvami, v Pušen grabnu in v Ledenskem grabnu. Manjši izviri so tudi v dolomitnih grapah v savski soteski med Brestanico in Krškim tako v Borah, ob Žlapovcu, pod Osredkom in Golekom. Ob Krkinih pritokih so izviri v zakraselih krednih kamninah pri Selcah ob Velikovaškem potoku, izvira Dol in Srednik, izvir Senuše, Rijavec ob Lokavcu ter Dulo pri Račni v miocenskem litotamnijskem apnencu. Ob Račni sta dva manjša izvira pri Rovišču. Ob Impoljci pa je poleg izvira pod jamo v Zavraški dolini pomembna še Studenčica, ki odvaja kraške vode zahodno od Studenca v Impoljco.

Podzemeljske zveze ponikalnic v kraških dolih z izviri ob površinskih pritokih Save in Krke so ponekod nakazane z vmesnimi suhimi dolinami, z geološko zgradbo in položajem ponorov ter izvirov, niso pa preverjene z barvanjem. Površinska in podzemeljska vodna mreža je zelo razdrobljena in očitno ni hidrogeoloških pogojev za oblikovanje sklenjenega podzemeljskega kraškega bazena. Potrebna bodo še podrobnejša hidrološka in hidrogeološka preučevanja za razjasnitev in oceno praktičnega pomena kraških vodnih razmer v Krškem hribovju. Znatno del studencev je namreč zajet za lokalno oskrbo.

KRAŠKE VOTLINE IN NJIHOVE SPELEOLOŠKE ZNAČILNOSTI

V skladu z navedenimi geološkimi, geomorfološkimi in hidrološkimi razmerami ne moremo pričakovati v tem krasu razsežnejših jam in globokih brezen. Prevladujejo torej manjše votline in doslej je znanih 8 brezen in 7 jam (P. H a b i č, 1980, 26). Prve beležke o jamah v okolici Krškega je posredoval jamski biolog Scheibel leta 1917, za njim pa E. Pretner v letih 1935 in 1938. Nekatere jame sta pred drugo svetovno vojno obiskala tudi A. Šerko in S. Brodar. Najbolj znane so tri ajdovske jame, v njih so arheologi odkrili sledove obiskovalcev iz mlajše kamene in železne dobe (F. L e b e n, 1970). V Kartuševi jami pa ponovno izkopava P. Korošec.

Zanimivo je, da leže omenjene ajdovske jame ob kraških izviri in so z njimi tudi genetsko povezane. Podobnega nastanka so še tri druge jame, dve manjši sta ob potoku Štegina, tretja pa ob Impoljci v Zavraški dolini. Ob zgornjem toku Šteginine je na njenem levem bregu 16 m dolga suha vodoravna jama (6), ki po legi in obliki spominja na prvotni izvorni rov. Podzemeljske vode pa



Sl. 3. Ajdovska peč pri Studencu
 Fig. 3. Cave Ajdovska peč near Studenec

1. podorne skale — boulders
2. ilovica — loam
3. siga — sinter
4. voda — water

so že našle nižje poti v površinsko Šteginjo. Podobno velja tudi za 10 m dolgo Lisičjo jamo v Arškem grabnu (7) na desnem bregu Šteginje. V Zavraški dolini je 18 m dolga jama (4), ki ima komaj dober meter visok vhod pod manjšo prepadno skalno steno ob cesti v Zavratac. Rov v notranjost dvakrat kolenasto zavije in se nekoliko razširi ter zviša. Stene so korozivsko zelo razčlenjene, redki nizki kapniki pa so po dnu rova zablateni in tudi sicer je po skalah nekaj poplavne ilovice. Voda se v jami pojavi najbrž le ob visokih vodah.

Izmed vseh jam je speleološko najbolj zanimiva 80 m dolga Ajdovska peč pri Studencu (5, sl. 3). Vhod vanjo je le nekaj metrov nad stalnim kraškim izvirom na zgornji strani Ponikevskega dola. Kratek podorni rov nas privede v aktivno vodno jamo z zasiganim dnom in majhnimi jezerci, ki jih napaja stalni tok. Na pritočni strani je rov do stropa zalit, jamski potok pa izginja ob srednjih in nizkih vodah nekako na sredi jame v neprehodni razpoki, ob zelo visoki vodi pa se lahko prelije po vhodnem rovu na površje. Vse kaže, da je podzemeljska struga na pritočni strani Ponikevskega dola ostala nekaj metrov nad površinsko. Najbrž je manj prepustna podlaga onemogočila znižanje podzemeljskega toka v času, ko so površinski erozijsko denudacijski procesi poglobili dno dola.

Nekdanjo višjo gladino podzemeljske vode nakazujejo tudi druge suhe jame v dolih in dolinah nad današnjimi izviri. Najprostornejša med njimi je Ajdovska ali Kartuševa jama (14) na pritočni strani Kartuševega dola pod Nemško

vasjo. Ima dva vhoda, ki nas privedeta v osrednjo lijakasto dvorano s premerom 12 do 15 m. Njeno nadaljevanje je zasuto s podorom. Okrog 3 m pod vhomom v jamo je občasni bruhalnik, ki nas navaja k domnevi, da je Kartuševa jama erozijsko korozijskega nastanka ob nekdanjem izviru. Po prekinitvi njene hidrografske funkcije so jo preoblikovali podori in korozija prenikajoče vode. V dnu rovov so poleg grušča in podornega skalovja nasute in naplavljenе plasti ilovice s sledovi nekdanjih obiskovalcev tega podzemlja.

Tretja Ajdovska jama pri Krškem, imenovana tudi Jermanova jama ali Jama pod Viževcem (8) je občasni bruhalnik vzhodno od vasi Arto v strmем bregu nad cesto, nekako tam, kjer se ji Sava najbolj približa. Lijakasti poševni rov je globok dobrih 10 m z vodo na dnu, njena gladina precej niha. Hidrografsko zaledje tega občasnega bruhalnika je precej obsežno, sega od Gorenjih Dol in Lomnega tja gor do Velikega Trnja, kjer je znanih 5 brezen. Dve sta na Čadovem hribu (12, 13), dve pri Sr. Artu (10, 11) in eno na Kralovem hribu. Poleg omenjenih je še troje brezen na Ilovcu zahodno od Studenca, in sicer Darkova jama, Gospodarička in Matkovo brezno. Brezna so globoka od 10 do 50 m, vendar še niso vsa podrobno preiskana. Zanimiva je njihova lega na slemenih in v debelejših triasnih karbonatnih kamninah, redka pa so brezna v zgornje krednih ploščatih apnencih. Brezna so povečini korozijskega nastanka in delno preoblikovana s podori, niso pa povezana s starejšimi ali aktivnimi erozijskimi vodnimi rovi.

SKLEP

V nizkem Krškem hribovju med Savo in Krško kotlino so razviti vsi tipični površinski, vodni in podzemeljski kraški pojavi. Vkljub temu se ta kras, ki zavzema okrog 60 km², razlikuje od klasičnega dinarskega krasa in ga lahko označimo kot poseben tip plitvega fluviokrasa v osamljenem subpanonskem krasu Slovenije (P. H a b i č, 1982). Vzrok temu so predvsem svojevrstne geološke razmere, saj se menjavajo bolj ali manj prepustne karbonatne, lapornate, skrilave in peščene kamnine zgornje kredne in triasne starosti. Relief oblikujejo erozijsko denudacijski in kraški procesi. V komaj 460 m visokem hrbtu vzhodno zahodne smeri med senovško mirensko miopliocensko kadunjo na severu ter mlado tektonsko Krško kotlino na jugu so nad današnjim nasutim dnom v višini med 160 in 170 m ohranjene značilne reliefne police v več stopnjah, ki so bodisi erozijskega ali tektonsko strukturnega nastanka. Uravnave in police so razrezane z dolinami površinskih pritokov Save in Krke ter kraško razčlenjene v zaprte 20 do 50 m globoke kraške dole in obvisele suhe doline. Oblika in razporeditev okrog 30 dolov in 10 suhih dolin nakazuje postopno kraško razčlenjevanje prvotnih površinskih dolin. Najgloblji so dole v osrednjem najvišjem predelu, plitvejši pa na nižjih obrobnih policah, kar naj bi bila posledica različno starega zakrasevanja. Številni kraški izviri (35), ponikalnice (17) in ponori (17) v dnu dolov in v povirju površinskih pritokov so po vsej verjetnosti pogojeni tudi z razporeditvijo manj prepustnih plasti. Značilne kraške reliefne oblike in številni vodni pojavi so potemtakem v veliki meri odvisni ne le od širših morfogenetskih dogajanj in različno trajajočega zakrasevanja v prehodnem območ-

ju med Panonsko kotlino in Posavskim hribovjem, temveč tudi od drobnih hidrogeoloških razmer, značilnih prav za Krško hribovje. Takšnim razmeram so prilagojeni tudi kraški podzemeljski pojavi, tako vodoravne aktivne in suhe izvorne jame kot tudi tipična korozijska brezna. Kraške votline so manjših dimenzij, saj so znane jame dolge le od 10 do 80 m, brezna pa so globoka od 10 do 50 m skupno je doslej znanih 6 jam in 8 brezen. V izoliranem kraškem podzemlju so ugodni pogoji za diferenciacijo podzemeljskega živalstva, zato je Krško hribovje tudi speleobiološko zanimivo. Redke votline in kraški izviri v navidez nekraškem svetu pa so zgodaj privabljali človeka, kar se odraža že v imenih ajdovskih jam pa tudi po arheoloških sledovih v njih.

LITERATURA

- Habič, P., 1982: Pregledna speleološka karta Slovenije. Acta carsologica 10 (1981), 5—22, Ljubljana.
- Habič, P. in drugi, 1980: Osnovna speleološka karta Slovenije, 5. nadaljevanje. Naše jame, 21 (1979), 13—17, Ljubljana.
- Kokole, V., 1953: Morfološki razvoj področja med Savo in Sotlo. Geografski vestnik, XXV, 167—187, Ljubljana.
- Leben, F., 1970: Arheološka podoba dolenskih jam. Naše jame, 11 (1969), 25—40, Ljubljana.
- Lipoglavšek-Rakovec, S., 1951: Krška kotlina, Geografski vestnik, XXIII, 85—108, Ljubljana.
- Melik, A., 1959: Posavska Slovenija, Slovenska matica, Ljubljana.
- Pleničar, M., U. Premru, 1977: SFRJ, Osnovna geološka karta, Tolmač za list Novo mesto, L 33—79, Beograd.
- Premru, U., B. Ogorelec, L. Šribar, 1977: O geološki zgradbi Dolenjske. Geologija, 20 (1977), 167—192, Ljubljana.
- Rakovec, I., 1931: Morfološki razvoj v območju posavskih gub. Geografski vestnik, VII, 3—66, Ljubljana.

KARST PHENOMENA IN THE HILLS AROUND KRŠKO

Summary

In low hills around Krško between river Sava and Krško valley all the typical superficial, water and underground karst phenomena are developed. Anyway, this karst, extending on about 60 km², differs from classical dinaric karst and can be defined as a special type of shallow fluvio karst on isolated subpanonian karst of Slovenia (Peter Habič, 1982). The reason lies in peculiar geologic conditions where more or less permeable carbonate, marl, shale and sandstone rocks of Upper Cretaceous and Triassic age are intermingling. The relief is formed by erosion denudation and karst processes. In at least 460 m high ridge, oriented east westwards between Senovo and Miren Miopliocene valley on the north and young tectonic Krško valley on the south, there are over actual sediments in the height between 160 and 170 m preserved characteristic relief shelves in several levels which have erosional or tectonic structural origin. The flattenings and shelves are cut by valleys of superficial Sava and Krka tributaries and karstically dissected into closed, 20—50 m deep dales and hanging dry valleys. The shape and distribution of about 30 dales and 10 dry valleys show the progressive karst dissection of former superficial valleys. The deepest are the dales in the central highest region, the shallow one are on lower marginal shelves; the reason is differently old karstification. Several karst springs (35), sinking streams (17), and ponors (17) in the bottom of the dolines and in the river basin of the superficial tributaries are most probably conditioned by the distribution of less permeable beds. Thus characteristics karst relief forms and numerous water phenomena are greatly dependent not only on wider morphogenetic facts and differently lasting karstification in transitive region between Panonian valley and Hills of Posavje but also on hydrogeological conditions in detail, characteristic just for the hills of Krško. To such conditions also the karst underground phenomena are adapted, the horizontal active and dry effluent caves as well as typical corrosional potholes. Karst caves are of smaller dimensions, the known caves are long only from 20 to 80 m, potholes have 10 to 50 m of depth; in total there are 6 caves and 8 potholes known.

In isolated karst underground there are favourable conditions for differentiation of underground fauna, therefore the hills of Krško are interesting in biospeleological point of view too. Already early scarce caverns and karst springs, on apparently non-karstic area attracted man, which is reflected in the names of »Giant caves« and in archaeological traces found in them.

**HIDROGEOLOGIJA IN KRAŠKI IZVIRI
V RAKOVEM ŠKOCJANU PRI POSTOJNI**

(z 8 SLIKAMI)

**HYDROGEOLOGY AND KARST SPRINGS IN RAKOV ŠKOCJAN
NEAR POSTOJNA**

(WITH 8 FIGURES)

**RADO GOSPODARIČ
JANJA KOGOVŠEK
MARJAN LUZAR**

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 25. NOVEMBRA 1982

VSEBINA

Izveček — Abstract	22 (4)
UVOD	23 (5)
HIDROGEOLOŠKE RAZMERE RAKOVEGA ŠKOCJANA	24 (6)
HIDROLOGIJA KRAŠKIH IZVIROV	27 (9)
Prunkovec	27 (9)
Izvir v Biserjevem lazu	29 (11)
Izvir v Biserjevi ločici	29 (11)
Izviri v Burjevki	29 (11)
Kotliči	30 (12)
Studenec pod žago	31 (13)
Izviri v Farovki	31 (13)
Izvir Raka	34 (16)
FIZIKALNO-KEMIČNE LASTNOSTI IZVIROV PRI NIZKI VODI	35 (17)
FIZIKALNO-KEMIČNE LASTNOSTI POPLAVNE VODE	36 (18)
SKLEPI	37 (19)
LITERATURA	39 (21)
HYDROGEOLOGY AND KARST SPRINGS IN RAKOV ŠKOCJAN NEAR POSTOJNA (Summary)	40 (22)

Izvleček

UDK 551.49(497.12-14)

Gospodarič Rado, Janja Kogovšek, Marjan Luzar: Hidrogeologija in kraški izviri v Rakovem Škocjanu pri Postojni.

Acta carsologica 11 (1982), 19—40, Ljubljana, 1983, lit. 21

Razprava obravnava geološko zgradbo, kraške izvire in ponore v kraški depresiji med Cerkniškim in Planinskim poljem. Podrobno preučena struktura terena in sistemske fizikalnokemične meritve izvirske vode kažejo, da so hidrogeološko prevodne cone v zahodnem in vzhodnem obrobju depresije. Tu se pretakajo tokovi, ki ob srednjem in visokem vodostaju napajajo izvire v depresiji, sicer pa tečejo ob njej proti Planinskemu polju. Prevodnost in trdote izvirske vode se med letom spreminjajo skladno s pretoki in padavinami ter niso odvisne od temperature. Dobljeni rezultati dopolnjujejo dosedanje znanje o hidrogeologiji krasa med kraškimi polji Slovenije.

Abstract

UDC 551.49(497.12-14)

Gospodarič Rado, Janja Kogovšek, Marjan Luzar: Hydrogeology and karst springs in Rakov Škocjan near Postojna.

Acta carsologica 11 (1982), 19—40, Ljubljana, 1983, Lit. 21

The study deals with geologic structure, karst springs and ponors in the karst depression between Cerknica and Planina poljes. Terrain structure, studied in detail and systematical physico-chemical water measurements show that hydrogeologically transmissive zones are situated in the western and eastern depression border. There flow the streams feeding the springs in depression at medium and high water level, otherwise they flow along it towards Planinsko polje. Spring water conductivity and hardness change during the year corresponding to discharges and precipitations but they are not dependent on temperature. The received results complete the previous knowledge on the hydrogeology of karst among karst poljes in Slovenia.

Naslov — Address

Dr. Rado Gospodarič, znanstveni svetnik
Mgr. Janja Kogovšek, raziskovalni sodelavec
Marjan Luzar, tehnični sodelavec
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

UVOD

Povojne hidrogeološke interpretacije ozemlja Rakovega Škocjana so se sprva opirale še na geološko karto F. Kosmata (1905), kasneje (M. Breznik, 1963) pa že na izsledke kartiranja v zvezi z načrti o akumulacijah na sosednjih kraških poljih (M. Pleničar, 1953; M. Pleničar in D. Kerčmar, 1959). Po geološki karti list Postojna (1967) in njenem tolmaču (M. Pleničar, 1970) je območje Rakovega Škocjana zgrajeno v fosilno revnih apnenicah spodnje krede.

Pri speleološkem delu v Zelških jamah (R. Gospodarič, 1970) so bile med apnenici najdene plasti peščenega dolomita in apnene breče. Ker so ti manj vodopropustni vključki vplivali na oblike dostopnih podzemeljskih rovov, se je odprlo vprašanje ali so nanje vezane tudi hidrogeološke bolj ali manj prepustne bariere v obrobju kotline in številni izviri v kotlini sami. Pri speleološkem delu so bili kartirani tudi strukturni elementi, razpoke in prelomi ter različno usmerjene in nagnjene plasti. Analiziran je bil njihov pomen pri usmerjenosti in oblikah podzemeljskih kanalov, ne pa tudi pri hidrogeoloških razmerah Rakovega Škocjana v celoti.

Vodne razmere Rakovega Škocjana so raziskovali speleologi v izvirnih Zelških jamah in ponorni Tkalci jami ter drugih tukajšnjih jamah. Njihove ugotovitve so delno objavljene (I. Gams, 1961; R. Gospodarič, 1970; P. Habič, R. Gospodarič, I. Kenda, A. Kranjc, 1975), delno pa še shranjene v zapisnikih jamarških klubov na Rakeku, v Postojni in Ljubljani. Pri teh raziskavah so bili uspešni tudi jamarji-potapljači, saj so v Tkalci jami preplavali sifone in za njimi odkrili skoraj 2 km dolg vodni rov, v Kotličih in Zelških jamah pa opravili več potapljaških poskusov, žal, brez pričakovanega uspeha, da bi se občutno približali sklepnim kanalom Velike in Male Karlovice, ponornima jamama Cerkniškega jamskega sistema.

Pri dosedanjih preučevanjih podzemeljskih voda med Cerkniškim in Planskim poljem so bili vedno upoštevani tudi nekateri kraški izviri in ponori Raka v Rakovem Škocjanu. Medtem ko so pri sledenjih pred letom 1941 Rakele občasno opazovali, ker je bil onstran meje (A. Šerko, 1946), so ga po osvoboditvi in v šestdesetih letih že vključili v hidrološko mrežo in temeljiteje opazovali (F. Jenko, 1959). Izvir Raka in Kotličice so posebej merili tudi pri raziskavah za 3. mednarodni simpozij o sledenju podzemeljskih voda, o čemer pričajo številne objave (H. Moser in sodelavci, 1976; J. J. Miserez, 1976; M. Zupan, M. Kolbezen, 1976; K. Žibrik, F. Lewicki, A. Pičinin (1976).

V zvezi z načrti o zajezitvah na sosednjih kraških poljih so bile podrobneje študirane podzemeljske zveze med požiralniki na Cerknškem jezeru in izviri v Rakovem Škocjanu (I. Gams, 1966, 1970). Na podlagi sledenja in občasnih hidroloških ter hidrokemičnih analiz je I. Gams sklepal na manj propustni

coni v vzhodnem in zahodnem delu kotline ter na bolj propustno cono v osrednjem delu kotline. Ker bi naj bilo na te cone vezano tudi različno mešanje cerkniških in javorniških voda v odvisnosti od vodostajev, se je pokazala potreba tudi geološko dokazati njihov obstoj.

Po delni umetni zaježitvi Cerkniškega jezera l. 1969 so bili leta 1970 in 1971 izvedeni sledilni in hidrološki poskusi, ki so pokazali delno uspešno zaježitev, poleg tega pa posredovali tudi dosti hidroloških in hidrokemičnih podatkov o vodah ter hidrogeoloških lastnostih krasa v obrobju Rakovega Škocjana (R. Gospodarič, P. Habič, 1979). Ugotovljeno je bilo, da se voda med Jamskim zalivom in Kotlički pretaka niže (med 540 in 510 m) kot med Veliko Karlovice in Zelškimi jamami (med 550 in 520 m) ter da se vpliv toplejše in hladnejše vode, ki iz jezera odteka, izrazito odraža tudi v izvirih Rakovega Škocjana. Prva ugotovitev je speleološko in hidrogeološko zanimiva, ker govori za različno globoko zakrasevanje, ki zna biti tudi geološko pogojeno, druga ugotovitev pa odpira vprašanje, kakšne so fizikalno-kemične lastnosti izvirske vode v Rakovem Škocjanu med letom, ko je dotok iz jezera večkrat maksimalen, a tudi minimalen, ko tudi domnevni dotoki javorniških voda lahko vplivajo na kvaliteto izvirske vode. Poleg vzdolžnih hidroloških situacij za karakteristične vodostaje, kakor so uspešno pokazani v navedenih študijah, bi bilo koristno spoznati, kako se v tem pogledu med seboj razlikujejo ali ujemajo kraški izviri Rakovega Škocjana v daljšem časovnem obdobju, denimo enem letu pri različnih vodostajih ne glede na izvor vode. Poznavanje letnih karakteristik kraških izvirov bi koristilo pri morebitnem ponovnem študiju hidroloških razmer v krasu med Cerkniškim in Planinskim poljem sedaj, ko jezero že več kot deset let deluje kot delno zaježeno.

Nekaj odgovorov na zgornja vprašanja smo poskušali dobiti s ponovno preučitvijo geoloških razmer neposrednega obrobja Rakovega Škocjana in izdelavo ustrezne hidrogeološke karte v merilu 1:5.000 ter s kontrolo tukajšnjih štirinajstih kraških izvirov, ki smo jih med avgustom 1981 in julijem 1982, razen decembra 1981, približno vsakih 14 dni vzorčevali. Na terenu smo merili temperature in cenili pretoke, v laboratoriju pa analizirali prevodnost in trdote. Ugotovljene rezultate in probleme podajamo v tej razpravi.

HIDROGEOLOŠKE RAZMERE RAKOVEGA ŠKOCJANA

Tako kot predel med Cerkniškim in Planinskim poljem, je tudi Rakova dolina izoblikovana v apnencih spodnje krede. Kamnino sestavljajo drobnozrnati pretežno temnosivi apnenci, ki jih vidimo v cestnih usekih, v strmih skalnih stenah ob Raku, nadalje v udornicah in kraških jamah ter na zakraselem, z vrtačami posejanem površju. Med skladi apnenca se pojavljajo sedimentacijske apnene breče s peskastim dolomitnim ali apnenim vezivom. Obojne breče nastopajo v obliki skladov in podolgovatih leč, ki so do 10 m debele, z izjemo v osamelcu Farovke in zahodno od Velikega naravnega mostu, kjer znaša njih debelina tudi do 50 m. V primerjavi s stratigrafsko debelino apnenca je teh breč o območju Rakovega Škocjana komaj 5% pa jim ne moremo pripisati večjega pomena pri oblikovanju doline ali pri razporeditvi izvirov v njej.

Skladi vpadajo za največ 30° proti zahodu, jugozahodu in severozahodu. Zato imamo na vzhodni strani doline razgaljene stratigrafsko starejše kamnine kot na zahodni strani (slika 1).

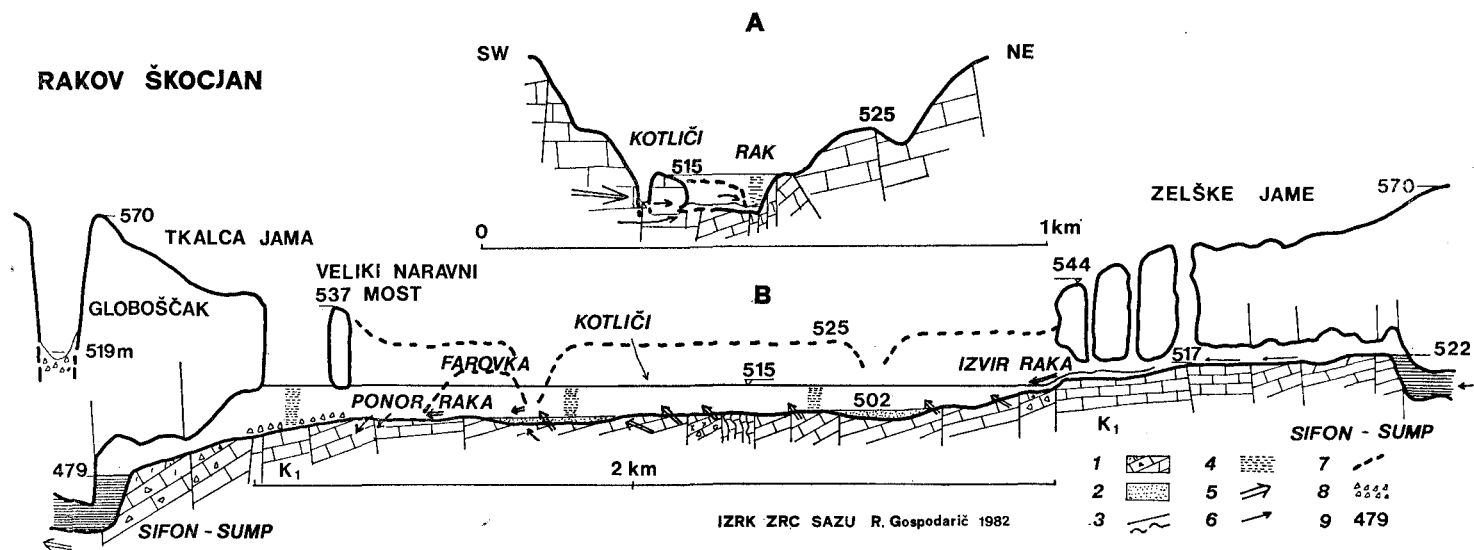
Skladi so na gosto prepreženi z vzdolžnimi in prečnimi razpokami, pa tudi z razpokami, ki potekajo od severa proti jugu ne glede na usmerjenost plasti (R. Gospodarič, 1970, 113). Te razpoke sestavljajo tako imenovane razpoklinske cone (J. Čar, 1982), ki na površju izstopajo kot skalni zidovi s številnimi škrapljami in jarki med nizi vrtač. To so kamnite cone brez prsti, kjer padavine brez zadrževanja hitro odteka v podzemlje in šele tam bolj učinkovito korodirajo. Najbolj markantni takšni coni smo ugotovili med Rakovskim gričem na severu in Cerkniškim lazom na jugu terena ter v območju Velikega naravnega mostu. Obe coni se prepletata s prelomi tako, da obojne rupture ni moč uspešno razlikovati.

Območje Rakovega Škocjana je prepreženo tudi s številnimi prelomi, ki jih označujejo različno vpadajoči skladi in tektonske breče. Najbolj izstopajo prelomi NNW-SSE smeri v tektonski coni med Farovškim lazom in Cerkniškim lazom, kjer je osrednji, najširši del doline. Morfološko dvojnost Rakove doline, ki jo je opazil že A. Šerko (1949), ko je vzhodni del imenoval Gornjo, zahodni del pa Spodnjo uvalo, ima zasnovo v tej strukturi, ki je tudi hidrogeološko pomembna, saj dosežejo izviri v Burjevki (5) in Kotličici (6) površje zahodno, izviri Biserjevega laza (3) in Biserjeve ločice (4) pa vzhodno od te cone. Vzporedno z navedeno cono potekajo prelomi v višjem obodu doline tako, da je zgradba sestavljena iz podolgovatih paketov apnenca. Ti paketi so nadalje presekanj s prelomi NNE-SSW in N-S smeri, ki imajo zmične drsine in tudi leče tektonske breče. Takšni prelomi so bolj izraziti ob udornici Globoščak, med Rakovim gričem in Cerkniškim lazom ter v območju obeh naravnih mostov. Čez Cerkniški laz in Zelške jame se vleče dislokacija NE-SW smeri.

V navedeni množici ruptur ni mogoče izdvojiti posebej vodilnih, ki bi se ob njih pojavljali izviri. Prej bi lahko rekli, da kraška voda priteka v dolino skozi bloke neporušene kamnine med prelomi, kjer so prevodniki tudi pogostne lezike. Prevodne cone, dotočne in odtočne kanale v območju Rakovega Škocjana domnevamo tam, kjer so skladi usmerjeni od jugovzhoda proti severozahodu, se pravi tako, kot je s sledenjem ugotovljena splošna smer podzemeljskih tokov iz Cerkniškega jezera v Rakov Škocjan. Takšno hidrogeološko prevodno cono imamo južno od Cerkniškega laza, kjer se verjetno pretakajo tokovi, ki napajajo Kotličice.

Hidrogeološko situacijo dovodnih kanalov Raka pa lahko поблиže spoznamo v dostopnih Zelških jamah. Pri speleološkem opisu in na objavljenem načrtu te jame (R. Gospodarič, 1970) so že pokazani nekateri litološki podatki, ki jih tokrat lahko dopolnimo še z novejšimi najdbami na površju nad jamo.

Sifon Vodnega rova je ob dislokaciji NW-SE smeri, rov sam pa sprva rahlo vijuga proti severu ob razpoki N-S smeri tudi skozi plast dolomita, nato pa prečka prelom NE-SW smeri, da bi sledil proti zahodu usmerjenim lezikam. Nadalje prečka več prelomov NNW-SSE smeri in skozi neporušene bloke debeloskladnatega apnenca s strmocem 3 0/0 doseže vhodni del jame oziroma vzhodni začetek Rakove doline.



Sl. 2. Rakov Škocjan. A — prečni profil pri izviroh Kotliči, B — shematski vzdolžni profil kotline, 1 — skalno dno, 2 — naplavine, 3 — prelomi in tektonska cona, 4 — višina poplave 04.01. 1982, 5 — kraški izvir, 6 — smeri vodnih tokov, 7 — terase, 8 — podorne skale, 9 — nadmorske višine

Fig. 2. Rakov Škocjan Depression. A — cross section at Kotliči springs, B — schematic longitudinal section of the depression, 1 — rocky bottom, 2 — alluvions, 3 — faults and structure zone, 4 — flood height on January 4, 1982, 5 — karst spring, 6 — water flow directions, 7 — terraces, 8 — boulder rocks, 9 — altitudes

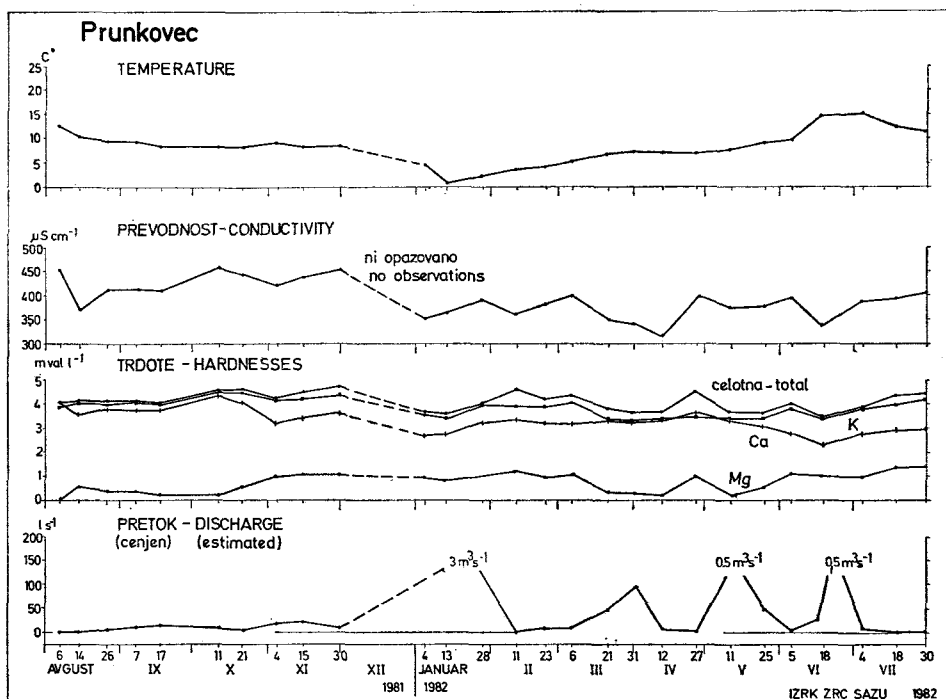
Rečemo lahko, da se podzemeljski Rak v Zelških jamah pretežno izogiba prelomom in ima najbolj široko strugo ohranjeno v neporušeni kamnini. Za suhe rove Zelških jam, ki so do zgornje polovice zasuti s sedimenti, in za nedosežne rove onkraj pritočnega sifona pa bo zanesljivejšo hidrogeološko situacijo možno povedati tedaj, ko bo v tem pogledu upoštevan tudi kras tja do Cerkniskega polja. V obravnavanem delu Rakovega Škocjana vsekakor ni geoloških ovir, ki bi bolj zadrževale pretok podzemeljskih voda kot denimo v osrednjem ali zahodnem delu doline.

Odvodni ali ponorni kanali Raka so na zahodni strani doline. Veliki naravni most je neporušeni del nekdanjega rova v antiklinalno izbočenih skladih med prelomoma NNE-SSW smeri. Skozi most in v ponore pred njim teče Rak v Tkalco jamo ob 5 % strmcu. Onkraj udornega kanjona ima Tkalca jama sprva širok in visok ponorni rov, ki pa se razčleni in zniža brž, ko se usmeri proti vzhodu v sklade sedimentacijske breče. Kakor je po načrtu, ki so ga izdelali potapljači, sklepati, pa je nadaljnji kanal onkraj sifona izdelan v sorazmerno manj porušenih blokih drobnoskladnatega apnenca. Kanal je usmerjen proti zahodu, verjetno vzporedno s pogostnimi prečnimi razpokami v skladih, ki so do 20° nagnjeni proti zahodu. Kjer se kanal približa pobočju vzpetine Korenine pa naenkrat ostro zavije proti severu v smer skladov tja do doseženega končnega sifona, ki je od jamskega vhoda oddaljen v zračni črti okrog 1200 m in znižan za 30 m do kote 470 m. S hidrogeološkega stališča je zanimivo, da sta strmca podzemeljskega Raka na pritočni strani (v območju udornic Malega naravnega mostu) in odtočni strani (med Velikim naravnim mostom in prvim sifonom v Tkalci jami) za 10 do 20-krat večja kot strmec površinskega Raka v dolini (slika 2). To lahko pomeni, da ima površinski Rak svojo strugo v pleistocenskih naplavinah, ki še več metrov na debelo pokriva skalno dno, v predelih bolj nagnjenih pritočnih in odtočnih kanalov pa je ta naplavina že erodirana in zakraselo skalno dno vnovič razgaljeno. Geološka zgradba pa nakazuje tudi možno razlago, da se tokava Raka prilagaja različnemu dviganju in spuščanju zakraselih paketov med prelomi. Ker leže nadalje dotočni kanali in sifon v Zelških jamah okrog 20 m višje, odtočni kanali s prvim sifonom v Tkalci jami pa okrog 20 m nižje od struge Raka v uravnani dolini, se odpira tudi vprašanje, če ne gre v tem primeru za speleogenetsko različno stare rove, se pravi, da Zelške jame genetsko niso ekvivalentne Tkalci jami. Vsa ta vprašanja so povezana z geomorfološkim in speleogenetskim razvojem Rakovega Škocjana, ki pa jih bo treba še podrobneje preučiti, da bomo razumeli današnje hidrogeološke razmere.

HIDROLOGIJA KRAŠKIH IZVIROV

Pričakovati je bilo, da se bodo pokazane hidrogeološke razmere Rakovega Škocjana odrazile delno tudi v lokacijah kraških izvirov in v fizikalno-kemični sestavi izvirske vode. Zato pogledjmo, kje se izviri pojavljajo in kakšna voda je v njih izvirala v opazovalnem obdobju med avgustom 1981 in julijem 1982.

2 — Prunkovec sodi med najbolj znane kraške izvire na vzhodni strani Rakovega Škocjana. Med bližnjimi domačini slovi kot izvir z najboljšo vodo, ki nikoli ne presahne. Izvir je v skalnem zatrepu nad levim bregom Raka,



Sl. 3. Kraški izvir Prunkovec. Diagrami nekaterih fizikalno-kemičnih lastnosti izvirsne vode v opazovalnem obdobju med avgustom 1981 in julijem 1982, pojasnilo v tekstu

Fig. 3. Prunkovec karst spring. Diagrams of some physicochemical characteristics of spring water in the observation period between August 1981 and July 1982, explanations in the text

kjer so debeloskladnati apnenci in apnene breče prepleteni s prelomi NW-SE in N-S smeri. Voda stalno izvira iz skalne luknje, občasno pa tudi iz podornega pobočja in se zbira v strugi, ki se po 100 m steka k Raku. Po podatkih sledenja (I. Gams, 1966, 24; 1970, 197) se v izviru pojavlja voda iz bližnjega zaledja in le ob visoki vodi tudi iz Cerkniškega jezera.

V opazovalnem obdobju so temperature izvirsne vode enakomerno padale od 15 °C poleti na 2 °C pozimi in obratno, pretoki pa se spreminjali med 2 l/s pri nizkih in 500 l/s pri visokih vodostajih (slika 3). Pri poplavi v začetku januarja 1982 je bila izdatnost cenjena na okrog 3 m³/s. Prvodnost vode (v enoti µS cm⁻¹) je bila v prvi polovici leta nižja kot v drugi polovici. Trdote (1 mval l⁻¹ = 2,8 °N = 50 mg CaCO₃ l⁻¹) so se le malo spreminjale pri ustaljenem majhnem pretoku jeseni, mnogo bolj pa pri spremenljivem pretoku večji del leta. Videti je tendenco, da so trdote višje pri manjšem in nižje pri večjem pretoku.

Dne 18. 8. in 4. 7. 1982 smo merili zanimiv pojav, da je v stalnem niže ležečem izviru pri pretoku 20 l/s bila voda za pol stopinje hladnejša kot voda,

ki je s 100 l/s pretoka izvirala više iz pobočja, pri čemer pa se trdote in prevodnost niso razlikovale. Tudi I. Gams poroča o istočasno različni temperaturi Prunkovca, vendar obratno, da je voda stalnega izvira toplejša za pol stopinje.. Če ni zamenjal meritev, potem gre v tem primeru za hidrološke razmere, ki se hitro spreminjajo v odvisnosti od pretokov, na kar je opozoril tudi I. G a m s (1963, 37).

3 — Izvir v Biserjevem laz (= pod hotelom, = za zajetje, = za vodovod) priteka stalno izpod skalnega roba pa tudi iz sosednjih špranj v robu samem, kadar je dosti vode. V opazovalnem obdobju smo cenili najmanj 0,5 l/s in največ nad 1000 l/s pretoka. Ob visoki vodi januarja 1982 je bil izvir poplavljen.

Pozimi je imela voda najmanj 3 °C, poleti največ 14 °C. Pri zelo spremenljivem pretoku sta prevodnost in celotna trdota nekoliko bolj variirali kot pri sosednjem Prunkovcu. Najnižji (0,14 mval l⁻¹) in najvišji (1,06 mval l⁻¹) Mg trdoti sta bili merjeni poleti in sta med najnižjimi v primerjavi z drugimi izvirnimi vodami na južni strani Rakovega Škocjana, v nasprotju s Ca trdotami, ki so med najvišjimi. Po tem kemizmu je voda tega izvira bolj podobna Prunkovcu kot Kotličem, ki ga bomo obravnavali kasneje.

Pri pretoku 5 l/s dne 21. 10. 1981 smo ugotovili, da je izvirna voda bila še primerna za pitje (BPK₅ = 1 mg O₂ l⁻¹). Ker pa zajetje ni zavarovano, obstaja nevarnost onesnaževanja.

4 — Izvir v Biserjevi ločici (= pod bungalovi) je nastavljen pod skalnim robom ob razpoki NE-SW smeri, ki se pod hotelom najbolj približa strugi Raka. Nizka voda priteka iz 8 m dolgega nizkega rova, ki se sifonsko zaključí, visoka voda pa tudi iz grape, ki se zajeda pod cesto v teraso 515 m in ovalni rob na višini 525 m. V opazovalnem obdobju je voda v izviru nekajkrat mirovala, pozimi tudi zamrznila, nekajkrat pa imela tudi okrog 1000 l/s pretoka. Ob poplavi v začetku januarja 1982 je bil aktiven iztok pod cesto.

Ob zelo spremenljivi izdatnosti so se trdote relativno malo spreminjale, kar posebej velja za Mg trdoto (min. 0,38 mval l⁻¹, max. 1,1 mval l⁻¹). Celotne trdote so bile največje februarja (4,48 mval l⁻¹), najmanjše pa marca (3,0 mval l⁻¹), obakrat pri komaj zaznavnem pretoku.

5 — Izviri v Burjevki, travnatem laz pred Kotličí ali tudi pod Milčevim gričem, so razporejeni ob 100 m široki tektonski coni med vzhodnim in zahodnim delom Rakovega Škocjana. Odvisno od vodostajev so izviri stalni in občasni.

Ob nizkem vodostaju je voda izvirala stalno v ilovnati in z grmičevjem zarastli strugi sredi travnika, ob višjem vodostaju pa više pod gozdno mejo v pobočju Milčevega griča, katerega grapi prečkata cesto in se ovalno skleneta pod izohipso 525 m.

V opazovalnem obdobju smo kontrolirali stalni izvir na travniku ali pod gozdno mejo. Ugotovili smo veliko nihanje temperatur (med 2 °C in 19,3 °C) in prevodnosti (med 311 in 476 μ m S cm⁻¹) ter manjša nihanja pri celotni trdoti (3,14 do 4,68 mval l⁻¹), ki je bila najvišja jeseni in pozimi, najnižja pozno pomladi in začetku poletja. Mg in Ca trdote so se med letom spreminjale skoraj tako kot

v izviru v Biserjevi ločici. Po kemizmu in temperaturah se v skupino izvirov v Burjevki uvršča tudi prvi občasni izvir pod skalnim robom na zahodni strani laza, kjer se ta rob najbolj približa strugi Raka. Nadaljnji trije občasni izviri v tem robu pa so že v sestavu Kotličev, saj imajo z njim enako vodo kot so pokazale serijske analize.

Pri izvirih v Burjevki smo dne 18. 6. 1982 ob naraščajoči vodi tudi ugotovili spodnjo plast hladnejše in zgornjo plast toplejše vode tako kot istega dne v Prunkovcu. Ker so tedaj tudi bližnji Kotlički izkazovali toplejšo vodo in podoban kemizem sklepamo, da se visoke vode Kotličev pahljačasto iztekajo k Raku skozi številne stranske izvire in ne samo skozi glavnega.

6 — Kotlički so že dolgo znani kot izviri, ki dovajajo vodo iz Cerkniškega jezera. Kot so pokazali sledilni poskusi prevali voda razdaljo med Jamskim zalivom in Kotlički v manj kot dveh dneh (I. G a m s, 1966, 25), pa tudi manj kot v enem dnevu (R. G o s p o d a r i č, P. H a b i č, 1979, 127) pač v odvisnosti od pretokov. Te podzemeljske zveze so bile večkrat dokazane tudi s hidrološkimi poskusi in domnevane na podlagi trdot, posebej magnezijeve.

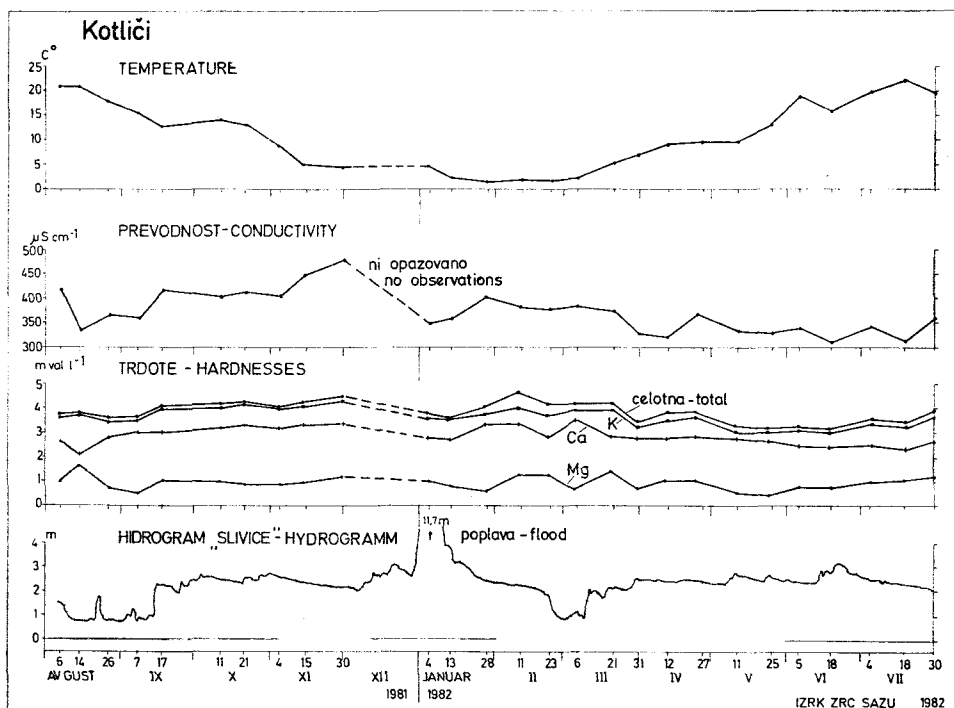
Voda se najprej pojavlja v Kotlu, udorni vrtači, odkoder teče podzemeljsko h Kotličem, ob visoki vodi pa tudi po samostojni strugi neposredno v tedaj poplavljeni dolino.

Izviri Kotličev so nastavljeni v skalni zajedi pod cesto, kjer voda priteka skozi kotanje izpod južnega brega terase 510 m v 150 m dolgo strugo, ki se pri tako imenovanem Sotočju spoji s strugo Raka. Ti izviri so aktivni že pri nizkem vodostaju, pri srednjem in visokem vodostaju pa priteka voda tudi iz zakraselega pobočja terase, celo iz ovalnih zajed južno od ceste. Tedaj so seveda aktivni tudi izviri ob strugi Raka pred Sotočjem.

Zaradi številnih izvirov je vsakokratno izdatnost Kotličev težko meriti. Le posredno (iz razlike v pretokih Raka pred Sotočjem in za njim) so hidrologi izračunali (poročila 3. SUWT, 1974), da dovajajo nad 30 m³/s vode ob visokem vodostaju, ob nizkem pa le stoti del te količine. Podatke so črpali iz hidrogramov vodomerne postaje Sliivice, ki dnevno beleži gladino Raka za Sotočjem. Takšen hidrogram za opazovalno obdobje od avgusta 1981 do julija 1982* smo tudi v našem primeru uporabili za primerjanje vodostajev s fizikalno-kemičnimi lastnostmi izvirsne vode.

Na sliki 4 vidimo, da so temperature nihale med 2,3 °C pozimi in 22,2 °C poleti, da je imela voda največje prevodnosti in trdote jeseni, najmanjše pa poleti. Ob poplavi dne 4. januarja 1982 do višine 510 m pri vodostaju 10,36 m ko so delovali tudi izviri nad cesto, smo zabeležili tudi v zimskem času nizke trdote in prevodnost. Bolj kot pri drugih izvirih, razen pri izviru Raka, je nihala Mg trdota; 25. maja 1982 smo pri nizki vodi namerili minimalnih 0,44 mval l⁻¹, avgusta 1981 pri srednji vodi pa maksimalnih 1,68 mval l⁻¹. Nizke vode so nam pokazale za polovico manjše Mg trdote kot jih navaja I. G a m s (1966, 25), ko je na njihovi podlagi sklepal na podzemeljsko zvezo Kotličev z jezer-nico, ki je ponikala v Svinjsko jama.

* Podatke je ljubезnivo posredoval Hidrometeorološki zavod SRS, za kar se direktorju hidrološkega oddelka M. Kolbeznju iskreno zahvaljujemo!



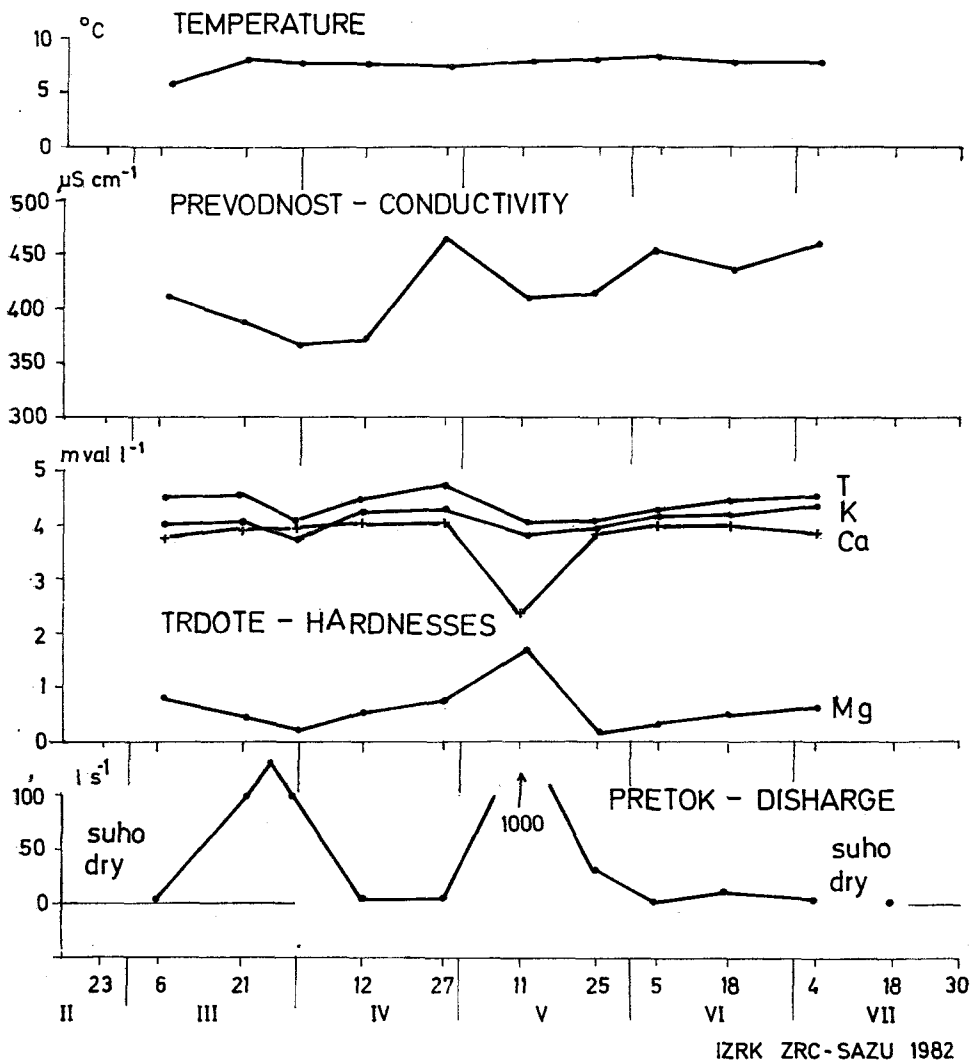
Sl. 4. Kraški izviri Kotlički. Diagrami nekaterih fizikalno-kemičnih lastnosti izvirsne vode v opazovalnem obdobju med avgustom 1981 in julijem 1982, pojasnilo v tekstu

Fig. 4. Kotlički Karst Springs. Diagrams of some physicochemical characteristic of spring water in the observation period between Avgust 1981 and July 1982, explanations in the text

7 — Studenec pod žago priteka izpod zahodne stene doline na stiku travnika in gozda. Po 50 m dolgi strugi se steka njegova voda v strugo Raka. Izvir je bil poplavljen januarja, sicer pa vedno aktiven s cenjeno izdatnostjo med 0,5 l/s in 100 l/s. Temperature so nihale med 3,3 °C in 14,8 °C. Tako kot pri drugih manjših izviri smo analizirali manjšo prevodnost in celotno trdoto pomladi in začetku poletja, večjo pa konec poletja, jeseni in pozimi. Pri večjem pretoku smo ugotovili nižje Ca trdote in obratno ter relativno nizke in stalne Mg trdote ne glede na pretok in letni čas.

8 — Izviri v Farovki, travnatem lazju pred severozahodnim sklepom doline so edini izviri na desnem bregu Raka, če odštejemo občasni izvir v Bonačevi ogradi nasproti Burjevke. O izviri v Farovki doslej ni objavljenih hidroloških ali hidrokemičnih podatkov.

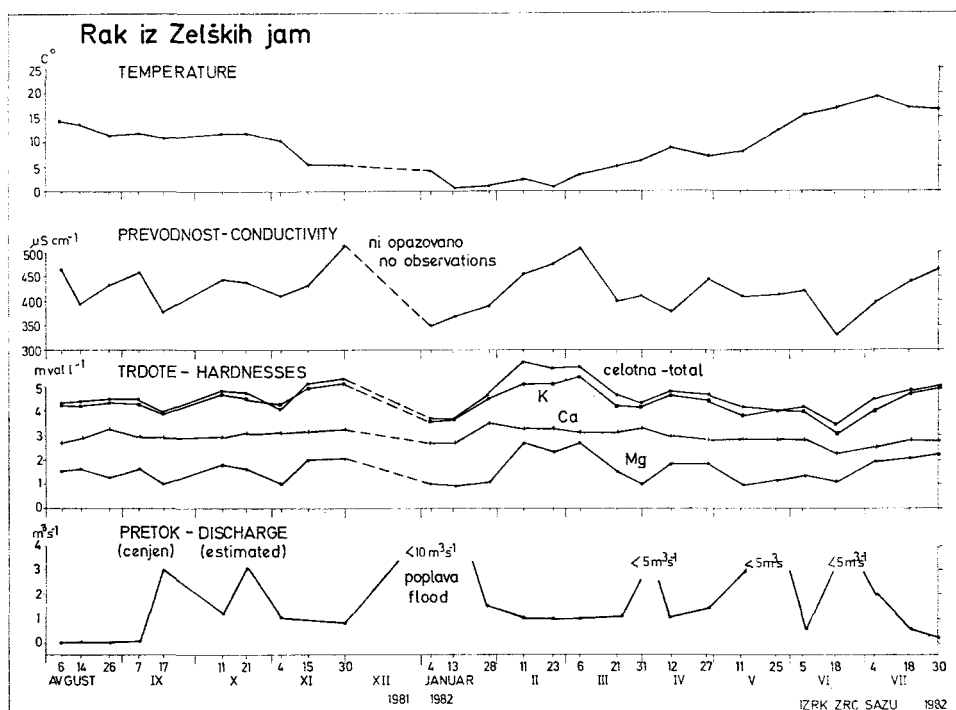
Prvi izvir Farovke je z Rakom povezan po 80 m dolgi, z grmičevjem zarastli strugi. Voda priteka izpod položnega brega iz dveh lukenj v skladnatem apnencu, ki je relativno malo porušen, čeprav je v neposredni bližini tektonske cone.



Sl. 5. Kraški izvir Farovke 1. Diagram nekaterih fizikalno-kemičnih lastnosti izvirsne vode med marcem in julijem 1982, pojasnilo v tekstu

Fig. 5. Karst spring Farovka 1. Diagrams of some physicochemical characteristics of spring water between March and July 1982, explanation in the text

V opazovalnem obdobju 1981/82 je bil izvir enkrat poplavljen (4. januarja 1982), sedemkrat (pozimi in poleti) pa suh, zato ga štejemo k občasnim. Ko je bil aktiven, je dajal po cenitvah 1 do 100 l/s vode in le enkrat (11. maja 1982) je bruhal okrog 1000 l/s motne vode (slika 5). Tedaj smo izmerili tudi najnižjo Ca trdoto (2,32 mval l⁻¹) in najvišjo Mg trdoto (1,7 mval l⁻¹). Ostaja odprto, odkod je omenjenega dne priteklo toliko vode? Visoka Mg trdota in nizka Ca



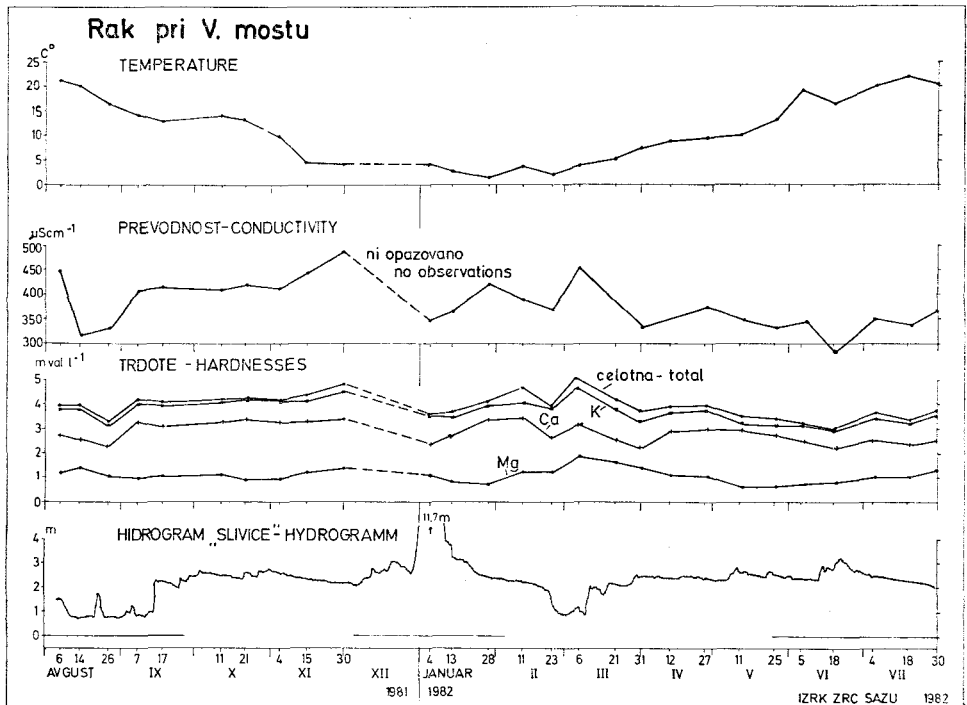
Sl. 6. Rak pri Velikem naravnem mostu. Diagrami nekaterih fizikalno-kemičnih lastnosti ponorne vode v opazovalnem obdobju med avgustom 1981 in julijem 1982, pojasnilo v tekstu

Fig. 6. River Rak at the Big Natural Bridge. Diagrams of some physicochemical characteristics of the ponor water in the observation period between August 1981 in July 1982, explanation in the text

trdota kažeta, da je mogla priteči po samostojnih, više ležečih kanalih iz dolomitnega sveta onkraj Rakovega griča, morebiti celo iz območja Zelš ali Podskrajnika. Na to možnost opozarja tudi relativno onesnažena voda ($BPK_5-1,6 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$), kakršno smo tod enkrat prej ugotovili. Zveza z Rakom iz Zelških jam skoraj ni možna, saj je imel Rak istega dne znatno nižjo Mg trdoto ($1,02 \text{ mval l}^{-1}$), v neposrednem zaledju izvira pa med apnencem ni skladov dolomita, ki bi morebiti lahko prispevali k visoki magnezijevi trdoti, kakršno smo namerili.

Podobne značilnosti imata tudi druga dva izvira Farovke, ki ju najdemo pod skalnim robom osamelca prav ob Raku. Izvira sta stalna, čeprav dostikrat zalita ob višjem vodostaju Raka. Med njima pa občasno delujeta še dva izvira, tako da lahko sklepamo na precejšnjo prepustnost tukajšnje tektonske cone ter na zakraselost skalne podlage in obrobja Farovškega laza.

Kljub konstantni temperaturi izvirsne vode čez leto (okrog 8°C), nihajo trdote mnogo bolj kot pri drugih izviri v Rakovem Škocjanu, ki imajo zelo spremenljivo temperaturo. To kaže, da temperatura ne vpliva bistveno na kemizem te izvirsne vode.



Sl. 7. Izviri Raka iz Zelških jam. Diagrami nekaterih fizikalno-kemičnih lastnosti izvirne vode v opazovalnem obdobju med avgustom 1981 in julijem 1982, pojasnilo v tekstu

Fig. 7. River Rak Spring from the Zelške jame. Diagrams of some physicochemical characteristics of spring river in the observation period between August 1981 and July 1982, explanation in the text

1 — Izvir Raka iz Zelških jam je poleg Kotličev najbolj markatni hidrološki pojav Rakovega Škocjana, ki je bil tudi najbolj pogosto vključen v dosedanja hidrološka opazovanja. Sledenja so pokazala, da se v izviru pojavlja voda iz Velike Karlovice in Cerkniškega jezera ter posebej iz Cerknišnice. Vpliv teh površinskih voda se odraža v izdatnosti, temperaturah in kemizmu izvorne vode (slika 6).

Iz Zelških jam priteče večkrat mogočna reka z nad $10 \text{ m}^3/\text{s}$ pretoka, manjkrat le skromen potok z nekaj l/s pretoka. Celoletna temperaturna krivulja kaže na zimski minimum ($0,6 \text{ }^\circ\text{C}$) in poletni maksimum ($19,3 \text{ }^\circ\text{C}$), pri čemer pa je treba povedati, da so dejanske minimalne temperature za nekaj stopinj višje, saj se Rak ob minimalnem pretoku pod Malim naravnim mostom v stiku s hladnim zrakom pod udornicami hitro ohlaja. Bolj kot pri drugih izviri se v obravnavanem izviru odraža odvisnost kemizma od pretokov. V opazovalnem obdobju je imela voda visoko prevodnost in trdote pri manjšem pretoku in obratno. Ca trdota se je med letom spreminjala le za 1 mval/l , Mg trdota pa nasprotno za dva. Po teh lastnostih se izvir Raka razlikuje od drugih izvirov

v Rakovem Škocjanu. Maksimalno Mg trdoto (2,7 mval/l) smo namerili pozimi pri nizkem, minimalno (0,86 mval/l) prav tako pozimi pri zelo visokem vodostaju.

Rak ohranja kemično sestavo vzdolž toka tja do Sotočja z vodo Kotličev kot smo lahko ugotovili z ustreznimi analizami. Ko pa se k njemu stečejo Kotličiči, pridobi reka kemične lastnosti, ki so mnogo bližje vodam Kotličev, To so pokazale analize Raka pred Velikim naravnim mostom, preden je poniknil (slika 7).

FIZIKALNO-KEMIČNE LASTNOSTI IZVIROV PRI NIZKI VODI

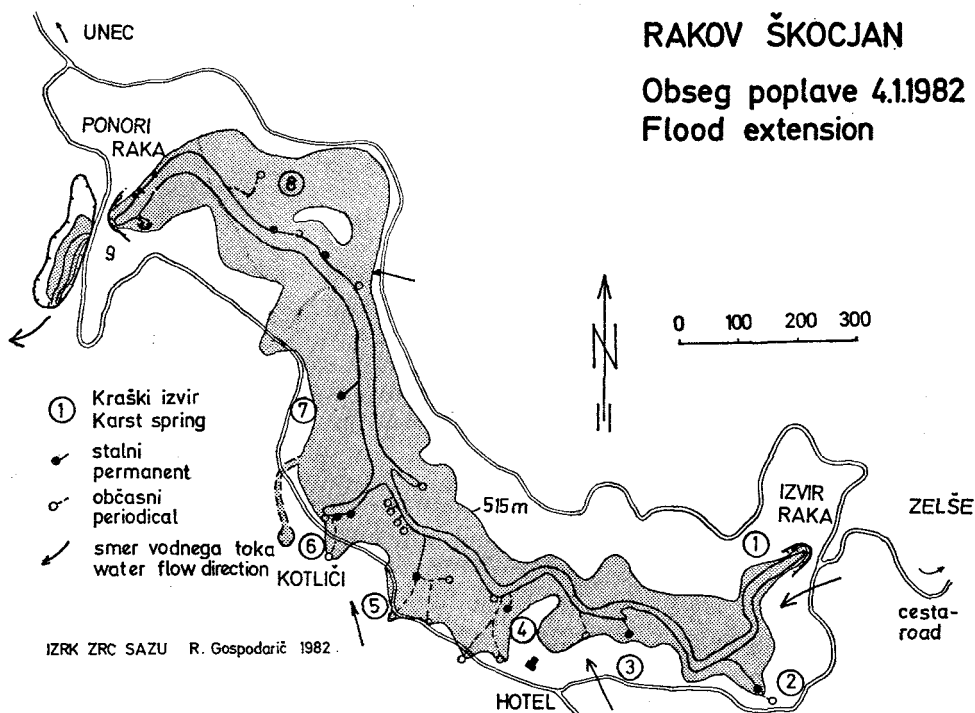
Po hidrogramu Raka na vodomerni postaji Slivnice vidimo, da smo imeli v cpažovalnem obdobju avgusta in v začetku septembra ter v začetku marca nizki, v začetku januarja zelo visoki, vmes pa srednji vodostaj (sl. 7). Pri obeh nizkih vodostajih 7. septembra 1981 in 6. marca 1982 (glej tabelo 1), ko je računati le na minimalen dotok cerkniških voda, so imele poletne nizke vode manjše nekarbonatne in Mg trdote, ter višje Ca trdote in prevodnost kot zimске nizke vode. To pomeni, da gre v obeh primerih za kraško vodo iz zakraselega obrobja, katere večja Ca trdota poleti je posledica večje biogene aktivnosti. Nizke vode Raka in Kotličev, ki izkazujejo pozimi večjo Ca trdoto kot poleti, pa se iztekajo iz podzemeljskih rovov, kjer so bile jeseni in poleti akumulirane. Primerjava seveda tudi pokaže, da je kemizem pri nizkih vodostajih med letom ali v različnih letih kvečjemu podoben, nikoli pa enak. Tako si tudi tolmačimo občutne razlike, vsaj kar zadeva Mg trdote, med našimi podatki in podatki ki jih je o kemizmu nizke vode objavil I. G a m s (1961).

Tabela 1

Fizikalno-kemične lastnosti izvirne vode pri nizkih vodostajih v Rakovem Škocjanu

Izviri	temp.	pretok	prevodnost	CaT	MgT	KT	CT	NK
7. sept. 1981								
1 — Izvir Raka	11,8	20	460	2,88	1,62	4,30	4,50	0,20
2 — Prunkovec	9,3	10	417	3,76	0,40	4,05	4,18	0,12
3 — Biserjev laz	8,5	5	426	4,04	0,38	4,30	4,42	0,12
4 — Biserjeva ločica	11,0	1	408	3,32	0,78	4,06	4,10	0,04
5 — Burjevka	12,3	5	417	3,88	0,40	4,24	4,28	0,04
6 — Kotličiči	15,4	?	360	3,06	0,54	3,56	3,60	0,04
7 — Studenec pod žago	9,5	1	444	4,56	0,20	4,66	4,76	0,10
8 — Farovka	8,6	5	516	4,24	0,92	4,90	5,16	0,26
9 — Rak pri ponoru	14,5	?	408	3,26	0,96	4,06	4,22	0,16
6. marca 1982								
1 — Izvir Raka	3,8	1000	507	3,10	2,68	5,40	5,78	0,46
2 — Prunkovec	5,1	10	400	3,28	1,10	4,08	4,38	0,30
3 — Biserjev laz	6,3	8	397	3,82	0,40	4,10	4,22	0,12
4 — Biserjeva ločica	8,2	1	374	3,16	0,92	3,76	4,08	0,32
5 — Burjevka	4,6	5	385	3,36	0,88	3,76	4,24	0,38
6 — Kotličiči	3,7	?	385	3,52	0,66	3,90	4,18	0,28
7 — Studenec pod žago	6,2	1	385	3,46	0,58	3,76	4,04	0,28
8 — Farovka	8,1	5	450	3,86	1,30	4,52	5,16	0,64
9 — Rak pri ponoru	3,7	1000 +	455	3,16	1,90	4,66	5,06	0,40

enote: temperatura 0°C, trdote mval l⁻¹, pretok l/s⁻¹, prevodnost μScm⁻¹



Sl. 8. Rakov Škocjan. Obseg poplave 04.01. 1982 in položaj kraških izvirov, 1 — izvir Raka, 2 — Prunkovec, 3 — Izvir v Biserjevem lazu, 4 — Izviri v Biserjevji ločici, 5 — izviri v Burjevki, 6 — izviri pri Kotličih, 7 — Studenec pod žago, 8 — Izviri v Farovki, 9 — ponori Raka

Fig. 8. Rakov Škocjan. Flood extension on Jan. 4, 1982 and situation of karst spring 1—8 and ponors — 9

FIZIKALNO-KEMIČNE LASTNOSTI POPLAVNE VODE

Pri otoplitvi in ugodnih hidroloških razmerah čez novo leto 1982 je gladina poplave segala do nadmorske višine 510 m, vodomer je pokazal višino 11,73 m že dva dni poprej, tako da je gladina opazovanega dne že upadala. Dolina je bila spremenjena v jezero, ki je obsegalo približno 220 ha površine (slika 8). Voda je poplavila večino travnikov in segala do ceste, ki pelje k hotelu. Iz skalnih zajed nad cesto in pod njo so se k jezeru stekali številni izviri. Večina sicer opazovanih izvirov je bila poplavljenjena. Delovali so njihovi višje ležeči iztoki nad višino 510 m. Rak je pritekal iz Zelških jam kot hudournik, da bi se ob toku navzdol kmalu umiril in razlil v jezero. Iz Kotla je tekla reka po strugi pod mostom, Kotličič pa so bruhali vodo tako, da so se na jezerski gladini gradili krožni valovi.

Fizikalno-kemične lastnosti izvirske vode in Raka so bile skoraj enake (glej tabelo 2). Z izjemo Mg in NK trdot tudi blizu najnižjih letnih vrednosti.

Tabela 2

Fizikalno-kemične lastnosti vode pri poplavi 4. januarja 1982

Izviri	temp.	prevodnost	CaT	MgT	KT	CT
1 — Izvir Raka	4,1	348	2,72	0,96	3,70	3,68
2 — Prunkovec	4,5	351	2,72	0,96	3,56	3,68
4 — Biserjeva ločica	4,8	345	2,62	0,98	3,50	3,60
5 — Burjevka	4,8	345	2,72	0,96	3,56	3,68
6 — Kotličji	4,5	348	2,78	1,00	3,60	3,78
9 — Rak pri ponoru	4,2	348	2,54	1,02	3,50	3,56
Drugi izviri	poplavljeni					

enote: temperatura 0 °C, trdote mval l⁻¹, pretok l/s⁻¹, prevodnost μScm⁻¹

Podatki opazovane poplave kažejo, da so zakraselo podzemlje v južnem in vzhodnem obdobju kotline napolnile vode iz Javornikov, Cerkniškega jezera in Cerkniščice ter pomešane dosegli izvire v kotlini. Tokovi so se skozi fosilne rove frontalno izlivali v kotlini ne glede na različen izvor vode. Kemične lastnosti izvirne vode so postajale vedno bolj različne po poplavi, ko je gladina v zaledju upadla in ko so se tokovi ločili ter umaknili iz zgornjih fosilnih v spodnje aktivne kanale. Ti podatki opazovane visoke vode ne potrjujejo misel I. G a m s a (1966, 36), da bi ob visoki vodi »dobivali zahodnejši izviri večje dotoke iz apniških Javornikov kot pa vzhodni« in da bi javorniške vode tedaj odrivale jezersko vodo iz Rakovega Škocjana.

SKLEPI

V okviru krasoslovnega preučevanja ozemlja med Planinskim in Cerkniškim poljem smo posebej preučili območje Rakovega Škocjana. Hoteli smo predvsem spoznati povezavo med geološko zgradbo in kraškimi izviri, ki se v tej depresiji pojavljajo, ter izpopolniti dosedanje znanje o tukajšnji hidrologiji.

Podrobno kartiranje površja in podzemlja je pokazalo, da je depresija Rakovega Škocjana nastala v skladnatem in debeloskladnatem apnencu spodnje krede, ki vključuje tudi podolgovate leče sedimentacijske breče in peščenega dolomita. Teh slabše topnih kamnin je med apnenci komaj okrog 5 %, pa jim ne pripisujemo posebnega pomena niti za oblikovanje doline ali za razporeditev izvirov v njej, niti za kemično sestavo izvirne vode. Ugotovljena kamninska podlaga ne potrjuje mišljenja I. G a m s (1970, 176), da so v vzhodnem in zahodnem delu Rakovega Škocjana hidrološko manj, v osrednjem delu pa bolj propustni skladi, ki odrejajo razporeditev in maksimiranost izvirov ter usmerjenost njihovih dotočnih kanalov. Vzroke za domnevano maksimiranost je treba poiskati drugje.

Iz podrobne geološke strukture je sklepati, da so prevodne cone, dotočni in odtočni kanali razporejeni v blokkih neporušene kamnine, kjer so prevodniki tudi številne, od jugovzhoda proti severozahodu usmerjene lezike. Takšni neporušeni pasovi med prelomi so v območju Zelških jam ter v zaledju Kotličev v Jagničerevem in Cerkniškem lazju, kjer je verjetno iskati podzemeljske vodne rove.

Za hidrološko analizo se zdi pomembno upoštevati tektonsko cono med Farovko na severozahodni in Cerkniškim lazom na jugovzhodni strani doline.

Ta cona deli dolino na vijugav in ožji vzhodni ter bolj premi in širši zahodni del. Izviri okrog Kotličev in Burjevke dosežejo dolino zahodno, izviri Biserjevega laza pa vzhodno od nje. Prav zaradi te manj prepustne cone imamo verjetno med Cerknjskim jezerom in Rakovim Škocjanom dve skupini podzemeljskih zvez, severovzhodno Velika Karlovica (Cerknjsčica) — Zelške jame (izvir Raka) in jugozahodno Cerknjsko jezero (Jamski zaliv) — Kotlič, kakršni sta ugotovljeni z dosedanjimi preučevanji (I. G a m s, 1970; R. G o s p o d a r i č in P. H a b i č, 1979).

Pri hidrološki obravnavi smo posvetili večjo pozornost kraškimi izviri, manjšo pa širši hidrološki problematiki Rakovega Škocjana, ki je sicer že dostikrat obravnavana skupaj s sosednjimi kraškimi polji.

Izviri dosežejo dolino na vzhodni in južni strani, na severni strani pa poznamo le stalne in občasne izvire v Farovki. Temperature, prevodnosti in pretoki ter trdote, merjene v 27 serijah med avgustom 1981 in julijem 1982, so pokazale nekatere skupne, a tudi različne lastnosti opazovane izvirne vode.

Iz diagramov na slikah 3, 4, 6 in 7 je razvidno, da so se med letom temperature izvirne vode, razen pri Farovkah zelo spreminjale. Prevodnost in trdote so bile najvišje jeseni, najnižje pomladi, višje pri manjšem, nižje pri večjem pretoku. To smo posebej spoznali pri nizkih vodah marca in septembra ter pri poplavi januarja. Vsekakor se izvir Raka po kemizmu bistveno razlikuje od Kotličev in vseh drugih izvirov, razen pri visoki vodi, ko smo povsod namerili podobno mineralizacijo.

Po teh ugotovitvah sklepamo, da niti temperatura, niti geološka zgradba ne vplivata bistveno na kemizem izvirne vode. Ta je odvisen od pretokov oziroma vodostajev in od biološke aktivnosti med letom, nadalje od kemizma porne vode na Cerknjskem jezeru ter od stopnje mešanja teh voda s padavinami ali kraško vodo ter že prej akumulirano vodo v območju njenega podzemeljskega pretakanja. Pri visoki vodi se gladina vodotokov v dotičnem obrobju Rakovega Škocjana enakomerno dvigne in napne v više ležeče starejše kanale in iz njih pomešana frontalno odteka skozi izvire v dolino. Pri srednji, posebej pri nizki vodi pa se gladina zniža in razčleni, vode pa usmerijo v spodnje, stalno aktivne kanale, kjer ob različno dolgem toku pridobe tudi svojo, medseboj različno kemično sestavo, ki ni več primerljiva s sestavo porne vode.

Naše preučevanje izvirne vode je nadalje pokazalo, da se v Rakov Škocjan posebej ne iztekajo večje količine kraške javorniške vode, kajti takšne kraške vode z enakomerno letno temperaturo, visoko Ca in nizko Mg trdoto v opazovalnem obdobju nismo namerili. Pač pa smo ugotovili takšno vodo v izviri Farovke na severni strani doline, ki pa iz podzemlja Javornikov ne more priteči. Njene občasno visoke Mg trdote in občutna onesnaženost govorijo za občasne dotoke iz naseljenega dolomitnega sveta Zelš ali Podskrajnika, kar bi seveda lahko zatrdno dokazali le z ustreznim barvanjem. Javorniški tokovi se torej Rakovega Škocjana izogibajo. Proti severozahodu k Planinski jami in na Planinsko polje se verjetno gibljejo zahodno od doline skozi tamkajšnje hidrogeološke prepustne cone. Natančnejša preučitev teh con in poti pa sodi med naloge nadaljnjega podrobnega preučevanja širšega območja Rakovega Škocjana.

LITERATURA

- Čar, J., 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja. *Acta carsologica SAZU*, 10 (1981), 75—105, Ljubljana.
- Gams, I., 1961: Dvatisoča jama. *Naše jame*, 2 (1960), 24—30, Ljubljana.
- Gams, I., 1965: H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerknjskim poljem. *Geografski vestnik*, 37, 61—101, Ljubljana.
- Gams, I., 1966: K hidrologiji ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerknjskim poljem. *Acta carsologica SAZU*, 4, 5—50, Ljubljana.
- Gams, I., 1970: Maksimiranost kraških podzemeljskih pretokov na primeru ozemlja med Cerknjskim in Planinskim poljem. *Acta carsologica SAZU*, 5, 171—187, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1970: Speleološke raziskave Cerknjskega jamskega sistema. *Acta carsologica SAZU*, 5, 111—169, Ljubljana.
- Gospodarič, R., P. Habič, 1976: Underground Water Tracing. Investigations in Slovenia 1972—1975. Institute for Karst Research SAZU, p. 312, Ljubljana.
- Gospodarič, R., P. Habič, 1979: Kraški pojavi Cerknjskega polja. *Acta carsologica SAZU*, 8 (1978), 7—162, Ljubljana.
- Habič, P., R. Gospodarič, I. Kečda, A. Kranjc, 1975: Osnovna speleološka karta Slovenije, 2. nadaljevanje. *Naše jame*, 17, 151—171, Ljubljana.
- Hribar, F., 1976: Realization and Results of Combined Water Tracing Test in 1975. In: *Underground Water Tracing*, 132—138, Ljubljana.
- Kossmat F., 1905: Erläuterungen zur Geologischen Karte Haidenschat und Adelsberg und Planina. *Verh. Geol. R. A.*, 78—84, Wien.
- Jenko, F., 1959: Hidrogeologija in vodno gospodarstvo. 1—237, Državna založba Slovenije, Ljubljana.
- Miseres, J. J., 1976: Completments to the Water Chemistry of the Karstic System of the Ljubljanica River. In: *Underground Water Tracing*, 82—91, Ljubljana.
- Moser, H. in drugi, 1976: Results of Measurements of the Content of Deuterium, Oxygen — 18 and Tritium in Water Samples from Test Area taken during 1972—1975. *Underground Water Tracing*, 93—117, Ljubljana.
- Pleničar, M., 1957: Prispevek h geologiji Cerknjskega jezera. *Geologija*, 1, 111—117, Ljubljana.
- Pleničar, M. in D. Kerčmar, 1959: Osnovna geološka karta SFRJ Cerknica, Laze. *Arhiv Geol. zavoda*, Ljubljana.
- Pleničar, M., 1970: Tolmač h geološki karti list Postojna, 1—62, Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Šerko A., 1946: Barvanje ponikalnic v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 18/1-4, 125—139, Ljubljana.
- Šerko, A., 1949: Kotlina Rakov Škocjan. *Geografski vestnik*, 20/21, 195—202, Ljubljana.
- Zupan, M., M. Kolbezen, 1976: Hydrochemical Investigations. *Underground Water Tracing* 67—82, Ljubljana.
- Zibrik, K., F. Lewicki, A. Pičinin, 1976: Hydrologic Investigations. *Underground Water Tracing*, 43—55, 128—132, Ljubljana.

HYDROGEOLOGY AND KARST SPRINGS IN RAKOV ŠKOCJAN NEAR POSTOJNA

Summary

The previous karstological works about Rakov Škocjan, karst depression between Cerkniško and Planinsko polje, are dealing with speleological (I. Gams, 1961; R. Gospodarič, 1970), morphological (A. Serko, 1949; I. Gams, 1965) and hydrological conditions (A. Serko, 1946; I. Gams, 1966, 1970; R. Gospodarič & P. Habič, 1979), but less was written about geological structure and hydrogeology (M. Pleničar, 1957, 1967; M. Breznik, 1962). By the method of detail hydrogeological mapping on the surface and in the underground was stated, that the Rakov Škocjan depression developed in bedded and thick-bedded limestones of Lower Cretaceous, including oblong lenses of sedimentation breccia and sand dolomite. Among limestones there is only about 5% of these, worse soluble rocks, hence we do not attribute them any special importance to hydrogeological conditions in the depression. From this point of view more important are the blocks of tectonically uncrushed rocks between faults of NW-SE direction, as there are inflow and outflow channels of Rak river (Zelške jame and Tkalca jama) and transmissive zones, feeding 14 karst springs in the depression.

In the period 1981 and 1982 the physico-chemical analyses of spring water showed, that the geological structure do not influence to their chemical composition. It is directly dependent on discharges and water levels and on precipitations during the year. At low water level the springs were chemically very different, while at high water level almost identical. It proves again that the waters from Cerknica Lake flow towards Rakov Škocjan. On contrary to previous statements (I. Gams, 1970; R. Gospodarič & P. Habič, 1979) we did not find any proof for the existence of karst water from Javorniki Mts to the springs of Rakov Škocjan.

KRAŠKI IZVIRI VIPAVE IN NJIHOVO ZALEDJE

(S 7 SLIKAMI)

VIPAVA KARST SPRINGS AND THEIR BACKGROUND

(WITH 7 FIGURES)

PETER HABIČ

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 25. NOVEMBRA 1982

VSEBINA

Izvleček — Abstract	44 (4)
UVOD	45 (5)
RAZPOREDITEV STALNIH IN OBČASNIH KRAŠKIH IZVIROV	45 (5)
HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI	51 (11)
FIZIKALNO-KEMIČNE LASTNOSTI	52 (12)
Temperatura vode	52 (12)
Trdota vode	53 (13)
Kalnost Vipavskih izvirov	54 (14)
BAKTERIOLOŠKE LASTNOSTI	55 (15)
KRAŠKO HIDROGRAFSKO ZALEDJE VIPAVE	55 (15)
OGROŽENOST IN MOŽNOST ZAŠČITE IZVIROV	55 (15)
SKLEP	56 (16)
LITERATURA	57 (17)
VIPAVA KARST SPRINGS AND THEIR BACKGROUND (Summary)	57 (17)

Izvleček

UDK 551.444.5(497.12-15)

Habič Peter: Kraški izviri Vipave in njihovo zaledje.

Acta carsologica 11 (1982), 41—57, Ljubljana, 1983, lit. 12.

Obravnavani so stalni in občasni, zajezeni in prelivni kraški izviri Vipave s skupnim pretokom od 0,7 do 70 m³/s, ki so razporejeni na stiku krednih apnencev in eocenskega fliša ter aluvialnih naplavin ob zahodnem vznožju kraške planote Nanosa, v coni visokega krasa NW Dinaridov. Po ugotovljenih hidroloških in fizikalno kemijskih lastnostih bi bila voda primerna za oskrbo ob potrebni stopnji čiščenja in sanitarni zaščiti obsežnega, pretežno nenaseljenega in gozdnatega kraškega zaledja.

Abstract

UDC 551.444.5(497.12-15)

Habič Peter: Vipava Karst Springs and Their Background.

Acta carsologica 11 (1982), 41—57, Ljubljana, 1983, Lit. 12.

Permanent and periodical, captured and overflow karst springs of Vipava with total discharge from 0,7 to 70 m³/s, distributed on the contact of Cretaceous limestones and Eocene flysch and alluvial sediments on the western foot of the Nanos karst plateau, in the zone of high karst of NW Dinarids, are treated. After the stated hydrological and physico-chemical properties this water could be used for water supply considering the necessary degree of purification and sanitary protection of extensive, mostly uninhabited and wooded karst background.

Naslov — Address

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

UVOD

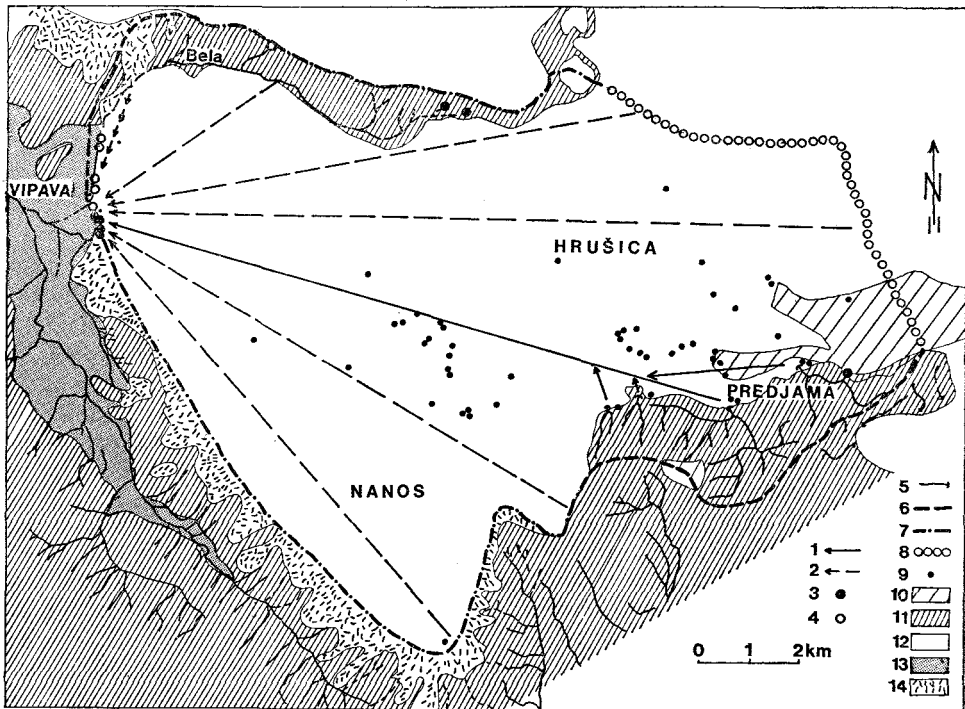
O kraških izvirih Vipave je leta 1959 poročal R. Savnik v Naših jamah. Tedaj je namreč Inštitut za raziskovanje krasa iz Postojne preučeval Vipavsko jamo in poleg tega opravil tudi nekatera hidrološka opazovanja. S hidrološkimi opazovanji Vipavskih izvirov je v letih 1962—1965 nadaljeval P. Habič (1966, 1968). Pozneje je izvire Vipave primerjal z drugimi kraškimi izviri ob vznožju visokega krasa med Idrijco in Vipavo (P. Habič 1970, P. Habič, R. Gospodarič 1972). Ob prizadevanjih za zavarovanje kraških vodnih virov Primorske so bile opravljene manjše raziskave v zaledju Vipave, več novih podatkov pa je bilo zbranih leta 1979, ko se je pokazala potreba po zajetju Vipave za oskrbo s pitno vodo.

Sodelavci Goriških vodovodov iz Nove Gorice in Inštituta za raziskovanje krasa SAZU iz Postojne so pregledali vodne razmere Vipavske jame in zajeli več vzorcev vode v izvirih Vipave. Ob jesenskem deževju so bili vzeti tudi vzorci za analizo kalnosti. Čeprav tedanje jesenske vode niso bile najvišje, so bili vendar aktivni vsi občasni izviri ob Beli, tako da so podatki veljavni za visoke vode. Po naročilu Goriških vodovodov je izdelana karta kraških izvirov Vipave ter karta predvidenega kraškega zaledja in njegove ogroženosti.

RAZPOREDITEV STALNIH IN OBČASNIH KRAŠKIH IZVIROV

Izviri Vipave so zelo značilno razporejeni ob zahodnem vznožju apniškega Nanosa, v tistem njegovem delu, kjer je neprepustni eocenski fliš, ki obdaja kredne apnenice, najbolj odstranjen. Naravno zgradbo Nanosa je med prvimi zagovarjal M. Limanovski (1910), pozneje so kamnine in zgradbo Nanosa preučevali še M. Pleničar (1961; 1970), S. Buser (1976), R. Gospodarič (1965), L. Placer (1981). Velika polegla guba naj bi bila nagnjena proti severozahodu in narinjena na fliš, tako da je pri Vipavi najgloblje potopljena v nepropustne flišne kamnine. Te obdajajo Nanos tudi s severne strani od Vrhpolja do Podkraja in Vodice. Podzemeljski kraški odtok je skladen z zgradbo, še posebno v mlajši geološki preteklosti, ko je erozijsko poglobljanje Vipavske doline zelo napredovalo (sl. 1).

Med Vipavo in Vrhpoljem je fliš odstranjen verjetno še nekaj globlje od naplavne ravnine. Prav v tem predelu vre na površje kraška voda, ki se steka iz obsežnega zaledja Nanosa in Hrušice. Najizdatnejši stalni kraški izviri so razporejeni na nižjem južnem delu omenjene vrzeli v flišnem obrobju v samem naselju Vipava. Voda v izvirih je navadno v višini 98 m, ob visokih vodah pa sili iz špranj do 5 m više. Severno od Vipave pa vse do Vrhpolja so ob strmem vznožju Nanosa razporejeni občasni izviri, ki so aktivni le ob najvišjih vodah. Njihova gladina se dviga ob vršaju Bele od nadmorske višine 100 m pri Črncovi jami do 125 m pri Vrhpolju (sl. 2).



Sl. 1. Hidrografsko zaledje kraških izvirov Vipave

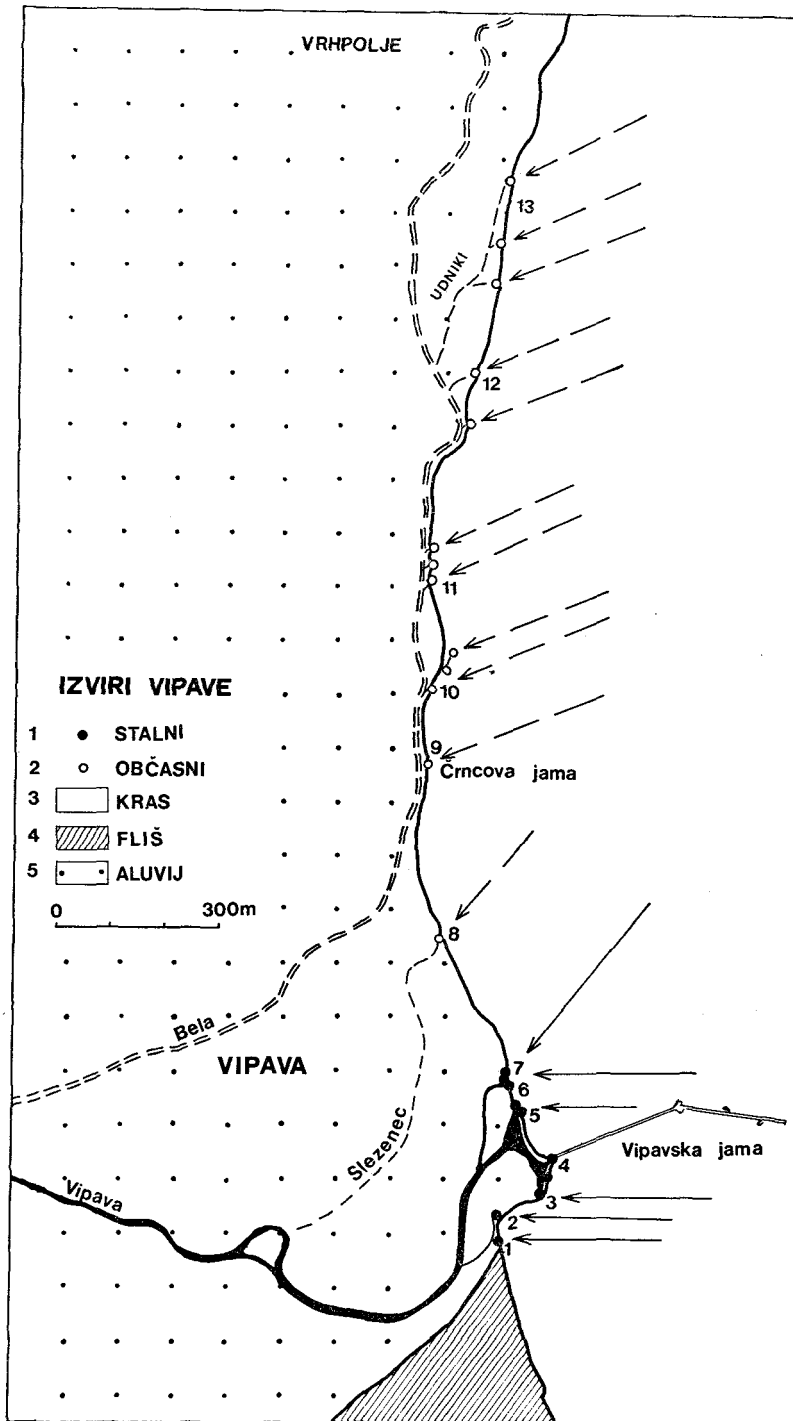
Fig. 1. Hydrographic background of Vipava karst springs

1. dokazana podzemeljska zveza
determined underground connection
2. predpostavljena podzemeljska zveza
supposed underground connection
3. stalni izvir — permanent spring
4. občasni izvir — periodical spring
5. ponikalnica — sinking river
6. površinsko razvodje — superficial watershed
7. hidrogeološko razvodje — hydrogeologic watershed
8. kraško razvodje — karst watershed
9. brezno — pothole
10. triasni dolomit — Triassic dolomite
11. eocenski fliš — Eocene Flysch
12. apnenec — limestone
13. aluvij — alluvium
14. grušč in breča — rubble and breccia

Sl. 2. Položaj kraških izvirov Vipave

Fig. 2. Situation of Vipava springs

1. stalni kraški izvir
permanent karst spring
2. občasni kraški izvir
periodical karst spring
3. kras — karst
4. eocenski fliš — Eocene Flysch
5. aluvij — alluvium



Sl. 2:
Fig. 2.

Takšen položaj vodne gladine ob izviri je značilen za zaježene sifonske prelivne kraške izvire ob stiku prepustnih in neprepustnih kamnin. Visoke vode so pridušene, kar se sklada z naravo kraškega podzemeljskega odtoka. Globoko sifonsko cirkulacijo kraške vode nakazujejo tudi zelo izravnane temperature, ki v teku leta nihajo le za kakšno stopinjo.

Najjužnejši izvir je Pri kapelici (1). Pod nekaj metrov visoko skalno steno je na dvorišču stanovanjske hiše špranjasti kraški izvir. Njegova izdatnost je omejena z ožino špranje in jo cenimo od nekaj 10 do 200 l/s, najnižji in najvišji pretoki pa niso merjeni. Ozke razpoke v apnencih ne dovoljujejo izdatnejšega nihanja gladine v izviru.

Drugi izvir je Pod lipco (2). Voda vre iz podobne skalne špranje kot v izviru Pri kapelici. Izvir je med hišami ob glavni cesti, pod katero odteka voda po urejeni in pokriti strugi. Ozka špranja tudi v tem primeru omejuje izdatnejše nihanje gladine. Vkljub temu visoka voda poplavi cesto in zalije hiše ob izviru ter naplavi flišno mivko iz podzemlja.

Tretja skupina izvirov je razporejena za Perkavcovim mlinom (3) v osrednjem zatrepu vipavskih izvirov. V južnem delu tega zatrepa vre voda na številnih mestih iz razpok in ograd pod hišo in vrtovi. Večji izvir je tik za nekdanjim mlinom, kjer je razgaljena skalna stena in v njej je manjša zasuta jama.

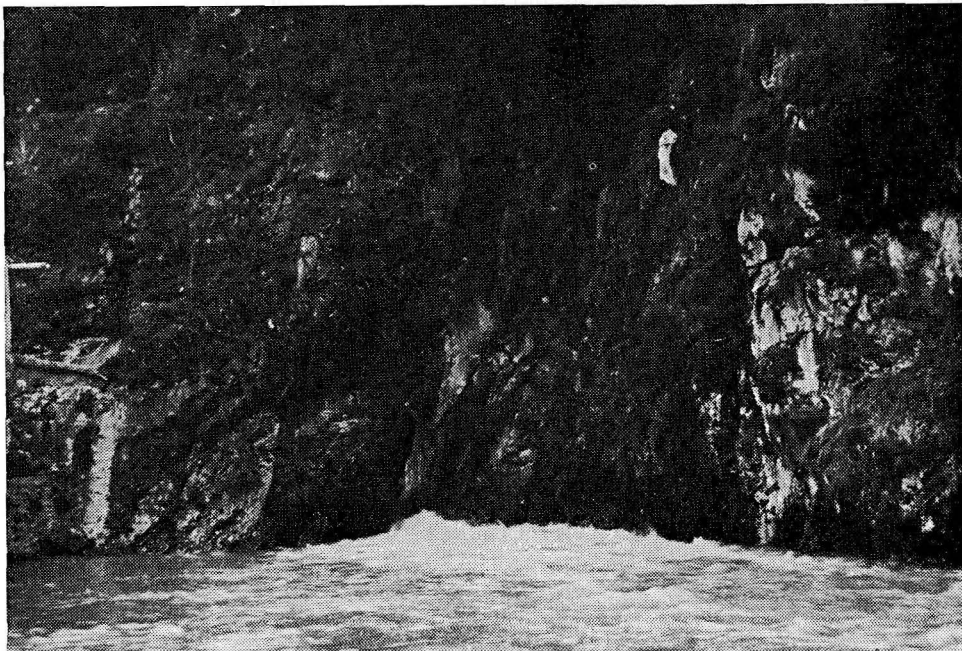


Sl. 3. Izvir iz Vipavske jame ob visoki vodi
Fig. 3. Spring from Vipavska jama at high water

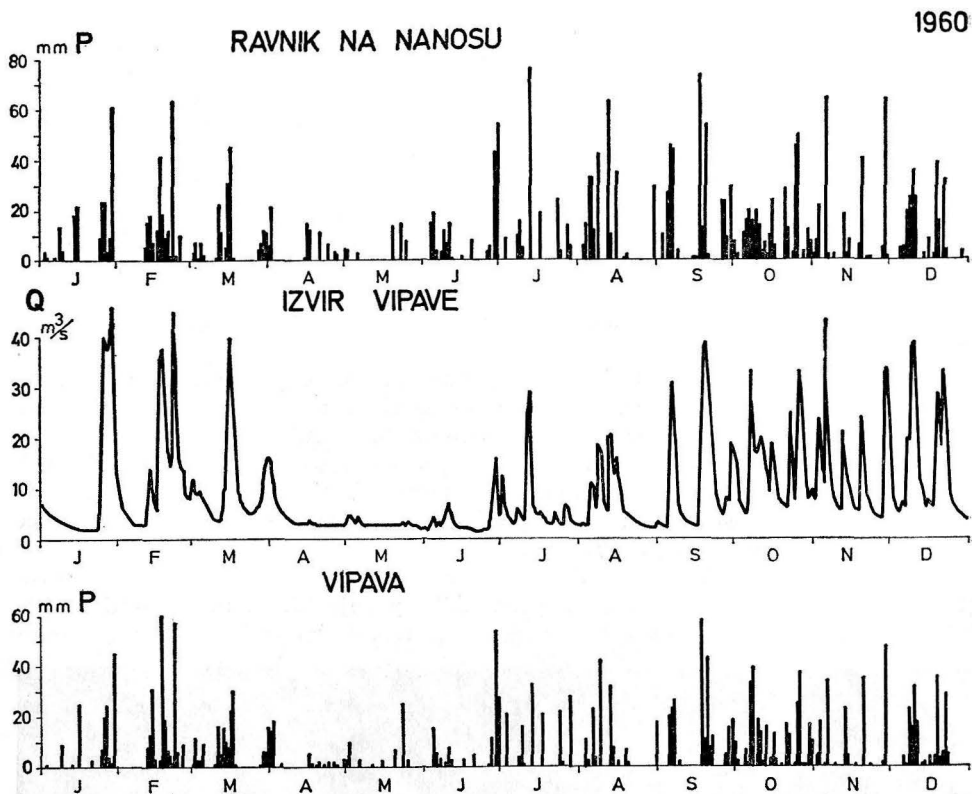
Najizdatnejši izvir Vipave je tik pod vhodom v umetni rov Vipavske jame (4). V prejšnjem stoletju so namreč nad glavnim izvirom Vipave izkopali 450 m dolg umetni rov v kredne apnenice, da bi prišli do živega srebra. To se jim ni posrečilo, pač pa so po 250 m zadeli na večjo naravno kraško votlino, polno vode. Rov so kopali še 200 m naprej in končno obupali. Na kraju rova je čutiti močan prepih, ki je v zvezi z večjimi nedostopnimi naravnimi votlinami. Umetni rov so skopali v slabo zakraselih krednih apnencih, saj jih le na dveh mestih prečkajo manjše špranje, po katerih priteka kraška voda. Te votline so neprehodne in tudi potapljaške raziskave v osrednji votlini še niso našle večjega pritočnega rova. Jezero v votlini je globoko do 17 m in nizka voda se v njem počasi pretaka. Izdatnost tega toka pa bi mogli oceniti le z izdatnim črpanjem.

Ob visokih vodah se izviri Vipave precej kalijo, to je vidno tudi v umetnem rovu za naravno votlino. Medtem ko je vhodni del rova čist in izpran, je v zadnjem delu odložena do 0,5 m debela plast mivke in flišnega blata. Očitno v tem delu rova voda zastaja, medtem ko iz naravne votline voda pod pritiskom odteka po umetnem rovu na površje (sl. 4). Flišni pesek in mivko spira voda ali neposredno iz flišne podlage kraškega Nanosa, ali pa prinaša skozi podzemlje s površja pri Predjami.

V osrednji izvir Vipave Pod skalco se poleg že omenjenih dveh izvirov (3 in 4) stekajo še vode po dveh neprehodnih špranjastih rovih Za gradom (5). Tudi v njih vodna gladina niha le za dober meter, kar se sklada z omejeno



Sl. 4. Izvir pod Farovžem
Fig. 4. Spring »pod Farovžem«



Sl. 5. Izviri Vipave, hidrogram padavin (P) in pretoka (Q)

Fig. 5. Vipava springs, hydrogram of precipitation (P) and discharge (Q)

prepustnostjo sifonskih kanalov. Zanimivo pa je, da se ob najvišjih vodah pojavi še vrsta drobnih curkov, ki vrejo iz skalnih razpok 4–5 m nad izviri.

Podobne narave kot izvir Za gradom je tudi dvojni izvir Pod farovžem (6, 7), kjer se kraška voda preliva na površje iz dveh ločenih špranj v nekaj metrov visoki skalni steni (sl. 5). V tem dvojnem izviri pa so ugotovljene zanimive temperaturne razlike. Severni izvir (7) ima povečini za nekaj desetink °C toplejšo vodo kot južni (6). V izviri se namreč srečujeta dva dotoka iz kraškega podzemlja, kar potrjujejo tudi razlike v trdoti vode.

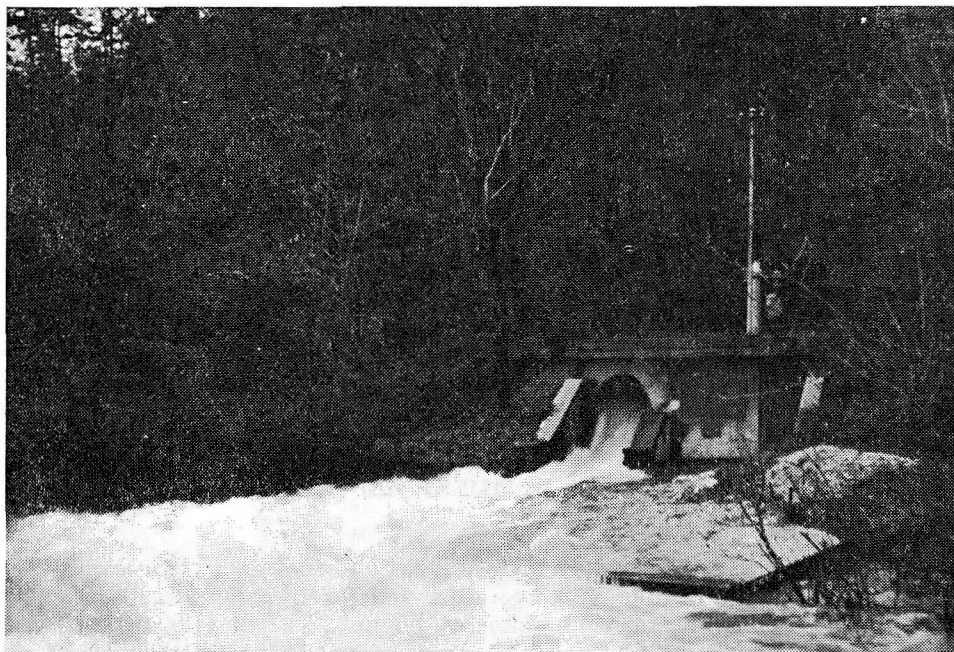
Najbližji severni sosed izvira Pod farovžem je občasni izvir Slezeneč (8). Voda tega izvira je stalno dosegljiva v kleti pod Bagatovo hišo, kjer so našli tudi človeško ribico (R. Savnik, 1959). Od tam se ob višjih vodah preliva po urejeni strugi in oteka pod cesto in hišami v Vipavo. Po kemičnih in temperaturnih značilnostih se Slezeneč povsem sklada z vodo v Črncovi jami ob Beli (9), kjer je zajetje za vipavski vodovod. Vhod v Črncovo jamo je ograjen in ob njem je zgrajeno črpališče (sl. 6). Gladina vode v jami niha za več metrov in le ob visokih vodah se preliva iz jame v strugo Bele močan tok. Temperaturne in kemične lastnosti te vode nakazujejo tesnejšo zvezo z zaledjem

Bele, ki delno ponika v soteski pod Sanaborjem in pod Nanosom odteka k stalnim izvirov Vipave.

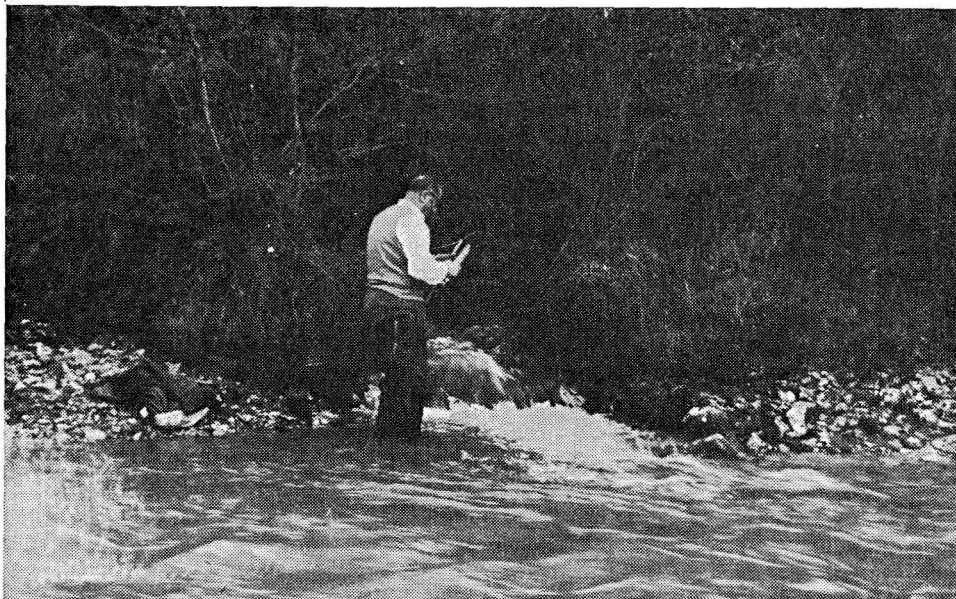
Podobne lastnosti kraških voda smo zasledili še v nizu občasnih kraških izvirov ob Beli od Črncove jame navzgor proti Vrhpolju. Izviri so vrisani na priloženi karti in oštevilčeni od 10 do 13 (sl. 2). Vodna gladina je v teh izviri med Vipavo in Vrhpoljem tudi do 25 m nad stalnimi izviri. Gladina kraške vode pod Nanosom je torej ob visoki vodi nagnjena od Sanaborja proti Vipavi. Zaradi izdatnega zajezevanja kraškega iztoka so občasni izviri tudi znatno nad površinsko Belo (sl. 7).

HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI

Stalni in občasni izviri Vipave so hidrološka celota in nanje neposredno vplivajo padavine v obsežnem kraškem zaledju. To je razmeroma dobro omejeno s flišnim obrobjem od Beli, Močilniku in Nanoščici. Težko ga je opredeliti predvsem v Hrušici na razvodju z Ljubljano. Vodomerna postaja v Vipavi žal ne zajema vseh voda iz tega kraškega zaledja, zato so hidrološke značilnosti izvirov le približno opredeljene. Po hidroloških podatkih za obdobje 1958 do 1965 (P. H a b i č, 1966) znašajo srednji letni pretoki med 6 in 9 m³/s. Ob izredni suši leta 1971 in 1973 pa smo namerili ob najnižjem pretoku le 700 l/s, medtem ko je njen pretok ob normalnih nizkih vodah okrog 1 m³/s.



Sl. 6. Izvir v Črncovi jami ob Beli
Fig. 6. Spring at Črncova jama in the Bela creek



Sl. 7. Utnik ob Beli
Fig. 7. Spring »Utnik« at Bela creek

Maksimalni pretoki so kratkotrajni, minimalni pa trajajo dalj časa (sl. 5). Ekstremni viški se pojavljajo hkrati z ekstremnimi dnevnimi padavinami. Izvir hitro reagirajo na padavine. Maksimalni pretoki Vipave dosežejo po vodomera v Vipavi od 50 do 55 m³/s, pri tem pa niso upoštevane kraške vode iz izvirov od Črncove jame do Vrhpolja, ki odtekajo mimo vodomera. Računamo, da je teh voda od 10 do 15 m³/s in z njimi vred naj bi celotni visokovodni iztok iz kraškega Nanosa znašal okrog 70 m³/s. Razmerje med nizkimi, srednjimi in visokimi vodami je tedaj 1:10:100, kar se sklada s tipičnimi hidrološkimi razmerami odtočnega visokega krasa. Glede na velikost zaledja in zajezenost iztoka pa je pomembno zadrževanje voda v krasu, tako ob visokih vodah, kot skozi dolgo sušno obdobje, ko prispeva visoki kras še pomembne količine voda. Minimalni specifični odtok znaša okrog 5–6 l/s/km², medtem ko daje nizki kras ob suši le 2–3 l/s/km².

FIZIKALNO KEMIJSKE LASTNOSTI

Temperatura vode

Številne meritve temperature vode v izviroh Vipave nam omogočajo dvoje temeljnih spoznanj. Razlike v temperaturi vode med posameznimi izviri so posledica po eni strani različnih dotokov, po drugi strani lokalnih razlik v pretočnem sistemu. Najhladnejše vode pritekajo iz osrednjega zaledja Nanosa, kjer je več ledenih jam (P. Habič, 1963), po najbolj prevodnih kanalih in napajajo stalne izvire. Ti imajo skoraj povsem enake temperature, le skrajna

južna izvira Pod lipico in Pri kapelici sta od 0,1 do 1,3 °C toplejša. V njih se najbrž odražajo lokalni vplivi bolj prisojnega pobočja Nanosa. To je namreč za več stopinj toplejše od osrednjega višjega dela (P. Habič, 1968).

Nekoliko toplejša je tudi voda v občasnih izvirih ter v izviru Pod farovžem, v Slezencu in Črncovi jami. V občasnih izvirih ali utnikih, kot jih imenujejo domačini, se kaže vpliv toplejše površinske vode in nižjega obrobja Nanosa.

Tabela 1

Primerjava temperature vode v izvirih Vipave (v °C)

Ime izvira	30. 3. 64	2. 6. 65	28. 12. 65	29. 5. 79	16. 11. 79
Pri kapelici (1)		9,4	9,7	10,1	8,8
Pod lipico (2)	9,0	9,4	9,7	10,0	8,8
Pod skalco (4)	8,9	8,8	9,4	10,0	8,7
Pod farovžem (6)	8,9	8,8	9,4	10,0	8,7
Pod farovžem (7)	9,0	9,6	9,7	10,2	9,2
Slezenc (8)	10,0	9,8	10,0		9,4
Črncova jama (9)	10,0	9,8	10,1	10,2	9,4
Utniki (12)		10,2			9,6
Bela	10,0	12,8	8,7		9,5

Druga temeljna značilnost kraških voda Vipave je njihova majhna temperaturna sprememba v teku leta. Na podlagi občasnih meritev znaša letna razlika največ 1,5 °C. Precej večje so seveda razlike v temperaturi površinske Bele. Ker je njen vpliv na temperature v kraškem podzemlju majhen, tudi ni opaziti večjih razlik v severni skupini izvirov.

Trdote vode

Podobne značilnosti kot v temperaturi so tudi v trdoti vode. Razlika v karbonatni trdoti med izviri znaša od 1 do 2 °NT. Večje so razlike le med stalnimi izviri in površinsko Belo. Pa tudi med posameznimi izviri se lahko čez leto trdote spreminjajo za 2 do 3 °NT. Trše so vedno vode severne skupine izvirov in površinska Bela, nižje pa v osrednjih stalnih izvirih. Kalcijeva trdota se giblje med 8 in 10 °NT, magnezijevih karbonatov pa je v vipavskih izvirih razmeroma malo, saj znaša magnezijeva trdota le od 0,5 do 2 °NT. Še nižje so nekarbonatne trdote. Izviri Vipave imajo torej hidrokarbonatne kalcijeve vode, kar se sklada s prevladujočim apniškim zaledjem.

Tabela 2

Primerjava karbonatnih trdot vipavskih izvirov v °NT

Ime izvira	16. 8. 63	30. 3. 64	28. 12. 65	16. 11. 79
Pri kapelici (1)		7,0	7,5	7,7
Pod lipico (2)	9,5	7,0	7,5	7,4
Pod skalco (4)	9,4	6,8	7,5	7,1
Pod farovžem (6)	9,4	6,8	7,5	7,1
Pod farovžem (7)	9,6	7,8	8,4	7,4
Slezenc (8)	10,0	8,1	8,4	7,7
Utniki (12)				8,6
Bela	10,6	10,0	9,8	10,4

Manjše razlike v temperaturi in trdoti vode so odvisne od načina pretakanja in mešanja kraških voda, ki napajajo te izvire. Na mešanje vplivajo padavine in dotoki iz različnih smeri. Na podlagi razlik v temperaturi in trdoti vode sklepamo, da so v zaledju Vipave vsaj dva ali trije glavni dotoki. Ti se v fizikalno-kemijskih lastnostih najbolj razlikujejo ob visokih vodah, ko je izenačevanje in mešanje vode zavoljo hitrega in bolj izoliranega pretoka v ločenih kanalih najmanjše. Ob srednjih in nizkih vodah pa so razlike manjše in povezanost vodnih žil učinkovitejša.

Kalnost Vipavskih izvirov

Vipavski izviri so po izdatnih nalivih bolj kalni kot druge kraške vode ob vznožju Trnovskega gozda. Te ugotovitve izhajajo iz občasnih opazovanj, podrobneje pa kalnosti med temi izviri doslej še nismo primerjali. Kalnost vipavskih izvirov smo merili ob jesenskem deževju 16. 11. 1979. Tedaj je bila najbolj kalna površinska Bela (443,3 mg/l suspenza). Precej kalni so bili tudi občasni izviri od Vrhpolja do Slezenca ter glavni izvir Vipave iz Vipavske jame (nad 40 mg/l), drugi izviri so bili bolj čisti (20 do 30 mg/l). Kemične analize je opravila Janja Kogovšek, kalnost pa je meril Andrej Kranjc, za kar se jima na tem mestu posebej zahvaljujem.

Tabela 3

Analiza vipavskih izvirov 16. 11. 1979

Ime izvira	Karb. trd.	Celok. trd. v mg/l	Kalc. trd.	Magn. trd.	Susp.	pH
Pri kapelici	137,5	152,4	140,2	12,2	13,8	7,60
Pod lipco	132,5	146,4	140,6	15,8	27,8	7,45
Perhavcov izvir	130,0	142,4	135,8	6,6	16,5	7,35
Vipavska jama	125,0	141,4	132,0	9,4	43,1	7,35
Pod skalco	127,5	140,4	132,8	7,6	30,7	7,22
Pod farovžem (6)	127,5	143,4	132,6	10,8	23,2	7,10
Pod farovžem (7)	132,3	145,3	136,2	9,1	44,0	7,05
Slezenec	137,5	149,4	140,2	9,2	51,4	7,80
Izvir (11)	140,0	152,4	146,0	6,4	21,2	8,00
Izvir (12)	140,0	154,4	142,6	11,8	59,2	7,80
Utnik (13)	147,5	160,4	150,1	10,3	53,2	7,65
Bela, Vrhpolje	186,0	194,5	190,0	4,5	443,3	7,25

V primerjavi z nekaterimi drugimi izviri lahko pričakujemo ob najvišjih vodah v južni skupini vipavskih izvirov od 100 do 200 mg/l trdnih delcev. Za zagotovitev in izbiro primernega načina čiščenja pa bi bili potrebni podrobnejši podatki o intenzivnosti in poteku kalnosti. V morebitnem novem zajetju za vodno oskrbo, bodisi v izviru Pod lipco ali v Vipavski jami, je treba računati tudi z občasnim naplavljanjem mivke, ki se po najvišjih vodah odlaga v izviru Vipave.

BAKTERIOLOŠKE LASTNOSTI

Bakteriološke lastnosti kraških izvirov Vipave niso redno spremljane. Več podatkov je le za pitno vodo, zajeto v Črncovi jami. Bakteriološke lastnosti izvirov ob poletni nizki vodi 1979 dokazujejo, da so vode Vipave v večini primerne za pitje celo brez predhodnega čiščenja. Vendar je večina kraških izvirov občasno le toliko okužena, da je treba zagotoviti stalno razkuževanje vode s kloriranjem ali na drug ustrenejši način. Zaradi kalnosti je treba zagotoviti tudi primerno čiščenje voda v morebitnem zajetju.

KRAŠKO HIDROGRAFSKO ZALEDJE VIPAVE

Hidrogeografsko zaledje vipavskih izvirov obsega ves Nanos in del Hrušice. Obsežna visoka kraška planota je s treh strani obdana z neprepustnimi flišnimi plastmi in z njimi je v tem delu tudi neposredno omejeno kraško zaledje. Le v osrednjem delu Hrušice je razvodje kraško in ga na podlagi sedanjega znanja o geološki zgradbi ni mogoče natančneje opredeliti. Na južnem obrobju Hrušice pripada zaledju Vipave okrog 8 km² flišnega površja v območju Postojnske kotline, od koder se stekajo površinske vode v manjše ponikalnice pri Predjami. Zveza teh voda z Vipavo je dokazana z barvanjem (F. H a b e, 1963), potrebne pa bi bile še podrobnejše raziskave o hitrosti pretakanja in možnosti onesnaževanja s te strani Nanosa. H kraški Vipavi pripada tudi 2 km² flišnega površja Bele, ki delno ponika v zakraseli apniški soteski med Sanaborjem in Vrhpoljem. Podzemeljska zveza Bele z izviri Vipave je le posredno dokazana s temperaturo in trdoto vode. Domnevno zvezo pa bi bilo treba še preveriti z barvanjem.

V vipavske izvire se na podlagi sedanjega znanja odteka voda z okrog 140 km² površja in od tega je le 10 km² nekraškega.

OGROŽENOST IN MOŽNOST ZAŠČITE IZVIROV

Zaledje izvirov je skoraj nenaseljeno. Na Nanosu živi le dvoje družin od skromnega kmetijstva, bolj naseljeno je južno obrobje Hrušice med Studenim in Predjamo, kjer je pet vasi in manjša lesna tovarna. Drugo naseljeno območje je med Sanaborjem in Podkrajem. Kraško zaledje je pretežno gozdnato in gozdarstvo je v njem pglavitna gospodarska dejavnost. Ta predel tudi prometno ni izpostavljen, saj je poleg ceste Kalce—Col, ki je speljana ob skrajnem severnem obrobju zaledja, območje prepreženo le z lokalnimi gozdnimi cestami.

Na onesnaženost kraških voda lahko vplivajo predvsem komunalne odplake s flišnega obrobja pri Belskem in Predjami, v manjši meri pa ogrožajo vode tudi občasne gospodarske dejavnosti na Nanosu in v Hrušici.

Visoka gozdnata planota Nanosa in Hrušice je torej ugodna za trajno varovanje kraških izvirov Vipave. Posebni varstveni ukrepi bi bili potrebni le v obrobjih naseljenih predelih pri Belskem in Predjami ter pod Colom. Za celotno hidrografska zaledje bi morali uvesti ustrezen varovalni sistem, da bi ohranili sedanjo čistost kraških voda. Njihov pomen za vodno oskrbo Vipavske doline in Krasa se bo v prihodnosti še stopnjeval.

SKLEP

Po legi in hidrografskih ter fizikalno kemijskih lastnostih se razlikujeta dve skupini kraških virov Vipave, ki pa predstavljata hidrološko celoto. Severna skupina ima značaj občasnih visokovodnih prelivov in se tudi po drugih lastnostih nekoliko razlikuje od južne skupine stalnih kraških izvirov. Ob nizkih vodah se v stalnih izvirih mešajo vode iz sicer ločenega zaledja. Tedaj zateka v podzemlje Nanosa tudi del površinske Bele med Sanaborjem in Vrhpoljem. Te vode se pojavljajo v izviru Pod farovžem. Južneje ležeči, za spoznanje hladnejši izviri dobivajo vode iz osrednjega zaledja Nanosa. Stalni izviri so hidrološko povezani in se odlikujejo z veliko skupno izdatnostjo. Posamezni izviri pa so pridušeni z ozkimi sifonskimi špranjami. Ožine so povečini globlje v zaledju izvirov, zato so večje količine nizkih voda tudi s črpanjem težko dosegljive. S temi omejitvami je treba računati pri gradnji zajetij.

Večje zajetje pitne vode bi lahko izvedli le globlje v notranjosti, za kar je dana ugodna možnost v Vipavski jami. Njeno izdatnost pa bi bilo treba še preveriti. Upoštevati je treba tudi gladino visoke kraške vode, saj je Vipavska jama ob višjih vodah v celoti zalita.

Izviri Vipave so razmeroma ugoden vodni vir, tako po količini, kot po kvaliteti. Nenaseljeno gozdno kraško zaledje je možno uspešno varovati pred onesnaževanjem. Potrebni so le ustrezni ukrepi pri občasnih gospodarskih dejavnostih, strožje pa je treba varovati flišno obrobje pri Predjami in ob Beli.

LITERATURA

- Buser, S., 1976: Tektonska zgradba južnozahodne Slovenije. 8. jugoslovanski kongres Geotektonika-Geofizika, 3, 45—58, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1965: Geologija ozemlja med Postojno, Planino in Cerknico. Rokopis, Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa, SAZU, Postojna.
- Habe, F., 1963: Hidrološki problemi severnega roba Pivške kotline. Treči jug. spel. kongres, 77—84, Sarajevo.
- Habič, P., 1966: Hidrologija krasa med Idrijco in Vipavo. Arhiv Inšt. za raz. krasa, rokopis, Postojna.
- Habič, P., 1968: Kraški svet med Idrijco in Vipavo. SAZU, Inšt. za geogr., Dela 11, 1—243, Ljubljana.
- Habič, P., 1970: Hidrogeološke značilnosti visokega krasa v odvisnosti od geomorfološkega razvoja. Prvi kolokvij o geologiji Dinaridov, 2. del, Hidrogeologija, 125—133, Ljubljana.
- Habič, P., R. Gospodarič, 1972: Die hydrologische Problematik und die Erkundung der Zusammenhänge unteriridischer Wässer im Karst. Geol. Jb, C2, s. 213—226, Hannover.
- Limánovský, M., 1910: Wielkie przemieszczenia mas skalnych w Dinaridach kolo Postojny. Rozpr. Wydz. mat.-przr. Akad. Umjetn. 3, 10, 109—171, Krakow.
- Placer, L., 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. Geologija, 24/1, 27—60, Ljubljana.
- Pleničar, M., 1961: Stratigrafski razvoj krednih plasti na južnem Primorskem. Geologija 6, Ljubljana.
- Pleničar, M., s sodel., 1970: Tolmač za list Postojna. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Savnik, R., 1959: Izviri Vipave. Naše jame 1, 30—32, Ljubljana.

VIPAVA KARST SPRINGS AND THEIR BACKGROUND

Summary

The permanent and periodical Vipava springs are characteristically distributed along western foot of Nanos karst plateau in the zone of high karst of NW Dinarids at the contact of impermeable Eocene flysch of the Vipava valley. Cretaceous limestones in the form of recumbent, towards NW oriented fold are over-thrusted to flysch layers, which are eroded between the places Vipava and Vrhpolje and partly covered by quaternary clayey rubble sediments. In this region the flood overflow springs are distributed. The permanent springs are situated on the altitude of 98 m, while the periodical one on the altitude between 100 to 125 m, showing the karst retention of high waters in the karst background (Fig. 1). During the dry period the springs have only about 700 l/s, after heavy rain they reach more than 70 m³/s of discharge. After uncomplete hydrological facts the annual water discharges amount to 6 to 9 m³/s. Low, medium and high discharges are in the rate of 1:10:100, which is characteristic for simple outflow high karst (Fig. 3). The entire background of Vipava karst springs, which is clearly limited from three parts, but not from narrower, eastern part, covers about 140 km² (Fig. 2) and thus is the minimal specific runoff about 5—6 l/s per km². The karst water temperature is rather constant, between 8—10 °C, smaller differences among the spring temperatures (see the Table 1) are influenced by local differences in otherwise uniform hydrological system. The same is considered for hardness (Table 2) and troubled water in the springs (Table 3) as well as for their bacteriological properties. From northern and eastern flysch border of karst background the superficial waters, much more exposed to pollution, are flowing towards Vipava springs. The western, otherwise scarcely inhabited cattle-breeding part of Nanos, contributes to the pollution of karst waters too, while partly uninhabited, wooded karstic background has relatively favourable influence to water quality. The Vipava springs are thus favourable water source, presenting a useful source of water supply, considering necessary disinfection and periodical mechanical purification as well as protection of the hinterland against pollution.

PRENIKANJE VODE IN IZLOČANJE SIGE
V PISANEM ROVU POSTOJNSKE JAME

(S 5 SLIKAMI)

WATER PERCOLATION AND SINTER DEPOSITION IN PISANI ROV
OF POSTOJNSKA JAMA

(WITH 5 FIGURES)

JANJA KOGOVŠEK

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 25. NOVEMBRA 1982

VSEBINA

Izveček — Abstract	62 (4)
UVOD	63 (5)
METODE DELA	63 (5)
TEMPERATURA ZRAKA IN PRENIKLIH VODA	63 (5)
PRETOKI KAPLJANJ IN CURKOV	65 (7)
TRDOTE PRENIKLIH VODA	67 (9)
KOROZIJSKE OBLIKE V PISANEM ROVU	68 (10)
IZLOČANJE SIGE V PISANEM ROVU	69 (11)
BILANCA IZLOČANJA KARBONATOV	73 (15)
SKLEPI	73 (15)
LITERATURA	75 (17)
WATER PERCOLATION AND SINTER DEPOSITION IN PISANI ROV OF POSTOJNSKA JAMA (Summary)	75 (17)

Izvleček

UDC 551.444(497.12—14)

Kogovšek Janja: Prenikanje vode in izločanje sige v Pisanem rovu Postojnske jame.

Acta carsologica 11 (1982), 59—76, Ljubljana, 1983, lit. 7

Celoletne vsakotedenske meritve preniklih voda v Pisanem rovu so pokazale, da tu prevladuje umirjeno kapljanje, brez večjih in hitrih sprememb. Bogastvo kapniških oblik in sorazmerno visoke trdote preniklih voda, pa so nas vodile k ugotavljanju, kakšno je izločanje danes. Na posameznih mestih se je v enem letu izločilo do 0,5 kg karbonatov, kar kaže na vztrajno nadaljevanje rasti starih kapnikov.

Abstract

UDC 551.444(497.12—14)

Kogovšek Janja: Water Percolation and Sinter Deposition in Pisani rov of Postojnska jama.

Acta carsologica 11 (1982), 59—76, Ljubljana, 1983, Lit. 7

Annual weekly measurements of percolated waters in Pisani rov have shown that regular dropping, without big or quick changes, prevails. The abundance of speleothems and relatively high hardness of percolating water arose the interest about the actual sedimentation. On some parts up to 0,5 kg of carbonates have been deposited in one year, showing the perpetual continuation of old speleothems growth.

Naslov — Address

Janja Kogovšek, mag. dipl. ing. chem.

raziskovalni sodelavec

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

Titov trg 2

66230 Postojna

Jugoslavija

UVOD

Vertikalno prenikanje vode smo podobno kot v Planinski jami preučevali tudi v Postojnski jami. Izbrali smo Pisani rov, kjer smo v prvem opazovalnem obdobju od junija 1977 do junija 1978 tedensko merili pretok, temperaturo in sestavo vode pri izbranih curkih 21, 22, 23, 24 in 25, kot tudi temperaturo zraka. Rezultati iz tega obdobja so zbrani v letnih poročilih. Z enakimi opazovanji smo nadaljevali v obdobju 1978/79, vendar le enkrat mesečno.

V času od marca 1981 do februarja 1982 smo zopet tedensko opazovali curke, 22, 23, 24, 25, 29 in 31 ter merili izločanje karbonatov iz njihove vode pri polzenju po sigastih oblikah. Zvezno smo beležili tudi temperaturo in vlago zraka v prvem delu rova pred točko 21 in globlje v rovu pri točki 31.

Pisani rov se odlikuje po pestrem kapniškem bogastvu, vendar se na nekaj mestih kažejo tudi sledovi delovanja agresivne prenikle vode. V tem obdobju smo spremljali tudi njeno sestavo. Merilna mesta so razvidna iz slike 1. V Pisanem rovu je na območju opazovalnih curkov debelina stropa od 40 do 70 m in se tanjša v smeri proti koncu rova. Njegova geološka zgradba je enotna. Rov leži v turonijskih skladovitih apnencih z roženci, nad katerimi so neskladoviti in skladoviti apnenci (R. Gospodarič, 1976). Površje nad Pisanim rovom je pokrito s tanko plastjo rdečerjave ilovice in poraslo z gozdom.

METODE DELA

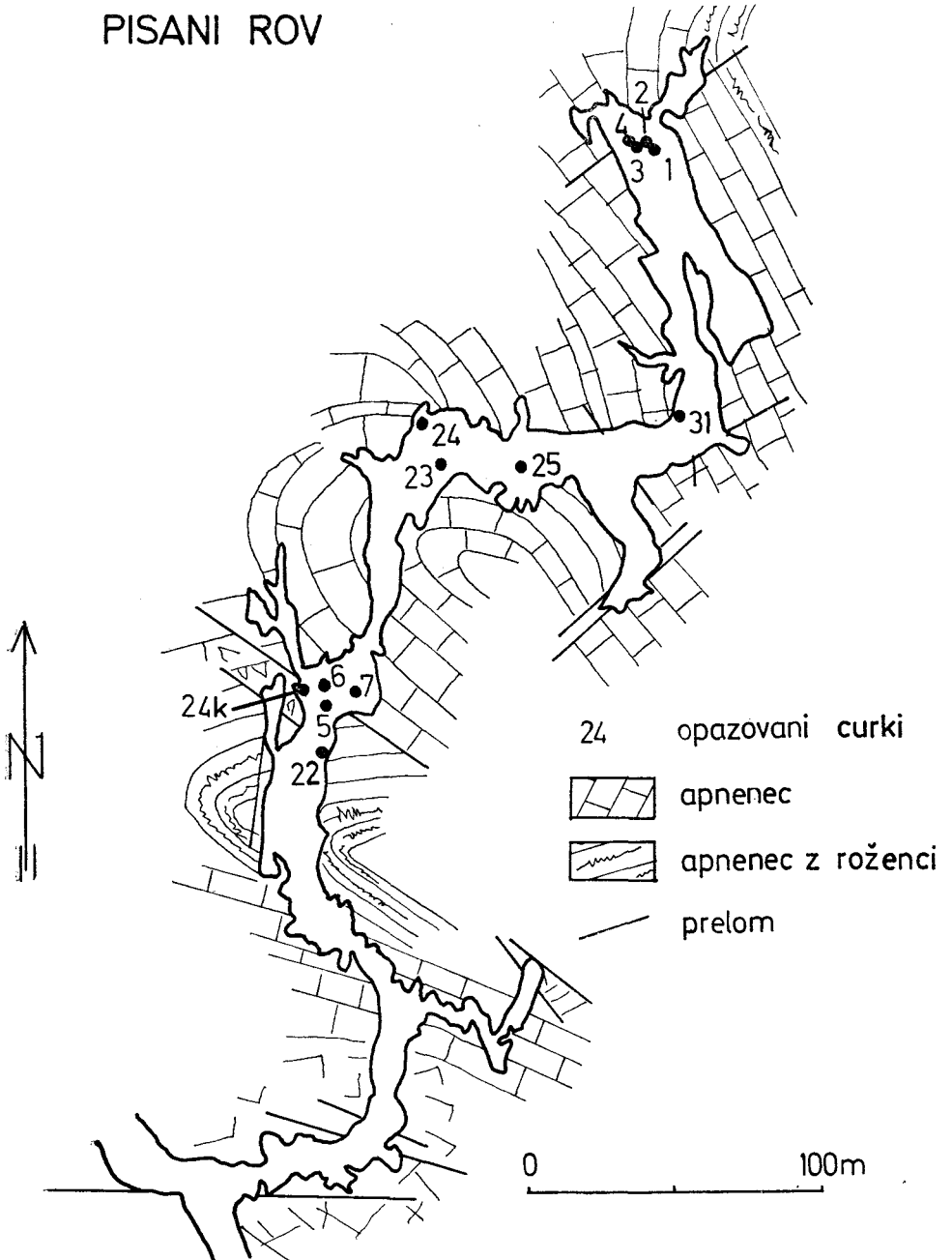
Pretok curkov smo merili tedensko z ustreznimi menzurami in štoparico. Za zvezno registracijo reakcije curkov na padavine smo uporabili kar dva pluviografa z dnevno uro, ker nismo imeli primernejših zveznih merilcev pretoka. Temperaturo vode in zraka smo merili z živosrebrnim termometrom na $1/10^{\circ}\text{C}$ natančno. Trdote vode smo določali titrimetrično, specifično električno prevodnost pa z Iskrinim konduktometrom MA 5961. Za zvezno registracijo temperature in vlage smo uporabili termograf in hidrograf.

TEMPERATURA ZRAKA IN PRENIKLIH VODA

Temperaturo zraka v Pisanem rovu je meril že I. Gams (1970, 1974) in ugotovil, da niha od $8,2$ do $8,6^{\circ}\text{C}$ ter da je klimatsko ta rov skoro statičen. Naše prve meritve segajo v opazovalno obdobje 1977/78, ko smo preko celega leta tedensko spremljali temperaturo zraka in preniklih voda. Izkazalo se je, da gre le za majhna nihanja. Temperatura vode je nihala med $7,9$ in $8,4^{\circ}\text{C}$, temperatura zraka, ki smo jo merili na stalnem mestu v osrednjem delu rova, pa med $8,1$ do $8,6^{\circ}\text{C}$.

V obdobju 1981/82 smo ponovno tedensko merili temperaturo zraka z živosrebrnim termometrom, vzporedno pa še zvezno registrirali temperaturo

PISANI ROV



Sl. 1. Položaj opazovanih točk v Pisanem rovu Postojnske jame
 Fig. 1. The situation of observed points in Pisani rov of Postojnska jama

in vlago zraka. Zvezna registracija temperature je bila le na $0,5^{\circ}\text{C}$ natančna, vendar pa je pokazala, da tudi med tednom temperatura zraka le malo niha. Natančnejše tedenske meritve so potrdile in dopolnile te podatke.

Tako lahko rečemo, da je temperatura zraka pri točki 21 od marca 1981 do februarja 1982 nihala od $8,0$ do $9,0^{\circ}\text{C}$, globlje v rovu pri točki 23 od $7,9$ do $8,3^{\circ}\text{C}$, še globlje pri točki 31 pa od $7,9$ do $8,2^{\circ}\text{C}$.

Na vhodu v Pisani rov smo spremljali tudi gibanje zraka na relaciji Glavni rov—Pisani rov. V poletnih mesecih, ko je zunaj in v glavnem rovu Postojnske jame toplejši zrak kot v Pisanem rovu, je pihalo iz Pisanega rova v Glavni rov; v začetku novembra, ko pa je z močnejšo ohladitvijo nastopilo hladno obdobje, se je smer vetra obrnila. Ta izmenjava zraka vpliva na temperaturo zraka, pa tudi temperaturo prenikle vode v začetnem delu sicer dokaj izoliranega Pisanega rova. Prenikajoča voda je pri prenikanju v tesnem stiku s skalno gmoto jamskega stropa, zato se tedaj njena temperatura prilagaja temperaturi le-te. Ob padanju kapljic skozi jamski zrak prihaja do izravnavanja temperature vode s temperaturo zraka, seveda pa je tu pomembna dolžina poti kapljic skozi jamski zrak.

Temperatura vode curkov niha malo in v približno enakem intervalu kot temperatura zraka. Pri curkih 25 in 31 se je temperatura vode spreminjala od $7,8$ do $8,4$, pri curku 29 pa od $8,0$ do $8,6^{\circ}\text{C}$. Večja nihanja (do $0,9^{\circ}\text{C}$) smo zabeležili pri curkih 22, 23 in 24, in sicer v intervalih: $8,1$ — $8,8$, $7,8$ — $8,6$ in $7,9$ do $8,8^{\circ}\text{C}$.

Lahko zaključimo, da so nihanja temperature zraka in preniklih voda majhna in ne odražajo kakšnih sezonskih nihanj, vendar je opazno upadanje temperature zraka kot tudi temperature preniklih voda proti notranjosti rova. Večja nihanja temperature zraka smo zabeležili v začetnem delu rova, kjer je močnejši vpliv zraka iz glavnega rova Postojnske jame.

Tudi vlažnost zraka se je preko leta le malo spreminjala. Merili smo relativno vlažnost, ki je dosegla vrednosti od 92 do 98% .

PRETOKI KAPLJANJ IN CURKOV

Glede na njihov pretok bi curke razdelili na nestalne in stalne; stalne pa dalje na počasno kapljajoče in izdatnejše curke. Nekateri so zelo stabilni in njihov pretok umirjeno niha, pri drugih pa je to nihanje znatno.

Tako curek 24_k , ki je vezan na bližnji prelom, občasno presahne, sicer pa mu pretok niha do 300 ml min^{-1} . Verjetno pa v posebnih razmerah ob vodnih valovih doseže njegov pretok še dokaj višje vrednosti. Curek 22 priteka po ozkem kaminu ob prelomu. V prvem opazovalnem obdobju smo zabeležili nihanja pretoka od 1 do 300 ml min^{-1} . V tem okviru so nihale tudi vrednosti pretoka v obdobju 1981/82, razen v nekaj primerih, ko smo izmerili pretoke do 1800 ml min^{-1} , kar govori za to, da so naše meritve segale tudi v zgornji del vodnih valov, ki pa jih ob prvih meritvah nismo zajeli. Očitno oblikujejo intenzivne padavine pri odprtih špranjah, oz. pri direktnejših poteh, kot jih imata curka 22 in 24_k , izrazitejše vodne valove.

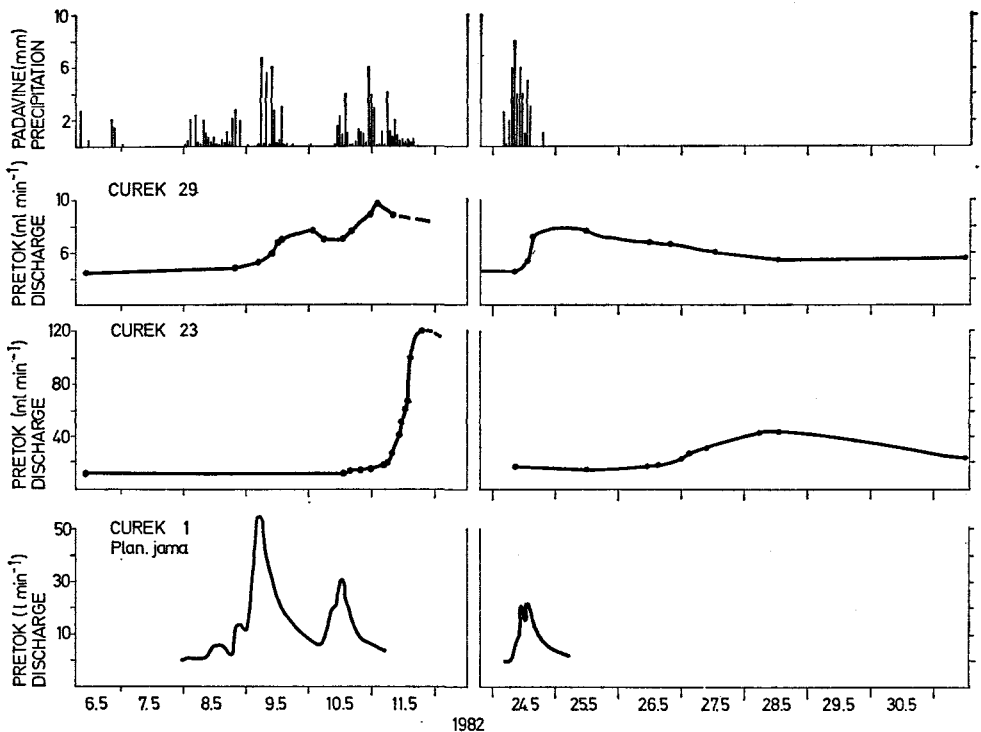
Curek 31, oz. kapljanje iz zavite cevke na stropu, je podobno kot curek 23 dosegal pretoke do 100 ml min^{-1} in le izjemoma smo zabeležili višje do 200 ml

min^{-1} . Vendar pa ta pretok le navidezno močnejše niha, saj se iz močno zasigane stene odteka ista voda tudi nekoliko niže.

Med curke-kapljanja s stabilnim, nizkim pretokom okoli 5 ml min^{-1} , ki pa ne presežejo 20 ml min^{-1} , spadata curka 25 in 29. Torej se odlikujeta po zelo enakomernem pretoku. Curek 24 kaplja podobno kot curek 29 iz zavite cevke, vendar pa ne spada popolnoma v to skupino. Njegov pretok znatneje niha; maksimalna zabeležena vrednost pa je bila 80 ml min^{-1} .

Režim curka nam pokaže razmerje med minimalnim in maksimalnim pretokom med letom. Pri curku 25 je bilo to razmerje 18, pri curkih 29 in 23 pa 32 in 45. Pri curkih 31 in 24 seže ta vrednost preko 100, znatno višja pa je pri curkih 22 in 24_k.

Manjša nihanja pretoka kažejo na dušenje padavin pri prenikanju vode skozi jamski strop, ki je hkrati nekakšen »rezervoar«, iz katerega se napajajo ti curki skozi celo leto, tudi v času dolgotrajnih obdobij brez padavin. Na dušenje padavinskih nihanj pa ima predvsem pri manjših curkih pomembno vlogo tudi zasiganost stropa in sten, ki zaradi svoje poroznosti in celovitosti zadržuje in usmerja preniklo vodo.



Sl. 2. Oblikovanje vodnih valov pri curkih 23 in 29 v Pisanem rovu in curku 1 v Planinski jami

Fig. 2. The form of water pulses at trickles 23 and 29 in Pisani rov and at trickle 1 in Planinska jama

V Planinski jami, kjer smo spremljali tudi več vodnih valov, to je reakcij pretoka curka na določene padavine, smo ugotavljali karakteristično naraščanje in kasnejše upadanje pretoka. Podobno sorazmerno hitro reagiranje smo opazili tudi pri curkih 22 in 24_k v Pisanem rovu. Zanimalo pa nas je tudi, kako se odzivajo na padavine kapljanja z enakomernim pretokom. V ta namen smo zvezno merili pretok kapljanj na mestih 23 in 29.

Po dolgem poletnem brezdeževnem obdobju curka 23 in 29 tudi na naliv s 35 mm padavin nista reagirala. Očitno se je vsa voda porabila le za zapolnjevanje obširnega, slabo prepustnega rezervoarja. Curek 1 v Planinski jami, v katerega dovajajo vodo poleg mreže drobnih dovodnih poti tudi direktnejši kanali, pa je na ta naliv reagiral. Spremljali pa smo tudi oblikovanje vodnih valov ob intenzivnih padavinah v namočenih razmerah.

Dne 6. 5. 1982 je začelo deževati; dež se je nadaljeval 8. 5. do 11. 5. po približno 20 mm na dan. Tako je v Postojni v tem času padlo skoro 100 mm dežja. Curek 29 je reagiral 9. 5., ko so nastopile intenzivnejše padavine. Od izhodne vrednosti 4,5 ml min⁻¹ se je pretok v vrhu vala dvignil na 9,7 ml min⁻¹. Po 12-dnevnem brezdeževnem obdobju, ko je bil pretok zopet 4,5 ml min⁻¹, je v intenzivnem nalivu, ko je padlo 54 mm dežja v približno 10 urah, curek 29 hitro reagiral, v vrhu vala dosegel dvakratno izhodno vrednost in nato zelo počasi upadal. Curek 29 reagira na padavine z manjšimi zakasnitvami, v namočenih razmerah že po 10 urah, po daljši suši pa nekoliko kasneje in oblikuje položne, zaobljene vodne valove (slika 2).

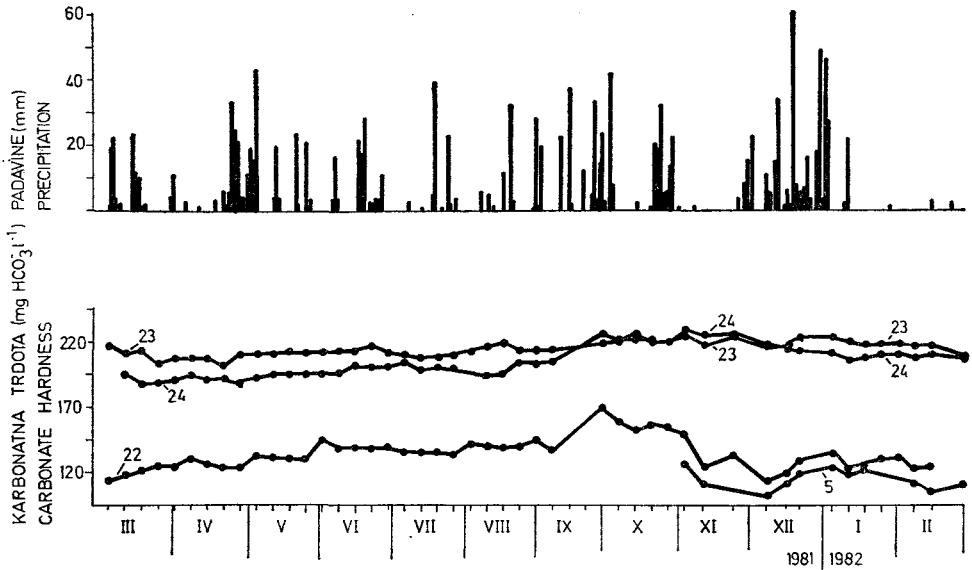
Vzporedno spremljanje curka 23 je ob prvih opazovanih padavinah, ko mesec dni prej skoro ni bilo padavin, pokazalo, da je reagiral z močnim zaostankom za padavinami, ko so padavine že prenehale in je bil položni vodni val curka 29 že v upadanju. Reagiralo je z dokaj strmim naraščanjem pretoka v prvih 12 urah, ko se je pretok 10-kratno povečal ter nato le počasi upadal. Na drugi intenzivnejši, a količinsko šibkejši naliv (24. 5.), ko je bil pretok še v upadanju po prejšnjem valu, je reagiral z 2-dnevnim zaostankom za padavinami in oblikoval dolg položen vodni val.

Curek 29, ki mu pretok niha v znatno manjšem intervalu kot curku 23, reagira dokaj hitro na padavine, medtem ko mora imeti curek 23 obširnejšo mrežo slabše prepustnih dovodnih poti, ki se postopoma zapolnjujejo, za kar govore časovni zaostanki reakcij ter sorazmerno višji pretoki tega curka.

Če primerjamo reagiranje curkov v Pisanem rovu s tistimi v Planinski jami, lahko ugotovimo hitrejšo reakcijo pretoka curkov v Planinski jami, pa tudi izrazitejše oblikovanje vodnih valov, ki odražajo razporeditev in količino padavin. To je razvidno iz slik opazovanih vodnih valov, kjer so za primerjavo navedene padavine, merjene v Postojni. Vemo pa, da se padavine v Postojni in Planini po količini in razporeditvi nekoliko razlikujejo (slika 2).

TRDOTE PRENIKLIH VODA

Tedenske meritve karbonatne, kalcijeve in magnezijeve trdote so pokazale pri vseh preniklih vodah v Pisanem rovu nizko vsebnost magnezija (pod 1,7 mg Mg²⁺ l⁻¹ in majhne razlike med karbonatno in kalcijevo trdoto. Karbonatne trdote curkov 21, 23, 24, 25, 29 in 31 imajo zelo soroden potek, razlike med posameznimi curki so majhne in le občasno presežajo 12 mg HCO₃⁻ l⁻¹ (slika 3).



Sl. 3. Letni potek padavin in karbonske trdote curkov v Pisanem rovu

Fig. 3. Annual precipitations quantity and trickles carbonate hardness in Pisani rov

Letno nihanje trdot teh curkov je znatno manjše kot pri opazovanih curkih v Planinski jami in kot nakazujejo meritve, tudi v Škocjanskih jamah in Dimnicah. Karbonatne trdote posameznih curkov nihajo v intervalu 36 mg HCO₃⁻ l⁻¹. Zato le težko govorimo o njihovem sezonskem nihanju, čeprav se pri curkih 21, 24, 29 in 31 nakazujejo višje trdote od septembra do vključno februarja, ko so dosegale tudi do 240 mg HCO₃⁻ l⁻¹.

Izven tega območja je curek 24_k z minimalno karbonatno trdoto 152 in maksimalno 225 mg HCO₃⁻ l⁻¹ ter curek 22, ki mu karbonatna trdota niha od 116–171 mg HCO₃⁻ l⁻¹. Če nihanje pretokov primerjamo z nihanji trdot, se izkaže podobno kot za Planinsko jamo, da večjim nihanjem pretoka ustrezajo tudi večja nihanja karbonatnih trdot.

KOROZIJSKE OBLIKE V PISANEM ROVU

Nedaleč od curkov, ki gradijo kapniške oblike, srečamo agresivno kapljanje, ki razjeda kamnino ali staro sigo. Vidne korozijske sledove zasledimo v stari sigi na steni (točka 22), kjer je agresivna voda pri polzenju po steni že otopila plast stare sige in sedaj razjeda skalo. Razlike v karbonatnih trdotah pri vrhu in vznožju stene (~ 2 m) so nam bile merilo raztapljanja na tej poti. V sušnem poletnem obdobju (od 3. do 24. 8. 1981), ko pretok ni presegal 5 ml min⁻¹, smo izmerili raztapljanje do 13 mg CaCO₃ l⁻¹, v preostalem času pa ni bilo opaznejšega raztapljanja. Možno je, da je zaradi kratke poti in napake v določevanju karbonatne trdote pri večjih pretokih (razredčevanje), minimalen efekt raztapljanja zabrisan. Očitno je, da se je sestava vode tekom časa bistve-

no spremenila, saj je najprej izločala sigo, ki jo je začela kasneje raztapljati. Ta curek je preučeval že I. Gams (1967). Kemične analize vode so pokazale več anhidrida žveplene kisline in kisika, zato je sklepal, da je voda agresivnejša zaradi roženca v apnencu. Vendar pa ta razlaga ne pojasnjuje predhodnega izločanja sige na istem mestu. Za sedaj si to lahko razložimo le z drugačnim načinom prenikanja, oz. dovajanjem vode v ta curek po drugih vodnikih.

V zadnjem delu rova je agresivna prenikla voda izoblikovala v podornih skalah po dnu rova številne korozijske kotlice. Ponekod je korozija tako napredovala, da je celo preluknjala skale. Strop nad temi oblikami je nezasigan, vendar pa so že v neposredni bližini ob robu rova lepe sigaste oblike. Agresivno kapljanje, ki oblikuje opisane korozijske oblike, je zelo počasno.

V korozijsko kotlico na točki 1 v zadnjem delu rova je kapljala prenikla voda v sušnih obdobjih z minimalnih pretokom znatno pod 1 ml min^{-1} ; marca 1981, ko se je topil obilni sneg na površju, pa smo izmerili pretoke do 20 ml min^{-1} . Najnižje karbonatne trdote smo zabeležili spomladi. Od januarja dalje so dosegale od 122 do $132 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$, v jesenskem obdobju v oktobru, pa smo izmerili do $170 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$. Podoben potek trdot je imelo tudi kapljanje na točki 4. Curka 2 in 3 imata zasigani kotlici, njune trdote pa so bile do $36 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$ višje kot pri prej omenjenem kapljanju in sta občasno tudi presahnila. Izgleda, da je raztapljanju oz. nastajanju kotlic sledilo izločanje.

Najnižje trdote, ki smo jih zabeležili v Pisanem rovu, pa so dosegala kapljanja na mestih 5, 6 in 7, nedaleč od točke 24_k. V času opazovanja od novembra dalje, se je curek 7 ob namočenih situacijah dokaj povečal, kasneje pa tudi presahnil; curka 5 in 6 pa sta bila stalna. Minimalna karbonatna trdota je bila 105 , maksimalna pa $130 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$, kar pogojuje intenzivnejše raztapljanje karbonatov v skalah po jamskem dnu v tem delu rova.

Korozijske kotlice si razlagamo kot posledico učinkovanja agresivne, nenasičene vode na golih ali pa že predhodno zasiganih skalah. Če je kotlica vsaj delno v sigi, ki je porozna, lahko bolj ali manj nasičena voda prodira skozi. Če pa je kotlica v skali brez razpok, pride do odtoka vode le ob visoki vodi čez rob kotlice; v sušnih obdobjih, ob minimalnem dotoku prenikle vode, pa se kotlice delno praznijo s pršenjem ob padanju kapelj v vodo v kotlici. Zadržujoča agresivna voda raztaplja karbonate do vzpostavitve ravnotežja. Odtok nasičene vode pa pomeni tudi odtok karbonatov, oz. rast kotlice.

Na kemično sestavo prenikle vode in režim pretoka ne vplivata le debelina jamskega stropa in njegova litološka sestava, ampak v precejšnji meri tudi lokalna razporeditev in prepustnost prevodnikov v kamnini.

IZLOČANJE SIGE V PISANEM ROVU

Bogastvo sigastih oblik v Pisanem rovu nam da slutiti, da se je tu v preteklosti močno odlagala siga. Kako pa ta proces poteka danes, smo skušali ugotoviti z meritvami trdot prenikle vode preden začne izločati in ko je na določeni poti že odložila neko količino sige. Kot smo že omenili, so meritve v Pisanem rovu pokazale, da prenikle vode vsebujejo predvsem karbonatne in kalcijeve ione, vsebnost magnezijevih ionov je nizka in ostane tudi po izločanju nespremenjena. Opazne razlike smo zabeležili pri kalcijevih in karbonatnih trdotah, iz česar sledi, da gre za izločanje predvsem CaCO_3 . Tudi analize sta-

rejših sig so pokazale, da jih sestavlja sorazmerno čist CaCO_3 (J. K o g o v š e k 1981).

Za meritve izločanja smo v Pisanem rovu izbrali štiri točke, kjer prenikla voda kaplja z različno velikim pretokom na stalagmite pod seboj in ob polzenju po njih in nadalje po jamskih tleh izloča sigo.

O rasti stalagmitov, ki jo določa odlaganje karbonatov iz tankega filma prenasičene raztopine, lepo podaja v svojem prispevku W. Dreybrodt (1981), kot tudi o kemijskih in fizikalnih procesih, ki tu potekajo. Prenikla voda je pravzaprav raztopina vseh snovi, ki jih raztopi pri prenikanju; v naših primerih predvsem raztopina karbonatov. Hitrost izločanja sige zavisi od številnih faktorjev, predvsem od koncentracije Ca^{2+} v raztopini in koncentracije CO_2 na površini stalagmita. Ko pade kapljica take vode na neko podlago, se tvori tanek film raztopine. Pri debelini filma 0,1 mm odda raztopina v približno 10 sek prebitni CO_2 . Oddajanje CO_2 je difuzijski proces, njegova posledica pa je izločanje CaCO_3 .

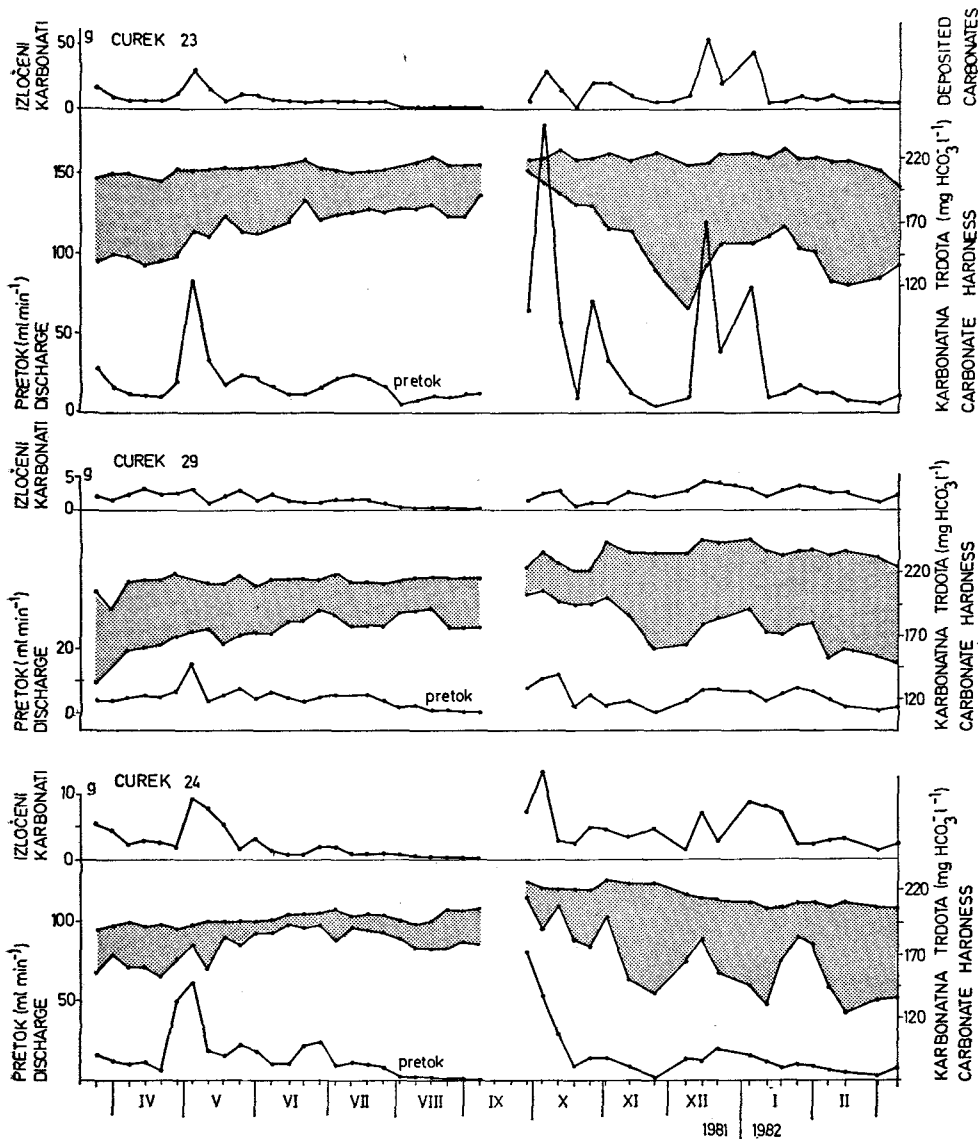
Hitrost izločanja v odvisnosti od časa, pri konstantnih ostalih pogojih, pada, zato ker s časom pada koncentracija Ca^{2+} . To pa traja tako dolgo, dokler ne pade nova kaplja prenikle vode in se dogajanje ponovi. Tako hitrost izločanja ne zavisi le od koncentracije Ca^{2+} v prenikli vodi, ampak tudi od časovnega intervala med dvema kapljama (od pretoka), ki določa tudi koncentracijo Ca^{2+} in debelino filma vode, ki obliva stalagmit. Pri majhnem časovnem intervalu med dvema kapljama je stalagmit stalno oblit z visokokonzentrirano raztopino in rast sige je hitra. Pri zelo velikih časovnih intervalih se izloči ves razpoložljivi apnenec, če pa je interval večji, kot je čas, ki je potreben za izločanje, hitrost izločanja pojema z $1/\Delta t$.

Pri konstantni debelini filma in temperaturi je pri večjih začetnih koncentracijah Ca^{2+} večja hitrost izločanja. Z manjšanjem debeline filma hitrost izločanja ob konstantnih ostalih faktorjih, narašča. Dreybrodt je ugotavljal tudi vpliv temperature ob konstantni začetni koncentraciji in debelini filma. Za začetno koncentracijo $200 \text{ mg Ca}^{2+} \text{ l}^{-1}$ in debelino filma 0,1 mm so za časovni interval med kapljama 300 sek ugotovili podvojitve hitrosti izločanja pri temperaturi 25°C v primerjavi s temperaturo 10°C . Vzrok je v temperaturi odvisnosti konstant, ki določajo kemijske reakcije izločanja.

Kot smo že zapisali, smo spremljali recentno izločanje sige na štirih mestih, ki se med seboj razlikujejo po velikosti pretoka, kot tudi po dolžini poti, na kateri smo merili izločanje.

Karbonatna trdota prenikle vode na točki 23 preko leta le neznatno niha ($207\text{--}220 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$). Njen pretok reagira na padavine z določenim časovnim zaostankom, sicer pa niha umirjeno. Ob nizkih pretokih lahko prenikla voda odda karbonate do največje možne mere; vendar pa smo z našimi meritvami ugotovili, da so se jeseni in v zgodnji zimi ob nizkih pretokih izločali karbonati v večji meri kot pa v preostalem času, kar pa si le z našimi meritvami ne znamo pojasniti, CO_2 v jamskem zraku pa nismo merili. Maksimalna količina karbonatov se je izločila pozno jeseni ob nizkem pretoku, in sicer 90 mg CaCO_3 iz 1 litra prenikle vode. Takrat se je voda odtekala v pretežni meri po drugi strani kope s stalagmitom, ki rase na njej ali pa pronicala skozi kopo, tako da je prišlo do popolnejšega izločanja.

Očitno je, da obliva prenikla voda stalagmite zelo različno. Voda, ki enakomerno kaplja na vitek stalagmit, ga obliva z vseh strani, tako da je njegova rast simetrična. V večini primerov pa prevladujejo »sestavljene« stalagmiti, ki odražajo obdobja različno intenzivnega izločanja sige. Tako smo dostikrat priča,



Sl. 4. Izločanje sige na točkah 23, 29 in 24 v Pisanem rovu
 Fig. 4. Sinter deposition on the points 23, 29 and 24 in Pisani rov

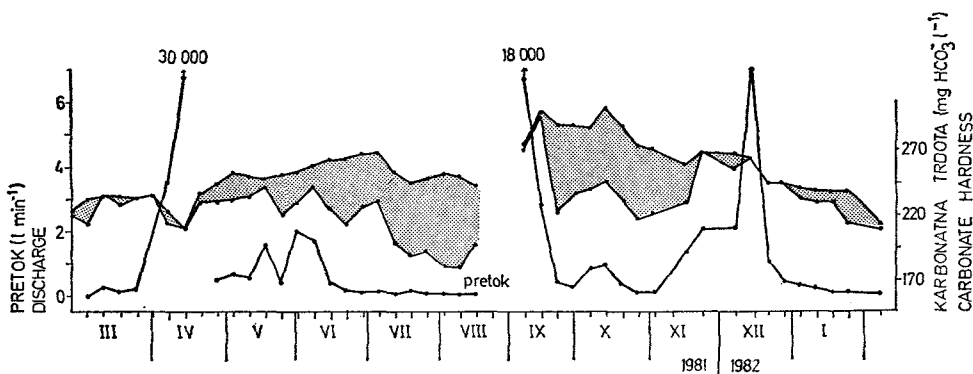
da prenikla voda obliva sigaste kope le delno, oz. odvisno od sprememb pretoka, tudi preko leta zelo različno.

Na točki 23 se je kljub popolnejšemu izločanju ob nizkih pretokih izločilo na 2,7 m dolgi poti po stalagmitu in kopi količinsko največ karbonatov ob višjih pretokih, to se pravi, da je v danem primeru količina odloženih karbonatov odvisna predvsem od količine pretekle vode, kar je razvidno iz slike 4.

Karbonatna trdota na točki 29 je dosegala vrednosti okoli $207 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$, jeseni pa se je dvignila na $232 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$ in to vrednost obdržala še v času zime. Vzporedno se je za enako mero dvignilo tudi izločanje karbonatov iz 1 litra prenikle vode na 1,75 m dolgi poti. To kapljanje karakterizirajo nizki pretoki s sorazmerno majhnimi nihanji. Krivulja količine odloženih karbonatov v določenem časovnem intervalu poteka dokaj skladno s krivuljo pretoka, tako da lahko enako kot pri curku 23 ugotovljamo, da količina odloženih karbonatov močno zavisi od količine pretekle vode, čeprav se sicer v znatno manjši meri kaže tudi odvisnost od stopnje izločanja, ki prihaja do izraza zaradi razmeroma nizkih pretokov.

Kapljanje na točki 25 je po značilnostih pretoka podobno kapljanju na točki 29. Izločanje smo spremljali le na 0,5 m dolgi poti, vendar pa se je že na tako kratki poti izločalo tudi do 60 mg CaCO_3 iz 1 litra prenikle vode. Tudi tu je količina karbonatov, ki se je odložila v določenem času predvsem odvisna od količine prenikle vode. Kapljanje na točki 24 dosega jeseni in v zgodnji zimi podobno kot kapljanje na točki 29 višje karbonatne trdote, pri tem pa njegov pretok znatneje niha. Meritve trdot so pokazale, da se izločajo v obdobju višjih trdot tudi večje količine karbonatov iz 1 litra prenikle vode. Kot glavni faktor za količino izločene sige pa se tudi tu kaže količina pretekle vode.

Slika 5 pa kaže vzporedno spremljanje izločanja v Planinski jami. Spremljali smo izločanje iz prenikle vode curka 1, ki se po 10 m dolgi poti oteka v Unico. Večje izločanje smo zabeležili ob nizkih pretokih od julija do vključno novembra, ko je pretok pretežno nihal okoli vrednosti 100 ml min^{-1} in se je izločalo do $55 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, medtem ko ob visokih pretokih, več 1000 ml min^{-1} , nismo zabeležili razlik v trdotah.



Sl. 5. Izločanje sige na točki 1 v Planinski jami
Fig. 5. Sinter deposition on the point 1 in Planinska jama

BILANCA IZLOČANJA KARBONATOV

Na osnovi celoletnih tedenskih meritev pretoka in trdot prenikle vode v Pisanem rovu, smo izračunali celoletno količino prenikle vode za posamezna kapljanja, kot tudi količino izločenih karbonatov. Dolžina poti, na kateri smo merili izločanje, je bila zelo različna. Ker nismo imeli zveznih meritev, je izračun le približen, vendar dokaj dobra ocena.

Izračunane vrednosti so razvidne iz tabele 1.

Tabela 1

Curek Trickle	Dolžina poti Length of way	Volumen vode Volume of water	Izločeni karbonati Deposited carb.
	m	m ³	g CaCO ₃
23	2,70	14,0	550
24	1,80	8,6	200
25	0,50	2,4	44
29	1,75	2,7	100

SKLEPI

V močno zasiganem Pisanem rovu prevladuje drobno kapljanje nizkih pretokov ter različnih, a sorazmerno majhnih nihanj. Taka kapljanja oblikujejo ob padavinah položne vodne valove z zelo počasnim upadanjem ter večjimi ali manjšimi zakasnitvami, kar vse kaže na močno dušenje padavinskih vplivov pri prenikanju skozi jamski strop, kar se odraža tudi v sorazmerno majhnih nihanjih trdot prenikle vode preko celega leta. Pri tem pa ima pomembno vlogo tudi zasiganost jamskega stropa, ki zadržuje in usmerja preniklo vodo. Lahko zaključimo, da v Pisanem rovu prevladuje zelo umirjeno kapljanje brez večjih in hitrih sprememb. Nekaj večjih curkov je vezanih na prelome, njihovi pretoki pa močno nihajo in ob suši lahko tudi presahnejo. Podobni so curkom v Planinski jami. Hitro reagirajo na padavine in oblikujejo izrazite pretočne valove, ki odražajo razporeditev in količino padavin, kar govori za direktnejše in prepustnejše vodnike v sklopu obširne mreže drobnih in manj prepustnih vodnikov.

Razvidno je, da na režim pretoka curka in sestavo njegove vode sicer vpliva sestava jamskega stropa, pa tudi njegova debelina, ki daje možnost širšega ali ožjega zaledja curka. Vendar pa večje razlike med bližnjimi curki lahko pojasnimo le z drugačnim sistemom dovodnih poti, oz. drugačnim načinom prenikanja, ki se navezuje na razne razpoke in prelome, in se od curka do curka lahko zelo razlikuje. Za to govori tudi bližina prenasičene prenikle vode, ki odlaga sigo, ter agresivne, ki razjeda skale in staro sigo. Lepe, pestre sigaste oblike v Pisanem rovu odražajo različno intenzivno izločanje sige v preteklosti. Danes je Pisani rov klimatsko skoro statičen. Pretežni del prenikle

vode vsebuje visoko karbonatno trdoto (190—240 mg $\text{HCO}_3^- \text{l}^{-1}$), kar pogojuje dokaj enakomerno izločanje sige preko celega leta, ki pa ga nekoliko uravnava nihanje pretoka.

Tedenske meritve pretokov in karbonatnih trdot pred in po izločanju so nam podale potek izločanja preko leta, kot tudi približen izračun odloženih karbonatov na opazovanih točkah, tako da lahko rečemo, da se iz prenikle vode posameznih kapljanj v Pisanem rovu v enem letu izloči do 0,5 kg sige.

Ob nizkih pretokih so se karbonati izločali v večji meri kot ob višjih, vendar smo ugotovili, da efekt izločanja, oz. količina odloženih karbonatov v določenem času (pretok je le redko presegal 100 ml min^{-1}) zavisi predvsem od količine prenikle vode. Tudi meritve v Planinski jami kažejo na močnejše izločanje ob nizkih pretokih (okoli 100 ml min^{-1}), medtem ko ob pretokih več 1000 ml min^{-1} nismo zabeležili izločanja.

Seveda je pri izločanju pomembno, kako voda obliva kapnik, saj danes pogosto srečamo nesimetrično rast kapnikov, ki je osiromašeno nadaljevanje bolj intenzivnega izločanja v preteklosti. Izločanje se lahko spreminja že preko leta ob nihanju pretoka.

LITERATURA

- Dreybrodt, W., 1981: Physikalisch-chemische Prozesse in natürlichen Kalklösungen und das Wachstum von Stalagmiten. *Laichinger Höhlenfreund*, 1, 7—16, Laichingen.
- Gams, I., 1967: Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kamninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa. *Geografski vestnik XXXVIII*, 11—69, Ljubljana.
- Gams, I., 1970: Zračna cirkulacija kot del jamskega okolja (na primeru Postojnske jame). 5. Jug. speleol. kongres, 99—111, Skopje.
- Gams, I., 1974: Koncentracija CO₂ v jamah v odvisnosti od zračne cirkulacije (na primeru Postojnske jame). *Acta carsologica VI*, 183—193, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju. *Acta carsologica VII*, 5—139, Ljubljana.
- Kogovšek, J., 1981: Porazdelitev nekaterih elementov pri nastajanju sig v kraških jamah. *Acta carsologica IX*, 114—126, Ljubljana.
- Kogovšek, J., P. Habič, 1981: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica IX*, 132—148, Ljubljana.

WATER PERCOLATION AND SINTER DEPOSITION IN PISANI ROV OF POSTOJNSKA JAMA

Summary

In largely decorated Pisani rov a tiny dropping with low discharges and relatively small oscillations prevails. During the precipitations such percolation forms a gentle water pulse with very slow decrease and greater or smaller retardations, proving a strong retardation of precipitation influence during the percolation through the cave ceiling. This is reflected also in relatively small hardness oscillations of percolated water during the year. An important role is played by the calcited ceiling which retains and directs the percolated water. We can conclude that in Pisani rov very calm dropping prevails without great or quick changes. Some bigger trickles are connected by faults, their discharges oscillate and during the dry period they dry up. They are similar to trickles in Planinska jama, quickly reacting to precipitations and forming expressive water pulses, reflecting distribution and precipitation quantity.

It is evident that to trickle discharge regime and to composition of its water the structure of cave ceiling influences, as well as its thickness, giving the possibility of wider or narrower trickle background; greater differences among neighbour trickles can be explained only by different system of inflow ways, different way of percolation respectively, which is sometimes connected with joints and faults, and can differ from trickle to trickle very much; thus can be explained the immediate vicinity of saturated percolated water, depositing sinter, to aggressive water, corroding rocks and old speleothems.

Nicely coloured speleothems in Pisani rov reflect differently intensive sinter deposition in the past. Today is Pisani rov climatically almost statical. The majority of percolated water has high carbonate hardness (190—240 mg HCO₃), depositing sinter.

Week discharge and carbonate hardnesses measurements before and after deposition gave us the lapse of deposition during the whole year, shown on Fig. 4. They rendered possible the approximative calculation of deposited carbonates on observed points (Table 1), thus we can state that by permanent dropping of percolated water in Pisani rov 0,5 kg of sinter was deposited in one year. During the low discharge the deposition of carbonates increases, but we have stated, that the effect of deposition, the quantity of deposited carbonates in defined time respectively (the discharge rarely exceeded 100 ml min⁻¹), depends mostly upon the quantity of percolated water. Even the measurements in Planinska jama show higher deposition at low discharges (about 100 ml min⁻¹), while at the discharges higher than 1000 ml min⁻¹ we did not measure the deposition.

Evidently it is important how the water flows on the speleothem; we find a lot of unsymmetrically grown up speleothems resulting on smaller growth of more intensive deposition in past. The deposition can change during the year because of discharge oscillations even if other conditions are quite constant.

For very stable conditions in Pisani rov we can say that the sinter is deposited constantly during the whole year thus completing the old speleothems.

MOVRAŠKA IN SMOKAVSKA VALA
TER JAMA POD KROGOM

(S 7 SLIKAMI IN 1 PRILOGO)

MOVRAŠKA AND SMOKAVSKA VALA AND JAMA POD KROGOM

(WITH 7 FIGURES AND 1 ANNEX)

PETER HABIČ
RADO GOSPODARIČ
ANDREJ MIHEVC
FRANCE ŠUŠTERŠIČ

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 25. NOVEMBRA 1982

VSEBINA

Izvleček — Abstract	80 (4)
UVOD	81 (5)
GEOLOŠKE IN MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI	
SMOKAVSKE IN SOSEDNJIH VAL	81 (5)
HIDROLOŠKE RAZMERE V SMOKAVSKI IN SOSEDNJIH VAL	83 (7)
GEOLOŠKE IN MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI MOVRAŠKE VALE	85 (9)
HIDROLOŠKE RAZMERE V MOVRAŠKI VALI	87 (11)
JAMA OD KROGOM	87 (11)
HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI JAME POD KROGOM IN IZVIRA SOPOT	90 (14)
MOŽNOSTI ZA URAVNAVANJE VODNEGA REŽIMA	
V OBRAVNAVANIH VALAH	93 (17)
SKLEP	94 (18)
LITERATURA	96 (20)
MOVRAŠKA AND SMOKAVSKA VALA AND JAMA POD KROGOM (Summary)	96 (20)

Izvleček

UDK 551.44(497.12—14)

Habič P., Gospodarič R., Mihevc A., Šušteršič F.: Movraška in Smokavska vala ter Jama pod Krogom.

Acta carsologica, 11 (1982), 77—97, Ljubljana, 1983, Lit. 4.

Prikazane so geološke, morfološke in hidrološke razmere kraških globeli ob stiku fliša in apnenca ob narivni luskasti coni na razvodju med Rižano, Dragonjo in Mirno v severni Istri, NW Jugoslavija. Na podlagi speleohidroloških preučitev Jame pod Krogom in njenega kraškega zaledja so ocenjene možnosti za odpravo občasnih poplav v slepih dolinah oziroma robnih kraških poljih pri Gračišču, Smokvici in Movražu. Ugotovljene so nekatere mlajše kvartarne klimatsko pogojene oblike in sedimenti na površju in v podzemlju.

Abstract

UDC 551.44(497.12—14)

Habič P., Gospodarič R., Mihevc A., Šušteršič F.: Movraška and Smokavska vala and Jama pod Krogom.

Acta carsologica, 11 (1982), 77—97, Ljubljana, 1983, Lit. 4.

Geologic, morphologic and hydrologic conditions of karst depressions at the contact of flysch and limestone near the overthrust imbricate structure on the watershed among Rižana, Dragonja and Mirna in northern Istria, NW Yugoslavia, are studied. On the base of speleohydrological studies of the Jama pod Krogom and its karst hinterland were estimated the possibilities for suppression of periodical floods on blind valleys, on marginal karst poljes near Gračišče, Smokvice and Movraž respectively. There have been stated some younger quaternary, climatically conditioned forms and sediments on the surface and in the underground.

Naslov — Address

Dr. Peter Habič, znanstveni svetnik
Dr. Rado Gospodarič, znanstveni svetnik
Andrej Mihevc, asistent
France Šušteršič, asistent
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

UVOD

Po naročilu Geodetskega zavoda SRS so sodelavci Inštituta za raziskovanje krasa preučili speleohidrološke in hidrogeološke razmere v območju Movraške, Smokavske in Gračiške vale v severni Istri. Kartirali so kraške izvire, požiralnike in estavele ter raziskali edino znano izvirno jamo pod Krogom z namenom, da bi spoznali možnosti za odpravo poplav v Movraški in sosednjih valah. Podolgovate plitve kraške globeli so nastale ob stiku eocenskega fliša in paleocenskih apnencev v luskasti narivni coni na razvodju med Rižano, Dragonjo in Mirno. V geološkem pogledu je ta predel na prehodu visokega krasa Čičarije in Slavnika v nižji flišni svet severne Istre. Po kraških in hidroloških značilnostih so vale nekakšna robna občasno popolavljena kraška polja. Poplave onemogočajo nemoteno kmetijsko izrabo razmeroma ugodnih ravníc v dnu val. Površinske in kraške vode zastajajo ob ponorih zaradi omejene prepustnosti podzemeljskih kanalov in kraške talne vode, zato bi poplave lahko odpravili le z umetnimi rovi, za kar so razmeroma ugodne reliefne možnosti, pri čemer bi delno lahko izkoristili tudi izvirno jamo pod Krogom.

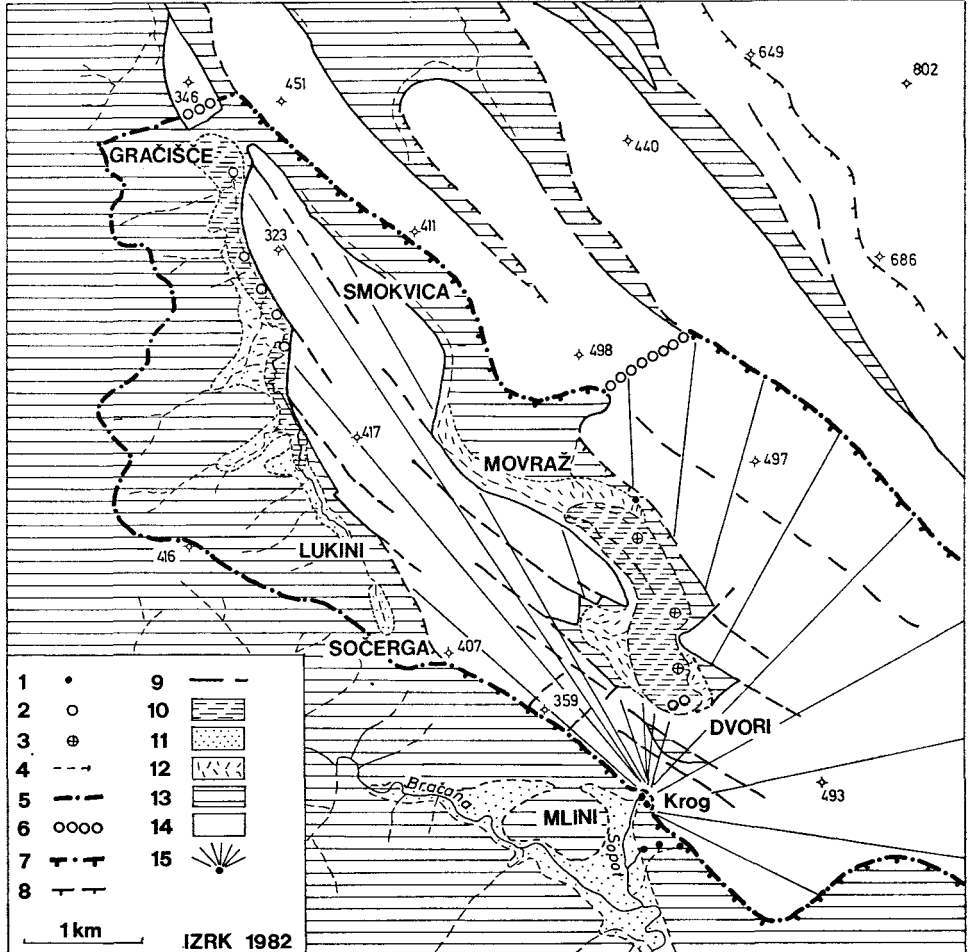
GEOLOŠKE IN MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI SMOKAVSKE IN SOSEDNIH VAL

Sočerska, Lukinska, Smokavska in Gračiška vala tvorijo hidrogeološko celoto na sicer različni geološki podlagi. Nastale so z zakrasevanjem prvotne normalne doline, ki se proti NW nadaljuje ob Kubendskem potoku. Na vzhodni strani teh vzdolžnih zakraselih dolin prevladujejo zgornje paleocenski, ilerdijski alveolinski apnenci in spodnjeeocenski cuisijski numulitni apnenci, ki navzgor prehajajo v spodnjelutecijske laporne apnenice in apnene laporje ter v flišne laporje in peščenjake. Eocenski fliš gradi zahodno polovico navedenih val.

Po osnovni geološki karti SFRJ, list Trst, 1:100.000 (1969) in njegovem tolmaču (M. Pleničar, A. Polšak, D. Šilič, 1973) so paleocenski apnenci med Smokvico in Movražem ter Sočergo in Gračiščem sinklinalno in antiklinalno nagubani ter narinjeni na prav tako nagubani eocenski fliš. Podrobnejše kartiranje je pokazalo, da so gube in narivi tudi vzdolž in počez prelomljeni z navpičnimi prelomi. Ob njih so razporejeni požiralniki Smokavske in Gračiške vale, vrtače na apniškem hrbtu, pa tudi grape v eocenskem flišu, ki se stekajo k požiralnikom ob stiku fliša in apnenca.

S hidrogeološkega vidika je pomemben gračiški prelom NW-SE smeri, saj so ob njem sredi kraške globeli Gračiške vale razporejeni zasuti in aktivni požiralniki. Stik apnenca in fliša je tu prekrit s 4 m debelo plastjo naplavine.

Gračiškemu vzporedno poteka naslednji prelom ob vzhodni strani Smokavske vale. Ob njem so razvrščene rupe in požiralniki v Ponikvah. Prelom



Sl. 1. Hidrogeološka skica Movraške in Smokavske vale.

1 — kraški izvir, 2 — požiralnik, 3 — estavela, 4 — ponikalnica, 5 — površinsko razvodje, 6 — kraško razvodje, 7 — hidrogeološko razvodje, 8 — narivni rob, 9 — fotogeološki prelomi, 10 — poplavno območje, 11 — aluvij, 12 — koluvij, 13 — eocenski fliš, 14 — paleocenski apnenci, 15 — usmerjenost odtoka podzemeljskih voda

Fig. 1. Hydrogeologic sketch of Movraška vala and Smokavska vala

1 — karst spring, 2 — ponor, 3 — estavele, 4 — sinking stream, 5 — superficial watershed, 6 — karst watershed, 7 — hydrogeologic watershed, 8 — overthrust line, 9 — photogeologic faults, 10 — flooded area, 11 — alluvion, 12 — colluvion, 13 — Eocen flysch, 14 — Paleocene limestone, 15 — underground water flow direction

ob stiku s flišem je viden ob cesti pri Krogu. Z njim je vzporeden tudi prelom, ob katerem so razvrščeni požiralniki Lukinskega potoka v Lazu. Prelomne smeri NW-SE in SW-NE sledimo v vsem kraškem hrbtu med Gračiško, Smo-

kavsko in Movraško valo in nanje so po našem mnenju vezane poglavitne drenažne kraške cone. Vse površinske vode iz omenjenih val se tako podzemeljsko odteka skozi apniški hrbet med vzhodnim in zahodnim flišnim pasom jugovzhodno od Gračišča.

Ozek vzhodni flišni pas sega od Gračišča mimo Smokvice proti Movražu. Nanj narinjeni apnenci, v katerih je oblikovan hrbet Lačne, niso v neposrednem stiku z vmesnim apniškim hrptom med Smokavsko in Movraško valo. Po doslej zbranih strukturnih podatkih obstaja le malo možnosti, da se kraške podzemeljske vode iz Smokavske vane in vmesnega kraškega hrpta odteka v povodje Rižane. Dejansko usmerjenost odtoka bi bilo mogoče preveriti samo z barvanjem. Po hidrogeoloških razmerah sodeč pa so kraške in površinske vode iz tega območja usmerjene proti jugovzhodu v povodje Mirne. Verjetno skupaj z movraškimi vodami izvirajo pri Mlinih pod Krogom. Geološke razmere tudi dopuščajo možnost, da Gračiške in Smokavske ponikalnice prispevajo k poplavam v Movraški vali.

Zahodni flišni pas med Gračiščem in Sočergo je sklenjen in se nadaljuje v povodje Dragonje, Mirne in Rižane. Sočerska, Lukinska, Smokavska in Gračiška vala so tako izoblikovane prav na razvodju omenjenih porečij. Po morfoloških potezah sklepamo, da se je ob stiku z apnenci izoblikovala sprva enotna vzdolžna dolina, po kateri so vode površinsko odtekale proti Kubedu in v Rižano (V. K o k o l e, 1956, 198—206). Izdatnejša erozija v povodju Mirne je omogočila podzemeljski odtok proti jugovzhodu in s tem kraško poglobljanje Smokavske, Gračiške in Movraške vane. Kubedski potok kot pritok Tržaške reke oziroma Rižane je bil obglavljen in razvodje med Rižano in Mirno se je prestavilo od Sočerge, kjer je sedaj razvodje v višini 345 m, h Gračišču, kjer je preval med Gračiško in Kubedsko valo v višini 295 m.

Skozi zakrasele apnenice so vode sprale flišno preperelino in tako izoblikovale zaprto kontaktno kraško globel z najnižjim dnom v Ponikvah v Smokavski vali. Skalno dno požiralnikov je v višini okrog 272 m. Poplavna ravnica v flišni naplavini ob požiralnikih je v višini med 274 in 276 m. Nad 276 m je višja akumulacijska terasa, ki so jo nasule vode verjetno v hladnejših obdobjih Würma. Prehod s te terase v flišno obrobje je postopen in neizrazit ter prekrit s koluvijem. V Gračiški vali je dno poplavne ravnice v višini med 276 in 277 m. Z ročnim vrtnanjem smo ugotovili 4 m debele plasti ilovnatih naplavin, prvotno skalno dno je tudi pri Rupah v višini okrog 272 m.

HIDROLOŠKE RAZMERE V SMOKAVSKI IN SOSEDNJIH VALAH

Sočerska vala nima pravega kraškega značaja. Plosko dno doline je zamočvirjeno, ker je stranski pritok izpod Lukinov nasul prečno na dolino manjši vršaj. Tudi Lukinska vala ni kraška. S fliša usmerjeni pritoki odteka vzdolž ob stiku z apnencem do ponikev v Smokavski vali. V njej sta dve skupini požiralnikov in rup. V južnejši ponika v Lazu Lukinski potok, ki zbira vodo od Sočerge mimo Lukinov. V severni skupini požiralnikov, v Ponikvah izginjajo vode iz osrednje in stranskih grap Smokavske vane. Med Smokavsko in Gračiško valo je več manjših rup in grezov, ki jih zalijejo le visoke vode, medtem ko potoki iz stranskih grap na obeh straneh Kameščice že prej izginejo v

naplavinah in prispevajo k zamočvirjenosti stranskih dolin. Lukinske in smokavske poplavne vode zalijejo vse požiralnike in ob najvišjih vodah oblikujejo skupaj z gračiškimi vodami enotno poplavno območje.

V Gračiški vali so osrednje ponikve v Rupah, manjše vodice pa se izgube ob flišnem robu v koluvialnih naplavinah pod Žrdinom in vplivajo na zamočvirjenost Gračiške vale. Višina poplave je odvisna od dotoka s fliša, oziroma od padavin. Poplave trajajo od nekaj ur do par dni, dokler ne odteče vsa voda skozi požiralnike v kraško podzemlje. Razpored in velikost požiralnikov je pogojena s prepustnostjo kraškega obrobja, nanj pa s površinskim širjenjem požiralnikov ni mogoče bistveno vplivati.

Rupe v Gračiški vali so lijakaste vrtače v naplavini, široke okrog 10 m in globoke 3 m. Skalna podlaga v njih ni vidna. V bližini je dvojni grez, povezan z nekakšno strugo. Struga potoka je do Rup regulirana. Pri bencinski črpalki pod Gračiščem je krajša izgonska struga, ki se izgubi v naplavini. Potok pri Leneku ponika ob prehodu s fliša na akumulacijsko teraso, sicer pa se struga nadaljuje v osrednji del vale. Tja je usmerjen tudi hudourniški potok s fliša pod Lačno (451). V južnem delu Gračiške vale je pri Mržljeku manjša rupa, prav ob vzhodu apniškega brega pa je slediti strugo v smeri Smokavske vale. V ozkem prehodu iz Gračiške v Smokavsko valo je struga speljana ob cesti, v poplavni ravnici so vstran od struge 4 rupe. Suha struga vodi do prvega požiralnika v Smokavski vali. V njegovi bližini je nad cesto starejši ponorni zatrep in ostanek višje terase. Ker prvotni zasip ni odstranjen, sklepamo, da so odtočni kanali v krasu zasuti, njihovo drenažno funkcijo pa so prevzeli nižji aktivni kanali, ki so povezani z mlajšimi požiralniki. Dalje proti jugu je okrog 100 m dolg in do 4 m globok jarek v naplavini s 4 pglavitnimi požiralniki. V njih ponikajo vode, ki pritekajo bodisi s severne ali južne strani. Plitva struga vodi dalje mimo večjega osamljenega greza do južne skupine ponikev Smokavskega potoka. Ob nizkih vodah smo opazovali ponikanje tega potoka s pretokom okrog 2 l/s v prvem požiralniku v kolenu struge, ko zavija proti jugu. Od tod 50 m proti jugu je niz drugih ponikev in zadnja od njih je pogobljena do skalne podlage, kjer pa ni večjih špranj. Del struge je umetno narejen, vendar se s tem ni povečala požiralnost. Nekaj deset metrov dalje proti jugu je osamljen grez, širok do 6 in globok okrog 3 m. Zalijejo ga le poplavne vode.

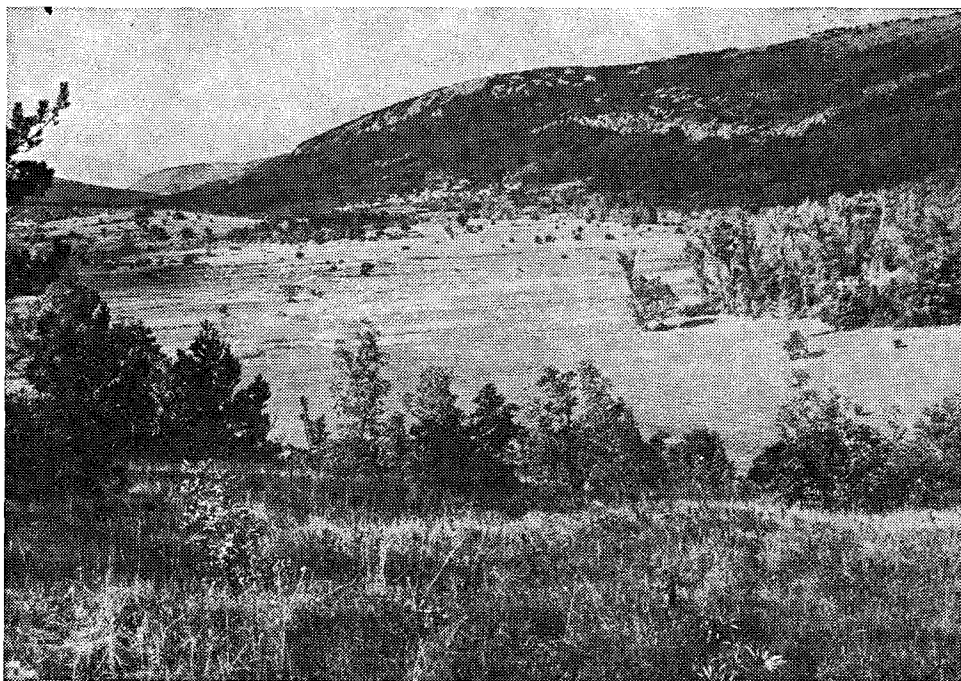
Lukinski potok navadno ponika v treh lijakastih aluvialnih požiralnikih v Lazu. Ob visoki vodi teče dalje do Smokavskega potoka in skupaj z njim ponika ali poplavlja. Od Laza navzgor po Lukinski in Sočerski vali ni požiralnikov.

Požiralniki so razporejeni ob dveh pglavitnih prelomih, po njihovem delovanju pa sklepamo na omejeno požiralnost kraškega podzemlja. Koliko vode lahko nemoteno ponikne hkrati v vseh ponikvah ni znano, verjetno pa so vse v medsebojni podzemeljski zvezi. Dejansko požiralnost bi mogli ugotoviti le z rednim opazovanjem poplav in merjenjem pretokov. Podobno velja tudi za Movraško valo, kjer je poleg maksimalnega odtoka potrebno ugotoviti tudi dotok. Rupe v dnu globeli delujejo kot estavele, nekaj časa bruhajo vodo, nato pa jo požirajo. Poplave v Movraški vali je treba primerjati tudi s poplavami v Smokavski vali in ugotoviti njihovo morebitno povezanost.

GEOLOŠKE IN MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI MOVRAŠKE VALE

Movraška vala je izoblikovana v ozkem flišnem pasu za prvim narivnim hrbtom ilerdijskih in cuijskih apnencev. Na vzhodni strani vpada eocenski fliš pod naslednji narivni apniški rob, ki poteka v dinarski smeri od Kubeda, mimo Gračišča, Smokvice in Movraža. Zahodna meja tega fliša je delno tektonska, delno pa normalno sedimentacijsko prehaja v apnenec. Pri Gračišču je tektonska ali erozijska vrzel v zunanjem apniškem hrbtu, zato je flišna cona tam sklenjena, podobno kot pri Kubedu. Za dober kilometer jugovzhodno od Gračišča pa se onkraj nizkega prevala v višini okrog 300 m začinja ob stiku apnenca in fliša sprva ozka in plitva dolina, ki se pod Smokvico razširi in pod Movražem poglobi v širšo kraško globel, nekakšno kraško polje z ravnim, do 300 m širokim in 2 km dolgim, naplavljenim dnom v višini med 168 in 170 m.

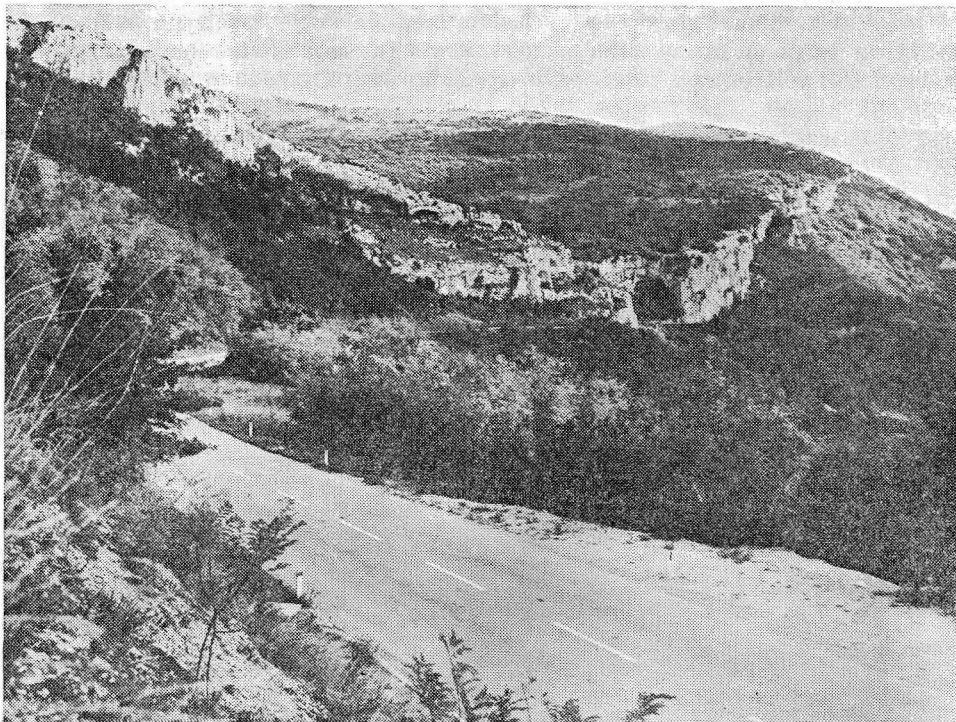
V južnem in vzhodnem delu Movraške vale se namreč nepropustna flišna cona erozijsko ali tektonsko končuje, apniški rob pa skoraj neopazno stika z zunanjim apniškim hrbtom, zato je vala na južni strani zaprta in ima obliko nekakšne slepe doline. Zakraseli apniški obod sega na obeh vzdolžnih straneh do uravnjav v višinah okrog 400 in 500 m, medtem ko je najnižji preval v suhi dolini na južni strani v višini okrog 210 m. Ta suha dolina obvisi nad prepadno steno v Krogu ob zunanjem narivnem robu okrog 150 m nad dolino Bra-



Sl. 2. Pogled na Movraško valo z jugovzhodne strani
 Fig. 2. The view of Movraška vala from SE part

čane v povirju Mirne. Prav pod najnižjim prevalom je pri Mlinih pod Krogom stalen in ob visokih vodah kar izdaten kraški izvir Sopot, s katerim je Movraška vala nedvomno hidrološko povezana.

Pri nastanku Movraške doline in njenega kraško poglobljenega spodnjega dela so imeli odločilno vlogo erozijsko denudacijski procesi. Površinske vode so odnašale flišno preperelino sprva čez apniški prag, kasneje pa skozenj (V. K o k o l e, 1956, 198). Starejše dno doline se je verjetno v dveh fazah kraškega poglobljanja izdatneje poglobilo, sprva za okrog 20, nato pa še za 30 m, kar sklepamo po erozijskih policah pri Ravnah in na Goričici. Drugod po obodu vale ni podobnih sledov, temveč segajo denudacijskih bregovi enakomerno do današnjega dna. Naplavine v dnu vale in ob vznožju bregov prekrivajo živoskalno podlago. Čeprav ta pokrov ne more biti posebno debel, le preprečuje vpogled v dejansko razporeditev nepropustnega fliša in zakraselih apnencev v dnu. Celotna vala ni niti geološko niti morfološko enotna. V zgornjem severnem delu se pri Podgoričici končuje dinarsko potekajoča flišna cona, ki je v dnu prekrita z naplavinami in tam se končujeta tudi obe izgon-ski strugi hudourniških površinskih potokov. Prav v tem zgornjem poplavnem



Sl. 3. Narivni apniški rob nad flišnim bregom je najbolj znižan pri Krogu nad Mlini. Ob prepadnih stenah so značilni spodmoli

Fig. 3. Over-thrusted limestone border above flysch ridge was the most lowered near Krog above Mlini. At precipaced walls there are characteristic cliff-foot caves

območju je ob apniškem vznožju tudi prva skupina kraških izvirov in estavel. Ob prečnem dinarskem prelomu, ob katerem je premaknjena narivna zgradba, se poplavna ravnica kolenasto razširi in nadaljuje proti jugu do estavel okrog Pučiča in požiralnikov ter rup v Zalogu pod Dvori (slika 1). Zaključek vale je po našem mnenju prav tako strukturno pogojen ob prečnem prelomu, ob katerem je voda našla svoje podzemeljske odtočne kanale.

HIDROLOŠKE RAZMERE V MOVRAŠKI VALI

Movraško valo napajajo površinske in občasno tudi podzemeljske kraške vode. Površinske vode se stekajo po vzdolžnem flišnem pasu med apnenci in imajo hudourniški značaj, zato oblikujejo izgonske struge ob vstopu na poplavno ravnico. Po mnenju domačinov in po obsegu povodja sodeč ne prispevajo pomembnejših voda k občasnim poplavam. Te so predvsem odvisne od vodnih razmer v kraškem zaledju. Na vzhodnem obrobju sta občasna kraška izvira Rečica in Sušec, v dnu vale pa je več skupin estavel, in sicer pri Sušču, v Slivju, Podorešje, pri Pučiču in morda tudi v Zalogu. Kraška izvira sta nekoliko trajnejša od estavel, vendar ne posebno izdatna. Estavelski pritoki so po splošnem mnenju poglavitni povzročitelji poplav. Pri tem ni povsem jasno, katere estavele delujejo tudi kot požiralniki. Po zunanem izgledu so najizdatnejše estavele v Slivju in Podorešje. Kraške vode iz zahodnega hrpta silijo ob visokih vodah v površinsko strugo potoka pod Movražem.

Poplave imajo izrazit hudourniški značaj in nastopajo dva do trikrat letno, pretežno pozimi in spomladi. Nekaj višje, a še normalne, do 2 m visoke poplave sežejo do kote 170,5 m in preplavijo okrog 35 ha njiv in travnikov ter zalijejo cesto Movraž—Dvori. Poplave k sreči trajajo le nekaj dni, redko dalj kot en teden. Poplavne vode odteka v največji meri skozi estavele, na kar kažejo že struge, ki vodijo vanje. Po vsej verjetnosti pa so pravi ponori tudi rupe v Zalogu, ki so najbližje izviru Sopotu pod Krogom. Čeprav podzemeljske zveze Movraške vale z omenjenimi izviri še niso dokazane z barvanjem, so zelo verjetne. Manj pa je znano kraško hidrografsko zaledje oziroma prispevno območje vale in izvira Sopot.

JAMA POD KROGOM

Prvi podatki o izvirni vodni Jami pod Krogom (1793) južno od Movraža na meji med Slovenijo in Hrvaško so zabeleženi v arhivu Inštituta za raziskovanje krasi iz leta 1958. Dne 12. 9. tega leta so jamo obiskali in delno izmerili E. Pretner, P. Štefančič in koprski jamarji. V zimski suši ob koncu februarja in v začetku marca 1982 so jamo izmerili J. Hajna, P. Habič, I. Kenda in A. Mihevc z namenom, da ugotovijo njeno usmerjenost in oddaljenost od Movraške vale. Merili so z metriskim trakom ter kompasom in naklonomerom Suunto s stopinjsko natančnostjo. Podatke so preračunali v koordinate ter navezali jamski poligon na točko ob cesti z znano nadmorsko višino. Dolžina jamskega poligona znaša 368 m, vsota reduciranih dolžin pa 336 m. Sklepni sifon je od vhoda oddaljen 195 m v smeri proti severu in 57,5 m proti vzhodu. Od roba Zaloga v Movraški vali je oddaljen 600 m in je okrog 29 m niže od poplavne ravnice. Nad sifonom je do površja okrog 76 m.

Jama je razvita v paleocenskih alveolinskih in numulitnih apnencih, ki so narinjeni na fliš (Osnova geološka karta SFRJ, list Trst, 1969). Nepropustna flišna bariera je ob prelomih v Krogu znižana, zato je tu nastala izrazita iztočna cona za Movraško valo in njeno širše kraško zaledje (slika 2). Apnenci so prepokani in razlomljeni v smeri NW-SE in N-S, skladovitosti ni opaziti, le razpoke med pretežno navpičnimi prelomi so bolj položne, med 30 in 50°. Stik apnenca in fliša je ob vhodu v jamo prekrit s podornimi skalami. Vhod se odpira v skalni steni, odrezani ob dinarskem prelomu, na koti 144 m in vhodni del jame je do t. 3 pokrit s podornim in nametanim kamenjem (priloga 1). Podorno skalovje sega 8 m globoko do plitvega Vhodnega jezera z gladino v višini 136 m, ki zaliva proti severovzhodu usmerjeni, do 2 m široki rov po vsej širini. Jezeru in nizkemu rovu se izognemo po ozkem Blatnem rovu med t. 4 in 8, ki nas privede do širše in višje Prečne dvorane med t. 9 in 10. Dno podolgovate Prečne dvorane je pokrito s skalami, ilovico in sigo. Na najnižjem delu dvorane se rov z jezerom sifonsko zapre, njegovega nadaljevanja ne poznamo. Nad sifonom se v ozki špranji 10 m više nadaljuje proti severozahodu usmerjeni skoraj vodoravni rov. Tako imenovani Dolgi rov je pretežno širok 1 do 2 m, v začetku je ožji, v bolj pretrtih conah pa se razširi na 6 do 8 m. Rov je tudi precej enakomerno višok od 2 do 3 m. Dve manjši dvoranici sta pri t. 13 in 14, kjer je skalno dno prekrito z gruščem, ki ga je

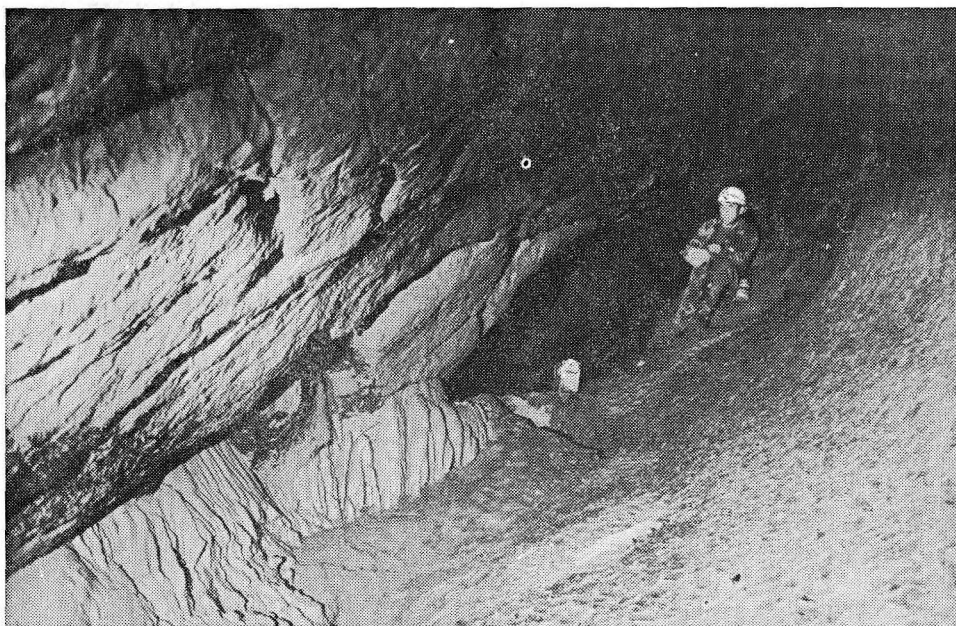


Sl. 4. Drobno korozijsko razjedena skalna površina s krožnimi in podolgovatimi zajedami in temnejšo mangansko oblogo

Fig. 4. Corroded rocky surface with spherical and oblong sponge work and darker manganese cover

vodni tok delno zaoblil in prestavil. Grušči so ponekod zlepljeni s sigo, ki je delno tudi že erodirana. Pri t. 14 je ob zahodni steni ostanek gruščnatega zasipa, visok skoraj dva metra in v njem je nekaj lepo zaobljenih prodnikov. Večji prostori so nastali na sečišču razpok in prelomov, kjer je zaradi bolj pretrte kamnine tudi več grušča. Od t. 15 do 18 je izoblikovan precej enovit rov ob prelomu v smeri proti severu. Zaključí se s sifonskim jezerom v podaljšku dvorane pri t. 19. Dno te dvorane je živoskalno in izprano, ker se vanj občasno preliva voda iz 10 m višje ležečega rova (t. 20—28). Zgornji pritočni rov, v katerega splezamo preko zasigane skalne stopnje, je nekaj nižji in širši ter ob razpokah in prelomih večkrat kolenasto zavít. V zadnjem delu se ob strmi prelomni ploskvi rov spusti 15 m globoko do podolgovatega sklepnega sifonskega jezera. Morda bodo potapljači kdaj prišli še globlje v notranjost tega kraškega podzemlja.

O smeri in hitrosti izdatnega vodnega toka pričajo fasete na stenah, ki jih ni le v vhodnem delu jame, kjer je hitrost vode manjša in se na stene useda blato. Skalne stene so v vsej jami prekríte s temno, verjetno mangansko oblogo, ki je značilna za stalno zalite rove. S to oblogo so prekríte tudi nekdanje svetle sige in kapniki, tako da je jama v celoti razmeroma temačna. Sigasta skorja in kapniki po dnu in stenah ter stropu so nedvomno nastali v nekoliko drugačnih klimatskih in vodnih razmerah kot mlajša temna obloga. Ta seže v vseh rovih do stropa in jo je odložila zelo visoka voda. Na stenah in podor-



Sl. 5. Sklepni del Jame pod Krogom z značilnim rovom nad sifonom ter ostanki ilovnatih sedimentov ter flišnih peskov
 Fig. 5. The final part of Jama pod Krogom with characteristic channell above the syphon and remains of clayey sediments and flysch sands

nih skalah v bolj pretrtih delih jame so izoblikovane drobne korozijske oblike kot so zaokrožene korozijske vdolbinice s premerom 1 cm in nekakšne črvičaste oblike skladne z drobno razpokanostjo kamnine (slika 4). V stranskem delu Zgornjega rova so v ilovici izoblikovani značilni jamski žlebiči. V tem zatišnem delu jame je poleg ilovice odloženega tudi nekaj drobnega flišnega peska, ki ga visoke vode prenašajo po jami (slika 5). Razmeroma hitro naraščanje vode ob poplavih nakazujejo sledovi glodalcev. Ilovnate stene in skalni robovi so spraskani in po odtisih številnih krempeljcev sklepamo, da se plavajoči glodalci skušajo rešiti na suho.

HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI JAME POD KROGOM IN IZVIRA SOPOT

Ob srednjih in nižjih vodah je v jami več manjših jezer z gladinami v različnih višinah. Najnižja je gladina vhodnega jezera. V ozkem prehodu iz Prečne dvorane v Dolgi rov so 3 ali 4 kotanje ujete vode, katerih gladina je skoraj 10 m nad vhodnim jezerom. Sledi daljša in globlja kotanja s stalno vodo za sigasto pregrado, kjer potrebujemo čoln za prehod v Dolgi rov. Stalno jezero je med t. 13 in 14 in drugo onkraj t. 14. V Dolgem rovu sta še dve podolgovati jezera, ki ju lahko preplezamo. Nekaj vode se stalno zadržuje tudi v sifonskem jezercu v dvorani pri t. 19. Gladine jezer v Dolgem rovu niso vse v isti višini, vendar so razlike majhne. Očitno gre za ujeto vodo v ločenih skalnih kotanjah, ki ostane v rovu, ko preneha visokovodno prelivanje. Tudi v Zgornjem rovu je dvoje jezer ujete vode, pri t. 23 in 24, kar je dobrih 17 m nad sklepnim sifonom.

Stalni kraški izviri z imenom Ara so v višini okrog 120 m ali dobrih 20 m pod vodom v jamo. Po pričevanju domačinov iz Slap, teče iz jame voda le po močnejšem deževju, to je nekajkrat na leto. Tudi površinska struga pod vodom je močno sprana in po njej se ob visoki vodi preliva nekaj kubičnih metrov vode v sekundi. Po morfoloških in hidrografskih razmerah v jami sodimo, da pretežni del vode priteka iz sklepnega sifona, le manjši del pa morda tudi iz sifonskih jezer pri t. 19 in 9. Ob najvišji vodi je vsa jama do stropa zalita. V posebnih hidroloških razmerah pa zelo kalna voda pušča sledove na različnih višinah. V Zgornjem rovu je sled blatne vode na koti 156,7, v Dolgem rovu pri t. 12 pa na koti 146,5. Slednje je verjetno pogojeno s prostim prelivom iz jame nad koto 144.

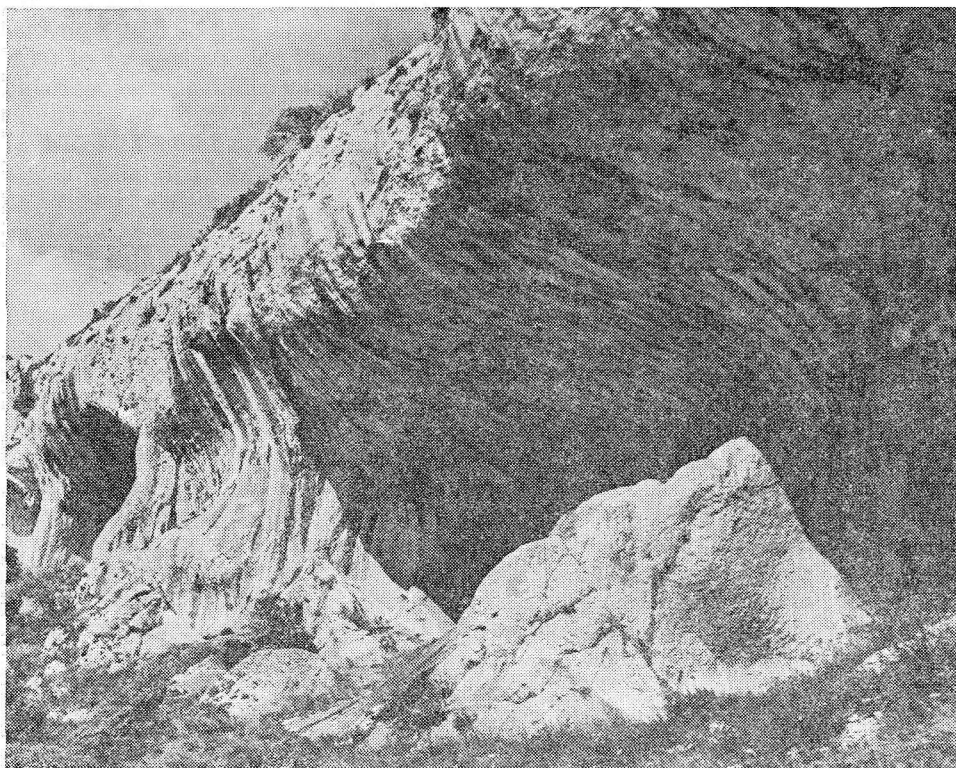
Okrog 500 m jugovzhodno od Jame pod Krogom je na strmem bregu pod prepadno steno Kuka v višini okrog 160 m občasni kraški izvir Sušec. Njegovo maksimalno izdatnost smo ocenili na okrog 200 do 300 l/s. Voda priteka iz apniškega grušča, ki je nasut po pobočju in prekriva narivni stik fliša in apnenca. Nižje pod cesto Sočerga—Buzet je še nekaj manjših izvirov v višini med 100 in 124 m. Tam priteka do 100 l/s iz fosilnega lehnjaka, ki je odložen na flišnem bregu. Flišni jez je torej odločilen za najvišji preliv, v nižje izvire pa se pretaka voda po flišni podlagi pod gruščem in starim lehnjakom.

Kraške vode so odlagale lehnjak ob izvirih Sopote in Sušca v preteklem, klimatsko drugačnem obdobju, ki ga pa časovno še nismo mogli prav oceniti. Pri Mlinih je v dnu doline širok položen vršaj lehnjaka, v katerega je zarezana do 4 m globoka struga Sopote. Lehnjak je odložen tudi visoko do 40 m ob strugi Sušca in sega nekako 30 m pod najvišji izvir. Tudi ob izviru Sopote

ga ni tik pod prelivom visokih voda na površje. V sedanjih klimatskih in hidroloških razmerah se lehnjak ne izloča, čeprav imajo celo visoke vode razmeroma precejšnje trdoto. Za primerjavo naj navedemo podatke z dne 18. 10. 1982 za kraške in flišne vode ob jesenski visoki vodi, to je dan po umiku poplave iz Movraške vane.

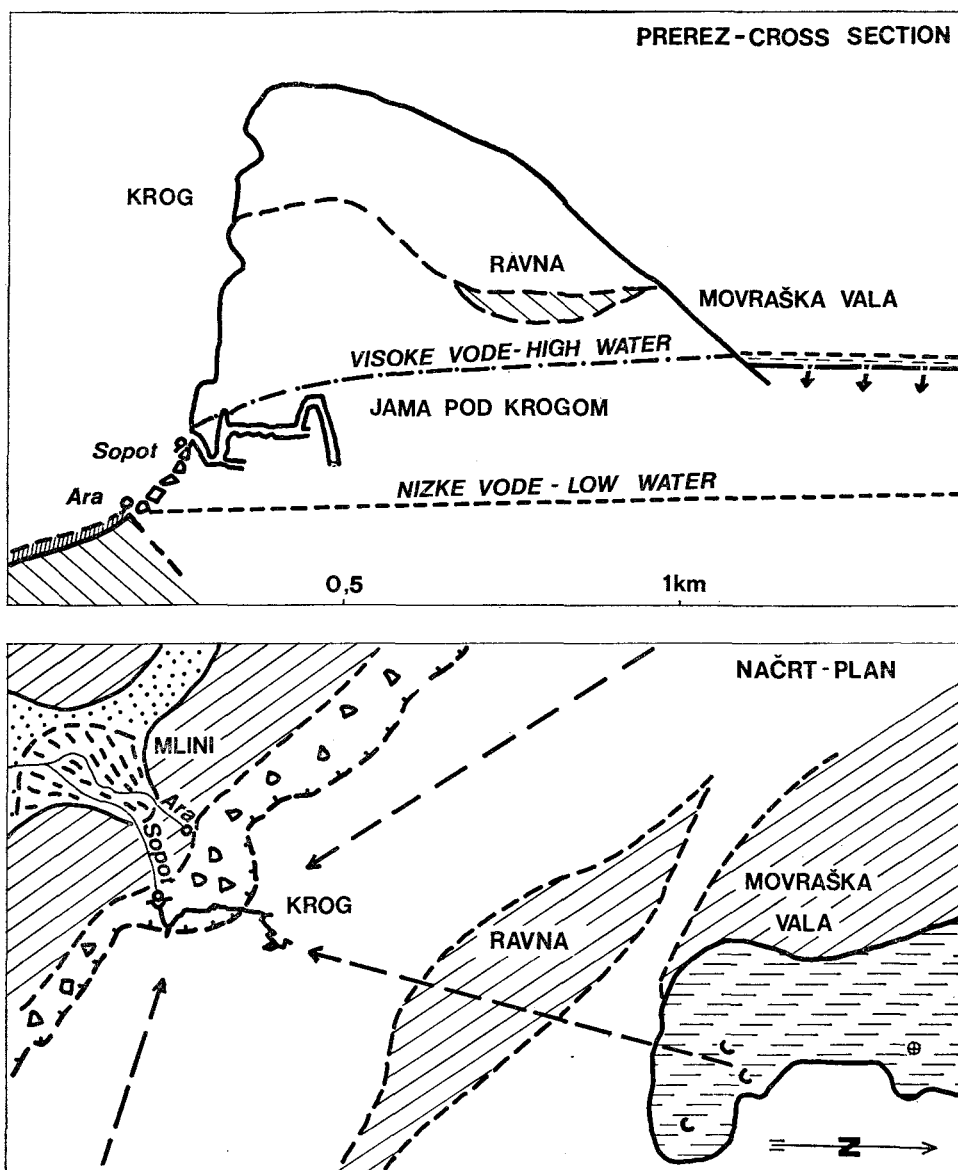
	T °C	Q l/s	Karb. Carb. mgCaCO ₃ /l	Ca mg/l	Mg mg/l	Prev. Cond. μS
Sopot	13,0	1500	327	275	40	570
Lukinski potok	13,5	100	270	248	12	477

Na spremenjene klimatske razmere opozarjajo tudi razpadajoče sige in kapniki v odprtih spodmolih pod prepadnimi stenami ob narivnem robu pri



Sl. 6. Korozijsko denudacijski spodmoli nad Krogom z ostanki razpadlih kapnikov in sig ter temnimi progami lišajev

Fig. 6. Corrosion denudation cliff-foot caves above Krog with remains of weathered speleothems and dark lichen stripes



Sl. 7. Položaj Movraške vale in Jame pod Krogom (glej legendo na sl. 1)
 Fig. 7. Situation of Movraška vala and Jama pod Krogom (see legende on Fig. 1)

Krogu (slika 6). Polkrožni, 5 do 15 m široki in 10 do 20 m dolgi ter do 6 m visoki spodmoli s položnim navzven nagnjenim živoskalnim dnom so nanizani predvsem ob zgornji prepadni steni zahodno od Kroga. Spodmole ločijo nerazpadli vmesni skalnati pragovi. Lepo zaokrožene plitvejšje zajede so tudi v spodnji steni tik nad flišem zahodno od Kroga in v Krogu samem. Na prvi pogled bi takšne zajede, podvise v navpičnih stenah lahko pripisali rečni eroziji. Po podrobnejšem ogledu spodmolov ali podkapin pa se bolj nagibamo k drugačni razlagi. Po obliki in velikosti vsekakor svojevrstni in v našem krasu redki takšni spodmoli naj bi nastali predvsem z mehaničnim razpadanjem manj odpornih lapornatih skladovnih čel v navpični apniški steni. Nekaj metrov debeli skladi apnencev vpadajo za 50° proti NE, tako da bolj odporni zgornji sklad tvori nekakšno streho in strop spodmola, naslednji spodnji pa dno. Pri zasnovi spodmolov naj bi imele pomembno vlogo tudi prečne razpoke, saj so med njimi ohranjeni nerazpadli skalni hrbti. Razlike v odpornosti naravnega čela se odražajo v obeh navpičnih stopnjah ter vmesni položnejši skalni brežini. Po vsej verjetnosti moremo zametek spodmolov pripisati hladnejši würmski klimi z izdatnejšim razpadanjem apnencev v izpostavljeni prisojni legi. Ob naravnem čelu so kot ob vznožju visokega krasa v Vipavski dolini (P. Habič, 1968) in drugod ob Jadranski obali (M., P. A m b e r t, J. N i c o d, 1982) nastajali pobočni grušči. V postwürmski, verjetno vlažnejši atlantski dobi se je na stropu in ob stenah iz čez previs polzeče in skozi strop prenikajoče vode izločala siga v obliki reber in kapnikov (slika 3). V sedanjih razmerah prenikajoča voda sigo razjeda, ob poletni vročini ter zimskem zmrzovanju pa tudi mehanično razpada.

Izvira Sopot in Sušec ter Jama pod Krogom so okrog 800—1000 m oddaljeni od najbližjih požiralnikov v Movraški vali. Poplavne vode sežejo v vali nekako do 170,5 m nadmorske višine. Visokovodni izvir Sopote je na koti 145, Sušca pa na 160. Navidezni podzemni strmec znaša tedaj od 10 do 25 ‰, kar kaže skupaj z izdatnimi višinskimi razlikami med rovi v jami pod Krogom, da so podzemeljske vode v zaledju teh izvirov precej dušene. Najnižji stalni izviri z imenom Ara so v višini okrog 120 m, ob visoki vodi se torej dvigne gladina v krasu za okrog 40 m. O gladini nizke vode v zaledju Sopote ni podatkov. Skladno z razmerami drugod v krasu pa lahko računamo z vsaj 5 ‰ strmecem, kar pomeni, da se gladina kraške podtalnice lahko napaja tudi do 40 m pod dnom Movraške vale. Dejanske razmere bi seveda lahko spoznali le z vrtnami in opazovanjem piezometrov v območju vale in v zaledju izvirov. Potrebni so tudi hidrološki podatki o največji izdatnosti ter njihovi odvisnosti od poplav v vali. Jama pod Krogom deluje sicer kot visokovodni preliv z omejeno prepustnostjo. Kritična maksimiranost kanalov med Movraško valo in izviri pa po našem mnenju ni v dostopnem delu jame, temveč v neznanem zaledju.

MOŽNOSTI ZA URAVNAVANJE VODNEGA REŽIMA V OBRAVNAVANIH VALAH

Po razpoložljivih hidrogeoloških in speleoloških podatkih sklepamo, da je prepustnost kraškega podzemlja na odtočni strani val omejena, požiralniki pa so ob poplavah v hidrološkem ravnotežju s prepustnostjo podzemlja. Iz tega

sledi, da s površinskim širjenjem požiralnikov ni mogoče povečati odtoka skozi kras. Z drenažnimi jarki je možno urediti le režim talne vode v aluvialni naplavini glavne in stranskih dolin v Smokavski in Gračiški vali ter s tem odpraviti njihovo občasno zamočvirjenost. Z znižanjem gladine talne vode v flišnih naplavinah pa se bo povečala sušnost tal.

Občasnih poplav v Smokavski in Gračiški vali, podobno kot v Movraški, ni mogoče odpraviti brez umetnega odvoda visokih voda iz zaprtih kraških globeli. Iz Gračiške vale bi najlažje speljali umetni odtok po kanalu in 2 km dolgem tunelu pod Gračiščem v površinski Kubedski potok. Tega bi morali regulirati vsaj po Kubedski vali. Tunel bi lahko v celoti zgradili v apnencu, če so naše predstave o geološki zgradbi pravilne, preveriti bi jih morali z vrtanjem.

Delno bi lahko omilili poplave z zadrževanjem in akumulacijo vode v povirnem nepropustnem delu večjih stranskih grap ali v osrednjem ožjem delu Lukinske vale, kjer ni ugodnejših obdelovalnih površin. Zajezeno vodo bi lahko uporabili za namakanje v sušnem obdobju. Kakršno koli pospeševanje odtoka skozi kras pa je vprašljivo. Morda bi z zadrževanjem vode v Lukinski vali celo zmanjšali poplave v Movražu.

Kraškega zaledja Movraške vale ne moremo dovolj natančno opredeliti za približen izračun vodnih količin. Neznano podzemeljsko razvodje je v vzhodnem in južnem obrobju, medtem ko po zgradbi in drugih razmerah sklepamo, da pripada celotno povodje Gračiške in Smokavske vale hidrografskemu zaledju Movraža in izvirov pod Krogom. Na zahodni strani Movraške vale je pas zakraselih apnencev razmeroma ozek, najožji prav med ponori in izviri pri Mlinih, ki so oddaljeni le okrog 800 m. Višinska razlika med njimi znaša 40 do 50 m in tako bi bil strmec lahko razmeroma velik, do 60 ‰. Toda prepustnost vmesnega kraškega hrpta je vsekakor omejena in bi jo morali za odpravo poplav v Movraški vali povečati z umetnim okrog 600 m dolgim rovom do pritočnega sifona v jami pod Krogom. Z umetnim pospešenim odtokom poplavne vode iz Movraške vale pa bi se dotok Sopote v Bračano ob visokih vodah najmanj enkrat povečal.

SKLEP

Ob stiku eocenskega fliša in spodnjeeocenskih cuijskih numulitnih ter zgornjepaleocenskih ilderijskih alveolinskih apnencev, v luskasti narivni coni ob vznožju Slavnika in Čičarije, na razvodju med Rižano, Dragonjo in Mirno v Severni Istri, so nastale plitve kraške globeli ali vale. Po bližnjih naseljih imenovane Sočerska, Lukinska, Smokavska in Gračiška vala tvorijo hidrogeološko celoto. Razvile so se iz nekdanje normalne Kubedske doline, ki je z zakrasevanjem vzhodnega apniškega obrobja in z nadaljnji erozijskimi procesi v flišu razčlenjena v plitvo robno kraško polje. Sestavljena je iz morfološko sicer nekoliko različnih vendar hidrološko med seboj povezanih val.

Sinklinalno in antiklinalno nagubani in na fliš narinjeni apnenci so vzdolž, v NW smeri, in počez, v NE smeri, prelomljeni z navpičnimi prelomi. Ob njih so razporejeni požiralniki v dnu val, vrtače v apniškem hrptu in grape v flišu.

Potoki s flišnih grap ponikajo v požiralnikih in ponikvah, razporejeni v NW-SE smeri vzdolž apniškega naravnega roba. Ob močnejšem deževju so dotoki večji od kapacitete požiralnikov, zato se višek vode razlije po njivah in travnikih v aluvialnem dnu val. Poplave k sreči ne dosežejo kmetijskih površin na višji, domnevno würmski akumulacijski terasi. Čeprav so morda nekateri stari požiralniki zasuti, poplav ne bi mogli odpraviti s širjenjem in odkopavanjem požiralnikov, temveč le z zadrževanjem ali z odvajanjem voda po umetnih kanalih in rovih iz dna val. Prepustnost zakraselih lapornih apnencev na odtočni strani val je namreč premajhna za nemoteno odvajanje visokih voda. To potrjujejo tudi hidrološke razmere v sosednji Movraški vali ter speleohidrološke raziskave jame pod Krogom ob izviri Sopote in Sušca. Nad stalnim izvirov Sopote z imenom Ara, se odpira vhod v 336 m dolgo Jamo pod Krogom. Ta deluje kot občasni bruhalnik, po katerem odtekajo visoke vode iz Movraške in Smokavske vale ter njihovega površinskega ter neznanega kraškega zaledja. Omejeno prepustnost kraškega hrbita med Movraško in Smokavsko valo ter izviri Sopote pri Mlinih pod Krogom nakazuje dvig vodne gladine v njem, in sicer vsaj 25 m nad stalnimi izviri Sopote v jami pod Krogom ter do 45 m v zaledju bruhalnika Sušec. Kraški izviri so tedaj v višini med 120 in 165 m, poplave v okrog 1000 m oddaljeni Movraški vali pa med 168 in 170,5 m. Poleg površinskih potokov s fliša prispevajo k poplavam v Movraški vali zlasti podzemeljske kraške vode, ki jih napajajo manjši izviri na obrobju in izdatnejše estavele v dnu. Tudi v tej vali bi mogli poplave odpraviti le z odvajanjem visokih voda po okrog 800 m dolgem umetnem tunelu do izvirov Sopote. Delno bi za odvajanje voda iz Movraške vale lahko izkoristili znane rove v Jami pod Krogom. V njej se ob suši zadržujejo ujete vode v plitvih jezerih in sifonih več metrov nad gladino stalnih izvirov. Skalne stene so preprežene s fasetami in obložene s temno mangansko skorjo. Ta prekriva tudi redke sige in kapnike. Med starejše sedimente štejemo ostanke hrušča in proda, recentne pa so flišne gline in peski, ki so odloženi v višjih stranskih rovih. Ob izviri Sopote in Sušca je precej lehnjaka, verjetno iz vlažnejših postglacialnih obdobij. Vanj je zarezana recentna struga. Klimatske spremembe se odražajo tudi v spodmolih ob prepadnih stenah naravnega roba pri Krogu, kjer razpadajo verjetno postglacialne sige in kapniki. Niz svojevrstnih spodmolov je verjetno nastal z mehničnim diferenciranim razpadanjem manj odpornih apnencev v hladnejši würmski dobi. V tem, sicer nekoliko odmaknjem robnem predelu, na prehodu visokega dinarskega krasa v nižjih primorski oziroma istrski kras smo v razgibani narivni coni, kjer se menjavajo pasovi nepropustnega fliša in zakraselih apnencev, spoznali posebne morfološke, hidrološke in speleološke pojave. Ti so predvsem odraz zakrasevanja v mlajšem kvartarju. Spoznanja in rezultati raziskav so praktične vrednosti za uravnavanje vodnega režima v občasno poplavljenih kraških globelih, hkrati pa so dragocena opora za primerjavo z drugimi predeli dinarskega krasa.

LITERATURA

- Ambert, M. in P., J. Nicod, 1982: Problemes geomorphologiques de la Sloveie et de la Croatie Septentrionale. Evolution karstique dans les domaines mediterraneen et alpin. Travaux, XI, CNRS, E. E. A. No 282, 43—68, Aix en Provence.
- Habič, P., 1968: Kraški svet med Idrijco in Vipavo. SAZU, Dela 21, Inštitut za geografijo 11, Ljubljana.
- Kokole, V., 1956: Morfologija Šavrinskega gričevja in njegovega obrobja. Geografski zbornik, IV, 185—219, SAZU, Ljubljana.
- Pleničar, M., A. Polšak, D. Šilič, 1973: Osnovna geološka karta SFRJ, Tolmač za list Trst, 1:100.000, Beograd.

MOVRAŠKA AND SMOKAVSKA VALA AND JAMA POD KROGOM

Summary

At the contact of Eocene flysch and Lower Eocene Cuisian nummulitic and Upper Paleocene Ilerdian alveoline limestones, in the imbricate over-thrust structure at the foot of Slavnik and Čičarija, on the watershed among Rižana, Dragonja and Mirna in northern Istria developed shallow karst depressions, named vala. Named after the neighbour settlements Sočerska, Lukinska, Smokavska and Gračiška vala they form a hydrogeological unit. They developed from the former normal Kubed valley, which have been dissected by the karstification of eastern limestone border and by the further erosional processes in flysch into shallow karst margin polje. It is composed by morphologically rather different but hydrologically connected valleys.

Syncline and anticline folded limestones, thrust over flysch are along, in NW direction, and across, in NE direction, faulted by vertical faults. The sinking holes are distributed in the bottom of the valleys, dolines in limestone ridge and gulches in flysch. The brooks from flysch gulches sink into sinking holes and swallets, distributed in NW-SE direction along the limestone thrust border. During the heavy rain the supply is bigger than sinking holes capacity, therefore the water floods the fields and meadows in alluvial bottom. Fortunately the floods do not reach the farming areals on higher, supposingly Würm accumulation terrace. Perhaps there are some old sinking holes filled up, but there would not be any solution in widening and digging them, but only by keeping back or draining the water by artificial channels from the bottom of the valleys. The permeability of karstified marl limestones on the runoff part of the valley is too small for undisturbed drainage of high waters. The same was proved by hydrological conditions in the neighbour Movraška vala and by speleohydrological investigations of Jama pod Krogom near the springs of Sopota and Sušec. Above the permanent Sopota spring, named Ara, there is the entrance to 336 m long Jama pod Krogom. It is a periodically effluent, where the high waters from Movraška and Smokavska vala and from unknown karst superficial hinterland are flowing off. The limited permeability of karstic ridge between Movraška and Smokavska vala and Sopota springs near Mlini under Krog is proved by the increase of water level in them; in Jama pod Krogom the water level increases at least 25 m above the permanent Sopota springs, in hinterland of effluent Sušec the increase is about 45 m. The karst springs are then in the altitude between 120 to 165 m, while the floods in about 1000 m distant Movraška vala between 168—170,5 m. Beside the superficial brooks from flysch, the floods are augmented specially by underground karst waters, which are fed by smaller springs on the border and abundant estavellas in the bottom. Even in this valley the floods could be abolished only by the drainage of high waters through about 800 m long artificial tunnel up to Sopota springs. The known channels in Jama pod Krogom could be partly used for drainage of water from Movraška vala. During the dry period the waters are caught in the cave in shallow lakes and syphons several meters above the level of permanent springs. Rocky walls are decorated by current markings, covered by dark manganese crust. It is covering rare speleothems too. Older sediments are presented by remains of rubble and gravel, recent sediments are flysch clays and sands, which were deposited

in higher lateral channels. At the springs of Sopota and Sušec there is a lot of tufa, probably from humid postglacial period, the recent river bed is cut in them. Climatic changes reflect in cliff-foot caves at precipiced walls of over-thrust border near Krog, where probably postglacial speleothems are weathering. The series of extraordinary cliff-foot caves probably developed by mechanical (differentiated) weathering of less resistant limestones in colder Würm period.

In this, rather removed marginal region on the passage from high Dinaric karst to lower littoral, Istrian karst respectively, we have found in agitated over-thrust zone, where beds of impermeable flysch and karstified limestones are altering, special morphological, hydrological and speleological phenomena. The reason is mostly in karstification in Younger Quaternary. The knowledge and the investigation results have the practical value for balancing of water regime in periodically flooded karst depressions, giving at the same time precious comparison with other parts of Dinaric karst.

**DINAMIKA ODPADANJA SIGE V GOLOBJI LUKNJI,
PREDJAMA**

(S 4 SLIKAMI IN 6 TABELAMI)

**FREQUENCY OF DRIPSTONEFALL IN GOLOBJA LUKNJA
(SLOVENIA)**

(WITH 4 FIGURES AND 6 TABLES)

ANDREJ A. KRANJC

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 25. NOVEMBRA 1982

VSEBINA

Izveček — Abstract	102 (4)
UVOD	103 (5)
DELOVNA METODA	103 (5)
JAMA POD JAMSKIM GRADOM (Predjama)	105 (7)
KLIMA NA PIVKI IN VREME V LETU 1980	106 (8)
METEOROLOŠKA OPAZOVANJA V JAMI	107 (9)
ODPADANJE SIGE	111 (13)
Količina	111 (13)
Vzroki	112 (14)
METEOROLOŠKA OPAZOVANJA V VETROVNI LUKNJI	113 (15)
ZAKLJUČEK	114 (16)
LITERATURA	115 (17)
FREQUENCY OF DRIPSTONEFALL IN GOLOBJA LUKNJA, Slovenia (Summary)	115 (17)

Izvilleček

UDK 551.442.4(497.12—14)

Kranjc, Andrej A.: Dinamika odpadanja sige v Golobji luknji.

Acta carsologica, 11 (1982), 99—116, Ljubljana, 1983, lit. 13.

Prispevek podaja rezultate meritev, ki jih je avtor opravljal leto dni v vhodnem delu Predjamskega sestava. Poleg merjenja količin sige, odpadle z jamskih sten, so podani tudi izsledki opazovanj meteoroloških elementov. Za primerjavo klime v jamskem vhodu s klimo v notranjosti jame, so dodani tudi meteorološki podatki o opazovanjih v Vetrovni luknji, 700 m v notranjosti. V opazovanem času je s stene v Golobji luknji odpadlo povprečno 80,6 g sige z 1 m² oziroma 0,2 g/m²/dan. Večina sige je odpadla v obliki kosov, lažjih od 4 g. Največ sige je odpadlo v pozni zimi, najmanj pa poleti in zgodaj jeseni. Glavni vzrok odpadanja sige je zmrzovanje in tajanje oziroma prehajanje temperature preko 0 °C.

Abstract

UDC 551.442.4(497.12—14)

Kranjc, Andrej A.: Frequency of Dripstonefall in Golobja luknja (Slovenia)

Acta carsologica, 11 (1982), 99—116, Ljubljana, 1983, Lit. 13.

The article gives the results of dripstonefall observations during one year period. Observations were made in the entrance part of Predjama Cave System. Beside the measuring of dripstonefall from the cave walls the author observed some meteorological elements, air temperature and humidity. For better comparison of cave entrance climate to the real cave climate, the data of meteorological observations about 700 m deep in the cave are added. In the treated period the mean dripstonefall from the cave wall was 80,6 g from 1 m² or 0,2 g/m²/day. Majority of the fall consists of dripstone pieces under 4 g. Dripstonefall was the most intensive during late winter and the smallest during the summer and early autumn. The main reason for dripstonefall is freeze-thaw effect, that is passing the temperature across 0 °C.

Naslov — Address

Andrej A. Kranjc, mag. geogr., raziskovalni sodelavec
Inštitut za raziskovanje krasa. ZRC SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

UVOD

Del endogenih (avtohtonih) jamskih sedimentov predstavljajo tudi klastični karbonatni sedimenti — delci s stropa in sten odpadle kamnine, karbonatni bloki in grušč. Če so stene zasigane, odpada predvsem siga in sestavlja na določenih mestih »grušč in bloke«, ali kakor navadno pravimo, odpadlo sigo in sigov drobir.

Avtohtoni jamski grušči so navadno posledica zveznega kopičenja odpadlih kosov, čemur je vzrok mehansko razpadanje kamnine. Oblika teh odpadlih kosov je močno odvisna od teksture in strukture kamnine, hitrost odpadanja pa predvsem od vodilnega procesa in njegove intenzivnosti.

Globlje v notranjosti jam je grušča in odpadlega sigovega drobirja navadno malo, pri čemer so podori izvzeti. Pač pa je grušč pogosto vodilni facies v jamskih vhodih. Zato je upravičena trditev, da pride do mehanskega razpadanja kamnine v jamskih vhodih predvsem iz dveh vzrokov. Prvi je učinek zmrzovanja (zmrzovanje-tajanje), drugi pa učinek termičnih sprememb v kamnine (krčenje in širjenje).

Siga, ki prekriva stene in strop v vhodnem delu jame, navadno močnejše razpada od same kamnine. Siga je manj masivna, med sigo in skalo je prekinitev, često po sigi in v njej polzi voda. Če polzi voda po špranjah med sigo in matično kamnino, ob zmrzovanju še hitreje odpada.

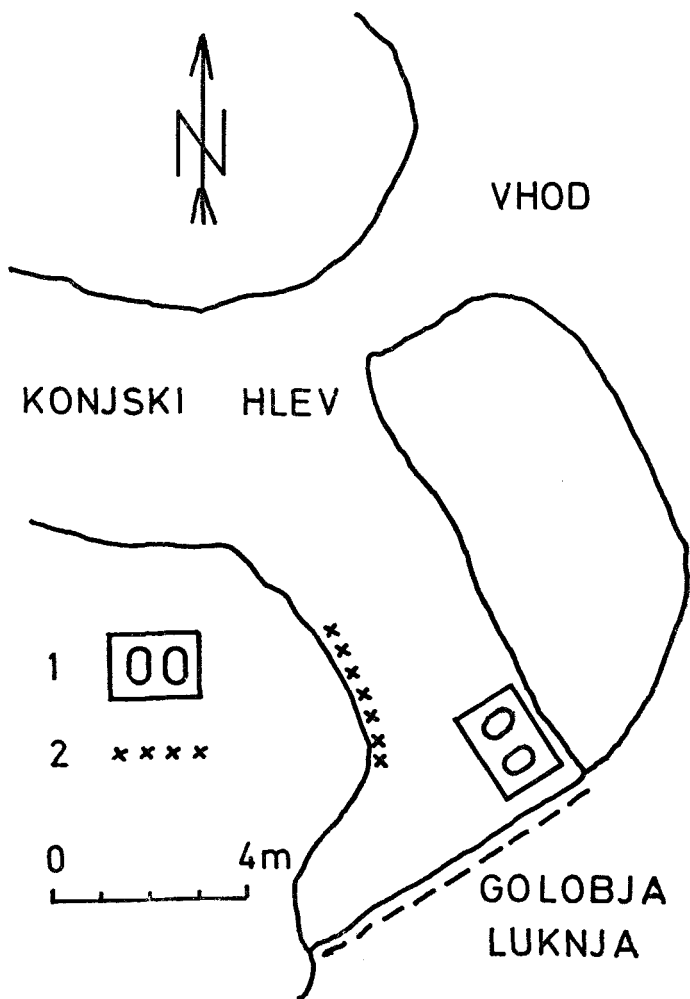
Z grušči in odpadlo sigo v jamskih vhodih se pri nas največ ukvarjajo raziskovalci prazgodovine (Osole 1958; 1959), ki razlagajo te sedimente kot posledico zmrzovanja v hladnejših obdobjih. Ne preučujejo pa recentnih gruščev v jamskih vhodih, njihove geneze, dinamike nastajanja, morfologije in granulometrije.

Znano je, da se v naših krajih danes siga ne odlaga v samih jamskih vhodih, pač pa se pod številnimi vhodnimi oboki in na dnu vhodnih brezen kopiči grušč, ki ga označujemo kot podorni ali posipni stožec. Podrobnejše poznavanje recentnega grušča in sigovega drobirja bi nam omogočalo pravilnejše ocenjevanje takih fosilnih sedimentov, obenem pa bi prispevalo k boljšemu poznavanju jamskih sedimentov, speleomorfologije in procesov razpadanja sploh.

DELOVNA METODA

Za opazovanje odpadanja sige sem si izbral vhodni del Jame pri Predjami oziroma Golobjo luknjo, kot se imenuje ta del, v veliki meri iz tehničnih razlogov: bližina Postojne, lahek dostop, vrata s ključavnico. Odločilno je bilo dejstvo, da v jami nastopajo velike meteorološke spremembe, kar dokazujejo objavljeni podatki (Anelli 1944; Habe 1970), in da v vhodnem delu siga močno odpada, kakor je bilo mogoče soditi po predhodnih ogledih.

V Golobji luknji (sl. 1) sem za opazovanje izbral 2,5 m dolg in 4 m visok del zasigane stene brez večjih kapnikov. Pod steno sem razprostrl plastično ponjavo, v bližino, 1,5 m nad tlemi, pa postavil termo- in higrograf (Bauart Fischer, Drebach). Bolj ali manj redno sem enkrat tedensko pobiral kose odpadle sige s ponjave, jih posušil in stehtal, večje kose pa tudi izmeril. Opazovanja sem opravljal od 9. 1. 1980 do 31. 3. 1981. Da bi lahko primerjal klimo v Golobji luknji s »pravo« jamsko klimo, sem postavil termo- in higrograf tudi pred Vetrovno luknjo, okoli 700 m daleč od vhoda. Zaradi izrazitega pre-



Sl. 1. Lega Golobje luknje
 Fig. 1. Situation of Golobja luknja
 1. meteorološka instrumenta — meteorological instruments
 2. opazovana stena — observed wall

piha sem v Vetrovni luknji lahko opazoval tudi smer in hitrost vetra (ročni anemometer). Nekajkrat sem pozimi izmeril tudi temperature na več mestih vzdolž Stare jame in preko Črne dvorane, za boljše poznavanje vplivov zunanjega hladnega zraka v jamsko notranjost.

Podatke opazovanj sem vnesel v računalnik RCU v Ljubljani. Program za računalniško obdelavo je napravil in izpeljal mag. Primož Jakopin, za kar se mu najlepše zahvaljujem.

JAMA POD JAMSKIM GRADOM (Predjama)

Golobja luknja, mesto, kjer sem opazoval odpadanje sige, je takoj za vhomom v srednjo, največjo, etažo Jame pod Jamskim gradom. Prvi del srednje etaže se imenuje Konjski hlev, sledi mu Velika dvorana, za njo pa velik in dolg rov Stare jame, ki ga Vetrovna luknja povezuje s Črno dvorano (700 m od vhoda). Za Črno dvorano se glavni rov razcepi v Vzhodni in Zahodni rov. Golobja luknja je stranski vhod — okno — v Konjski hlev in se odpira 490 m n. m., 30 m visoko v navpični steni nad ponorom Lokve, v dnu slepe doline. Nad Golobjo luknjo je še okoli 100 m stene (Habe 1970).

Golobja luknja je dobrih 10 m dolg in 3—4 m širok rov, ki se takoj za vhomom odcepi iz Konjskega hleva in se konča s 6 m široko odprtino v oboku nad ponorom Lokve. Višina stropa je 4—7 m. Stene so prekrte s sigo in manjšimi kapniki, vmes so tudi deli gole skale. Strop je pretežno v skali, le malo zasigan. Tla niso v prvotnem stanju, med drugim so jih nazadnje prekopali arheologi med 2. vojno (Korošec 1956, 4—5). Sestavljena so iz steptane prsti, pomešane s kamenjem, deloma pa so celo tlakovana z večjimi kamni.

Prva meteorološka opažanja iz Jame je zabeležil že Schmidl (1854), podrobneje pa sta se s temi opazovanji ukvarjala Anelli (1944) in Habe (1962; 1970). V 120 m visoki steni vodi v Jamo četvero vhodov s številnimi notranjimi povezavami med rovi in je izrazita dinamična jama. V zvezi s kroženjem zraka v Jami lahko v grobem rečemo, da piha poleti po glavnih rovih iz notranjosti proti vrodu, pozimi pa obratno, ko mrzel zrak vdira skozi spodnje vhode in teče po glavnih rovih proti notranjosti jame. V večjih rovih prepaha navadno ni čutiti, kjer pa se presek rova zmanjša, lahko naraste v močan prepah — jamski veter.

V podrobnostih so klimatske značilnosti bolj zapletene. V Vetrovni luknji, ozkem prehodu med Staro jamo in Črno dvorano, kjer je veter najmočnejši, se včasih pojavlja tudi »dihanje« — ponavljajoče se spreminjanje smeri vetra. Tak pojav je bil npr. 20. 3. 1981 ob hitrosti vetra okoli 0,5 m/s, opaženo pa je bilo tudi že prej (Novak & Kuštor & Kranjc & Sivec 1981).

Zračni tokovi v sami Golobji luknji so navadno del zračne cirkulacije celotne jame, včasih pa v njej nastane samostojna zračna cirkulacija, samostojen zaprt krog: zračni tok piha skopi vhod v Konjski hlev, od tam v Golobjo luknjo in skozi »okno« nad ponorom Lokve zopet ven. Vendar se to dogaja le ob šibkejšem vetru.

Ker v okolici Jame ni meteorološke opazovalnice, primerjam dobljene podatke s podatki iz Postojne, kot najbližje postaje. Glavne razlike so v sami legi: Postojna je na odprtem svetu, tik pod vrzeljo v verigi visokih dinarskih planot, slepa dolina Lokve pa je s severa zaščiten s steno in robom Planinske

gore, obrnjena proti jugu in obenem najnižje mesto cele Postojnske kotline. Na splošno je v Predjami klima taka kot v Postojni, pač pa so velike mikro-klimatske razlike. Čeprav v zvezi s tem ni merskih podatkov, pa to najboljše potrjujejo zvončki, ki na rebrih okoli Jame vzcveto navadno okoli Novega leta.

KLIMA NA PIVKI IN VREME V LETU 1980

Glede temperaturnih razmer sodi pokrajina Pivka v prehodni temperaturni pas, med mediteranskim in notranjim, ki sega od prvih kraških planot do glavne dinarsko-alpske pregrade. Z ozirom na padavinski režim sodi v področje z modificiranim mediteranskim režimom, ki ima maksimum padavin jeseni, minimum pa pozimi (Furlan 1960, 55).

Povprečna letna količina padavin v Postojni je bila v letih 1931—1960 1299 mm, z minimumom marca (67,5 mm) in maksimumom junija (136,5 mm). Povprečna letna temperatura je bila 8,5 °C, najhladnejši in obenem edini mesec s povprečno temperaturo pod 0° je bil januar (−1,5 °C), najtoplejši pa julij (17,9 °C) (tab. 1).

Pomlad in poletje 1980 sta bila v Postojni precej »normalna«, pač pa je bila zima 1980/81 izrazito mrzla. Jeseni 1980 je prvič zmrzovalo (temperatura je padla na −1,2 °C) konec oktobra, v novembru pa je bilo le 11 dni, ko se temperatura ni spustila pod 0°. Najbolj mrzla je bilo 12. novembra, −7,3°. Sedem dni, v začetku in na koncu meseca, se temperatura niti čez dan ni povzpela nad 0°. December je bil še bolj mrzel, minimum −19° (5. 12.). Sicer je bilo le 5 dni, ko se temperatura ni spustila pod 0°, 12 dni pa je bila temperatura ves čas pod lediščem. Povprečna temperatura za december je bila −1,9 °C. Tudi januar in februar 1981 sta bila hladnejša od dolgoletnega povprečka: januar −2,9° in februar −1,2°. Najnižji temperaturi v teh dveh mesecih sta bili −22,7° (17. 1.) in −13,8° (15. 2.). V obeh mesecih je bil le en dan, ko se temperatura ni spustila pod 0°. V januarju je bilo 8, v februarju pa 7 dni, ko se temperatura ni povzpela nad ledišče.

Tabela 1

Povprečne mesečne temperature v Postojni (1931—60) v °C

Mean month temperatures in Postojna (1931—60) in °C

I. = −1,5	V. = 12,3	IX. = 13,9
II. = 0,2	VI. = 15,9	X. = 9,1
III. = 3,3	VII. = 17,9	XI. = 4,5
IV. = 8,1	VIII. = 17,1	XII. = 0,9
Leto = 8,5		

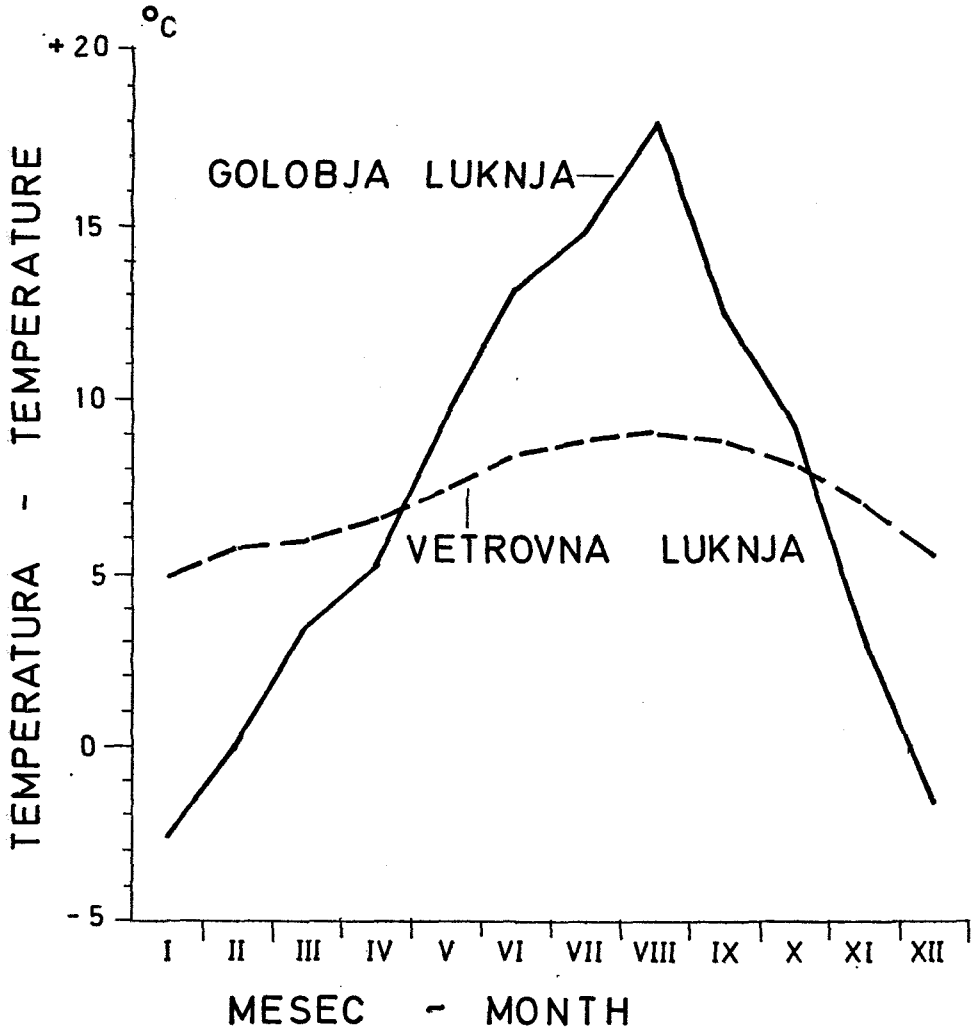
Padavine so bile v prvih dveh mesecih obilne, 191 mm (150 % povprečne količine) novembra in 152 mm (125 %) decembra. Januar in februar sta bila suha, 55 mm (63 %) in 46 mm (44 %). Padavine so padle pretežno v obliki snega in ta je ležal vsega skupaj 81 dni (Kranjc 1981).

S tega vidika moramo gledati tudi meteorološke podatke opazovanj v Golobji luknji: normalnemu letu je sledila mrzla in precej suha zima z dolgotrajno snežno odejo.

METEOROLOŠKA OPAZOVANJA V JAMI

Klima v Golobji luknji je zaradi različno dolgega časa opazovanja težko neposredno primerljiva s klimo v Postojni, vendar pa tudi enoletna opazovanja lahko dajo zanimive rezultate. Povprečne mesečne temperature v Golobji luknji za leto 1980 so močno podobne dolgoletnim povprečkom za Postojno.

Dnevni potek temperature v vhodnem delu Jame sledi dnevnim spremembam zunanje temperature. Jama z masivnimi skalnimi stenami in z odprtostjo proti kraškemu podzemlju blaži temperaturna nihanja. Jamski vhod ščiti vhod-



Sl. 2. Povprečne mesečne temperature 1980 v Golobji in v Vetrovni luknji
 Fig. 2. Mean month temperatures 1980 for Golobja luknja and Vetrovna luknja

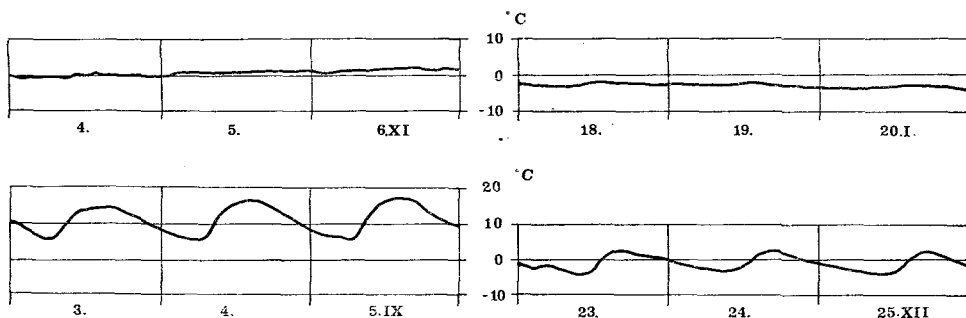
ne rove pred najhujšim mrazom (ko je bilo v Postojni — 22,7 °C je bilo v Golobji luknji — 19 °C), predvsem pa blaži visoke poletne temperature. Temu močno pripomore kroženje zraka v taki jami dinamičnega tipa. Po drugi strani pa jamske stene preprečujejo segrevanje ob lepem zimskem vremenu: ko je v vasi Predjama lepo, mirno, sončno vreme z nekaj stopinjami nad ničlo, je istočasno v Golobji luknji, le nekaj metrov za jamskim vhodom, temperatura nekaj stopinj pod ničlo!

1980 je bila povprečna temperatura v Golobji luknji 7,04 °C (sl. 2, tab. 2). Povprečne dnevne temperature celotnega opazovalnega obdobja so bile med — 11,5 °C (17. 1. 1981) in 18,5 °C (5. 3. 1980). Absolutna najnižja in najvišja temperatura sta bili zabeleženi v istih dneh, kot največji oziroma najmanjši dnevni povpreček, in sicer — 19° ter 23°; temperaturna amplituda je bila torej 42 °C.

Za razpadanje kamnine sta najpomembnejša dva temperaturna pogoja: čim večja temperaturna nihanja in zmrzovanje-tajanje oziroma prehodi temperature preko 0 °C.

Nihanje temperature v Golobji jami ima dve skrajnosti. Ob oblačnem in vetrovnem vremenu, ko dnevna nihanja temperature tudi na prostem niso izrazita, je lahko v Golobji luknji ves čas, dan in noč, po več dni zapored, tako rekoč stalna temperatura z malenkostnimi odstopanji. To se lahko dogaja v katerem koli letnem času (sl. 3a in b). Tako je npr. nihala temperatura med 17.—21. 1. 1980 le za 1°, med 3.—7. 11. 1980 pa se je spremenila vsega skupaj za 2,5 °C, vendar največ za 1° dnevno. Največja nihanja dnevne temperature nastopajo ob lepem in mirnem vremenu, ko je močno nočno ohlajanje in dnevno segrevanje in doseže dnevna amplituda do 10°. Največje dnevne spremembe temperature nastopajo po hitrih vdorih toplih ali hladnih zračnih mas v Postojnsko kotlino, ko se močna in hitra otoplitev ali ohladitev površja prenaša v vhodne dele Jame. Tako je 15. 4. 1980 temperatura v enem dnevu zrasla za 14°, 16. 1. 1981 pa padla za 18 °C.

Prehodi temperature preko 0 °C nastopajo le v hladni polovici leta, predvsem pa v prehodnem času. Ob najhujšem mrazu se temperatura tudi preko dneva ne povzpne nad 0° in torej ni procesa zmrzovanje-tajanje. V opazovalnem obdobju je temperatura prešla 0° največ trikrat dnevno. Vsega skupaj sem zabeležil 171 prehodov temperature preko 0°. Največ dni (47) je bilo takih,



Sl. 3. Potek dnevne temperature v Golobji luknji

Fig. 3. Daily temperature oscillations in Golobja luknja

Tabela 2

Temperatura in vlaga v Golobji in Vetrovni luknji
Temperatures and humidity in Golobja luknja and Vetrovna luknja

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Golobja luknja	T	-2,6	0,1	3,4	5,2	9,5	13,1	14,8	17,9	12,4	9,2	3,1	-1,5
	T _{min}	-11,5	-5,2	-1,9	2,3	6,9	10,1	11,1	17,2	10,0	4,9	-0,2	-9,9
	T _{max}	4,6	7,1	8,3	8,5	11,3	16,4	17,7	18,5	14,9	15,0	7,8	3,4
	V	75,4	78,8	84,7	76,5	77,7	82,3	84,0	—	85,5	89,6	89,3	88,5
	V _{min}	49,0	58,0	63,0	61,0	58,0	65,0	77,0	—	74,0	74,0	66,0	76,0
	V _{max}	97,0	98,0	99,0	90,0	91,0	92,0	89,0	—	90,0	98,0	99,0	100,0
Vetrovna luknja	T	4,9	5,7	6,0	6,5	7,4	8,4	8,9	9,1	8,8	8,1	7,0	5,5
	T _{min}	3,6	3,5	5,3	6,1	6,8	7,7	8,3	9,0	7,7	7,2	6,3	4,8
	T _{max}	5,5	6,5	6,5	7,1	8,1	9,0	9,5	9,2	10,0	9,0	7,5	7,0
	V	94,2	95,6	96,0	97,5	97,7	97,6	97,0	96,2	96,5	95,0	94,5	92,1
	V _{min}	89,0	94,0	94,0	95,0	97,0	96,0	95,0	95,0	94,0	94,0	93,0	89,0
	V _{max}	97,0	98,0	98,0	99,0	99,0	98,0	98,0	97,0	98,0	96,0	95,0	94,0

- T — povprečna mesečna temperatura v °C
 T_{min} — minimalna povprečna dnevna temperatura v °C
 T_{max} — maksimalna povprečna dnevna temperatura v °C
 V — povprečna mesečna relativna vlažnost v %
 V_{min} — minimalna povprečna dnevna relativna vlažnost v %
 V_{max} — maksimalna povprečna dnevna relativna vlažnost v %

ko je temperatura dvakrat dnevno (zjutraj in zvečer) prešla 0°. En dnevni prehod preko 0° je bil zabeležen v 35 primerih, po trije dnevno pa v 14. Vsega skupaj je bilo v tem času 96 takih dni, ko je temperatura v Golobji luknji prešla 0°C. V letu 1980 je temperatura v Golobji luknji prvič padla pod 0° 2. novembra, zadnjič pa 15. aprila. Največ prehodov preko 0° je bilo decembra in februarja (tab. 3).

Tabela 3

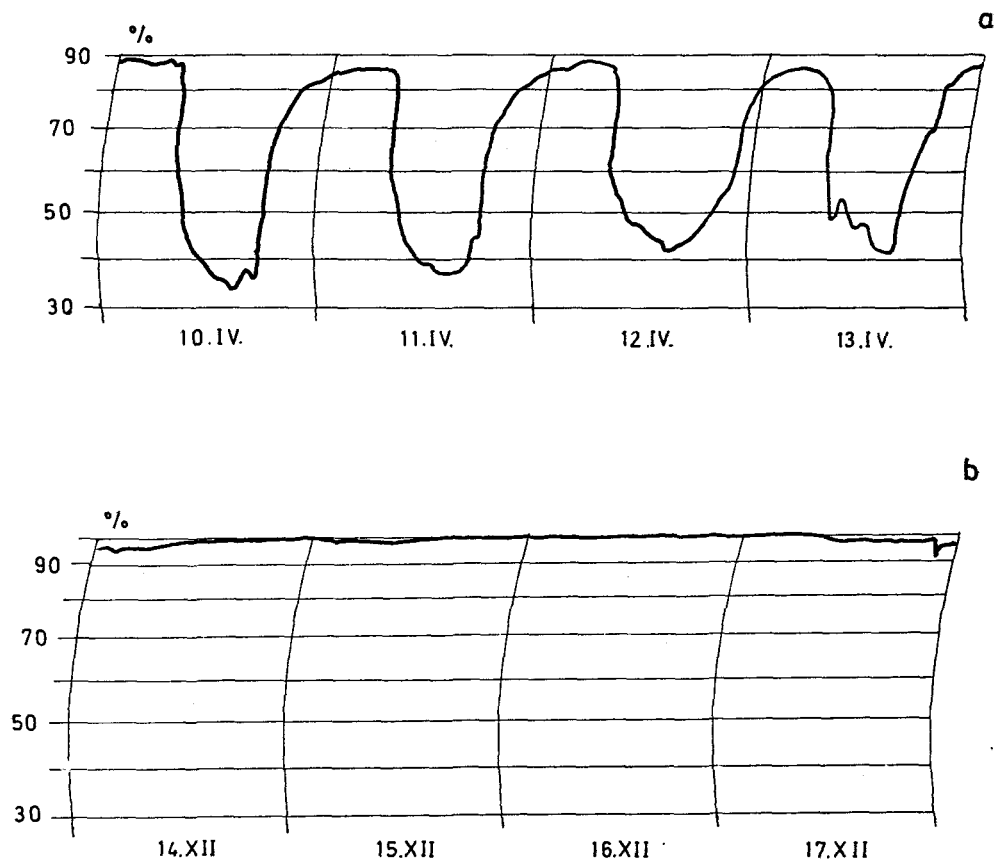
Število prehodov temperature preko 0°C v Golobji jami
Frequency of emperature crossing 0°C in Golobja luknja

Mesec Month	Število prehodov Number of crossing	% prehodov % of crossing
I.	12	11,5
II.	28	27,0
III.	13	12,5
IV.	12	11,5
XI.	13	12,5
XII.	26	25,0
	104	100,0

Tudi relativna vlažnost zraka v Golobji luknji kaže močno odvisnost od zunanjih sprememb zračne vlage oziroma od splošne vremenske situacije. Tudi krivulja sprememb relativne zračne vlage v Golobji luknji kaže tipična dnevna nihanja (10.—13. 4. 1980, sl. 4 a), včasih pa je potek nihanja zračne vlage nepravilen oziroma sploh ni opaziti dnevnih nihanj (14.—18. 12. 1980, sl. 4 b).

Povprečna relativna vlažnost zraka v opazovalnem obdobju v Golobji luknji je bila 82 %, najbolj suh zrak pa je bil januarja (75 %), najbolj vlažen pa oktobra (90 %). Absolutne vrednosti so se gibale med 100 % (kondenzacija), kar je bilo razmeroma pogosto, in 14 % (25. 2. 1980), kar je tudi za zrak v Postojni izjemno suho (ustna informacija opazovalca v Postojni).

Če primerjamo dnevni potek temperature z dnevnim potekom relativne zračne vlage vidimo, da sta si ravno nasprotna: s porastom temperature pada relativna vlaga in obratno.



Sl. 4. Dnevno nihanje vlažnosti zraka (v %) v Golobji luknji
Fig. 4. Daily air humidity (in %) oscillations in Golobja luknja

ODPADANJE SIGE

Količina

Kot sem povedal že v uvodu, sem odpadlo sigo pobiral enkrat tedensko, kasneje pa so bile te tedenske količine preračunane v dnevne zaradi lažje primerjave z drugimi podatki in lažje obdelave.

Vsega skupaj je v opazovanem času odpadlo 806 g sige, to je povprečno 1,96 g dnevno oziroma 80,6 g z 1 m² stene v enem letu ali 0,2 g/m²/dan. Povprečno je največ sige odpadlo meseca februarja (6,3 g dnevno) in decembra (3,7 g). Dnevni maksimum je bil zadnje dni februarja 1981, ko je odpadlo po 29,2 g dnevno. Najmanj sige je odpadlo v poletnih in zgodnjejesenskih mesecih — od junija do oktobra sploh nič (tab. 4).

Tabela 4

Količina odpadle sige v Golobji luknji (v g)
Dripstonefall quantities in Golobja luknja (in g)

Mesec Month	Q ₁	Q ₂	Q ₃
I.	3,1	0,5	8,2
II.	6,3	0,2	29,2
III.	2,7	0,1	10,7
IV.	0,3	0,1	0,7
V.	0,3	0,1	0,8
VI.	0,0	0,0	0,1
VII.	0,0	0,0	0,0
VIII.	0,0	0,0	0,0
IX.	0,1	0,0	0,2
X.	0,0	0,0	0,0
XI.	0,3	0,0	1,5
XII.	3,7	1,5	8,1
Skupaj	1,96	0,0	29,2

Q₁ — povprečna količina dnevno odpadle sige

Q₂ — minimalna dnevna količina odpadle sige

Q₃ — maksimalna dnevna količina odpadle sige

Glede na obliko in velikost odpadlih delcev sem ločil troje tipov: prah, drobir in kose. Količine prahu nisem mogel meriti sproti, niti ne posebej in jo lahko le ocenim po podatkih, dobljenih s pomočjo občasnega spiranja plastične ponjave z vodo in filtriranja te vode. Prahu in najdrobnejših delcev, do 2 mm premera, je bilo okoli 25 % vsega odpadlega gradiva. 41 % sige je odpadlo v obliki manjših koščkov, od 2—35 mm premera oziroma do 4 kg težkih. Ostalih 34 % (274 g) sige je odpadlo v obliki večjih kosov, nad 35 mm največjega premera oziroma težjih od 4 g. Takih kosov je bilo 9. Največji kos, odpadel je v zadnjem tednu februarja 1981, je tehtal 153,5 g (19 % celotne količine odpadle sige) in meril 200 × 85 × 10 mm.

Vzroki

Podobno, kot za razpadanje kamnine na zemeljskem površju, lahko tudi za odpadanje sige v jamskem vhodu domnevamo naslednje vzroke: 1. spremembe temperature (spreminjanje volumna kamnine oziroma sige zaradi spreminjanja temperature), 2. sprememba vlažnosti (določeni minerali vpijajo več vode in s tem spreminjajo volumen) in 3. zmrzovanje-tajanje vode v razpokah in s tem zvezani pritiski.

Temperaturne spremembe same ne povzročajo bistvenega odpadanja sige, kar najbolje kaže dejstvo, da poleti, ko so sicer tudi močna nihanja temperature, a ne zmrzuje, siga skoraj ne odpada. Tudi med relativno vlažnostjo zraka in količinami odpadle sige ni opazna neposredna povezava. Korelacijski koeficient je sicer pozitiven, vendar zelo majhen (0,085). Vendar pa obstaja neposredna povezava med tema dvema elementoma, kar dokazuje tudi stopnja signifikantnosti 0.042 (torej v mejah 0.01—0.04 kar kaže statistično signifikantnost) (tab. 5).

Ostane nam predvsem učinek zmrzovanja-tajanja, v kar je vključeno tudi prehajanje temperature preko 0 °C. Glede na to, da od junija do novembra siga praktično ni odpadla, največ pa je je odpadlo februarja (6,32 g/dan) in decembra (3,72 g/dan), januarja (3,07 g) in marca (2,7 g), je upravičeno povezovanje odpadanja sige s procesom zmrzovanja-tajanja. Februarja in decembra povprečne temperature v Golobji luknji niso bile najnižje, pač pa je v teh dveh mesecih temperatura največkrat prešla 0° (28-krat februarja in 26-krat decembra).

Tabela 5

Korelacija in signifikantnost merjenih elementov v Jami
Correlation and significance between measured elements in Jama

	TGL	VGL	TVL	VVL	HV	ŠPR
VGL	-0,116 0,009					
TVL	0,884 0,000	-0,194 0,000				
VVL	0,617 0,000	-0,136 0,007	0,386 0,000			
HV	-0,002 0,488	0,036 0,233	-0,124 0,013	-0,064 0,125		
ŠPR	-0,387 0,000	-0,024 0,310	-0,370 0,000	-0,268 0,000	-0,008 0,438	
SIGA	-0,369 0,000	0,085 0,042	-0,416 0,000	-0,532 0,000	0,021 0,336	0,218 0,000

TGL = temperatura v Golobji luknji

VGL = vlaga v Golobji luknji

TVL = temperatura v Vetrovni luknji

VVL = vlaga v Vetrovni luknji

HV = hitrost vetra

ŠPR = število prehodov temperature preko 0 °C

SIGA = odpadla siga v g

V jamskih vhodih takega tipa, kot je Golobja luknja, siga močnejše odpada tudi zaradi ledenih tvorb po stropu in stenah. Te so posledica zmrzovanja, temperatur pod 0 °C in ne prehodov temperature preko 0°. V Golobji luknji je pozimi precej ledu, deloma v obliki ledenih sveč — kapnikov, deloma pa v obliki ledenih skorij, ki nastajajo tam, kjer voda polzi po stenah. Ta led povzroča odpadanje sige s svojo težo — ko postane gmota ledu, ki se drži predvsem sige, pretežka, se odtrga. Navadno se pri tem ne odtrga sam led oziroma ne popusti vez med ledom in sigo, ampak popusti vez med sigo in steno in skupaj z ledom pade na tla tudi siga. To povezuje tudi padavine z odpadanjem sige — ledene tvorbe nastajajo predvsem takrat, ko po deževju nastopi hujši mráz. Zaradi tega je deloma maksimalna količina odpadle sige dobljena konec zime malo prevelika, kajti dokler se odpadla gmota ledu na tleh ni pričela topiti, ni bilo mogoče pobrati vseh kosov odpadle sige.

Prah in »poprh« s površja sige v veliki meri spirá na tla voda. Kapljice in curki, ki polzijo po stenah, spirájo najdrobnejše razpadle delce in jih na tleh odlagajo.

METEOROLOŠKA OPAZOVANJA V VETROVNI LUKNJI

Da bi bilo mogoče primerjati meteorološke podatke iz Golobje luknje tudi s podatki iz notranjosti jame, sem opazoval določene meteorološke elemente tudi v Vetrovni luknji (tab. 2 in 6). Poleg temperature in vlage sem v Vetrovni luknji opazoval tudi smer in hitrost vetra, saj je v dinamičnih jamah prav značni tok nosilec zunanjih vremenskih vplivov v podzemlje.

Razlika med povprečnimi temperaturami v letu 1980 ni bila velika, 7 °C v Golobji in 7,2 °C v Vetrovni luknji. Pač pa so bile v Vetrovni luknji manjše amplitude (3,5—10°), čeprav še vedno velike glede na to, da je ta del jame

Tabela 6

Veter v Vetrovni luknji

Wind in Vetrovna luknja

	Povprečna hitrost v m/s	Smer v %*
I.	6,8	100
II.	4,5	100
III.	2,9	100
IV.	3,1	75
V.	2,7	50
VI.	5,3	25
VII.	4,8	0
IX.	4,0	0
X.	0,6	0
XI.	3,8	75
XII.	6,0	100
Skupaj	4,0	63

* Podatek kaže % meritev, ko je bil veter usmerjen skozi Vetrovno luknjo v notranjost Jame.

oddaljen 700 m od vhoda. Zanimivo je opazovanje prodiranja hladnega zunanjega zimskega zraka v jamsko notranjost: konec januarja 1981 je bil vhodni del že tako daleč ohlajen, da so ledene tvorbe nastajale še kakih 100 m daleč v notranjost Stare jame, to je okoli 450 m daleč od vhoda. Kapniki v Veliki dvorani so bili močno zaledeneli (Kranjc 1981).

Zračni tok, ki kroži po Jami, se v ožinah spremeni v pravi jamski veter. V opazovanem času sem opravil 50 meritev smeri in hitrosti vetra v Vetrovni luknji. Povprečna hitrost vetra je bila 4 m/s, povprečno najmočnejši veter je pihal januarja in decembra, najšibkejši pa oktobra in maja. Največja izmerjena hitrost je bila 9 m/s (9. 1. 1981). Januarja, februarja, marca in decembra je veter stalno pihal skozi Vetrovno luknjo proti notranjosti jame. Od julija do oktobra je pihal v obratni smeri, proti izhodu, od aprila do junija pa je veter menjaval smer.

Relativna vlažnost zraka v Vetrovni luknji je ustrezala smeri zračnega toka. Povprečna relativna vlažnost je bila 96 %, z ekstremnimi dnevnimi povprečji med 89—99 %. Meseci, ko je bil zračni tok usmerjen v jamo, so imeli povprečno relativno vlago pod letnim povprečkom, ostali pa nad njim. Najvišjo povprečno relativno vlažnost sta imela meseca maj in junij. V konkretnih primerih je vlaga često dosegala 100 % in je prihajalo do kondenzacije.

ZAKLJUČEK

V Golobji luknji, to je v vhodnem delu jamskega sestava pri Predjami, sem opazoval odpadanje sige s stene malo več kot leto dni. V tem času je z 10 m² velikega dela stene odpadlo 80,6 g sige/m² oziroma 0,2 g/m²/dan. Največ sige je odpadlo v pozni zimi, najmanj pa poleti in zgodaj jeseni. 41 % sige je odpadlo v obliki drobnih koščkov (pod 4 g), 34 % v obliki večjih kosov (največji 154 g), ostalih 25 % pa v obliki prahu in drobnih zrn (pod 2 mm).

Največje kose sige trgajo od stene ledene tvorbe, ko postanejo pretežke, da bi jih držala razmeroma tanka sigova skorja. Sila, ki drži skupaj sigo in led, je močnejša od sile, ki združuje sigo in skalno osnovo. Zato je običajno na bazi ledene sveče, ki odpade s stene ali stropa zaradi prevelike lastne teže, tudi primrznjen kos sige.

Ostali večji kosi odpadajo zaradi zamrzovanja-tajanja, predvsem takrat, ko je sigo precej namočena in temperatura pogosteje prehaja preko 0 °C. V opazovanem obdobju je največ sige odpadlo v mesecu februarju.

Sigov prah in poprhi spira s sten curljajoča voda in je količina odnešenega prahu odvisna tudi od padavin.

V mrzli zimi, kot je bila npr. zima 1980—1981 v teh krajih, prodira mrzel zrak (pod 0 °C) globoko v Jamo, led se dela še okoli 450 m daleč od vhoda. Tako globoko sega torej neposredni vpliv zunanjih vremenskih sprememb in do te razdalje od vhoda lahko računamo tudi z razpadanjem sige zaradi zmrzovanja, čeprav intenzivnost odpadanja sige od vhoda proti notranjosti slabi.

LITERATURA

- Anelli, F., 1944: Osservazioni di meteorologia ipogea nelle Grotte di Castel Lueghi presso Postumia. *Le Grotte d'Italia*, Ser. 2, Vol. 5, 1941—1944, 5—34, Trieste.
- Furlan, D., 1960: Klimatske razmejitev Slovenije. *Geografski vestnik*, 22, 45—57, Ljubljana.
- Gospodarič, R. & F. Šušteršič, 1977: Vzroki podiranja kapnikov v kraških jamah (medfazno poročilo 1977). *Speleologija krasa*, Poročila, elaborat, 1—24, Postojna.
- Habe, F., 1962: Hydrometeorologische Beobachtungen in Höhlensystem von Predjama. 6. Congrès Internat. de météorologie alpine, Bled, 476—469, Beograd.
- Habe, F., 1970: Predjamski podzemeljski svet. *Acta carsologica*, 5, 7—94, Ljubljana.
- Korošec, J., 1956: Arheološke ostaline v Predjami. *Razprave SAZU*, 9/1, 3—64, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1974: Jama Skednevnica — primer mehanskega razpadanja sige. *Proteus* 36/7, 316—319, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1980/1981: Poplavni svet na Pivki. Elaborat, Geografski inštitut A. Melika, SAZU, 1—101, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1981: Letošnja huda zima in klima v Jami (Predjama). *Proteus* 43/9-10, 357—359, Ljubljana.
- Novak, T. & V. Kuštor & A. Kranjc & N. Sivec, 1981: Prispevek k poznavanju razporeditve favne v velikih rovih. *Acta carsologica*, 9, 149—179, Ljubljana.
- Osole, F., 1958: Pomen jamskih sedimentov za speleologijo. *Proteus*, 20/7, 181—185, Ljubljana.
- Osole, F., 1959: Analiza pleistocenskih jamskih sedimentov. *Geologija*, 5, 123—128, Ljubljana.
- Schmidl, A., 1854: Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas, 1—316, Wien.

FREQUENCY OF DRIPSTONEFALL IN GOLOBJA LUKNJA (SLOVENIA)

Summary

To find out the intensity of dripstonefall near the cave entrances, which is part of endogene or autochthonous sediments in caves, due to actual climate, I decided to make some observations. I have chosen Golobja luknja (Pigeon's Hole) as one of the entrance part of Predjama Cave System near Postojna is called, mainly from the technical reasons (accessibility, lock with the door). This cave system was known as a dynamic one with big temperature differences from previous works already.

For observations of dripstonefall I have chosen about 10 m² of cave wall, covered with dripstone but without bigger concretions. Floor under the wall was covered by plastic sheet and thermograph and hygrogaph have been placed nearby. Fallen pieces of dripstone were gathered once a week and later calculated to a day's interval for easier comparisons and calculations. The observations were carried out between 1980-01-09 and 1981-03-31. One set of instruments was placed 700 m inward to the narrow place called Vetrovna luknja (Wind Hole). Because of the wind I observed there also the direction and the velocity of wind once a week.

All gathered data have been put into the computer of University Computing Centre in Ljubljana, where mag. Primož Jakopin was of the greatest help.

Golobja luknja is one of the entrances to the main passage of about 6 km long Predjama Cave System. It is situated at 490 m a.s.l. in the vertical wall of Upper Cretaceous limestones, about 30 m above the ponor of Lokva brook. The wall ends the blind valley of Lokva.

The system as a whole has 4 entrances in 120 m high wall and a lot of internal connections. It is so called dynamic cave: in summer the prevailing direction of air current is along the main passage towards the entrance — outwards, and in winter inwards. The climate of Pivka region is in the transitional temperature belt between the mediterranean and inner belt and according to precipitations it belongs to modified mediterranean regime. Mean quantity of precipitations in Postojna (1931—60) is 1299 mm and mean temperature 8.5 °C (January —1.5°, July 17.9°).

The winter 1980/81 was very cold. Temperature falls under 0°C in October, on 12th November it was $-7,3^{\circ}$ already. In December it was only 5 days without freezing temperatures, with minimum of -10° . Mean temperatures of winter months have been under normal: December $-1,9^{\circ}$, January $-2,9^{\circ}$, February $-1,2^{\circ}$. The coldest day was 17th January with $-22,7^{\circ}$. The snow cover persisted for 81 day.

The mean temperature of air in Golobja luknja was 7°C , in December $-2,6^{\circ}$, and in August $17,9^{\circ}$. The lowest recorded temperature was -19° and the highest 23° . The greatest daily amplitude was 18° . Temperature crossed 0°C 3 times a day the most. Altogether 171 crossing of 0° have been recorded. Temperature crossed 0° the most frequently during December and February. Mean air humidity was 82 %, the driest was January (75 %), and the most humid October (90 %). Absolute values ranged between 14—100 %.

During the observation period has fallen down altogether 806 g of dripstone, which is 1.96 g/day or 80.6 g/m² or 0.2 g/m²/day. Dripstonefall was the most intensive in February (6.3 g/day) and in December (3.7 g/day). In June, July, August, and October there was no dripstonefall.

Dripstonefall particles can be divided into 3 categories: under 2 mm = 25 %, between 2—35 mm (up to 4 g) = 41 %, and above 35 mm (or 4 g) = 34 % of all the dripstonefall. The biggest particle measured $200 \times 85 \times 10$ mm (153.5 g or 19 % of all dripstonefall).

According to the literature treating rock weathering and to gathered data I can conclude that the main reasons for dripstonefall in Golobja luknja are three. First is freeze-thaw effect. Second one are ice concretions during the winter as follows: percolating and dripping water is often freezing when reaching the ceiling and on it and on the floor relatively huge ice concretions are formed. When the piece of ice crust or iceicle becomes too heavy it falls down — and often a piece of dripstone is falling too, attached to the base of ice formation. And the third one: dripstone dust and the smallest particles are washed down from the walls directly by the dripping water.

In cold winters, as it was the winter 1980/181 the cold air (under 0°) can penetrate up to 500 m into the interior of the cave, due to the inward oriented air current. The wind reached during the observation period the maximum velocity of 9 m/sec. Ice formations were as far as 450 m from the cave entrance. Direct atmospheric influence is therefore reaching so far in the cave and in this entire zone we can reckon upon freeze-thaw weathering.

ESR DATING
OF POSTOJNA CAVE STALACTITE

(WITH 5 FIGURES)

DATIRANJE STALAKTITA IZ POSTOJNSKE JAME
Z ESR METODO

(S 5 SLIKAMI)

MOTOJI IKEYA*
TOSHIKATSU MIKI**
RADO GOSPODARIČ***

- * Technical College, Yamaguchi University, Ube, Japan.
- ** Physikalisches Institut der Universität Stuttgart, BRD.
- *** Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna, YU.

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 25. NOVBEMBRA 1982

CONTENT — VSEBINA

Abstract — Izvleček	120 (4)
INTRODUCTION	121 (5)
EXPERIMENTAL PROCEDURES	121 (5)
RESULTS AND DISCUSSION	123 (7)
Thermoluminiscence	124 (8)
Electron Spin Resonance	124 (8)
The Age and Growth Velocity	127 (11)
GEOCHRONOLOGICAL DISCUSSION	128 (12)
ACKNOWLEDGEMENT	129 (13)
REFERENCES	130 (14)
DATIRANJE STALAKTITA IZ POSTOJNSKE JAME Z ESR METODO (Povzetek)	130 (14)

Abstract

UDC 551.442.4.001.5(497.12—14)

Ikeya Motoji, Toshikatsu Miki, Rado Gospodarič: ESR Dating of Postojna Cave Stalactite.

Acta carsologica, 11 (1982), 117—130, Ljubljana, 1983, Lit. 9.

The growth rate (3—4 mm/100 years) and the age (about 190.000 years) of the initial stalactite layers by the ESR method is estimated. Some physico-chemical dating problems of the achieved results from Postojna Cave compared with those from Akyoshi Cave in Japan are discussed. The geochronological commentary ranged the stalactite growth beginning at the end of Mindel — Riss Interglacial, the upper seven sinter layers belonging to the Riss Glacial, Riss-Wüum Interglacial and Würm Glacial. The high flood, expressed by the loam among some sinter layers had interrupted the stalactite growth in the Riss Glacial.

Izvešček

UDK 551.442.4.001.5(497.12—14)

Ikeya Motoji, Toshikatsu Miki, Rado Gospodarič: Datiranje stalaktita iz Postojnske jame z ESR metodo.

Acta carsologica, 11 (1982), 117—130, Ljubljana, 1983, lit. 9.

Z ESR metodo je ugotovljena stopnja rasti (3—4 mm/100 let) in starost (okrog 190.000 let) sige v notranji plasti stalaktita. Fizikalno-kemični problemi datiranja pri dobljenih rezultatih iz Postojnske jame so primerjani s podobnimi problemi v japonski jami Akyoshi. Geokronološka razlaga uvršča začetno rast stalaktita v konec mindel-riškega interglaciala, sedem nadaljnjih plasti stalaktita pa v riški glacial, riss-würmski interglacial in würmski glacial. Med dvema plastema sige ohranjena poplavna ilovica odraža visoko poplavo v riškem glacialu.

INTRODUCTION

Electron spin resonance (ESR) is a method of analysis in physics and chemistry utilizing the microwave absorption under the magnetic field. It can detect the unpaired electron with a magnetic moment. Natural radiation of α , β and γ rays, from the radionuclides (such as uranium and thorium) and their decay products, produces radiation damage in rocks, minerals and archaeological materials (J. M. Aitken, 1974; S. Fleming, 1976). Radiation damage have been utilized to measure the radiation dose.

Thermoluminescence is a well known technique, which can be used like ESR to measure the concentration of defects. The thermoluminescent dosimetry (TLD) of CaSO_4 (Tm) is generally used to monitor the radiation exposure of personel at nuclear reactor facilities. It is also used as a method of dating pottery and ceramics in archaeology.

We introduced ESR dating similar to TL dating of cave deposits. We used the presence of radicals with unpaired electrons in stalactites, stalagmites and cave pearls (M. Ikeya, 1975) as well as in bones and tooth animal (M. Ikeya, 1978) excavated by anthropologists. One can estimate the total exposed dose of material due to natural radiation from its content of radicals by standardized the observed enhancement of radicals content using artificial irradiation (M. Ikeya, 1975). The total dose of natural radiation, sometimes called the archaeological dose (AD) can be used to estimate the age of the material if the annual radiation dose is known. Thus, a method of dating using radiation damage produced by natural radiation has been established. Details of ESR dating have been published elsewhere (M. Ikeya, 1975, 1978).

This report covers ESR dating of a Postojna Cave stalactites and its natural radiation dose measured with the TLD of CaSO_4 (TM). Throughout this paper we denote the radiation dose with the unit of Rad, i.e. the unit of absorbed radiation energy, 100 erg. per gram of material.

EXPERIMENTAL PROCEDURES

The ESR spectrum of the stalactite was measured with a 100 kHz field modulation and 4 gauss amplitude at room temperature before and after γ -ray irradiation. The thermoluminescence glow curve of the stalactite was also measured at the rate of the temperature increase of about $1.5^\circ\text{C}/\text{min}$ after the powder carbonate had been washed with acetic acid to remove defects created by the milling and grinding procedure. Details of the ESR and TL dating have been described in earlier works (M. Ikeya, 1978; T. Miki, M. Ikeya, 1978).

γ -ray irradiation was made using ^{60}Co as the source at Katherin Hospital in Stuttgart, Nagoya University and Reactor Institute of Kyoto University.

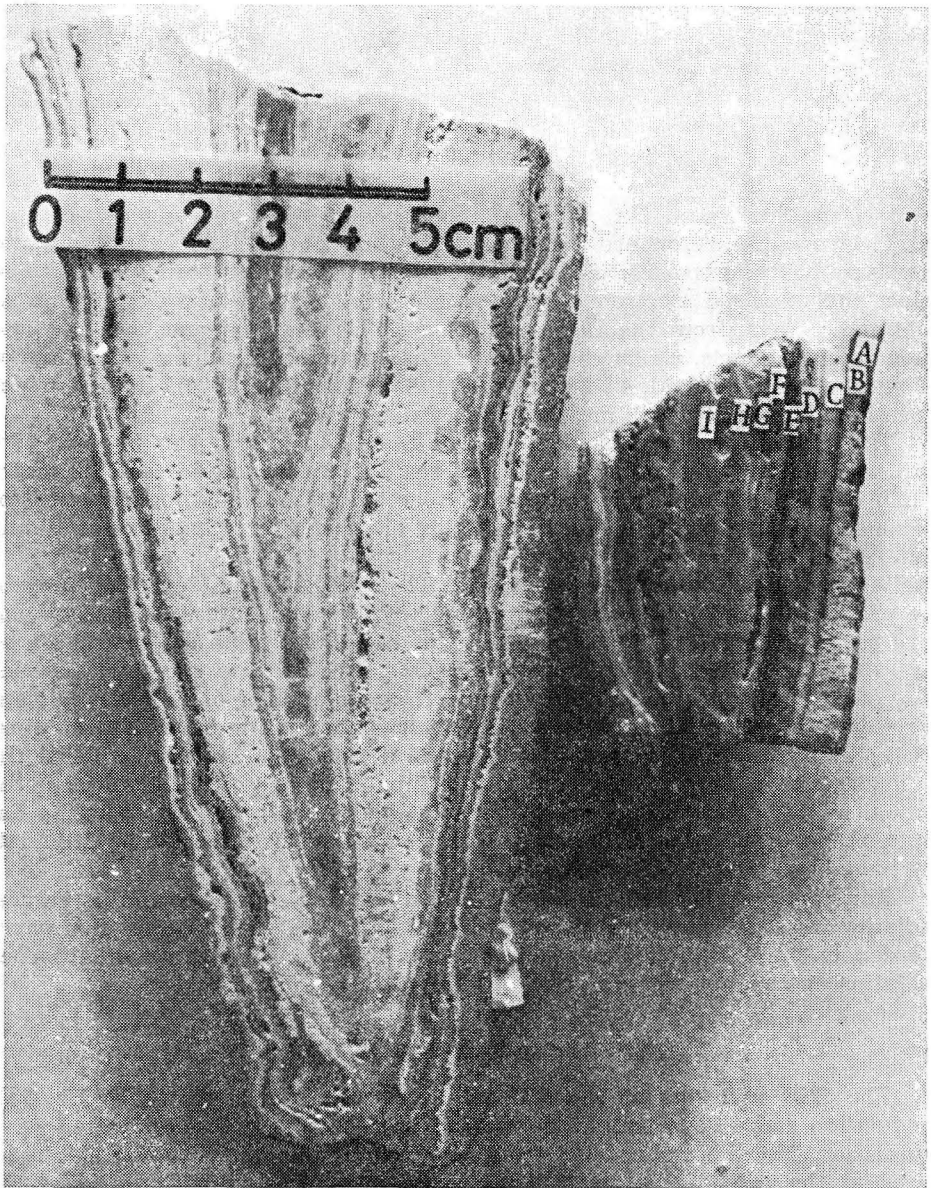


Fig. 1. Photo of Postojna Cave stalactite and its cross section. The pattern of the dark loam sediment between white sinter layers indicate the growth conditions. The longitudinal growth has recently almost stopped

Sl. 1. Prerezan stalaktit iz Postojnske jame. Vzorec temnejšega ilovnatega sedimenta med sigovimi plastmi nakazuje razmere med rastjo. Vzdolžna rast se je danes skoraj ustavila

The total natural radiation dose received by the stalactite was obtained by assuming a linear relation between the concentration of defects and the radiation dose. No further studies like the radioactive elements determination have been performed for the Postojna Cave stalactites.

RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 1 is a photo of the Postojna Cave stalactite obtained during the author's visit in 1977. The cross section shows the brown sediment which indicate that the stalactite took some impurities during its growth in the past. We suggest (M. Ikeya, 1978) that the main brown sediment were formed about the same time as the high water levels. The shape of the brown sediment clearly indicates that the growth direction was shifted presumably because of tilting of the cave floor or because of the relative shift of the ceiling from where the water is supplied. The longitudinal growth seemed to have essentially stopped for the large stalactite (I) while the small ones were still

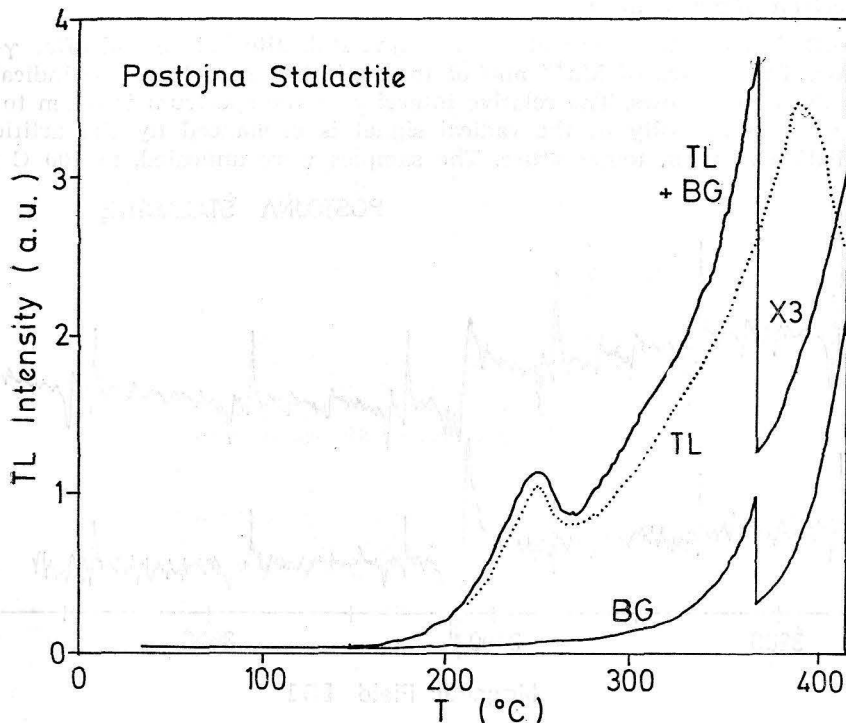


Fig. 2. Thermoluminescence (TL) curve of Postojna Cave stalactite. The TL peaks at 510 and 620 K was observed. The background thermal glow due to the heating is also shown

Sl. 2. Termoluminiscenčna krivulja (TL) stalaktita iz Postojnske jame. Opazne so TL konice pri 510 K in 620 K. Razvidno je tudi ozadno termalno žarenje zaradi segrevanja

growing. The growth might come from the splashing of dropping water since the radial growth in one specific direction is dominant.

Thermoluminescence

Fig. 2 shows the TL glow curve of the Postojna stalactite. The TL peaks at 510 and 620 K have been observed for Petralona stalagmites. The peak height at 510 K is enhanced by an artificial γ -irradiation. The peak at 320 K was formed by γ -irradiation but is unstable. One can determine the AD with TL as has been done for Akiyoshi stalactite (T. Miki, M. Ikeya, 1978). However, precautions must be taken to reduce the tribothermoluminescence due to the grinding. Samples must be mixed well to obtain the AD with the TL method, since the locally high concentrations of impurities cause a fluctuation in the data. We had not studied the Postojna stalactite further with TL because of the complicated procedure for sample preparation but tried to date it with ESR.

Electron spin resonance

Fig. 3 shows ESR spectra of the Postojna stalactite before and after γ -irradiation. The spectra of Mn^{++} and of the radical were detected as indicated by the lines and arrows. The relative intensity of the spectrum is taken to be arbitrary. The intensity of the radical signal is enhanced by the artificial γ -irradiation at room temperature. The samples were annealed, at 100 °C for

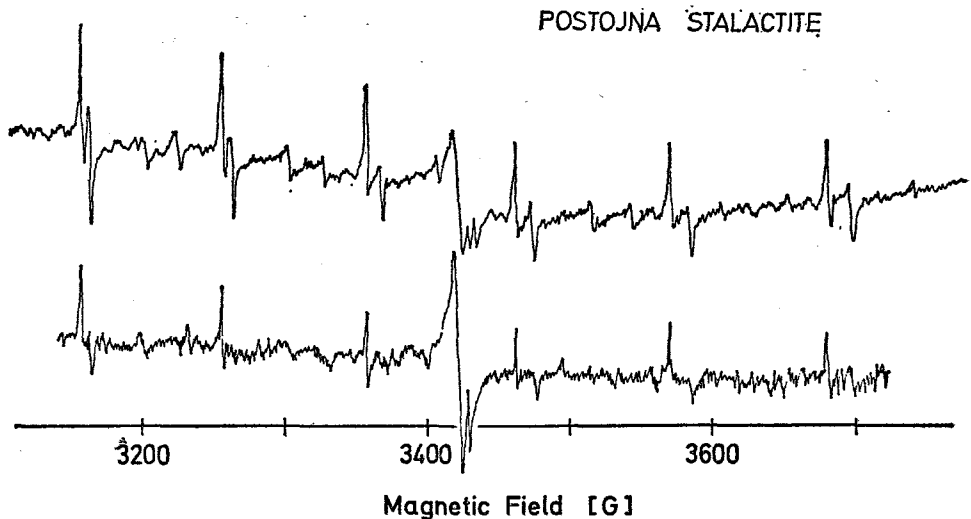


Fig. 3. ESR derivative absorption spectra of Postojna Cave stalactite before and after the artificial γ -irradiation from ^{60}Co . The radical signal at the central position is enhanced by the irradiation. The other signals are associated with Mn^{++} and Ca^{++} sites in the carbonate

Sl. 3. ESR absorpcijski spektri stalaktita iz Postojnske jame pred in po umetnem γ obsevanju s ^{60}Co . Osnovni signal na osrednjem mestu je povečan zaradi obsevanja. Ostali signali se nanašajo na gnezda Mn^{++} in Ca^{++} v karbonatu

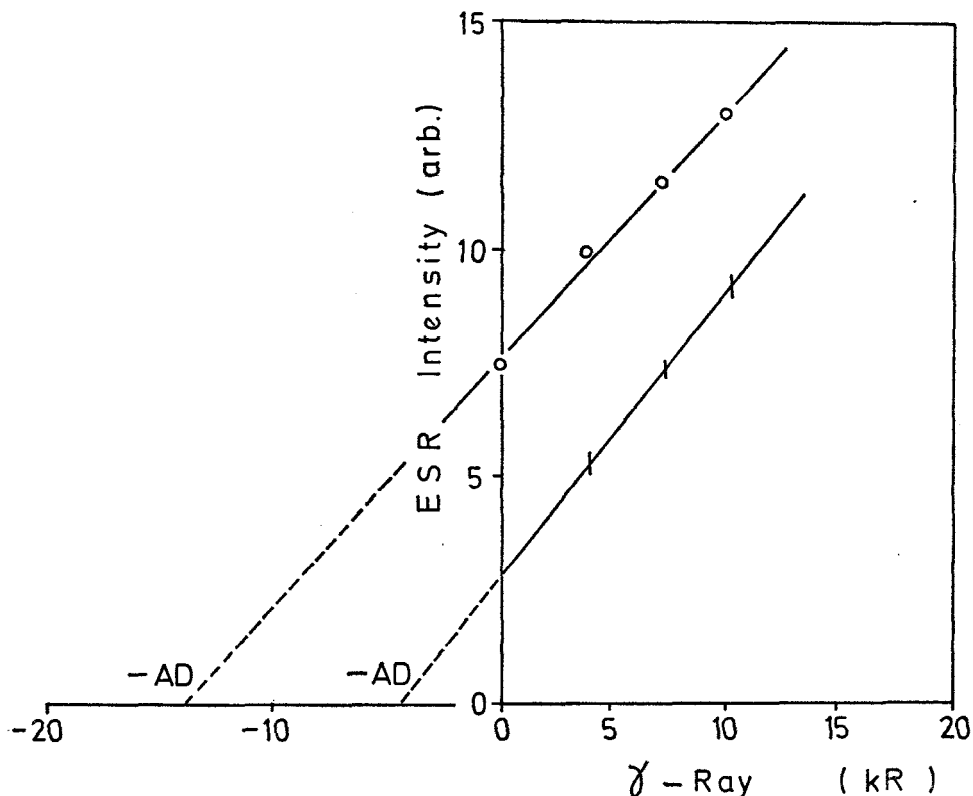


Fig. 4. The enhancement of radical signal intensity as a function of the radiation dose of γ -rays from ^{60}Co . The archaeological dose (AD) has been obtained by extrapolating the linear growth

Sl. 4. Povečanje intenzivnosti osnovnega signala kot funkcija obsevalne doze γ -žarčenja ^{60}Co . Arheološko dozo smo dobili z ekstrapoliranjem linearne rasti

10 minutes, to remove the unstable radical soon after γ -irradiation. The typical enhancement of the signal intensity by the γ -irradiation is shown in Fig. 3. The linear extrapolation of the signal intensity versus dose gives the AD.

Fig. 4 shows the obtained AD as a function of the position from the surface. The AD at the surface of the stalactite is somewhat larger than the AD at the position close to the surface. Naturally AD increased in the old inside position until close to the central position. The maximum AD, obtained for this stalactite was (38 ± 3) kRad. Neglecting the surface data point which sometimes gives a large AD for unknown reasons, one can roughly obtain the growth velocity of (2.2 ± 0.2) $\mu\text{m}/\text{Rad}$ for the old inside of the stalactite.

The AD obtained for the other stalactites ranges in the some order of magnitude. In this case, the porous stalactite sometimes gives small AD, presumably because of recrystallization.

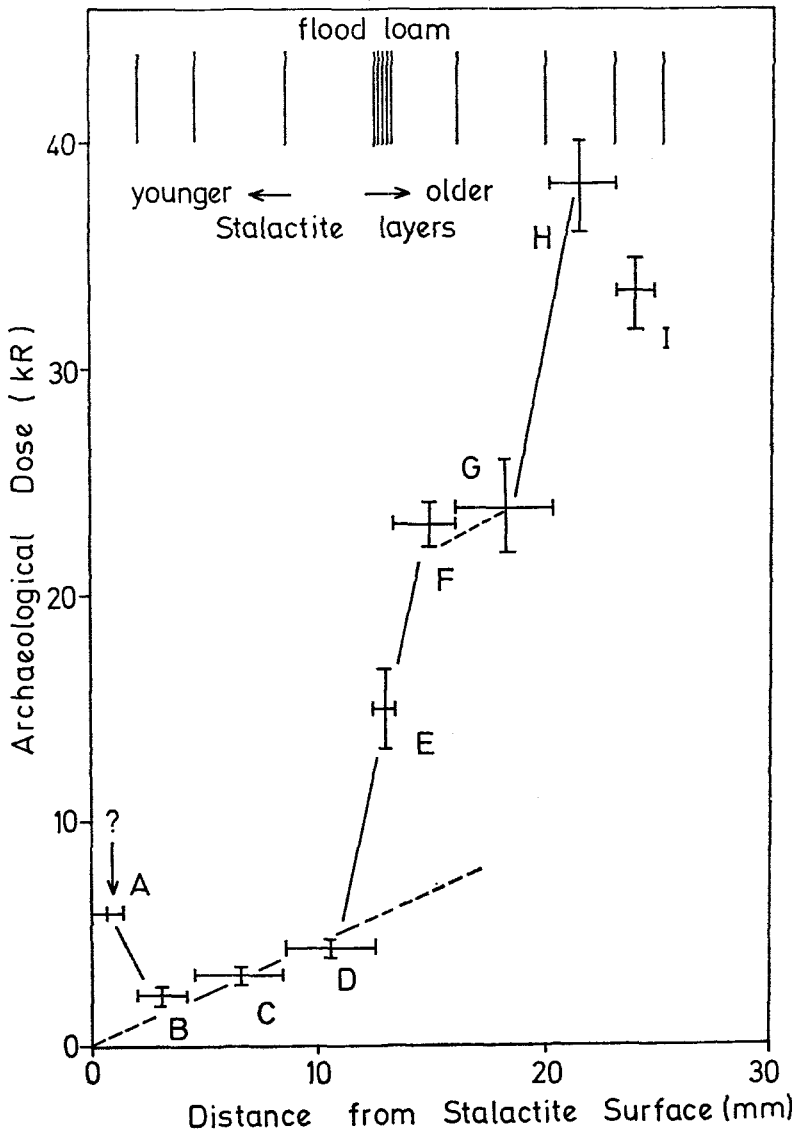


Fig. 5. The archaeological dose (AD) in kRad of Postojna Cave stalactite as a function of a distance from the surface. The reason for the large AD at the surface is not known. The growth velocity per Rad has been obtained. The growth is rapid in recent years

Sl. 5. Arheološka doza (AD) stalaktita iz Postojnske jame kot funkcija oddaljenosti od površja, izražena v kRad. Vzrok velikih vrednosti AD na površju ni znan. Dobili smo podatke o hitrosti rasti na Rad. Ta je velika v zadnjih letih

The Age and Growth Velocity

Unfortunately measurements of the radioactive elements in Postojna Cave deposits have not been done. We have measured the natural γ -ray radiation outside and inside the Postojna Cave with the thermoluminescence dosimeter (TLD) of CaSO_4 (TM) (National TLD-110S). The annual dose was 98 ± 4 mR/yr outside the cave and 38 ± 2 mR/yr inside the cave. The amount inside the cave is higher than 20 mR in the Akiyoshi Cave, the largest cave in Japan. The terra rossa or the soils flown as well as a high concentration of atmospheric radioactivities accumulated in the cave may cause this high results. Recent study of atmospheric radioactivity in the Akiyoshi cave indicates a high concentration of 3 pCi/l. (T. Miki, M. Ikeya, 1979) The concentration may reach one working level (WL) measure used in uranium mines, 100 pCi/l) for along cave like Postojna Cave.

The annual dose rate used to convert the AD into real age in years is not the γ -ray dose rate obtained by the TLD measurement. It involves the radiation of α , β and γ -rays from inside the stalactite. The contents of the radioactivities in ^{238}U , ^{232}Th series and ^{40}K are not known at present. We simply assume the annual radiation dose of 0.1–0.2 Rad/yr. Considering the relatively high γ -rays dose rate determined with TLD, the dose rate around 0.2 R/yr might be appropriated. The ages and the growth velocities are thus calculated from the AD (Fig. 5).

The age and the position close to the center is 1.9×10^5 yrs. The recent radial growth rate is thus (0.44 ± 0.04) $\mu\text{m}/\text{yr}$. The average growth velocity in the past before about 5.0×10^4 yrs, is (0.06 ± 0.02) $\mu\text{m}/\text{yr}$. It is interesting to note that the radial growth rate of Akiyoshi stalactite is recently 0.45 $\mu\text{m}/\text{yr}$ as compared to the value 0.045 $\mu\text{m}/\text{yr}$ estimated for older periods before 7.0×10^4 years. The radial growth rates coincide roughly.

The estimated age of the stalactite in the present work exceeds the previously expected. Our ESR dating of flowstones indicates a very young formation and a fast growth rate. However, the pattern of brown sediment of the present stalactite suggests that longitudinal growth had been stopped in the past. We have cross checked the age of some stalagmites with U/Th method and ^{14}C dating and could show a reasonable agreement. Thus, it would not be doubtful that we have picked up a very old stalactite that had stopped in the longitudinal growth. The ESR dating of the stalagmite in Grotta Castellana gave an AD of 6.8 k Rad and a radial growth velocity of 6 $\mu\text{m}/\text{rad}$: corresponding to $3.4 \cdot 10^4$ yrs and the 1.2 $\mu\text{m}/\text{yr}$. The longitudinal growth rate was estimated as 35 ± 5 $\mu\text{m}/\text{yr}$. This value corresponds to growth rates of 3–4 mm in one hundred years and agrees with the rates reported by ^{14}C dating for stalagmites in the postglacial period.

The assumption of 0.2 Rad/yr may not be appropriate because there may be a high concentration of radioactive elements in the stalactite. We are not certain on this point. A high AD at the surface is sometimes observed. It would not be due to radioactivity from ^{222}Rn and its daughters. The atmospheric radioactivity from the decay of ^{222}Rn and its daughter emanating from cracks and fissures in the cave will certainly produce γ and α -rays. But the inner parts have once represented the surface of the stalactite. Therefore, unless

some drastic change in the cave environment has occurred recently, the surface damage must not be observed so high. It is also hard to consider that the damage was caused by nuclear bomb tests. Our investigation indicates the presence of ^{137}Cs in the bottom soil of doline but not in the cave so far as Japanese cave Akiyoshi is concerned. The effect of some biological species is suspected. Thus, the large AD at the surface is a question open to further research in nuclear archaeo-speleology.

GEOCHRONOLOGICAL DISCUSSION

One of the most interesting tasks of the speleology is the study of relative and absolute sinter age. The caves of Classical Karst around Postojna are richly concretioned therefore the studies and testing of the research methods, originating here and abroad, are the most brought forward. Till now in the Postojna Cave System the relative dating methods have been successfully used and some data about the radiometric sinter age have been obtained by ^{14}C and U/Th methods.

The additional dating experiment about the absolute sinter age from Postojna Cave has been made by M. Ikeya with ESR method, as it is evident from this contribution. We try to give some explanations to this article concerning the analysed sample and the geochronological interpretation of the obtained results.

In the last years we studied the sinter and its age in Pisani rov (The Coloured Gallery) of the Postojna Cave. We studied the recent sinter growth by chemical methods and we distinguished the generations of stalactites and stalagmites of various shapes by geological methods. In Pisani rov we know at least three sinter generations which growth was several times interrupted because of changeable Pleistocene climate and because of flooded channel. Taking in account the brown loams on the sinter and on the rocky channel walls it is possible to conclude that the muddy flood water several times reached the channel and at least once reached so high (up to 540 m above the sea level, it means 30 m higher as lies actual entrance to the cave) that the channel was flooded up to the ceiling. In this period the sinter could not be deposited, the percolating water simply melted together with flood water. On the older stalactites the brown loam coming from ponor flysch hinterland was deposited. Such layer of brown loam (layer E) is preserved in analysed stalactite. A lot of different coloured layers on the stalactite, distinguished among them (Fig. 1) prove, that the sinter growth on the ceiling was several times interrupted, the last time in the period when the analysed stalactite was broken from the ceiling and has fallen to the gallery's floor. There it was namely found and chosen for the analysis.

The ESR method of dating fixes the origin of stalactite nucleus to 190.000 years b.p. thus we can conclude that the sinter growth phase occurred at the end of Riss-Mindel Interglacial, while the highest flood period was in Riss Glacial. The next sinter layer on the stalactite above the loam could be from the Upper Riss Glacial and Riss-Würm Interglacial. The upper layers can be ranged in Würm Interstadials, because the Holocene age could not be taken into account, because the chosen stalactite group had been already broken from

the ceiling in this time. Several other cases in Pisani rov namely show that Pleistocene collapsed sinters are already thickly covered by Holocene white sinter (R. Gospodarič, 1976).

The recent physico-chemical methods of absolute sinter datations, among them the ESR method, complete the stratigraphic rangement of autochthonous and allochthonous cave sediments. Thus they give a contribution to knowledge of Quaternary geology in karst caves and on karst in general.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors wish to thank to Institute for Karst Research SAZU at Postojna for the help by sampling of stalactite and settling the TLD capsules. Presented laboratory work has been made first at II. Physikalisches Institut in Stuttgart as a research fellow of Alexander von Humbolt Foundation and then at Reactor Institute of Kyoto University as a Joint Use of University Reactor.

REFERENCES

- Aitken, J. M.: *Physics and Archaeology*, 2nd edition, Clarendon Press, Oxford (1974).
 Fleming, S.: *Dating in Archaeology*, J. M. Dent & Sons, London (1976).
 Gospodarič, R.: *Acta carsologica*, 7, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana (1976), 5—135.
 Gospodarič, R.: *Acta carsologica*, 9, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana (1981), 87—100.
 Ikeya, M.: *Nature*, 255 (1975), 48—50.
 Ikeya, M.: *Archaeometry*, 20 (1978), 147—158.
 Ikeya, M.: *Naturwissenschaften*, 65 (1978), 489.
 Miki, T., M. Ikeya: *Japan J. Appl. Phys.*, 17 (1978), 1703—1904.
 Miki, T., M. Ikeya: Article submitted to *Health Phys.* (1979).

DATIRANJE STALAKTITA IZ POSTOJSKE JAME Z ERS METODO

Povzetek

Preučevanje relativne in radiometrične starosti sige sodi med najbolj zanimive naloge speleologije. Ker so jame klasičnega krasa okrog Postojne bogato zasigane, je razumljivo, da je prav tod možno uveljaviti in preizkusiti ustrezne raziskovalne metode, ki se porajajo doma in v svetu. V Postojnskem jamskem sistemu so bile doslej koristno uveljavljene relativne metode datiranja (R. Gospodarič, 1976), nekaj podatkov o radiometrični starosti sige pa smo dobili tudi z ^{14}C in U/Th metodama (R. Gospodarič, 1981).

Nadaljnji poskus datiranja sige iz Postojnske jame sta izpeljala Motoji Ikeya in Toshikatsu Miki z ESR metodo, kar je razvidno in pojasnjeno v pričujočem prispevku. Za boljše razumevanje teh analitičnih podatkov pa je treba dodati še nekaj geokronoloških pojasnil.

V preteklih nekaj letih smo preučevali sige in njeno starost v Pisanem rovu Postojnske jame. S kemičnimi metodami smo ugotavljali recentno rast sige, z geološkimi metodami pa razlikovali generacije oblikovno pestrih stalaktitov in stalagmitov. V Pisanem rovu poznamo vsaj tri generacije sige, katerih rast je bila večkrat prekinjena zaradi spremenljive pleistocenske klime in zaradi poplavljenega rova. Po rjavi ilovici na sigi in skalnih stenah rova je možno sklepati, da je kalna poplavna voda večkrat zašla v rov, vsaj enkrat tako visoko (do 540 m nadmorske višine, to je 10 m više kot je današnji turistični vhod v jamo), da ga je zalila do stropa. Tedaj se siga ni mogla odlagati, ker se je prenikla voda preprosto zliła s poplavno vodo. Ta je na starejše stalaktite odložila rjavo alohtono ilovico, kakršna je ohranjena v analiziranem stalaktitu (plast E). Več raznobarnih, med seboj ločenih plasti stalaktita (sl. 1) pa nadalje govorijo, da je bila rast sige na stropu še večkrat prekinjena, nazadnje tedaj, ko se je analizirani stalaktit odlomil od stropa in padel na tla. Tam smo ga namreč našli in izbrali za analizo.

Ker je ESR metoda datiranja pokazala, da je jedro stalaktita staro 190.000 let b. p., je možno sklepati na sigotvorno fazo ob koncu riško-mindelskega interglaciala, na omenjeno najvišjo poplavno dobo pa v riškem glacialu. Naslednja plast sige na stalaktitu (nad ilovico) je lahko iz mlajšega riškega glaciala in interglaciala riss-würm, nadalje krovne plasti pa je možno uvrstiti v würmske interstadiale, saj holocenska starost ne pride več v poštev, ker se je v našem primeru izbrana stalaktitna skupina tedaj že odlomila od stropa.

Novejše fizikalno-kemične metode radiometričnega datiranja sige, med njimi tudi ESR metoda, dopolnjujejo stratigrafsko uvrščanje avtohtonih in alohtonih jamskih sedimentov. S tem prispevajo k poznavanju kvartarne geologije kraških jam in krasa nasploh.

ACTA CARSOLOGICA
KRASOSLOVNI ZBORNIK
XI
1982

Izdala
Slovenska akademija znanosti in umetnosti
v Ljubljani

Natisnila
Tiskarna Ljubljana
v Ljubljani
1983

Naklada 1200 izvodov